

CHILLERS AND CHILLED WATER SYSTEMS

ကောင်းထက်ညွန့်



Reference Books

- (1) ASHRAE Books
- (2) **Refrigeration and Air-Conditioning** (Fourth Edition) by *G.F. Hundy, A.R. Trott, T.C. Welch*, (ISBN 10: 0750685190 / ISBN 13: 9780750685191)
- (3) **Air Conditioning Principles and Systems: An Energy Approach** (4th Edition) by *Edward G. Pita*, Prentice Hall, ISBN 0-13-092872-0
- (4) **Handbook of Air Conditioning System Design** by *Carrier Air Conditioning Company*
- (5) **Energy-Efficient Building Systems** by *Dr. Lal Jayamaha* , McGraw-Hill, ISBN 0-07-148282-2
- (6) **Air Conditioning and Refrigeration** by *Rex Miller and Mark R. Miller*, McGraw-Hill, ISBN 0-07-146788-2.
- (7) **Air Conditioning Engineering** (Fifth Edition) by *W.P. Jones*, ISBN 0 7506 5074 5
- (8) **Thermodynamics (An Engineering Approach)** Fifth Edition by *Yunus A. Cengel & Michael A. Boles* (ISBN-10: 0073107689 | ISBN-13: 978-0073107684)
- (9) **Air-Conditioning and Refrigeration** by *Shan K. Wang and Zalman Lavan*
- (10) **Industrial Refrigeration Best Practices Guide**, December 2007, The Northwest Energy Efficiency Alliance's (NEEA)
- (11) **Handbook of Air Conditioning and Refrigeration** (Second Edition) by *Shan K.Wang*
- (12) **Handbook of Energy Engineering** (Fifth Edition) by *Albert Thumann and D. Paul Mehta*, ISBN 0-88173-374-1
- (13) **HVAC Water Chillers and Cooling Towers Fundamentals, Application and Operation** by *Herbert W. Stanford*, ISBN: 0-8247-0992-6
- (14) **Energy Efficiency Best Practice Guide Industrial Refrigeration**; Sustainability Victoria:
- (15) **Refrigeration Systems and Applications** (Second Edition) by *Ibrahim Dincer and Mehmet Kanoglu*, ISBN: 978-0-470-74740-7 (fro ref chapter)
- (16) ဆရာဦးအုန်းမြင့်(ဒီဇယ်)၏ Modern Air Conditioning and Refrigeration
- (17) ဆရာဦးထွန်းလွင်၏ facebook စာမျက်နှာများ နှင့် အင်တာနက် မြန်မာဘာသာ ဆောင်းပါးများ

Internet References

- | | |
|---|---|
| (18) ASHRAE (http://www.ashrae.org) | (19) AHRI (http://www.ahri.org) |
| (20) AMCA (http://www.amca.org) | (21) ANSI (http://www.ansi.org) |
| (22) SMACNA (http://www.smacna.org) | (23) AMCA (http://www.amca.org) |
| (24) ASTM (www.astm.org) | |

ပုံနှိပ်မှတ်တမ်း

မျက်နှာဖုံးဒီဇိုင်း
ကွန်ပျူတာစာစီ

ကိုသိန်းမင်း (KTM design house)
ကောင်းထက်ညွန့်

ဖြန့်ချိရေး

ထုတ်ဝေသူ

ပထမအကြိမ်စက်ရိုက်

စက်တင်ဘာလ၊ ၂၀၁၃ ခုနှစ်

ကောင်းထက်ညွန့်

ရန်ကုန်

မိုးမြင့်ကြယ်စာပေ။ ၂၀၁၃

xxx စာ၊ ၁၈.၂ စင်တီ x ၂၅.၅ စင်တီ

(၁) Chillers and Chilled Water Systems

အမှတ်စဉ်

ဤအမှတ်စဉ်သည် အင်ဂျင်နီယာပညာရပ်ဖြင့် အသက်မွေးဝမ်းကျောင်းပြုမည့်သူများအတွက် ရည်ရွယ်ပါသည်။

အင်ဂျင်နီယာပညာရပ်ဖြင့် အသက်မွေးဝမ်းကျောင်းပြုမည့်သူတစ်ဦး၏ ဝင်ငွေသည် ဘာသာရပ်တစ်ခုကို ကျွမ်းကျင်စွာ တတ်မြောက်မှု အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ကျွမ်းကျင်မှု အဆင့်မြင့်လေ ဝင်ငွေများလေ ဖြစ်သည်။ ကျွမ်းကျင်စွာ တတ်မြောက်ရန်အတွက် အထောက်အကူပြုပစ္စည်းများနှင့် လေ့ကျင့်ချိန်သည် အဓိကကြည့်ရှုသည့် အရာနှစ်ခုဖြစ်သည်။ လေ့ကျင့်ချိန်များလေ ရလဒ်ကောင်းလေဖြစ်သည်။

Florida State University မှ Dr. K. Anders Ericsson သုတေသနတွေ့ရှိချက်အရ ထိပ်တန်းအဆင့် ကျွမ်းကျင်သူတစ်ယောက် ဖြစ်ရန်အတွက် အထောက်အကူပြုပစ္စည်းများ သာမက ထက်ထက်သန်သန် လေ့ကျင့်ချိန် နာရီပေါင်း တစ်သောင်းကျော် လိုအပ်ကြောင်း ဖော်ပြထားသည်။

သင်ယူခြင်းနှင့် သက်ဆိုင်သည့် အမှန်တရားတစ်ခုမှာ မည်သည့်ပညာရပ်ကိုမဆို သင်ခါစဉ် အရမ်းခက်ခဲသည်ဟု ထင်မှတ်ကြပြီး အဟန့်အတားတစ်ခုကို ဖြတ်ကျော်ပြီးနောက် သင်ကြားခြင်း၊ လေ့ကျင့်ခြင်း တို့သည် နှစ်သက်စရာ ကောင်းသည့်အရာများ ဖြစ်လာတတ်ကြသည်။ အင်္ဂလိပ်လို "frustration barrier" ဟုခေါ်သည်။ လူတိုင်းလိုလို ထိုအတားအဆီးကို မကျော်လွှားနိုင်ခင်မှာ စိတ်ဆင်းရဲ၊ ကိုယ်ဆင်းရဲ၊ အားငယ်စိတ်၊ သိမ်ငယ်စိတ်များ နှင့် ဖြတ်သန်းကြရလေ့ရှိသည်။ ထိုအတားအဆီးကို လွယ်ကူစွာ ကျော်ဖြတ်နိုင်ရန်အတွက် ဤစာအုပ်သည် အထောက် အကူကောင်း တစ်ခုဖြစ်မည်ဟု ယုံကြည်မျှော်လင့်မိပါသည်။

စာရေးသူကိုယ်တိုင် ကျင့်သုံးခဲ့သည့် လေ့လာနည်းအချို့ကို စာဖတ်သူများအတွက် စကားလက်ဆောင် ပါးချင် ပါသည်။

(၁) သင်ယူမည့်ဘာသာရပ်အတွက် သီးသန့်မှတ်စုစာအုပ် တစ်အုပ်ထားပါ။ မှတ်သားစရာ ကောင်းသည့် အရာများ၊ မှတ်မိသင့်သည့်အရာများ၊ မကြာခဏ အသုံးပြုရန်လိုသည်အချက်အလက်များကို ရေးမှတ်ထားပါ။ နားမလည်သည့်အချက်များကိုလည်း ရေးမှတ်သင့်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် မေးမြန်းနိုင်သည့်သူကို ကြုံဆိုသည့်အချိန်၌ အမှတ်ရနေစေရန် သို့မဟုတ် အလွယ်တကူ အဆင်သင့် ဖြစ်နေစေရန်အတွက် ဖြစ်သည်။ မကြာခဏ ထုတ်ဖတ်ရန်လည်း တိုက်တွန်းလိုသည်။

(၂) နည်းပညာဝေါဟာရများ (technical terms)၏ ဖွင့်ဆိုချက်များကို အဓိပ္ပာယ်နှင့်တကွ နားလည် သဘောပေါက်အောင် မဖြစ်မနေ ကြိုးစားသင့်သည်။ အဓိပ္ပာယ်တစ်မျိုးအတွက် နည်းပညာဝေါဟာရ အမျိုးမျိုး ပြောင်းလဲ သုံးနှုန်းပုံကို သတိပြုသင့်သည်။

(၃) ACMV ဘာသာရပ်အတွက်ကို လေ့လာရန်အတွက် SI ယူနစ် နှင့် IP ယူနစ် နှစ်မျိုးလုံးကို ကျွမ်းကျင်ရန် လိုအပ်သည်။ ယူနစ်တစ်မျိုးမှ တခြားယူနစ်တစ်မျိုးသို့ လျှင်မြန်စွာ ပြောင်းလဲတတ်အောင် လေ့ကျင့်ပါ။

(၄) တစ်ခါတစ်ရံ လက်တွေ့အခြေအနေများတွင် သင်ယူထားသည့် သီအိုရီနှင့် သဘောတရားများအားလုံးသည် ကိုက်ညီလေ့မရှိသည်ကို ကြုံတွေ့ရလိမ့်မည်။ ထိုသို့ မကိုက်ညီရသည့် အကြောင်းများစွာ ရှိသည်။ အဓိက အကြောင်းသည် သီအိုရီ သို့မဟုတ် တွက်ချက်မှုများတွင် ရှိနေသည့် ယူဆချက်များ (assumptions) နှင့် လျစ်လျူရှုမှုများ (neglect) ကြောင့် ဖြစ်သည်။ လုပ်ငန်းခွင် အတွေ့အကြုံများလေ သီအိုရီနှင့် လက်တွေ့ ကွာဟချက်များကို နည်းလည်နိုင်စွမ်း ပိုများလေဖြစ်သည်။

(၅) Engineering system များအားလုံးတွင် အကြောင်းမဲ့ တပ်ဆင်ထားသည့် အရာဟူ၍ တစ်ခုမျှ မရှိပေ။ တပ်ဆင်ထားသည့် အရာအားလုံးနှင့် နေရာများသည် လိုအပ်ချက်ကို လိုက်၍ စနစ်တကျ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် ရွေးချယ်မှုများသာ ဖြစ်သည်။

ဥပမာ- chilled water control valve ကို AHU coil ၏ return ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားခြင်း၊ chilled water supply ပိုက်ကို AHU coil ၏ အောက်ဘက်ပိုက်နှင့် ဆက်ထားခြင်း စသည့် အချက်များ၏နောက်တွင် အဓိက အကြောင်းများ ရှိကြောင်း သိထားပြီး နားလည်နိုင်အောင် လေ့လာအားထုတ်သင့်သည်။

(၆) အလွယ်တကူ နှင့် ထိရောက်စွာ သင်ယူတတ်မြောက်နိုင်သည့် နည်းကောင်းများကို ရှာဖွေလေ့လာပါ။ စိတ်ထဲတွင် ပေါ်လာသမျှ မေးခွန်းများကို အတတ်နိုင်ဆုံး ဖြေကြားပေးနိုင်မည့်သူကို ဆည်းကပ်ခြင်းသည် အလွယ်တကူဆုံး သင်ကြားနည်း ဖြစ်သည်။ သိလိုသည့် မေးခွန်းများကို ရိုးသားစွာ မေးဖြစ်အောင် ကြိုးစား သင့်သည်။

(၇) အခြေခံမှ စ၍ အဆင့်ဆင့် နားလည်နိုင်အောင် ကြိုးစားပါ။ Basic system များကို နားလည်အောင် ကြိုးစားပြီးမှ modify လုပ်ထားသည့် system များ နှင့် အဆင့်မြင့်သည့် system များကို ဆက်လက် လေ့လာပါ။

(၈) စိတ်ဝင်စားမှုတူသည့် အသိမိတ်ဆွေများအောင် မိတ်ဖွဲ့ပါ။ ပညာလိုလားသူ မိတ်ဆွေများနှင့် ဆွေးနွေးခြင်း၊ အတွေ့အကြုံဖလှယ်ခြင်းသည် စာသင်ခန်းတွင် ဆရာထံမှ သင်ယူခြင်း၊ မိမိဘာသာ စာအုပ်ဖတ်ယူခြင်းထက် ပို၍ အကျိုးများသည်။ မိမိနားလည်ထားသည့် အကြောင်းအရာ တစ်ခုကို အစီအစဉ်တကျ ပြန်ရှင်းပြခြင်းသည် မိမိနားလည်ထားသည့် အပိုင်းကို ပို၍ ရှင်းလင်းစွာ စွဲမြဲစွာ မှတ်မိစေနိုင်သည်။

(၉) ဘာသာရပ်ဆိုင်ရာ သင်တန်းများ၊ ဆွေးနွေးပွဲ (seminar) များ၊ လုပ်ငန်းခွင် ဆွေးနွေးပွဲ (workshop) များကို တက်ရောက် လေ့လာပါ။ အင်တာနက်လိုင်းကောင်းလျှင် သင်ယူလိုသမျှ အားလုံးနီးပါးကို You Tube (www.youtube.com) တွင် လေ့လာနိုင်သည်။

(၁၀) အသက်ငယ်စဉ် အလုပ်ရွေးသည့်အခါ ဝင်ငွေများသည့် အလုပ်ထက် အတွေ့အကြုံကောင်းများ စုဆောင်း နိုင်သည့် အလုပ်ကို ဦးစားပေး ရွေးချယ်ပါ။

ကျေးဇူးတင်လွှာ

ကျေးဇူးရှင် မိဘနှစ်ပါး၊ သင်ဆရာ၊ မြင်ဆရာ၊ ကြားဆရာများ နှင့် မေတ္တာဖြင့် ဆိုဆုံးမ ညွှန်ပြ ပေးခဲ့သူများ အားလုံးကို ဤစာအုပ်ဖြင့် ရိုသေစွာ ကန်တော့အပ်ပါသည်။

ဤစာအုပ် ဖြစ်မြောက်အောင် ဝိုင်းဝန်း ကူညီပေးကြသော ညီငယ် ကိုအောင်ကြီးနှင့် မျိုး(Snow Flake)၊ မြန်မာစာ စာလုံးပေါင်း၊ သတ်ပုံ၊ အရေးအသား ပိုမို ကောင်းမွန်စေရန် ဖတ်ရှု တည်းဖြတ်ပေးသော ကိုကိုအောင် (ရုက္ခ) အားလည်းကောင်း၊ ပုံနှိပ်ထုတ်ဝေရေး၊ စာအုပ် ဖြစ်မြောက်ရန် ကူညီ ဆောင်ရွက်ပေးသော၊ အကြံဉာဏ် ကောင်းများဖြင့် အားပေး တိုက်တွန်းသော မိုးမြင့်ကြယ်စာပေမှ ကိုတေဇဇော် အားလည်းကောင်း၊ မျက်နှာဖုံးပုံ ရေးဆွဲပေးသော ကိုသိန်းမင်း (KTM design house) အားလည်းကောင်း အထူး ကျေးဇူးတင် ရှိပါသည်။

ဤစာအုပ်ကို ထပ်မံတည်းဖြတ် ထုတ်ဝေရန်နှင့် ဆက်လက် ထုတ်ဝေရန် စီစဉ်ထားသည့် စာအုပ်များ အတွက် အကြံဉာဏ်များနှင့် ဝေဖန်စာများကို ဝမ်းမြောက်ဝမ်းသာ တောင့်တမိပါသည်။ အမှားတစ်စုံတစ်ရာ တွေ့ရှိခဲ့လျှင် ပြင်ဆင်ရန် နှင့် ကောင်းသည်ထက် ကောင်းအောင် ဖြည့်စွက်ရန်အတွက် အားပေး၊ တိုက်တွန်း ဆိုဆုံးမ လိုပါက kaung.htat.nyunt@gmail.com သို့ ဆက်သွယ်ပါ။

တောင့်တသမျှ ဆန္ဒတို့ ဖြစ်တည်ကြပါစေ။
ကောင်းထက်ညွှန်

ကောင်းထက်ညွန့်ကို အဖ ဦးကံညွန့် နှင့် အမိ ဒေါ်ကြင်ယု တို့မှ ၁၉၇၁ ခုနှစ်တွင် ဖွားမြင်ခဲ့သည်။ အ.မ.က(၅) ဒဂုံ၊ အ.ထ.က(၂) ဒဂုံ နှင့် အ.ထ.က(အေလာ) တို့တွင် ပညာသင်ကြားခဲ့သည်။ လယ်ဝေးမြို့ အခြေစိုက်ပညာ အထက်ကျောင်းမှ ၁၉၈၆ ခုနှစ်တွင် အထက်တန်းစာမေးပွဲကို ဖြေဆို အောင်မြင်ခဲ့သည်။

- ၁၉၈၇ ခုနှစ်တွင် ရန်ကုန်စက်မှုတက္ကသိုလ်(R.I.T) တက်ရောက်ခဲ့ပြီး ၁၉၉၅ ခုနှစ်တွင် စက်မှု အင်ဂျင်နီယာဘွဲ့ B.E (Mechanical) ရရှိခဲ့သည်။
- ၂၀၀၀ ခုနှစ်တွင် National University of Singapore မှ မဟာသိပ္ပံဘွဲ့ M.Sc (Mechanical Engineering) ရရှိခဲ့သည်။
- ၂၀၀၅ ခုနှစ်တွင် American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers အဖွဲ့ မှ Associate Member အဖြစ် လက်ခံခဲ့သည်။
- ၂၀၀၈ ခုနှစ်တွင် စင်ကာပူနိုင်ငံ Building & Construction Authority (BCA) မှ Green Mark Manager (GMM) အဖြစ် အသိအမှတ်ပြုခြင်း ခံရသည်။
- ၂၀၀၉ ခုနှစ်တွင် အမေရိကန်နိုင်ငံ Green Building Council (US GBC) မှ Leadership in Energy and Environmental Design Professional (LEED AP)အဖြစ် အသိအမှတ်ပြုခြင်း ခံရသည်။
- ၂၀၁၁ ခုနှစ်တွင် Professional Engineers Board Singapore မှ အသိအမှတ်ပြုသည့် Certified Data Center Professional လက်မှတ် ရရှိခဲ့သည်။
- ၂၀၁၂ ခုနှစ်တွင် စင်ကာပူနိုင်ငံ Building & Construction Authority (BCA) မှ Certified Green Mark Professional (GMP)အဖြစ် အသိအမှတ်ပြုခြင်း ခံရသည်။
- ၂၀၁၂ ခုနှစ်တွင် စင်ကာပူနိုင်ငံ National University of Singapore ၏ Energy Sustainability Unit မှ ပေးအပ်သည့် Singapore Certified Energy Manager (Professional Level) လက်မှတ် ရရှိခဲ့သည်။
- ၂၀၁၃ ခုနှစ်တွင် စင်ကာပူနိုင်ငံ Qualified Energy Services Specialist (formerly known as Key Qualified Person) အဖြစ် အသိအမှတ်ပြုခြင်း ခံရသည်။

လုပ်သက်(၁၅)နှစ် အတွင်း စင်ကာပူ၊ ထိုင်း နှင့် ဖိလစ်ပိုင် နိုင်ငံရှိ Chilled Water System ပေါင်း (၄၀)ကျော်ကို ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်း၊ ပြုပြင်မွမ်းမံခြင်း၊ Project Development လုပ်ခြင်း အတွေ့အကြုံကောင်းများ ရရှိခဲ့သည်။ Commercial Building ၊ Industrial Facility နှင့် Data Center (၂၀)ခုကျော် တို့ကို Energy Audit နှင့် Energy Project Development လုပ်ခဲ့ပြီး ဖြစ်သည်။

ထုတ်ဝေပြီး စာအုပ်များ

- (၁) Air Compressors and Compressed Air Systems (ဧပြီလ၊ ၂၀၁၃ ခုနှစ်)
- (၂) Air Conditioning and Mechanical Ventilation (Volume-One) (ဇူလိုင်လ၊ ၂၀၁၃)
- (၃) HVAC Controls and Building Automation Systems (နိုဝင်ဘာလ၊ ၂၀၁၃ ခုနှစ်)

ဆက်လက် ထုတ်ဝေမည့် စာအုပ်များ

- (က) Air Conditioning and Mechanical Ventilation - Volume Two (ဒီဇင်ဘာ၊ ၂၀၁၄)
- (ခ) Programmable Logic Controllers

CHILLERS AND CHILLED WATER SYSTEMS

မာတိကာ

Chapter-1 Introduction to Chilled Water Systems

- ၁.၁ What is heat? 1-1
 - ၁.၁.၁ အပူ(Heat)ကို တိုင်းတာသည့် ယူနစ်များ 1-2
- ၁.၂ Unit of Refrigeration 1-2
- ၁.၃ Sensible Heat 1-3
- ၁.၄ Air Conditioning System တစ်ခုကို ရွေးချယ်ခြင်း 1-4
- ၁.၅ Decentralized Cooling and Heating Systems 1-6
 - ၁.၅.၁ System Characteristics 1-6
 - ၁.၅.၂ Decentralized System များ၏ အားသာချက်များ (Advantages) 1-7
 - ၁.၅.၃ Decentralized System များ၏ အားနည်းချက်များ(Disadvantages) 1-8
- ၁.၆ Central Cooling and Heating Systems 1-8
 - ၁.၆.၁ System Characteristics 1-9
 - ၁.၆.၂ Central System များ၏ အားသာချက်များ(Advantages) 1-10
 - ၁.၆.၃ Central System များ၏ အားနည်းချက်များ(Disadvantages) 1-10
 - ၁.၆.၄ Central Plant နေရာ ရွေးချယ်ခြင်း 1-11
- ၁.၇ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရာတွင် အလေးပေးစဉ်းစားရမည့် အချက်များ(Design Considerations) 1-11
 - ၁.၇.၁ Cooling and Heating Loads 1-11
 - ၁.၇.၂ ဆူညံသံ(Noise) နှင့် တုန်ခါမှု(Vibration) 1-12
 - ၁.၇.၃ နေရာရွေးချယ်ခြင်း(Space Considerations) 1-12
 - ၁.၇.၄ Central Plant and Equipment ထားရှိမည့်နေရာ 1-13
- ၁.၈ Chilled Water System အမျိုးအစားများ 1-14
- ၁.၉ Overview of Chilled Water Plant Rooms 1-15
- ၁.၁၀ Circuit အခေါ်အဝေါ်များ (Naming of Circuit) 1-16
- ၁.၁၁ Chilled Water Distribution System သို့မဟုတ် Chilled Water Circuit/Loop 1-17
- ၁.၁၂ Condenser Water Loop သို့မဟုတ် Condenser Water Circuit 1-17
- ၁.၁၃ Air Distribution System (Circuit/Loop) 1-18

Chapter-2 Vapor Compression Fundamental

- ၂.၁ Refrigeration (Vapor Compression Cycle) အကြောင်း 2-2
 - ၂.၁.၂ Refrigeration 2-2
- ၂.၂ Refrigeration System တစ်ခု၏ အဓိက အစိတ်အပိုင်းများ 2-4
 - ၂.၂.၁ Vapor Compression Refrigeration Cycle တစ်ခု၏ Process များ 2-5
 - ၂.၂.၂ Principles of Refrigeration 2-6
 - ၂.၂.၃ Refrigeration cycle ၏ state များတွင် ဖြစ်ပေါ်နေမည့် အခြေအနေ 2-7
 - ၂.၂.၄ Pressure-enthalpy (P-h) chart 2-8
- ၂.၃ Refrigeration System တစ်ခု၏ အဓိက အစိတ်အပိုင်း(၄)မျိုး 2-11
 - ၂.၃.၁ Evaporators 2-11

၂.၃.၂ Compressors	2-11
၂.၃.၃ Condensers	2-11
၂.၃.၄ Expansion Devices	2-12
၂.၄ What Are Refrigerants?	2-13
၂.၅ Refrigeration System တစ်ခု အလုပ်လုပ်ပုံ	2-13
၂.၆ Low Pressure Side and High Pressure Side	2-14
၂.၇ Performance Of The Standard Vapor Compression Cycle	2-15
၂.၈ Actual Vapor Compression Cycle	2-16
၂.၉ Cycle Analysis and Calculations	2-16
၂.၁၀ Cycle with Subcooling and Superheat	2-19
၂.၁၁ Pressure–Enthalpy (P-h) ဖြင့် တွက်နည်း	2-22
Table A-11 Saturated Refirgerant R134a Temperature Table	2-30
Table A-11 Saturated Refirgerant R134a Temperature Table (Continued)	2-31
Table A-12 Saturated Refirgerant R134a Pressure Table	2-32
Table A-13 Superheated Refirgerant R134a Table	2-33
Table A-13 Superheated Refirgerant R134a Table (Continued)	2-34
Pressure–Enthalpy Diagram for HFC-134a (SI Units)	2-35
Pressure–Enthalpy Diagram for HFC-134a (English Units)	2-36

Chapter-3 Vapor Compression Cycle Theory and Calculation

၃.၁ Vapor Compression Refrigeration Cycle	3-1
၃.၂ Reversed Carnot Cycles	3-1
၃.၃ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycles	3-3
၃.၃.၁ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycles ရှင်းပြချက် (၁)	3-3
၃.၃.၂ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycles ရှင်းပြချက် (၂)	3-4
၃.၃.၃ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၁)	3-5
၃.၃.၄ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ (၂)	3-9
၃.၃.၅ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၃)	3-12
၃.၃.၆ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၄)	3-14
၃.၃.၇ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ (၅)	3-15
၃.၃.၈ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ (၆)	3-16
၃.၄ Ideal Cycles နှင့် Actual Cycles တို့၏ ကွာခြားချက်များ	3-17
၃.၅ Practical Considerations and COP	3-18
၃.၆ Refrigeration and Heat Pumps	3-20
၃.၇ Actual Vapor Compression Refrigeration Cycle	3-22
၃.၇.၁ Actual Vapor Compression Refrigeration Cycle	3-24
၃.၇.၂ Heat Rejection by A Refrigerator	3-25
၃.၇.၃ Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၁)	3-26
၃.၇.၄ Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ (၂)	3-27
၃.၇.၅ Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၃)	3-30
၃.၇.၆ Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၄)	3-31

၃.၇.၇ Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ (၅)	3-32
၃.၇.၈ Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၆)	3-34
၃.၇.၉ Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၇)	3-35
၃.၈ Cascade Refrigeration Cycles	3-36
၃.၈.၁ Compound Systems	3-39
၃.၉ လေ့ကျင့်ရန် ပုစ္ဆာများ	3-39
၃.၁၀ Problems	3-44

Chapter-4 Refrigerants

၄.၁ Refrigerant အမျိုးအစားများ	4-2
၄.၁.၁ ယနေ့တွင် အသုံးပြုနေသည့် Refrigerant အမျိုးအစားများ	4-2
၄.၁.၂ Halocarbon	4-2
၄.၁.၃ Azeotropic Refrigerants	4-3
၄.၁.၄ Zeotropic Refrigerants	4-3
၄.၁.၅ Organic compound	4-4
၄.၁.၆ Inorganic mixture	4-4
၄.၂ Refrigerant Color Codes	4-4
၄.၂.၁ CFCs ဓာတ်ငွေ့များ	4-4
၄.၂.၂ HCFCs ဓာတ်ငွေ့များ	4-5
၄.၂.၃ HFCs ဓာတ်ငွေ့များ	4-5
၄.၃ Refrigerant များ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ	4-7
၄.၄ Refrigerant များ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ နှိုင်းယှဉ်ချက်	4-10
၄.၅ Nomenclature	4-11
၄.၆ အသုံးများသည့် Refrigerant များ	4-13
၄.၆.၁ R-11 Trichloromonofluoromethane - CCL3F	4-14
၄.၆.၂ R-12 Dichlorodifluoromethane - CCL2F2	4-14
၄.၆.၃ R-22 Monochlorodifluoromethane - CHCLF2	4-14
၄.၆.၄ R-500 (R - 152 a + R - 12) (CCL2F2/CH3CHF2)	4-14
၄.၆.၅ R - 502 (R - 22 + R - 115) (CHCLF2/ CCL2CF3)	4-14
၄.၆.၆ R-744 (Carbondioxide CO2)	4-15
၄.၆.၇ R-717 (Ammonia -NH3)	4-15
၄.၆.၈ R134 a နှင့် R407C	4-15
၄.၆.၉ R407C	4-16
၄.၆.၁၀ R404A	4-16
၄.၆.၁၁ R290 Propane	4-16
၄.၆.၁၂ R744 (ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်(CO2))	4-16
၄.၆.၁၄ Sulfur Dioxide (SO2)	4-16
၄.၆.၁၅ R-718	4-16
၄.၇ Equivalent R-11 ၏ အဓိပ္ပာယ်	4-17
၄.၈ Virgin Refrigerant and Reconditioning Refrigerant	4-17
၄.၉ Selection of Refrigerants	4-17

၄.၁၀ မှန်ကန်သည့် Refrigerant ကို ရွေးချယ်ခြင်း (Selection of the Right Refrigerant)	4-19
၄.၁၁ Refrigerant - HFC-134a အကြောင်း	4-19
၄.၁၂ Positive Pressure Refrigerant	4-22
၄.၁၂.၁ Smaller Footprint (တပ်ဆင်ရန် နေရာ အနည်းငယ်သာ လိုအပ်ခြင်း)	4-22
၄.၁၂.၂ Less Oil Waste (လေလွင့်သည့် ချောဆီဗမာက နည်းခြင်း)	4-22
၄.၁၂.၃ Increased Safety (ဘေးအန္တရာယ် ကင်းဝေးခြင်း)	4-22
၄.၁၃ Refrigerant Safety Group	4-23
၄.၁၄ Safety Requirements	4-23
၄.၁၄.၁ အပူကြောင့် ဓာတ်ပြိုပြိုကွဲခြင်း (Thermal Decomposition)	4-24
၄.၁၄.၂ Leakage Detection	4-26
၄.၁၄.၃ ဘေးအန္တရာယ်ကင်းဝေးရေး(Safety)	4-26
၄.၁၅ မှန်လုံအိမ်အာနိသင် (Green House Effect)	4-27
၄.၁၆ အိုဇုန်းလွှာ(Ozone Layer)	4-28
၄.၁၆.၁ အိုဇုန်းလွှာ လျော့ပါးမှု(ODP)	4-30
၄.၁၇ ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်	4-31
၄.၁၈ ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်ညွှန်းကိန်း (UV Index)	4-32
၄.၁၈.၁ ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည် ညွှန်းကိန်း(UV Index) ၏ သမိုင်းအစ	4-33
၄.၁၈.၂ ကျရောက်နိုင်သည့် ဘေးအန္တရာယ်များ	4-33
၄.၁၉ ကုလသမဂ္ဂမှအရေးယူဆောင်ရွက်မှု	4-33
၄.၁၉.၁ လူအများအတွက် သတိပေးချက်များ ထုတ်ပြန်ခြင်း	4-34
၄.၂၀ မြန်မာနိုင်ငံ၏ ဆောင်ရွက်မှုများ	4-35
၄.၂၁ အိုဇုန်းလွှာ မူလအတိုင်း ပြန်လည်ဖြစ်လာနိုင်မည်ဟု ကုလသမဂ္ဂအတည်ပြု	4-35

Chapter-5 Heat Exchangers

၅.၁ အခြေခံသဘောတရားများ (Fundamentals)	5-2
၅.၂ Heat Exchanger အမျိုးအစားများ	5-3
၅.၂.၁ Shell and Tube Heat Exchangers	5-3
၅.၂.၂ Plate Heat Exchangers	5-4
၅.၃ Heat Exchanger များ၏ အစိတ်အပိုင်းများ (Components)	5-6
၅.၃.၁ Shell and Tube Components	5-6
၅.၃.၂ Plate Heat Exchanger Component များ	5-7
၅.၄ အသုံးပြုပုံ(Application)	5-8
၅.၅ ရွေးချယ်ရန် အချက်အလက်များ (Selection Criteria)	5-8
၅.၅.၁ Thermal/Mechanical Design	5-9
၅.၅.၂ Thermal Performance	5-9
၅.၅.၃ Thermal Stress ဖြစ်ပေါ်ခြင်း	5-9
၅.၅.၄ ဖိအားကျဆင်းမှု (Pressure Drop)	5-9
၅.၅.၅ Fouling ဖြစ်ပေါ်ခြင်း	5-9
၅.၅.၆ ကုန်ကျစရိတ်(Cost)	5-10
၅.၅.၇ Serviceability	5-10
၅.၅.၈ တပ်ဆင်ရန် နေရာ လိုအပ်ချက် (Space Requirements)	5-10

၅.၅.၉ Steam	5-10
၅.၆ တပ်ဆင်ခြင်း(Installation)	5-10
၅.၆.၁ Control လုပ်ခြင်း	5-10
၅.၆.၂ Piping	5-10
၅.၆.၃ Pressure Relief	5-10
၅.၆.၄ Flow Path	5-11
၅.၆.၅ Condensate Removal	5-11
၅.၆.၆ Insulation	5-11
၅.၇ မဝယ်ယူမီ ကြိုတင် စဉ်းစားရမည့် အချက်(၇)ချက်	5-11
၅.၇.၁ Heat Exchanger Tube Diameter	5-11
၅.၇.၂ Thickness of the Tube	5-11
၅.၇.၃ Heat Exchanger Shell Diameter and Tube Length	5-11
၅.၇.၄ Tube Corrugation	5-11
၅.၇.၅ Tube Layout	5-12
၅.၇.၆ Tube Pitch	5-12
၅.၇.၇ Heat Exchanger Baffles	5-12

Chapter-6 Overview of Chillers

၆.၁ Chiller အမျိုးအစားများ	6-1
၆.၁.၁ Vapor Compression Chiller Versus Absorption Chiller	6-2
၆.၁.၂ Electric Chillers Vs Non-electric Chillers	6-2
၆.၁.၃ Engine Drive Chillers	6-3
၆.၁.၄ Steam Turbine Driven Chillers	6-3
၆.၁.၅ Air Cooled Versus Water Cooled	6-3
၆.၁.၆ Gear Drive Versus Direct Drive	6-6
၆.၁.၇ Open Drive Versus Hermetic	6-6
၆.၁.၈ Fixed Orifice Versus Float Valve	6-6
၆.၁.၉ Falling Film Evaporator Versus Flooded Evaporator	6-7
၆.၂ Factors Affecting Performance of Refrigeration Systems	6-7
၆.၂.၁ Evaporating and Condensing Temperatures	6-7
၆.၂.၂ Effect of Condenser and Evaporator on System Efficiency	6-8
၆.၂.၃ Operating Speeds	6-8
၆.၂.၄ Chiller အမျိုးမျိုးတို့၏ Coefficient of Performance (COP)	6-9
၆.၂.၅ Surge ဖြစ်ခြင်း	6-9
၆.၂.၆ ယုံကြည်စိတ်ချရမှု(Reliability) နှင့် ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းမှု (Maintenance)	6-9
၆.၂.၇ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ကုန်ကျစရိတ် နှင့် သက်ဆိုင်သည့်အချက်များ	6-10
၆.၂.၈ တပ်ဆင်ထားသည့်နေရာတွင် ပြုပြင်နိုင်မှု(Field Serviceability)	6-10
၆.၂.၉ အပိုပစ္စည်း ရရှိနိုင်မှု(Stock Availability of Spares)	6-10
၆.၂.၁၀ Performance Specifications:	6-10
၆.၃ Refrigeration Chiller လေးမျိုးကို နှိုင်းယှဉ်ခြင်း	6-11
၆.၄ Positive Pressure Machine (R134a) နှင့် Negative Pressure Machine (R 123 Chiller)	6-12

၆.၅ Chiller ဝယ်ယူခြင်း	6-14
၆.၅.၁ Defining Chiller Performance Requirement	6-14
၆.၅.၂ Economic Evaluation of Chiller Systems	6-15
၆.၅.၃ စဉ်းကုန်ကျစရိတ် (First Cost)	6-16
၆.၅.၄ နှစ်စဉ် ကုန်ကျစရိတ် (Annual Recurring Costs)	6-16
၆.၅.၅ Procurement Strategies	6-17

Chapter-7 Condensers and Evaporators

၇.၁ Heat Rejection	7-1
၇.၂ Condenser	7-2
၇.၂.၁ Condenser အမျိုးအစားများ	7-3
၇.၃ Water Cooled Condensers	7-4
၇.၄ Air Cooled Condensers	7-6
၇.၄.၁ Air Cooled Condenser များ၏ အားသာချက်များ(Advantages)	7-7
၇.၄.၂ Air Cooled Condenser များ၏ အားနည်းချက်များ(Disadvantages)	7-7
၇.၄.၃ Application ၊ Selection and Maintenance of Remote Air Cooled Condensers	7-7
၇.၄.၄ Air Cooled Condenser Controls	7-8
၇.၅ Evaporative condenser	7-9
၇.၅.၁ Basic Operating Principles	7-9
၇.၅.၂ Common Configurations of Condenser	7-9
၇.၅.၃ Forced-Draft, Axial Fan Condensers	7-9
၇.၅.၄ Induced Draft, Axial Fan Condensers	7-10
၇.၅.၅ Forced Draft, Centrifugal Fan Condensers	7-10
၇.၆ Evaporative Cooling	7-10
၇.၆.၁ Evaporative Condensers	7-11
၇.၆.၂ Cooling Towers	7-12
၇.၆.၃ Water Cooling	7-13
၇.၆.၄ Capacity Control	7-13
၇.၆.၅ Capacity Ratings	7-14
၇.၇ Methods of Refrigerant Feed	7-14
၇.၇.၁ Gravity Feed Operation	7-14
၇.၇.၂ Recirculated သို့မဟုတ် Overfeed	7-15
၇.၇.၃ Flooded Evaporator	7-15
၇.၇.၄ Direct Expansion (DX)	7-17
၇.၈ Evaporator	7-18
၇.၈.၁ Evaporator အမျိုးအစားများ	7-19
၇.၈.၂ Dry Expansion Type	7-21
၇.၈.၃ Forced Through Type Evaporators	7-21
၇.၈.၄ Pump Circulation Type Evaporators	7-21
၇.၉ Evaporator	7-18
၇.၉.၁ Evaporator အမျိုးအစားများ	7-19

၇.၈.၂ Dry Expansion Type	7-21
၇.၈.၃ Forced Through Type Evaporators	7-21
၇.၈.၄ Pump Circulation Type Evaporators	7-21
၇.၉ Evaporator Fan Liquid Cooling	7-21
၇.၁၀ Types of Refrigeration Evaporators	7-22
၇.၁၀.၁ Evaporator များ တည်ဆောက်ထားပုံကို အခြေခံ၍ အမျိုးအစားခွဲခြားခြင်း	7-22
၇.၁၀.၂ Bare Tube Evaporators	7-23
၇.၁၀.၃ Plate Type Evaporators	7-23
၇.၁၀.၄ Finned Evaporators	7-23
၇.၁၀.၅ Shell and Tube Evaporators	7-24
၇.၁၁ Condenser Small Temperature Difference	7-24
၇.၁၁.၁ Condenser Approach Temperature	7-25
၇.၁၁.၂ Evaporator Approach Temperature	7-26
၇.၁၂ Water Box Design Pressure	7-27

Chapter-8 Capacity Control of Refrigeration Systems

၈.၁ Compressor Control ၊ Chiller Control and Chilled Water Plant Control	8-1
၈.၁.၁ Individual Compressor Capacity Control	8-1
၈.၁.၂ Individual Chiller Control	8-3
၈.၁.၃ Chilled Water Plant Control	8-4
၈.၁.၄ Capacity Control for Varying Loads to Provide Better Efficiency	8-5
၈.၁.၅ Refrigerant Flow Control	8-6
၈.၂ Refrigerant Control Devices	8-6
၈.၂.၁ Hand Expansion Valve	8-7
၈.၂.၂ Constant Pressure Expansion Valves သို့မဟုတ် Automatic Expansion Valve (AEV)	8-8
၈.၂.၃ Thermostatic Expansion Valves (TEV)	8-10
၈.၂.၄ Thermal Electric Expansion Valve သို့မဟုတ် Electric Expansion Valve	8-13
၈.၂.၅ Electronic Expansion Valves	8-13
၈.၂.၆ Capillary Tubes	8-14
၈.၂.၇ Capillary Tubes and Restrictor	8-16
၈.၂.၈ Float Valves	8-17
၈.၂.၉ Low Pressure Side Float Valve	8-17
၈.၂.၁၀ Lower Pressure Float Valve and Switch	8-18
၈.၂.၁၁ High Pressure Side Float	8-19
၈.၂.၁၂ High Pressure Float Valves	8-20
၈.၃ Safety Controls	8-21
၈.၃.၁ Safety Cutouts	8-22
၈.၃.၂ Interlocks	8-22
၈.၃.၃ Chiller Control Load Limitation Control	8-23

Chapter-9 Refrigeration Compressors

၉.၁ Positive-Displacement Compressors	9-3
၉.၂ Dynamic Compressors	9-4
၉.၂.၁ Centrifugal Compressors Function Based on Principles	9-4
၉.၃ Open Compressors ၊ Hermetic Compressors နှင့် Semi-hermetic Compressors	9-4
၉.၃.၁ Open Compressors	9-4
၉.၃.၂ Hermetic Compressors	9-5
၉.၃.၃ Semi-hermetic Compressors	9-6
၉.၄ Performance	9-7
၉.၅ Ideal Compressor	9-8
၉.၆ Actual Compressor	9-9
၉.၇ Volumetric Efficiency	9-10
၉.၈ Compressor Efficiency ၊ Subcooling နှင့် Superheating	9-11
၉.၉ Total Heat Rejection	9-12
၉.၁၀ Compressor Protection	9-13
၉.၁၁ Testing and Operating Requirements	9-16
၉.၁၂ Compressor Selection Criteria	9-18
၉.၁၃ Comparison Between Four Common Type of Refrigeration Compressors	9-19

Chapter-10 Auxiliary Devices

၁၀.၁ Control Devices	10-1
၁၀.၂ Receivers	10-1
၁၀.၃ Filter Dryers	10-3
၁၀.၃.၁ Dryers	10-4
၁၀.၄ Accumulators	10-4
၁၀.၅ Injection Capillary	10-5
၁၀.၆ Low Pressure Control Valves	10-6
၁၀.၇ Distributors	10-6
၁၀.၈ Suction to Liquid Heat Exchangers or Gas/Liquid Heat Exchangers	10-6
၁၀.၉ Pre-coolers	10-7
၁၀.၁၀ Mufflers	10-7
၁၀.၁၁ Solenoid Valves	10-7
၁၀.၁၂ Check Valves	10-8
၁၀.၁၄ Service Valves	10-9
၁၀.၁၅ Expansion Valve (Bypass)	10-9
၁၀.၁၆ Vapor Charging Valves	10-9
၁၀.၁၇ Liquid Charging Valves	10-9
၁၀.၁၈ Purge Valves	10-9
၁၀.၁၉ Suction Strainers	10-9
၁၀.၂၀ Liquid Sight Glass	10-10
၁၀.၂၁ Oil Separators	10-10

ကောင်းထက်ညွန့်	မာတိကာ
၁၀.၂၂ Oil Rectifiers	10-11
၁၀.၂၃ Oil Coolers	10-11
၁၀.၂၄ Purge Units	10-11
၁၀.၂၅ Vibration Absorbers	10-12
၁၀.၂၆ Crankcase Heaters	10-12
၁၀.၂၇ Relief Valves	10-12
၁၀.၂၈ Safety Devices (Pressure Switch)	10-13
၁၀.၂၉ High Pressure Switch (HPS)	10-13
၁၀.၃၀ Low Pressure Switch (LPS)	10-14
၁၀.၃၁ Condenser Pressure Regulators	10-14
၁၀.၃၂ Oil Pressure Switches (OPS)	10-14
၁၀.၃၃ Fusible Plugs	10-15
၁၀.၃၄ Safety Valves or Relief Valves	10-15

Chapter-11 Chiller Starters

၁၁.၁ Chiller Starters	11-1
၁၁.၁.၁ တပ်ဆင်ရာသည့် ရည်ရွယ်ချက်များ (Purpose of Starters)	11-1
၁၁.၁.၂ Starter နှင့် Drive အမျိုးအစားများ	11-4
၁၁.၃ Electro-Mechanical Starters	11-5
၁၁.၃.၁ Across the Line Starter (ACL) သို့မဟုတ် Direct On Line(DOL)	11-5
၁၁.၃.၂ Star-Delta သို့မဟုတ် Wye-Delta Starter (Closed Transition)	11-6
၁၁.၃.၃ Auto Transformer Starters(ATS)	11-7
၁၁.၄ Electronic Solid State Starters	11-8
၁၁.၄.၁ Electronic Solid State Starters Overview	11-8
၁၁.၄.၂ Electronic Solid State Starters Starting Current Profile	11-10
၁၁.၄.၃ Electronic Solid State Starters Benefits	11-10
၁၁.၄.၄ Electronic Solid State Starter Recommendations	11-11
၁၁.၅ Variable Speed Drive(VSD)	11-11
၁၁.၅.၁ Variable Speed Drive တပ်ဆင်ရာသည့် ရည်ရွယ်ချက်များ	11-11
၁၁.၅.၂ VSD Starting Profile	11-14
၁၁.၅.၃ Variable Speed Drive Benefits	11-15
၁၁.၆ Demand Charge	11-16
၁၁.၆.၁ Demand Limiter	11-17
၁၁.၇ Motor Torque Speed Curves	11-17
၁၁.၈ Safety Controls ၊ Accessories and Options	11-18
၁၁.၈.၁ "Starter – Low Supply Line Voltage"	11-18
၁၁.၈.၂ "Starter – High Supply Line Voltage"	11-19
၁၁.၈.၃ Safety Controls	11-19

Chapter-12 Oil in Refrigerant Circuits

၁၂.၁ နိဒါန်း	12-1
၁၂.၁.၁ Oil in Refrigeration System	12-2
၁၂.၁.၂ General Classification of Oils	12-2
၁၂.၂ Requirements and Characteristics	12-2
၁၂.၃ ရေခိုးရေငွေ နှင့် လေထဲရှိ အညစ်အကြေးများ(Moisture and Air Contamination)	12-5
၁၂.၄ Oil Separators	12-7
၁၂.၅ Oil Circulation	12-8
၁၂.၆ Lubricating Oils and Their Effects	12-9
၁၂.၇ Oil System for Compressor	12-11
၁၂.၇.၁ Reciprocating Compressors	12-11
၁၂.၇.၂ Rotary Compressors	12-11
၁၂.၇.၃ Centrifugal Compressors	12-11
၁၂.၇.၄ Helical Screw Compressors	12-11
၁၂.၇.၅ Scroll Compressors	12-11
၁၂.၈ Promoting Oil Return	12-12

Chapter-13 Reciprocating Compressors and Chillers

၁၃.၁ Introduction	13-1
၁၃.၂ တည်ဆောက်ပုံ(၃)မျိုး	13-2
၁၃.၂.၁ Enclosed Motor သို့မဟုတ် Hermetic Compressors	13-3
၁၃.၂.၂ Semi-Hermetic Compressors	13-5
၁၃.၂.၃ Open Compressors	13-5
၁၃.၃ Reciprocating Refrigeration System Components and Accessories	13-6
၁၃.၃.၁ Cylinder and Cylinder Arrangement	13-6
၁၃.၃.၂ Arrangement	13-7
၁၃.၃.၃ Piston and Piston Ring	13-7
၁၃.၃.၄ Cylinder Block and Piston	13-8
၁၃.၃.၅ Connection Rods	13-8
၁၃.၃.၆ Valves and Valve Plates	13-10
၁၃.၃.၇ Crankshaft	13-10
၁၃.၃.၈ Crankshaft Seal	13-10
၁၃.၃.၉ Suction and Discharge Valves	13-11
၁၃.၃.၁၀ Crankcase Heater	13-11
၁၃.၃.၁၁ Liquid Receiver	13-11
၁၃.၃.၁၂ Liquid Suction Heat Exchanger (LSHE)	13-12
၁၃.၃.၁၃ Filter Dryer and Strainer	13-13
၁၃.၃.၁၄ Reed Valve Plate	13-14
၁၃.၃.၁၅ Service Valves	13-15
၁၃.၄ အလုပ်လုပ်ပုံ (Compression Process)	13-16
၁၃.၄.၁ Clearance Area	13-19

၁၃.၄.၂ Multi- Cylinder Compressors	13-19
၁၃.၄.၃ Cooling and Protection	13-20
၁၃.၅ Compressor Efficiency	13-22
၁၃.၆ Reciprocating Chiller	13-23
၁၃.၅ Compressor Efficiency	13-22
၁၃.၆.၁ Types of Reciprocating Refrigeration Systems	13-25
၁၃.၆.၂ Liquid Overfeed Reciprocating Refrigeration Systems	13-27
၁၃.၆.၃ Real Cycle of a Single-Stage Reciprocating Refrigeration System	13-28
၁၃.၇ Reciprocating Refrigeration System Oil Lubrication	13-28
၁၃.၇.၁ Strainers ၊ Lubrication and Crankcase Heater	13-29
၁၃.၈ Capacity Control of Reciprocating Compressors	13-29
၁၃.၈.၁ Cycling (on/off) With or Without Multiple Compressors	13-30
၁၃.၈.၂ Cylinder Unloader နည်း	13-31
၁၃.၈.၃ Hot gas bypass နည်း	13-32
၁၃.၈.၄ Speed Control နည်း	13-33
၁၃.၈.၅ Return Water Control နှင့် Leaving Water Control	13-33
၁၃.၉ Reciprocating Compressor Startup Sequence	13-33
၁၃.၁၀ Reciprocating Refrigeration Systems Testing Standards	13-34

Chapter-14 Screw Compressors and Chillers

၁၄.၁ Screw Compressors	14-1
၁၄.၁.၁ Single Screw Compressors	14-2
၁၄.၁.၂ Twin Screw Compressors	14-4
၁၄.၂ Screw Chillers	14-5
၁၄.၃ Screw Chiller Refrigerant Circuit	14-8
၁၄.၄ Screw Compressor အလုပ်လုပ်ပုံ	14-8
၁၄.၅ Capacity Control	14-12
၁၄.၅.၁ Slide Valve	14-14
၁၄.၅.၂ VSD Controls	14-15
၁၄.၆ Oil System	14-15
၁၄.၇ Power Up to Starting	14-17
၁၄.၇.၁ Trane RTHD screw chiller Power Up to Starting	14-18
၁၄.၇.၂ Stopped to Starting	14-18
၁၄.၇.၃ Normal Shutdown to Stopped	14-18
၁၄.၈ 23XRV Water Cooled Screw Compressor (VSD)	14-20
၁၄.၉ Air Cooled VSD Screw Chillers	14-22

Chapter-15 Centrifugal Compressors and Chillers

၁၅.၁ Dynamic Compressors	15-1
၁၅.၂ Centrifugal Compressors	15-3
၁၅.၂.၁ Centrifugal Compressor Theory	15-8

၁၅.၂.၂ Centrifugal Chiller အမျိုးအစားများ	15-10
၁၅.၃ System Components	15-10
၁၅.၃.၁ Evaporator	15-10
၁၅.၃.၂ Condenser	15-10
၁၅.၃.၃ Vessel Pass Arrangements	15-10
၁၅.၃.၄ Flash Cooler	15-11
၁၅.၃.၅ Orifice Plates or Float Valves	15-11
၁၅.၃.၆ Variable Orifice	15-12
၁၅.၃.၇ Purge Unit	15-12
၁၅.၄ Water Cooled Centrifugal Chiller အလုပ်လုပ်ပုံ	15-14
၁၅.၅ Performance Rating Conditions	15-15
၁၅.၆ Centrifugal Compressor Performance Map	15-17
၁၅.၆.၁ Centrifugal Compressor Map at Variable Speed	15-17
၁၅.၆.၂ Velocity Components	15-19
၁၅.၇ Surge of Centrifugal Compressors	15-19
၁၅.၇.၁ Two-Stage Compressors Surge Less and Later	15-21
၁၅.၇.၂ Prevention of Surge	15-22
၁၅.၇.၃ Rotating stall and Surge of Centrifugal Chillers	15-22
၁၅.၇.၄ Impeller and Vane Diffuser Stall	15-23
၁၅.၇.၅ Vane Less Diffuser Stall	15-23
၁၅.၇.၆ Compressor Surge and Stall	15-23
၁၅.၈ Capacity Control of Centrifugal Chillers	15-25
၁၅.၈.၁ Required System Head at Part-Load Operation	15-27
၁၅.၈.၂ Capacity Control Using Inlet Vanes	15-27
၁၅.၈.၃ Inlet Guide Vane (Pre-Rotation Vane)	15-28
၁၅.၈.၄ Capacity Control by Variable Speed	15-29
၁၅.၈.၅ Comparison Between Inlet Guide Vanes and Variable Speed	15-30
၁၅.၉ Oil System	15-30
၁၅.၁၀ Functional Controls and Optimizing Controls	15-31
၁၅.၁၀.၁ Chilled Water Leaving Temperature Control	15-31
၁၅.၁၀.၂ Condenser Water Temperature Control	15-32
၁၅.၁၁ Sequence of Operation of A Typical Centrifugal Chiller	15-32
၁၅.၁၂ System Balance at Full Load	15-33
၁၅.၁၂.၁ Evaporating and Condensing Temperatures at Part-Load Operation	15-33
၁၅.၁၃ Typical 19XR Components	15-35
၁၅.၁၄ Turbo Compressors	15-41

Chapter-16 Scroll Compressors and Chillers

၁၆.၁ Rotary Compressors	16-1
၁၆.၂ Scroll Compressors	16-2
၁၆.၃ Scroll Compressor တည်ဆောက်ပုံ	16-5

၁၆.၄ အလုပ်လုပ်ပုံ	16-6
၁၆.၅ Two Step Capacity Control for Scroll Compressors	16-8
၁၆.၆ Scroll Compressor ၏ အားသာချက်များ(Advantages)	16-9
၁၆.၇ Sliding and Rotary Vane Compressor	16-10
၁၆.၇.၁ အားသာချက်များ(Advantages) နှင့် အားနည်းချက်များ(Disadvantages)	16-11
၁၆.၇.၂ Capacity Control	16-12

Chapter-17 Chilled Water System Configurations

၁၇.၁ Chilled Water Plant Basics	17-1
၁၇.၁.၁ Chilled Water Temperatures	17-1
၁၇.၁.၂ Effect of Chilled Water Temperature	17-2
၁၇.၁.၃ Effect of Chilled Water Flow Rate	17-2
၁၇.၁.၄ Condenser Water Temperature	17-2
၁၇.၁.၅ Effect of Condenser Water Temperature	17-2
၁၇.၁.၇ Effect of Condenser Water Flow Rate	17-2
၁၇.၁.၈ Chilled Water and Condenser Water Flow Rates	17-3
၁၇.၁.၁၀ Chilled Water Temperatures	17-1
၁၇.၂ Single Chiller System	17-3
၁၇.၂.၁ Single Chiller System Advantages and Disadvantages	17-4
၁၇.၃ Multiple Chiller System	17-4
၁၇.၄ Parallel Chillers System	17-5
၁၇.၅ Primary Only System	17-5
၁၇.၅.၁ Primary Only System with Common Header	17-6
၁၇.၅.၂ Primary Only System with Dedicated Pump	17-9
၁၇.၅.၃ Primary-Only System ၏ အားသာချက်များ နှင့် အားနည်းချက်များ	17-9
၁၇.၆ Primary - Secondary System	17-10
၁၇.၆.၁ Dedicated Pump and Manifold Pump (Common Header)	17-10
၁၇.၆.၂ Dedicated Pumps at Production Loop or Primary Chilled Water Circuit/Loop	17-12
၁၇.၆.၃ Bypass Line သို့မဟုတ် Decouple Line sizing	17-13
၁၇.၆.၄ Bypass Control Problems	17-14
၁၇.၆.၅ Production Loop/Circuit သို့မဟုတ် Primary Loop/Circuit	17-15
၁၇.၆.၆ Secondary Loop Flow Control	17-16
၁၇.၆.၇ Secondary (Demand) Flow နှင့် Primary (Supply) Flow တို့ တူညီသည့် ဥပမာ	17-20
၁၇.၆.၈ Secondary (Supply) Flow သည် Primary (Demand) Flow ထက် ပိုများသည့် ဥပမာ	17-20
၁၇.၆.၉ Secondary (Supply) Flow သည် Primary (Demand) Flow ထက် ပိုနည်းသည့် ဥပမာ	17-22
၁၇.၆.၁၀ Primary-secondary system ၏ အားသာချက်များ	17-22
၁၇.၆.၁၁ Primary/Secondary System များ၏ အားနည်းချက်များ(Disadvantages)	17-23
၁၇.၇ Variable Flow Primary	17-24
၁၇.၇.၁ Variable Primary Flow Only (VPF) Advantages	17-25
၁၇.၇.၂ Variable Primary Flow Only (VPF) Disadvantages	17-26
၁၇.၈ Condenser Water Circuit	17-26

၁၇.၈.၁ Refrigerant Head Pressure Control	17-27
၁၇.၈.၂ Low head pressure ပြဿနာ မဖြစ်ပေါ်အောင် ရှောင်ကြဉ်ရမည့် အခြေအနေများ	17-28
၁၇.၉ Low Delta – T Syndrome	17-29
၁၇.၉.၁ Low Delta-T (ΔT) Syndrome ၏ ဆိုးကျိုးများ	17-29
၁၇.၉.၂ Chiller Performance ပိုကောင်းစေနိုင်သည့် နည်းလမ်းများ	17-30
၁၇.၁၀ Series Chiller System	17-30
၁၇.၁၀.၁ Advantages and Disadvantages of Series Chillers	17-31
၁၇.၁၀.၂ Series Counter Flow	17-31
၁၇.၁၁ Chiller Staging	17-32

Chapter - 18 Chillers Performance Rating

၁၈.၁ Chiller Efficiency	18-1
၁၈.၁.၁ kW/RT	18-2
၁၈.၁.၂ Coefficient of Performance (COP)	18-2
၁၈.၁.၃ Energy Efficiency Ratio (EER)	18-3
၁၈.၂ Integrated Part Load Value (IPLV) နှင့် Non Standard Part Load Value (NPLV)	18-4
၁၈.၃ Performance Characteristics and Efficiency Ratings	18-5
၁၈. ၃.၁ Performance Issues	18-5
၁၈.၄ Chiller Efficiency Ratings	18-6
၁၈.၅ Cooling Capacity Formulae	18-7
၁၈.၆ AHRI Conditions Vs Low Flow Conditions	18-8
၁၈.၇ ASHRAE/IESNA Standard 90.1.2004	18-10
၁၈.၈ Air Conditioning Codes & Standards in Singapore	18-11
၁၈.၉ International Air Conditioning Codes & Standards	18-11

Chapter-19 Design Processes and Chillers Selection

၁၉.၁ Plant အသစ်တစ်ခုအား ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်း	19-1
၁၉.၁.၁ Determine Requirements	19-1
၁၉.၁.၂ ဒီဇိုင်းလုပ်နည်းအဆင့်ဆင့် (Design Processes)	19-1
၁၉.၂ အဆောက်အဦအသစ်အတွက် Chiller အရွယ်အစားရွေးချယ်ခြင်း (Chiller Sizing)	19-4
၁၉.၂.၁ Chiller Plant Design Consideration သို့မဟုတ် Chiller Selection	19-5
၁၉.၂.၂ Chiller Selection – Chiller Sizing (Chiller အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း)	19-6
၁၉.၃ လက်ရှိ အဆောက်အဦတစ်ခုတွင် လဲလှယ်တပ်ဆင်ရန် chiller အရွယ်အစားရွေးချယ်ခြင်း	19-7
၁၉.၃.၁ Chiller Plant Retrofit Considerations	19-7
၁၉.၃.၂ Peak Load သို့မဟုတ် Maximum Load	19-8
၁၉.၃.၃ Off Peak Load	19-8
၁၉.၃.၄ Night load	19-9
၁၉.၃.၅ Weekend load	19-9
၁၉.၄ Water Cooled Chiller ရွေးချယ်ခြင်း	19-10
၉.၅.၁ Cooling Load လိုအပ်ချက်အရ Chiller အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း	19-11
၁၉.၆ Water Cooled Centrifugal Chiller ၏ Technical Data များ	19-13

၁၉.၇ Summary of design considerations for refrigeration systems

19-15

Chapter-20 Efficiency and Energy Saving

၂၀.၁ Chiller Efficiencies 20-1

 ၂၀.၁.၁ Chiller Efficiency ကျဆင်းရသည့် အကြောင်းများ 20-1

 ၂၀.၁.၂ စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည့် နည်းလမ်းများ (Potential Energy Efficiency Measures) 20-1

၂၀.၂ Single Stage Chiller 20-6

၂၀.၃ Low Delta T ဖြစ်ပေါ်စေသည့် အဓိက အကြောင်းများ (Major Causes) 20-7

 ၂၀.၃.၁ Chilled Water – Low Delta T Syndrome 20-7

၂၀.၄ Energy Efficiency 20-9

၂၀.၅ Chiller Efficiency ကောင်းစေမည့် နည်းများ 20-13

 ၂၀.၅.၁ Chilled Water Reset 20-13

 ၂၀.၅.၂ Chiller အတွင်း၌ မှန်ကန်သည့် Refrigerant ပမာဏ ထည့်သွင်းထားခြင်း 20-14

 ၂၀.၅.၃ Refrigerant လိုစိမ့်မှု (Leak) မရှိအောင် ပြုလုပ်ခြင်း 20-15

 ၂၀.၅.၄ Supply Temperature ကို မြှင့်တင်ခြင်း 20-15

၂၀.၆ Efficiency နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်များ 20-16

Chapter-21 Servicing and Maintenance

၂၁.၁ Pressure Testing 21-1

၂၁.၂ Vacuum Drawing သို့မဟုတ် System Evacuation 21-2

၂၁.၃ System အတွင်းသို့ Refrigerant ထည့်သွင်းနည်းများ (Methods of Charging) 21-3

 ၂၁.၃.၁ Superheat Method 21-3

 ၂၁.၃.၂ Subcooling Method 21-3

 ၂၁.၃.၃ (က) အငွေ့အနေဖြင့် ထည့်သွင်းခြင်း (Vapor Charging) 21-4

 ၂၁.၃.၄ (ခ) အရည်အနေဖြင့် ထည့်သွင်းခြင်း(Liquid Charging) 21-5

 ၂၁.၃.၅ (ဂ) အလေးချိန်တိုင်း၍ Refrigerant ထည့်သွင်းခြင်း(Charging by Weight) 21-7

၂၁.၃.၆ Trouble-Shooting of Charge Conditions 21-8

၂၁.၃.၇ System အတွင်းမှ Refrigerant များ ထုတ်ယူခြင်း 21-9

၂၁.၃.၈ လိုစိမ့်မှုရှာဖွေခြင်း (Leak Detection) 21-9

၂၁.၄ Chiller Commissioning 21-10

 ၂၁.၄.၁ Chiller Pre-Commissioning Check Procedure 21-11

 ၂၁.၄.၂ Pre-Commissioning Checks 21-11

၂၁.၅ Chiller Testing and Commissioning 21-12

 ၂၁.၅.၁ Commissioning Procedure 21-12

၂၁.၆ Start Up Report 21-14

၂၁.၇ Maintenance Requirements for Chillers (Regularly Scheduled Maintenance) 21-15

 ၂၁.၇.၁ Recommended Chiller Monitoring Points 21-16

 ၂၁.၇.၂ Periodic Maintenance Chiller Log 21-17

 ၂၁.၇.၃ Maintenance Requirements for YK Chiller 21-18

 ၂၁.၇.၄ Maintenance Requirements for YT Chiller 21-19

 ၂၁.၇.၅ Maintenance Requirements for YR Chiller 21-20

၂၁.၇.၆ Maintenance Requirements for YS Chiller	21-21
၂၁.၇.၇ Maintenance Schedule	21-22
၂၁.၇.၈ Tube Cleaning	21-22
၂၁.၇.၉ Annual Shutdown	21-22
၂၁.၈ Long Term Maintenance	21-23
၂၁.၉ Overhaul လုပ်ခြင်း	21-23
၂၁.၁၀ Troubleshooting	21-24
၂၁.၁၀.၁ Detecting and Correcting Problems	21-24
၂၁.၁၀.၂ Trouble Diagnosis Chart	21-27

Chapter-22 Water Treatment

၂၂.၁ Closed Loop Chiller Water System	22-2
၂၂.၁.၁ Heat Transfer Coefficient vs. Fouling	22-2
၂၂.၂ Open Loop Condenser Water System	22-4
၂၂.၂.၁ Scale Formation	22-4
၂၂.၂.၂ Inside Corrosion	22-4
၂၂.၂.၃ Fouling	22-4
၂၂.၂.၄ Biological Fouling	22-5
၂၂.၂.၅ Microbiological Controls	22-5
၂၂.၂.၆ Corrosion Rate Controls	22-6
၂၂.၂.၇ Water Quality Parameter Controls	22-6
၂၂.၂.၈ ကုန်ကျစရိတ်(Cost)	22-7
၂၂.၃ Water Treatment for Chilled Water	22-7
၂၂.၄ Chemical Treatment and Cleaning	22-8
၂၂.၅ Makeup Water	22-9

-End-

Chapter-1 Introduction to Chilled Water Systems

၁.၁ What is heat?

အပူ(heat) ဆိုသည်မှာ အပူချိန်(temperature) မြင့်သည့်နေရာမှ အပူချိန်(temperature) နိမ့်သည် နေရာသို့ အလိုအလျောက် စီးဆင်း(transfer) သွားသည့် စွမ်းအင်ပုံစံ(form of energy) တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ အပူချိန် (temperature)ဆိုသည်မှာ အရာဝတ္ထုတစ်ခု သို့မဟုတ် ခြပ်တစ်ခု၏ အပူကြောင့်ဖြစ်သော လှုပ်ရှားမှု(thermal activity)ကို ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။

အပူသည် စွမ်းအင်ပုံစံ(form of energy) တစ်မျိုးဖြစ်သည်။ အပူပမာဏ(quantity)နှင့် စုစည်းမှုအား သို့မဟုတ် ပြင်းအား(intensity)သည် အမျိုးမျိုး ကွဲပြားနိုင်သည်။ အပူစွမ်းအင်(heat energy)ကို ပြုလုပ်၍ မရနိုင်။ ဖျောက်ဖျက်၍လည်း မရနိုင်ပေ။ စွမ်းအင်ပုံစံ(form of energy) တစ်မျိုးမှ တခြားပုံစံ တစ်မျိုးသို့ ပြောင်းလဲနိုင်သည်။

အပူကြောင့်ဖြစ်သော လှုပ်ရှားမှု(thermal activity)သည် ထိုခြပ်ဝတ္ထုအတွင်း မော်လီကျူး(molecules) များ၏ အလျင်(velocity)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အပူချိန်(temperature) မြင့်သည့် အရာဝတ္ထုများတွင် အပူကြောင့် ဖြစ်သော လှုပ်ရှားမှု(thermal activity) များကြသည်။ သို့သော် ခြပ်ဝတ္ထုအတွင်းရှိ မော်လီကျူးများ၏ အလျင် (velocity)ကို တိုက်ရိုက်တိုင်းတာရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် အပူကြောင့်ဖြစ်သော လှုပ်ရှားမှု(thermal activity) မည်မျှများသည် သို့မဟုတ် နည်းသည်ကို သိနိုင်ရန်အတွက် အပူချိန်(temperature)ဖြင့် တိုင်းတာ ဖော်ပြကြသည်။

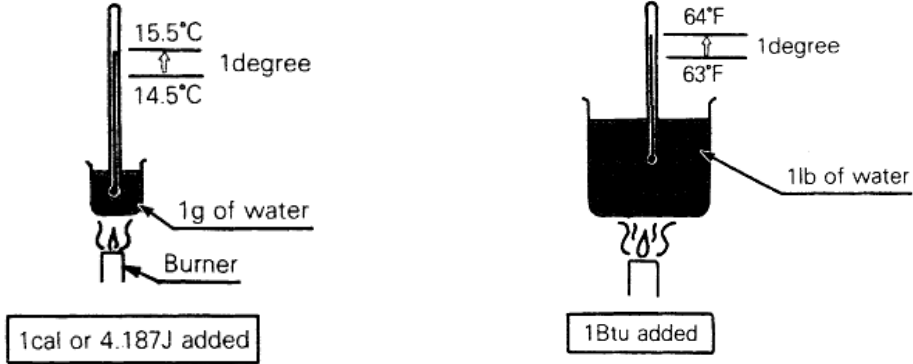
သာမိုဒိုင်းနမ်စ် first law အရ အပူစွမ်းအင်(heat energy)ကို ဖန်တီးရန်၊ ဖျောက်ဖျက်ပစ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ စွမ်းအင် ပုံစံတစ်မျိုးမှ တခြားစွမ်းအင် ပုံစံတစ်မျိုးသို့သာ ပြောင်းလဲနိုင်သည်။ သာမိုဒိုင်းနမ်စ် first law ကို "law of conservation of energy" ဟု ပို၍ အသိများကြသည်။

HVAC ပညာရပ်တွင် အအေးဓာတ်ရရှိရန် အတွက် အပူစွမ်းအင်များကို ဖယ်ထုတ်ပစ်(remove heat energy)ရသည်။ သာမိုဒိုင်းနမ်စ် လေ့လာမှုများတွင် အအေးဓာတ်ထည့် ပေးသည်ဟူ၍ ပြောဆိုရေးသားလေ့မရှိဘဲ အပူစွမ်းအင်များကို ဖယ်ထုတ်ပစ်သည်ဟု ရေးသားကြသည်။

သာမိုဒိုင်းနမ်စ် second law အရ အပူစွမ်းအင်(heat energy)သည် အပူချိန်(temperature) မြင့်သည့် နေရာမှ အပူချိန်(temperature) နိမ့်သည် နေရာသို့ သဘာဝအတိုင်း အလိုအလျောက် စီးဆင်း(transfer) သွားနိုင်သည်။

၁.၁.၁ အပူ(Heat)ကို တိုင်းတာသည့် ယူနစ်များ

အပူချိန်တိုင်းသည့် သာမိုမီတာ(thermometer)သည် intensity of heat ကိုသာ တိုင်းနိုင်သည်။ အပူပမာဏ(quantity of heat)ကို မတိုင်းတာနိုင်ပေ။ လက်တွေ့တွင် အပူပမာဏ(quantity of heat) မည်မျှနည်းသည် သို့မဟုတ် မည်မျှများသည်ကို တွက်ချက်ပြောဆိုရန် လိုအပ်သည်။ အပူပမာဏ(quantity of heat)ကို တိုင်းယူသည့် ယူနစ် များစွာရှိသည်။



ပုံ ၁-၁ အပူပမာဏ 1 Calorie (4.187J) ထည့်ပေးခြင်း

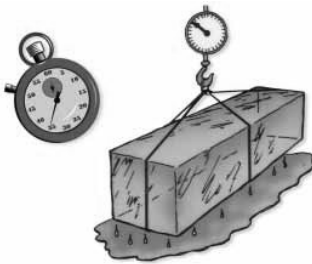
ပုံ ၁-၂ အပူပမာဏ 1 Btu ထည့်ပေးခြင်း

အလေးချိန် တစ်ဂရမ်(gram)ရှိသော ရေကို အပူချိန် 1°C မြင့်တက်ရန်အတွက် ထည့်ပေးရမည့် အပူပမာဏ သို့မဟုတ် 1°C နိမ့်သွားရန်အတွက် ဖယ်ထုတ်ရမည့် အပူပမာဏသည် 1 Calorie [cal] (တစ် ကယ်လိုရီ) နှင့် ညီမျှသည်။

အလေးချိန် တစ်ပေါင်(lb)ရှိသော ရေကို အပူချိန် 1°F မြင့်တက်ရန်အတွက် ထည့်ပေးရမည့် အပူပမာဏ သို့မဟုတ် 1°F နိမ့်သွားရန်အတွက် ဖယ်ထုတ်ရမည့် အပူပမာဏသည် 1 British Thermal Unit (BTU)နှင့် ညီမျှသည်။

၁.၂ Unit of Refrigeration

Refrigeration capacity ကို Inch-Pound (I-P)ယူနစ်ဖြင့် ဖော်ပြ လိုလျှင် "British Thermal Units per hour(BTU/hr)" ဖြစ်သည်။ HVAC နှင့် refrigeration လုပ်ငန်းခွင်များတွင် အများဆုံး အသုံးပြုကြသည့် ယူနစ် သည် "ton of refrigeration" ဖြစ်သည်။



(၂၄)နာရီ အတွင်း ရေခဲ တစ်တန်(1 ton) အရည်ပျော်ခြင်းကြောင့် စုပ်ယူသွားသည့် အပူပမာဏသည် refrigeration ton ဖြစ်သည်။ အပူချိန် 32°F တွင် ရှိသော ရေခဲ တစ်ပေါင် အရည်ပျော်လျှင် 144 Btu အပူပမာဏကို စုပ်ယူသွားသည်။ (Latent heat of ice = 144 Btu/lb)။ ရေခဲ တစ်တန်လျှင် အလေးချိန် ပေါင်(၂၀၀၀) ရှိသောကြောင့် one refrigeration ton (1RT) သည် 12,000 Btu/hr နှင့် ညီမျှသည်။

$$\text{One ton of refrigeration} = \frac{1 \times 2000 \times 144}{24} = 12,000 \text{ Btu/hr}$$

1 ton of refrigeration (RT) = 200 Btu/min = 3.517 kJ/s = 3.517 kW

Table 1-1 အပူပမာဏ(amount of heat) နှင့် အပူချိန်၏ ယူနစ်များ

ယူနစ်	ရေအလေးချိန်	အပူချိန်(တက်/ကျ)	အပူပမာဏ(amount of heat)
Kilocalorie [kcal]	1 kg	1°C	1 kcal
Joule [J]	1 g	1°C	4.187 J
Kilojoule[kJ]	1 kg	1°C	4.187 kJ
British Thermal Unit [BTU]	1 lb	1°F	1 Btu

၁.၃ Sensible Heat

Sensible Heat Equation: $Q_{sensible} = m \times C_p \times \Delta t = m \times C_p (t_2 - t_1)$

- $Q_{sensible}$ = Rate of sensible heat added or removed from substance (Btu/hr)
- m = Mass rate flow of substance (lb/hr)
- C_p = Specific heat of substance at constant pressure (Btu/lb °F)
- Δt = $t_2 - t_1$ = temperature change of substance (°F)

Air conditioning process များတွင် sensible heat equation ကို အလွန်အသုံးများသည်။ Air con process များတွင် အပူချိန်ပြောင်းလဲခြင်း(temperature change)သာ ဖြစ်လေ့ရှိပြီး state ပြောင်းလဲခြင်း သို့မဟုတ် phase ပြောင်းလဲခြင်း မဖြစ်သလောက် နည်းသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Refrigeration process များတွင် state သို့မဟုတ် phase ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။

ဥပမာ- chiller တစ်လုံး၏ chilled water flow rate သည် တစ်မိနစ်လျှင် ဂါလန်(၅၀၀)နှုန်း (500 GPM) ဖြစ်သည်။ အပူချိန် 55°F ရှိသော ရေ(chilled water)ကို 43°F အထိ အေးအောင် လုပ်နိုင်စွမ်းရှိလျှင် ထို chiller ၏ cooling capacity ကို ရှာပါ။ Btu/hr ၊ ton of refrigeration(RT) ၊ kW တို့ဖြင့် ဖော်ပြပါ။

Chiller တစ်လုံး၏ cooling capacity ဆိုသည်မှာ ရေမှ ဖယ်ထုတ်လိုက်သည့် အပူပမာဏ (amount of heat removed from chilled water) ဖြစ်သည်။

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta t$$

m = Weight flow rate ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် gpm မှ lb/hr သို့ ပြောင်းရန် လိုအပ်သည်။

$$m = 500 \text{ GPM} \times \frac{500 \text{ lb/hr}}{1 \text{ GPM}} = 250,000 \text{ lb/hr}$$

တစ်မိနစ်လျှင် တစ်ဂါလန်နှုန်း(1 GPM)ကို lb/hr သို့ပြောင်းလျှင် 500 lb/hr နှင့် ညီမျှသည်။

$$Q_s = 250,000 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \times 1 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \times (43 - 55)^\circ\text{F} = -3,000,000 \text{ Btu/hr}$$

အနှုတ် လက္ခဏာသည် ရေမှ အပူ(heat)များကို ဖယ်ထုတ်လိုက်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။ ထို့ကြောင့် ရေသည် နွေးရာ(အပူချိန်မြင့်ရာ)မှ အေးသွား(အပူချိန်နိမ့်ဆင်းသွား)သည်။ Btu/hr မှ ton of refrigeration သို့ပြောင်းရန် 1 RT (Refrigeration Ton) = 12,000 Btu/hr = 3.517 kW

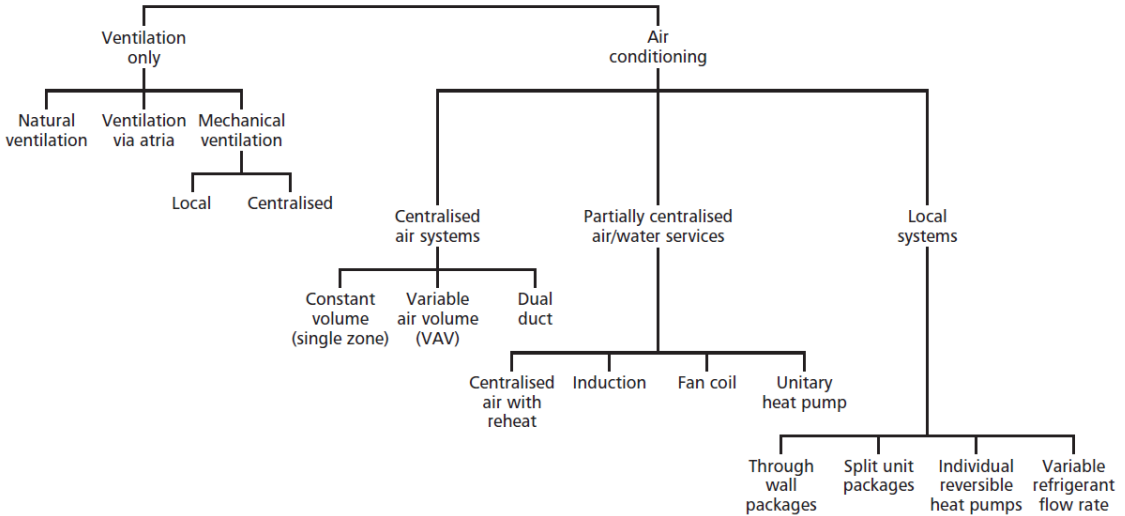
$$3,000,000 \text{ Btu/hr} \times \frac{1 \text{ ton}}{12,000 \text{ Btu/hr}} = 250 \text{ Tons}$$

Cooling capacity ကို kW(kilowatt)ဖြင့် ဖော်ပြရန်

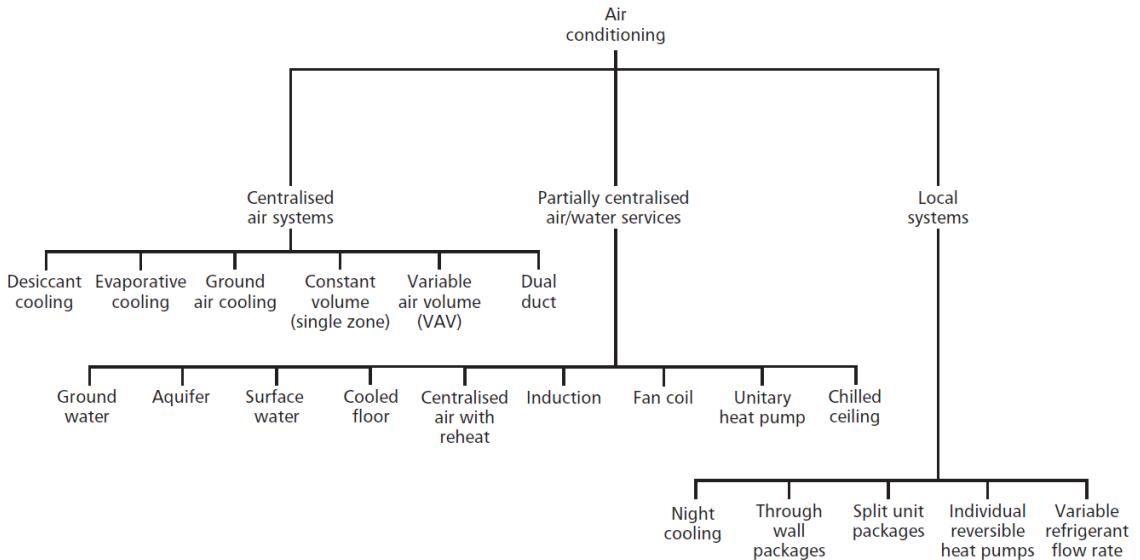
$$3,000,000 \text{ Btu/hr} \times \frac{1 \text{ kW}}{3410 \text{ Btu/hr}} = 880 \text{ kW}$$

Chilled water circuit သို့မဟုတ် chiller water တွင် sensible heat ကူးပြောင်းခြင်း(transfer)သာ ဖြစ်ပေါ်သည်။ $[Q_s = m \times C_p \times \Delta t]$ မည်သည့်အခါမှ latent heat ကူးပြောင်းခြင်း(transfer) မဖြစ်ပေါ်ပေ။

၁.၄ Air Conditioning System တစ်ခုကို ရွေးချယ်ခြင်း



ပုံ ၁-၃(က) Air conditioning system အမျိုးအစားများ



ပုံ ၁-၃(ခ) Classification of HVAC systems

Air conditioning အင်ဂျင်နီယာတစ်ယောက်သည် အမျိုးမျိုးသော system များအကြောင်းကို သိနားလည်ပြီး မိမိဒီဇိုင်း ပြုလုပ်မည့် project ၏ လိုအပ်ချက် ၊ လုပ်ဆောင်ချက်နှင့် ရည်မှန်းချက်များနှင့် ကိုက်ညီသည့် ဒီဇိုင်း တစ်မျိုး သို့မဟုတ် နှစ်မျိုးကို ရွေးချယ်ပေးရန် တာဝန်ရှိသည်။ ထို system သည် ဒီဇိုင်းလုပ်သည့်အတိုင်း လုပ်ဆောင် (perform)ပေးရန်လည်း တာဝန်ရှိသည်။

ဒီဇိုင်းအင်ဂျင်နီယာနှင့် ပိုင်ရှင်တို့သည် အရေးကြီးသည့် ဒီဇိုင်းလိုအပ်ချက်များကို ဦးစားပေး ရွေးချယ်ကာ လက်တွဲ လုပ်ကိုင်ရမည် ဖြစ်သည်။ ထို့အပြင် ဆောက်လုပ်ရေး လုပ်ငန်းခွင်၌လည်း ဒီဇိုင်းအင်ဂျင်နီယာ နှင့် ဆောက်လုပ်ရေးမန်နေဂျာ(construction manager) တို့ ညှိနှိုင်းတိုင်ပင်၍ ပိုမိုကောင်းမွန်ပြီး တန်ဖိုးတက်လာမည့်

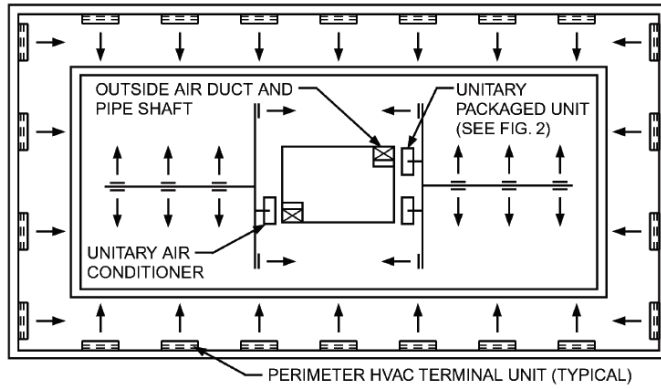
နည်းလမ်းများ(value added options) နှင့် ကုန်ကျစရိတ်သက်သာမည့် နည်းလမ်းများ(value-engineered options) ကို ရှာဖွေ ရမည် ဖြစ်သည်။

နေထိုင်အသုံးပြုသူများအတွက် အောက်ပါ လိုအပ်ချက်များကို system ၏ ဒီဇိုင်းတွင် ထည့်သွင်း စဉ်းစား ရမည်။

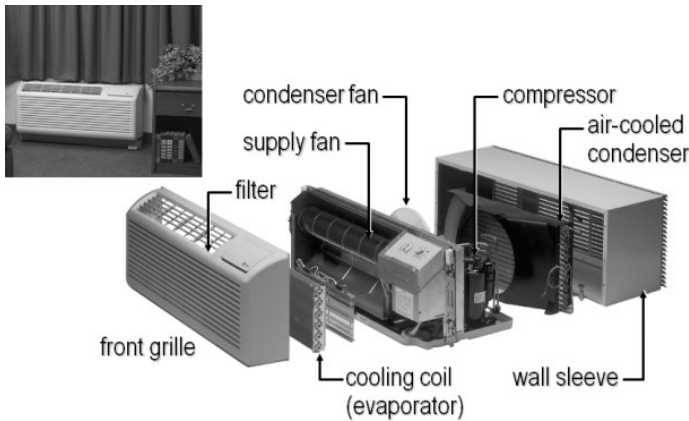
- (၁) အပူချိန်(temperature)
- (၂) စိုထိုင်းဆ(humidity)
- (၃) လေသွားနှုန်းနှင့်ပတ်သက်သည့်အရာများ (air motion)
- (၄) လေသန့်ရှင်းမှု သို့မဟုတ် လေ အရည်အသွေး ကောင်းမွန်မှု(air purity or quality)
- (၅) တစ်နာရီအတွင်း လေလဲလှယ်နှုန်း (air changes per hour)
- (၆) Duct နှင့် pipe အတွင်း လေနှင့်ရေသွားနှုန်း လိုအပ်ချက်များ(air and/or water velocity requirements)
- (၇) တည်ဆောက်မည့်နေရာ၏ ရာသီဥတု (local climate)
- (၈) အခန်းများ၏ ဖိအားလိုအပ်ချက်များ (space pressure requirements)
- (၉) Load calculation analysis မှ ရရှိသည့် capacity လိုအပ်ချက်များ
- (၁၀) အတိမ်းအစောင်း ခံနိုင်မှု ၊ လိုအပ်သလို ပြောင်းလဲကာ အသုံးပြုနိုင်မှု၊ စိတ်ချရမှု
- (၁၁) တပ်ဆင်ရန်၊ ပြုပြင်ရန် နေရာလိုအပ်ချက် (spatial requirement)
- (၁၂) လုံခြုံရေး လိုအပ်ချက်များ ပြည့်စုံနိုင်မှု (security concerns)
- (၁၃) ဆောက်လုပ်ရန်အတွက် ကုန်ကျစရိတ် (first cost)
- (၁၄) မောင်းနှင်ရန် ကုန်ကျစရိတ်၊ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခ၊ အလုပ်သမားခများ ပါဝင်သည်။ (Operating cost, including energy and power costs)
- (၁၅) ထိန်းသိမ်းပြုပြင်ရန် ကုန်ကျစရိတ် (maintenance cost)
- (၁၆) System အပေါ် စိတ်ချနိုင်မှု(reliability)
- (၁၇) လိုအပ်သလို ပြုပြင် ပြောင်းလဲနိုင်စွမ်း ရှိ၊ မရှိ (flexibility)
- (၁၈) တပ်ဆင်ပြီးစ မောင်းသည့်နေ့မှ ဖျက်သည့်နေ့ အထိ system အတွက် ကုန်ကျစရိတ် (life-cycle analysis)
- (၁၉) ဒီဇိုင်း၏ ကြာရှည်စွာ တည်မြဲနိုင်စွမ်း (sustainability of design)
- (၂၀) အသံဆူညံမှုနှင့် တုန်ခါမှုများကို ထိန်းချုပ်နိုင်စွမ်း (acoustics and vibration) နှင့်
- (၂၁) စိုထိုင်းဆကြောင့် အခန်းအတွင်း မှိုများပေါက်ပွားမှုကို ကာကွယ်နိုင်စွမ်း (mold and mildew prevention) တို့ ဖြစ်သည်။

အထက်ပါအချက်များသည် တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အပြန်အလှန် ဆက်စပ်(interrelated)နေသည်။

Air conditioning system များတွင် decentralized cooling and heating system နှင့် central cooling and heating system ဟူ၍ အဓိကအားဖြင့် နှစ်မျိုးရှိသည်။ Decentralized system ကို အငယ်စားနှင့် အလတ်စား အဆောက်အဦများ နှင့် လုပ်ငန်းများတွင် အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။



ပုံ ၁-၄ Multiple unit systems using single-zone unitary HVAC equipment



ပုံ ၁-၅ Packaged terminal air conditioner

၁.၅ Decentralized Cooling and Heating Systems

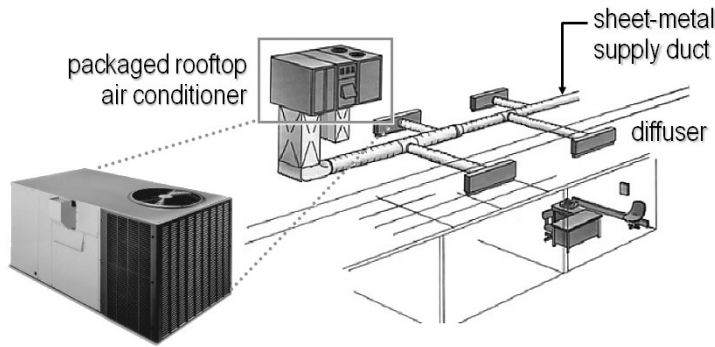
အသေးစားနှင့် အလတ်စား အဆောက်အဦများ၌ တပ်ဆင်ရန် လွယ်ကူခြင်း နှင့် အစပိုင်း ကုန်ကျစရိတ် နည်းခြင်း တို့ကြောင့် decentralized system များကို အများဆုံး တွေ့ရလေ့ရှိသည်။

၁.၅.၁ System Characteristics

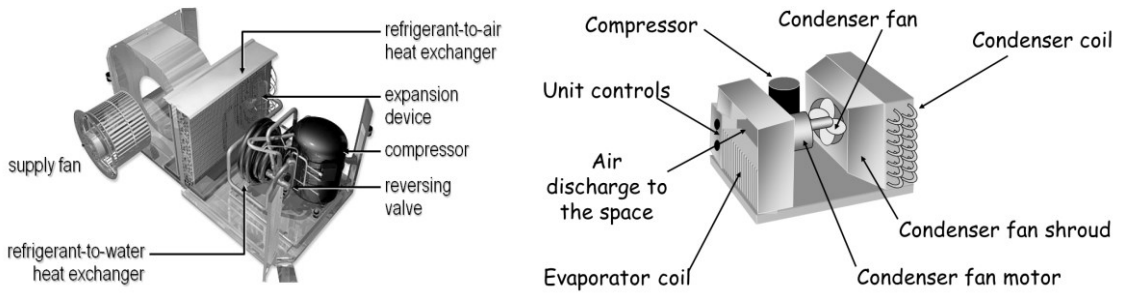
Decentralized system များတွင် HVAC unit များ တစ်ခုချင်းစီကို သီးခြား တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ HVAC unit များ တစ်ခုချင်းစီတွင် သီးခြား refrigeration cycle ၊ heating source နှင့် air ventilation ပါရှိသည်။ အစိတ်အပိုင်းများ(components)ကို စက်ရုံမှ ဒီဇိုင်းလုပ်ကာ ထုတ်လုပ်တပ်ဆင်ထားပြီး fans ၊ filters ၊ heating source ၊ cooling coil ၊ refrigerant compressor(s) ၊ control နှင့် condenser စသည်တို့ ပါဝင်သည်။

Equipment ထုတ်လုပ်သူများ(manufacture)သည် လက်တွေ့ လိုအပ်ချက်များနှင့် ကိုက်ညီအောင် configuration အမျိုးမျိုး နှင့် အရွယ်အစားမျိုးစုံ ထုတ်လုပ်ကြသည်။ အောက်တွင် decentralized system များ၌ အသုံးပြုနိုင်သည့် HVAC equipment များကို ဖော်ပြထားသည်။

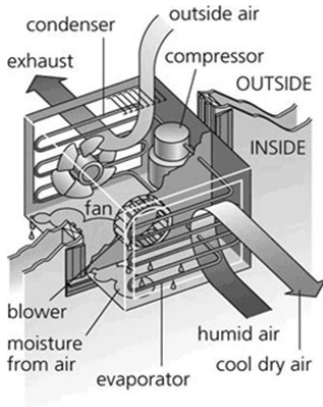
- (၁) Window air conditioners
- (၂) Multiple-unit systems
- (၃) Outside package systems
- (၄) Air-cooled heat pump systems
- (၅) Air-cooled packaged unit
- (၆) Water cooled packaged unit
- (၇) Self-contained (floor-by-floor) systems
- (၈) Water-cooled heat pump systems
- (၉) Residential and light commercial split systems
- (၁၀) Through-the-wall room HVAC units



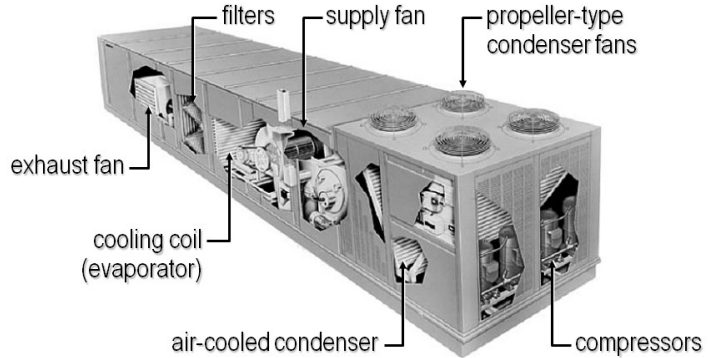
ပုံ ၁-၆ Packaged DX rooftop air conditioner



ပုံ ၁-၇ DX unit (Window type)



ပုံ ၁-၈ DX unit



ပုံ ၁-၉ Packaged rooftop air conditioner

၁.၅.၂ Decentralized System များ၏ အားသာချက်များ (Advantages)

- (၁) Heating နှင့် cooling ကို အချိန်မရွေး တစ်ပြိုင်နက် ရနိုင်သည်။
- (၂) Certified rating နှင့် performance data များနှင့် ကိုက်ညီအောင် ထုတ်လုပ်ထားသည်။
- (၃) ထုတ်လုပ်သူများက စက်ရုံအတွင်း၌ ထုတ်လုပ်လိုက်သောကြောင့် အရည်အသွေးထိန်းချုပ်မှု (quality control) နှင့် စိတ်ချရမှု (reliability) ပိုကောင်းသည်။
- (၄) တပ်ဆင်ရန် လွယ်ကူသည်။ အလုပ်သမားများ ထပ်ခါတပ်ခါ တပ်ဆင်ခြင်း ပြုလုပ်နေရသောကြောင့် ကျွမ်းကျင်မှု အလွန်အဆင့်မြင့်သည်။
- (၅) စက်ချို့ယွင်းမှု ဖြစ်ပေါ်လျှင် နေရာတချို့နှင့်သာ သက်ဆိုင်သည်။
- (၆) အလွယ်တကူ ဝယ်ယူရရှိနိုင်သည်။

- (၇) ထုတ်လုပ်သူတစ်ယောက်က စက်ပစ္စည်းတစ်စုံလုံး အတွက် အာမခံချက်ပေးသည်။
- (၈) System သည် ရိုးရှင်းသောကြောင့် သင်တန်းပေးရန် မလိုအပ်ပေ။
- (၉) Mechanical နှင့် electrical အခန်းများအတွက် နေရာကျယ်ကျယ် မလိုအပ်ပေ။
- (၁၀) အစဦး ကုန်ကျစရိတ်(first cost) အလွန်နည်းသည်။
- (၁၁) အဆောက်အဦ ဆောက်လုပ်ပြီးစီးသည့်အခါ၌လည်း equipment များကို တပ်ဆင်နိုင်သည်။ ပြုပြင် ပြောင်းလဲနိုင်သည်။
- (၁၂) အခန်းငှားသူ(tenant) တစ်ဦးချင်းစီ၏ air con service အတွက် စွမ်းအင် သုံးစွဲမှုကို တိုင်းယူနိုင်သည်။
- (၁၃) Decentralized system အမျိုးအစား အပေါ်မူတည်၍ air side သို့မဟုတ် water side economizer များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

၁.၅.၃ Decentralized System များ၏ အားနည်းချက်များ(Disadvantages)

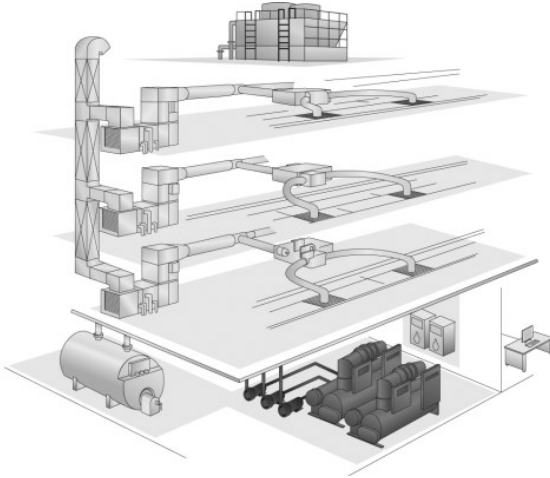
- (၁) Air flow ၊ cooling coil အရွယ်အစား နှင့် condenser အရွယ်အစားများ ကွာခြားမှု မရှိသောကြောင့် ရွေးချယ်စရာ အနည်းငယ်သာ ရှိသည်။
- (၂) ကြီးမားသည့် အဆောက်အဦများတွင် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည့် centralized system များ၌ ရရှိနိုင်သော diversity factor ကို မရသောကြောင့် equipment များစွာ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။
- (၃) အပူချိန်(temperature) နှင့် စိုထိုင်းဆ(humidity)ကို control ပြုလုပ်ရာတွင် တည်ငြိမ်မှု မရှိနိုင်ပေ။
- (၄) အဆောက်အဦ တစ်ခုလုံးနှင့် ကိုက်ညီသည့် equipment များကို မထုတ်လုပ်နိုင်သောကြောင့် အထူးပြုလုပ်ထားသည့် equipment များ လိုအပ်သည်။
- (၅) Central system များထက် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု ပိုများသည်။
- (၆) Outside air economizer များကို အသုံးပြုရန်၊ တပ်ဆင်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။
- (၇) လေဖြန့်ဖြူးမှု(air distribution) ကောင်းအောင် ပြုလုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။
- (၈) Equipment များကို အသုံးပြုသူများ၏ အနီး၌ တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် ဆူညံသံ မြင့်မားသည်။
- (၉) Equipment ဒီဇိုင်းကြောင့် လေဝင်လေထွက်(ventilation) ကောင်းအောင် ပြုလုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။
- (၁၀) ကောင်းစွာ လေစစ်ခြင်း(air filtration) ပြုလုပ်နိုင်သည့် ဒီဇိုင်းမျိုး ရွေးချယ်ရန်အတွက် ကန့်သတ်ချက်များစွာ ရှိသည်။
- (၁၁) On/off သို့မဟုတ် step control ကို အသုံးပြုထားသောကြောင့် discharge temperature အမျိုးမျိုး ကွဲပြားနိုင်သည်။
- (၁၂) Air-conditioning unit တိုင်းအတွက် condensate drain လိုအပ်သည်။
- (၁၃) Equipment များကို နေရာအနံ့အပြား၌ တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု ပြုလုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။ ကုန်ကျစရိတ် များသည်။

၁.၆ Central Cooling and Heating Systems

Central cooling plant များသည် တပ်ဆင်ထားရာနေရာမှ chiller water ကို ထုတ်လုပ်(generate)ပြီး လိုအပ်သည့်နေရာ များ ဆီသို့ distribution ပိုက်များမှ တစ်ဆင့် ပို့ပေးသည်။ HVAC application များ၏ ၂၅% သည် central cooling plant system များ ဖြစ်ကြသည်။ Equipment များ သက်တမ်း ကြာရှည်စွာ အသုံးပြုနိုင်ခြင်း၊ စွမ်းအင် သုံးစွဲမှုနည်းခြင်းနှင့် ဝန်ထမ်းအနည်းငယ်သာ လိုအပ်ခြင်း တို့သည် အဓိက အားသာချက်များ ဖြစ်ကြသည်။

၁.၆.၁ System Characteristics

Central system များတွင် ကြီးမားသည့် chilling equipment များနှင့် heating equipment များကို တစ်နေရာတည်း၌ တစ်ခုတစ်ဝေးတည်း တပ်ဆင်ထားသည်။ အသုံးပြုပုံ နှင့် အဆောက်အဦ အမျိုးအစား အပေါ် မူတည်၍ equipment configuration အမျိုးမျိုးကွဲပြားကြသည်။ Equipment များသည် အဆောက်အဦ အတွင်း၌ တည်ရှိနိုင်သလို အဝေး တစ်နေရာ၌လည်း တည်ရှိနိုင်သည်။ Primary equipment များဖြစ်ကြသော chiller ၊ boiler စသည်တို့ကို ပုံစံအမျိုးမျိုး ၊ အရွယ်အစားအမျိုးမျိုး ၊ capacity အမျိုးမျိုး နှင့် configuration အမျိုးမျိုး ရရှိနိုင်သည်။



Heating နှင့် cooling equipment များအတွက် လိုအပ်သည့် စွမ်းအင်သည် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား (electricity)၊ သဘာဝ ဓာတ်ငွေ့ (natural gas)၊ လောင်စာဆီ(oil)၊ ကျောက်မီးသွေး(coal)၊ နေ စွမ်းအင်(solar) စသည်တို့ အနက်မှ တစ်မျိုးမျိုး ဖြစ်နိုင်သည်။

ထိုစွမ်းအင်(energy) များကို chilled water ၊ hot water သို့မဟုတ် ရေငွေ့(steam) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲ၍ အဆောက်အဦ အတွင်း၌ air conditioning ၊ heating နှင့် process လုပ်ငန်း များ အတွက် အသုံးပြုသည်။

ပုံ ၁-၁၀ Central cooling and heating system

မောင်းနှင်လည်ပတ်ခြင်း(operating) ၊ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခြင်း(maintain) နှင့် အစဦး ကုန်ကျ စရိတ်(first cost) စသည်တို့ကို ပိုင်ရှင်(owner) ၊ consultant နှင့် ဒီဇိုင်းအင်ဂျင်နီယာ များတို့သည် ဒီဇိုင်း လုပ်ငန်းစဉ် အတွင်း အကြိမ်ကြိမ် တိုင်ပင် ဆွေးနွေးကြရသည်။

Chilled-water production system များတွင် HFC သို့မဟုတ် HCFC refrigerant ကို အသုံးပြုလျှင် ဘေးအန္တရာယ် ကင်းဝေးရေး လိုအပ်ချက်(safety requirement) အရ ASHRAE standard 15 ကို လိုက်နာရန် လိုအပ်သည်။

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည့် အဆောက်အဦ အမျိုးအစားများတွင် central cooling system တပ်ဆင်ရန် အတွက် အလွန် သင့်လျော်သည်။

- (၁) အဆောက်အဦများစွာရှိသော တက္ကသိုလ် ၊ ကောလိပ် ကျောင်းများ (campus environments with distribution to several buildings)
- (၂) အထပ်ပေါင်းများစွာရှိသည့် မိုးထိတိုက်များ (high rise facilities)
- (၃) အလွန်ကြီးမားသော အဆောက်အဦများ (large office buildings)
- (၄) ရုပ်ရှင်ရုံများ ၊ ကွန်ဗန်းရှင်း စင်တာများ ၊ အားကစားရုံများ နှင့် ပြခန်းများ (large public assembly facilities, entertainment complexes, stadiums, arenas, and convention and exhibition centers-)
- (၅) Urban centers (e.g., city centers/districts)
- (၆) ရှော့ပင်း စင်တာများ ၊ ရှော့ပင်းမောများ (shopping malls)
- (၇) ဟိုတယ်များ ၊ တိုက်ခန်းများ (large condominiums, hotels, and apartment complexes)
- (၈) ပညာရေးဆိုင်ရာ အဆောက်အဦများ (educational facilities)
- (၉) ဆေးရုံများ နှင့် ကျန်းမာရေးဆိုင်ရာ အဆောက်အဦများ (hospitals and other health care facilities)

- (၁၀) ဆေးထုတ်လုပ်သည့် စက်ရုံများ ၊ စက်ရုံများ (Industrial facilities -pharmaceutical, manufacturing)
- (၁၁) ပြတိုက်ကြီးများ (Large museums and similar institutions) နှင့်
- (၁၂) စွန့်ပစ်သည့်အပူ များစွာရရှိသောနေရာများ (Locations where waste heat is readily available - generation or industrial processes) တို့ဖြစ်သည်။

အရည်အသွေး ကောင်းမွန်ပြီး စံချိန်မီသော chilled water plant တစ်ခုအတွက် လိုအပ်သော အချက်များမှာ

- (က) Chiller များကို အရွယ်အစားနှင့် အမျိုးအစား သင့်လျော်သည့် configuration ကို မှန်ကန်စွာ ရွေးချယ်ခြင်း
- (ခ) Pump များ၏ စွမ်းဆောင်ရည် ကောင်းမွန်မှု (efficient pumps)
- (ဂ) Valve များ၏ သင့်လျော် လုံလောက်သော ခံနိုင်ရည်အား နှင့်
- (ဃ) မှန်ကန်သော ပိုက်သွယ်တန်းမှု ပုံစံ(good piping scheme with ample valving) တို့ ဖြစ်သည်။

System တစ်ခုလုံးအား ကောင်းမွန်စွာ control ရန်အတွက် မှန်ကန်သည့် ဒီဇိုင်းကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက်သင့်သည်။ နောင်တစ်ချိန် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းရန် နှင့် အစားထိုး လဲလှယ်တပ်ဆင်သည့်အခါ လွယ်ကူစေရန် လုံလောက်သည့် နေရာနှင့် လမ်းကြောင်း(access)များ ထားရှိရန် လိုအပ်သည်။

၁.၆.၂ Central System များ၏ အားသာချက်များ(Advantages)

- (၁) Primary cooling and heating အမြဲတမ်း ရနိုင်သည်။
- (၂) အလွန်ကြီးမားသည့် equipment အရေအတွက် အနည်းငယ်ကိုသာ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းရန် လိုအပ်သောကြောင့် ကုန်ကျစရိတ် သက်သာသည်။
- (၃) Equipment များ တစ်နေရာတည်း၌ တည်ရှိနေသောကြောင့် servicing ပြုလုပ်ရန် လွယ်ကူသည်။
- (၄) စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်မှု(energy-efficient design strategies)၊ စွမ်းအင်များကို ပြန်လည် အသုံးပြုနိုင်မှု (energy recovery) ၊ thermal storage နှင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲခြင်း စီမံနိုင်မှု (energy management) တို့ ပြုလုပ်ရန်အတွက် ရိုးရှင်းလွယ်ကူပြီး ကုန်ကျစရိတ် နည်းသည်။
- (၅) မိမိ plant နှင့် အသင့်လျော်ဆုံးသော စွမ်းအင်ကို ရွေးချယ် အသုံးပြုနိုင်သည်။
- (၆) ပုံစံတူ equipment များ တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် အပိုပစ္စည်း(spare part) များစွာကို သိမ်းဆည်းရန် မလိုအပ်ပေ။ Part-load capability နှင့် efficiency ပိုကောင်းရန်အတွက် အရွယ်အစား မတူညီသည့် equipment များကို ရွေးချယ် တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။
- (၇) Standby capability နှင့် back-up power supply ရအောင် ကြိုတင်စီမံ ဆောင်ရွက်ထားနိုင်သည်။
- (၈) Load profile ကို လိုက်၍ သင့်လျော်သည့် equipment များဖြင့် မောင်းနှင်သည်။ ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းမှု (maintenance) ပြုလုပ်ရန်အတွက် equipment တချို့ကို ရပ်နားထားနိုင်သည်။
- (၉) Central plant နှင့် distribution ပိုက်များကို ကုန်ကျစရိတ် အနည်းငယ်ဖြင့် လိုအပ်လျှင် တိုးချဲ့ နိုင်သည်။
- (၁၀) Load diversity ရှိခြင်းကြောင့် တပ်ဆင်ရမည့် total installed capacity ကို လျော့ချနိုင်သည်။
- (၁၁) Equipment များကို အသုံးပြုသူများနှင့် ဝေးရာ၌ တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် တုန်ခါခြင်း(vibration) နှင့် အသံဆူညံခြင်း(noise)တို့ကို ဖယ်ရှားနိုင်သည်။ ဆူညံသံလျော့နည်း(acoustical treatment)အောင် ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်လျှင် နေရာတစ်ခုတည်းကိုသာ ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

၁.၆.၃ Central System များ၏ အားနည်းချက်များ(Disadvantages)

- (၁) Equipment များသည် အခန်းကို ချက်ချင်း အေးအောင် မပြုလုပ်နိုင်ပေ။ အချိန် အနည်းငယ် စောင့်ရန်

လိုအပ်သည်။

- (၂) Centralized system များသည် ပို၍ ရှုပ်ထွေး ခက်ခဲသောကြောင့် သင်ကြားထားသည့် ဝန်ထမ်းများသာ မောင်းနှင်နိုင်သည်။
- (၃) Centralized equipment များ ထားရန်အတွက် သီးသန့်နေရာတစ်ခု စီစဉ်ထားပေးရန် လိုအပ်သည်။
- (၄) မျက်နှာကြက်မြင့်ပြီး စက်ဒက်ခံနိုင်သည့် ကြမ်းခင်းရှိသည့် အခန်း လိုအပ်သည်။
- (၅) ဘွိုင်လာ(boiler) မောင်းရန်အတွက် လောင်စာဆီသိမ်းဆည်းရန် နေရာ လိုအပ်သည်။
- (၆) Equipment နှင့် လောင်စာဆီ ထည့်ရန် သို့မဟုတ် ထုတ်ရန်အတွက် လမ်းကြောင်း လိုအပ်သည်။
- (၇) Heating plant များအတွက် မီးခိုးခေါင်းတိုင်(chimney) နှင့် ခွင့်ပြုမိန့်(emission permit)၊ monitoring ၊ treatment လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။
- (၈) Equipment ထုတ်လုပ်သူများစွာမှ equipment များစွာကို ရွေးချယ် အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။
- (၉) Central system ၏ control logic သည် ရှုပ်ထွေး ခက်ခဲသည်။
- (၁၀) အစဦး ကုန်ကျစရိတ်(first cost) အလွန်များသည်။
- (၁၁) သက်ဆိုင်ရာ၊ ဒေသဆိုင်ရာ များမှ ခွင့်ပြုချက်(permit)ရယူရန် လိုအပ်သည်။
- (၁၂) ဘေးအန္တရာယ် ကင်းဝေးရေး(safety) လိုအပ်ချက်များကို လိုက်နာရန် လိုအပ်သည်။
- (၁၃) Distribution pipe များစွာ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

၁.၆.၄ Central Plant နေရာ ရွေးချယ်ခြင်း

Central plant နေရာ ရွေးချယ်ရာတွင် အောက်ပါအချက်များကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားသင့်သည်။

- (၁) အရေးပေါ်အခြေအနေတွင် refrigerant များကို ဘေးကင်းရာသို့ ဖောက်ထုတ်(discharge) နိုင်ခြင်း
- (၂) Equipment များ မ,ရန်၊ ရွေ့ရန်အတွက် ဝန်ချိတ်များ(lifting facility) လိုအပ်ခြင်း
- (၃) ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ(maintenance) ပြုလုပ်ရန် လွယ်ကူခြင်း၊ နေရာလိုအပ်ခြင်း
- (၄) ဆူညံသံများ(acoustical impact)ကို ထိန်းချုပ်ထားဆီးနိုင်ခြင်း၊ မပျံ့နှံ့အောင် ပြုလုပ်နိုင်ခြင်း နှင့်
- (၅) နောင်တစ်ချိန် လိုအပ်ခဲ့လျှင် တိုးချဲ့(expansion) နိုင်အောင် ကြိုတင် စီမံထားနိုင်ခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

၁.၇ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရာတွင် အလေးပေးစဉ်းစားရမည့် အချက်များ(Design Considerations)

၁.၇.၁ Cooling and Heating Loads

အခန်းများ၏ individual load နှင့် simultaneous load ကို အခြေခံ၍ ဒီဇိုင်း cooling load နှင့် heating load ကို ဆုံးဖြတ်ကြသည်။ အဆောက်အဦ တစ်ခုလုံး၏ simultaneous peak သို့မဟုတ် simultaneous load သည် အခန်း(ရန်)တစ်ခုချင်းစီ၏ cooling load သို့မဟုတ် heating load စုစုပေါင်းထက် ပိုနည်းသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် နေရောင်ခြည်သည် အဆောက်အဦ မျက်နှာစာ(၄)ဘက်စလုံးအပေါ်တွင် တစ်ပြိုင်နက် မကျရောက်နိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Design load နှင့် peak load တို့၏ ခြားနားချက်ကို "equipment diversity factor" ဟု ခေါ်သည်။ ဥပမာ- 5% လျော့နည်းနေလျှင် 95% diversity ဟု ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ တက္ကသိုလ်(university) ကျောင်းဝန်း၌ စာသင်ဆောင်များ၏ diversity factor သည် ၄၅% ခန့်အထိ ဖြစ်နိုင်သည်။ Central plant ၏ peak load သည် diversity factor အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Diversity factor ကြောင့် total installed capacity လျော့နည်းသည်။ ထို့ကြောင့် ဒီဇိုင်းအင်ဂျင်နီယာများ အနေဖြင့် diversity factor တန်ဖိုးကို ရရတစိုက် တွက်ရန် လိုအပ်သည်။

၁.၇.၂ ဆူညံသံ(Noise) နှင့် တုန်ခါမှု(Vibration)

Central plant များကို ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရာတွင် စနစ်တကျ နေရာချခြင်း(space planning)ပြုလုပ်ရာတွင် ဆူညံသံများနှင့် တုန်ခါမှုများကို ထိန်းချုပ်ခြင်း(sound and vibration control)သည် အဓိက အချက်ဖြစ်သည်။ များသောအားဖြင့် central plant များကို အထပ်နိမ့်သည့် နေရာများတွင်သာ တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။ Chiller နှင့် equipment များမှ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် တုန်ခါမှုများ အဆောက်အဦအတွင်းသို့ ပျံ့နှံ့မသွားစေရန် ကြံ့ခိုင်သည့် platform များ ရှိရန် လိုအပ်သည်။ ဆူညံသံများ အပြင်သို့ မရောက်ရှိစေရန်အတွက် တံခါးပေါက်များကို အသံလုံအောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ Central plant ၏ နံရံများကို အသံများ ပြန်ရိုက်ခတ်ခြင်း မဖြစ်စေနိုင်သည့် ပစ္စည်းများဖြင့် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရမည်။ ASHRAE standard 15 တွင် လိုက်နာရမည့် အချက်များကို ဖော်ပြထားသည်။

Central plant အနီးတွင် conference room နှင့် အစည်းဝေးခန်းမများ တည်ရှိနေပါက အသံ လုံအောင် ပြုလုပ်(acoustical treatment)ပေးရန် လိုအပ်သည်။ မှန်ကန်သည့် နေရာရွေးချယ်မှုများ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ တစ်ခါတစ်ရံ အပေါ်ဆုံးအထပ်တွင် တည်ရှိသည့် cooling tower fan များ၏ တုန်ခါမှုများသည် အဆောက်အဦ အတွင်းပိုင်းအထိ ပျံ့နှံ့ ရောက်ရှိလာနိုင်သည်။ ASHRAE Handbook 2007 မှ Chapter 47—HVAC Applications for more detailed information on sound and vibration ကို မှီငြမ်း ကိုးကားသင့်သည်။

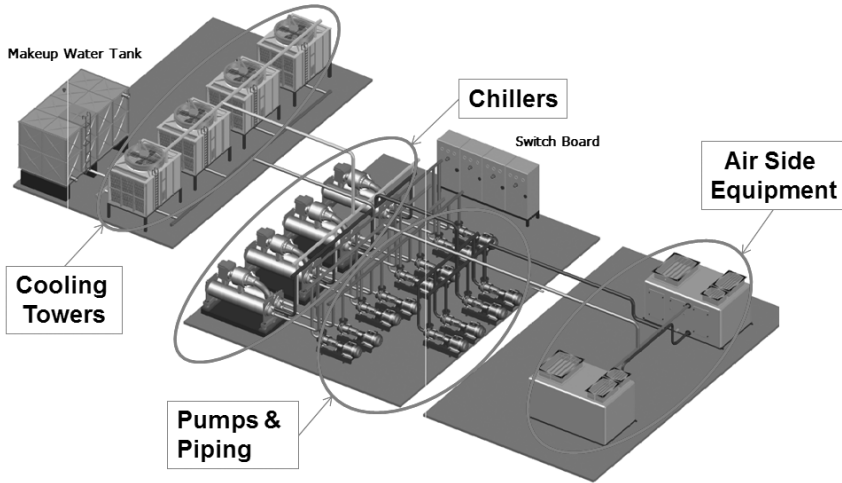
၁.၇.၃ နေရာရွေးချယ်ခြင်း(Space Considerations)

အဆောက်အဦတစ်ခုကို ဒီဇိုင်းစလုပ်စဉ် ဗိသုကာများ(architects)၊ ပိုင်ရှင်များ(owners)နှင့် နေရာချသူများ (space planners)က M&E အင်ဂျင်နီယာများအား အမြဲမေးလေ့ရှိသည့် မေးခွန်းမှာ mechanical equipment များ တပ်ဆင်ရန် အတွက် နေရာမည်မျှ လိုအပ်ပါသနည်း ဟုသည့် မေးခွန်းဖြစ်သည်။

ရွေးချယ်ထားသည့် mechanical system အမျိုးအစား၊ building configuration တို့ အပေါ်တွင် မူတည်၍ လိုအပ်သည့်နေရာ အကျယ် ကွဲပြားနိုင်သည်။ အတွေ့အကြုံရှိသည့် အင်ဂျင်နီယာများ အနေဖြင့် rules of thumb ကို အသုံးပြု၍ လိုအပ်သည့်နေရာ အကျယ်ကို ခန့်မှန်းနိုင်သည်။ တချို့သော အဆောက်အဦများ၌ ဒီဇိုင်းသဘောတရား (design concept) အနည်းငယ်သာ ကွာခြားသည်။ လိုအပ်သည့်နေရာ အကျယ်(space requirement)ကို အဆောက်အဦ၏ ကြမ်းခင်း ဧရိယာ(building floor area)၏ ရာခိုင်နှုန်းဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ Mechanical and Electrical (M&E) system များအတွက် အဆောက်အဦ ကြမ်းခင်းဧရိယာ၏ ၆ ရာခိုင်နှုန်း မှ ၉ ရာခိုင်နှုန်းခန့် လိုအပ်သည်။

Central system များ တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် လိုအပ်သည့်နေရာ အကျယ်ကို လျော့ချနိုင်သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် 1 kW refrigeration ရရှိရန် အတွက် စက်ခန်း(plant room) အကျယ် 0.07 မှ 0.09 စတုရန်းမီတာ (0.07 to 0.09 m² per kilowatt of refrigeration)လိုအပ်သည်။ Chiller များ ၊ pump များ နှင့် cooling tower များ စသည့် equipment များ တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည့်နေရာ အပြင် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခြင်း၊ အသစ်လဲလှယ်ခြင်း စသည့် လုပ်ငန်းများ ဆောင်ရွက်ရန်အတွက် လုံလောက်အောင်ကျယ်သည့် နေရာ ထားပေးရန် လိုအပ်သည်။ ထုံးစံအားဖြင့် 1.2 m သို့မဟုတ် equipment ထုတ်လုပ်သူများက ညွှန်ကြားထားသည့် နေရာအကျယ် ထားရှိပေးရန် လိုအပ်သည်။ Chiller များအတွက် evaporator နှင့် condenser တို့ ထိပ်တစ်ဘက်ဘက်တွင် tube များကို သန့်ရှင်းရေး ပြုလုပ်ရန် အတွက် နေရာလွတ် ချန်ထားပေးရန် လိုအပ်သည်။

စက်ခန်းအကျယ်(room size)၊ အခန်းမျက်နှာမူရာဘက်(orientation) နှင့် တည်နေရာ(location) တို့ကို ရွေးချယ်ရန်အတွက် ဗိသုကာ(architect)၊ အဆောက်အဦ ပိုင်ရှင်(owner) တို့နှင့် တိုင်ပင် ဆွေးနွေးသင့်သည်။ ဘေးအန္တရာယ် ကင်းဝေးစေရေး (safety)၊ အခန်း၏ အားသာချက်များ (advantages)၊ အားနည်းချက်များ (disadvantages)၊ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် အနှောင့်အယှက် အဟန့်အတားများကို အသေးစိတ် ဆန်းစစ်ပြီး ရွေးချယ် ရသည်။ အလွန်ကြီးမားသည့် facility များအတွက် ကရိန်း(overhead crane) သို့မဟုတ် gantries တပ်ဆင်ထား သင့်သည်။ Refrigeration စက်ခန်းများ(equipment room)အတွက် ASHRAE standard 15 နှင့် ဒေသဆိုင်ရာ စံချိန် စံညွှန်းများ(local codes)ကို ကိုးကားသင့်သည်။



ပုံ ၁-၁၁ Chilled water distribution network နှင့် equipment များ

စက်များ မောင်းသည့်နေရာတွင်(operating environment for equipment) သင့်လျော်သည့် အခြေအနေဖြစ်အောင် ဖန်တီးထားသင့်သည်။ ASHRAE 2007 အရ စက်ခန်း(equipment room)များတွင် အနည်းဆုံး လေဝင်လေထွက်နှုန်း(ventilation rate) 2.5 L/s per m² ပိုမနည်းစေရန် နှင့် အမြင့်ဆုံး အပူချိန် (maximum temperature) 50°C ထက် ပိုမများအောင် ထိန်းထားရန် လိုအပ်သည်။

၁.၇.၄ Central Plant and Equipment ထားရှိမည့်နေရာ

ယေဘုယျအားဖြင့် ကြီးမားသည့် central plant များကို အဆောက်အဦ၏ အောက်ခြေ နိမ့်သည့် အထပ်များတွင်သာ တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ အဆောက်အဦ၏ အပေါ်ဆုံးအထပ်တွင် တပ်ဆင် ထားပါကလည်း စီးပွားရေးအရ တွက်ခြေကိုက်သည်။

ဒီဇိုင်းများသည် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ရန်နှင့် အသစ်လဲလှယ်ခြင်း ပြုလုပ်ရန်အတွက် လုံလောက် အောင် ကျယ်ဝန်းသည့် နေရာများ ချန်ထားပေးရန် လိုအပ်သည်။ အမြင့်ဆုံးအထပ်တွင် တပ်ဆင် ထားပါက အလွန် လေးလံသည့် equipment များကို တင်ရန်၊ ချရန်အတွက် အခက်အခဲ ရှိနိုင်သည်။

Central cooling plant တပ်ဆင်မည့်ရန်အတွက် အကောင်းဆုံးနှင့် အသင့်လျော်ဆုံး နေရာရွေးချယ်ရာတွင် အောက်ပါ အချက်များကို အလေးပေးစဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။

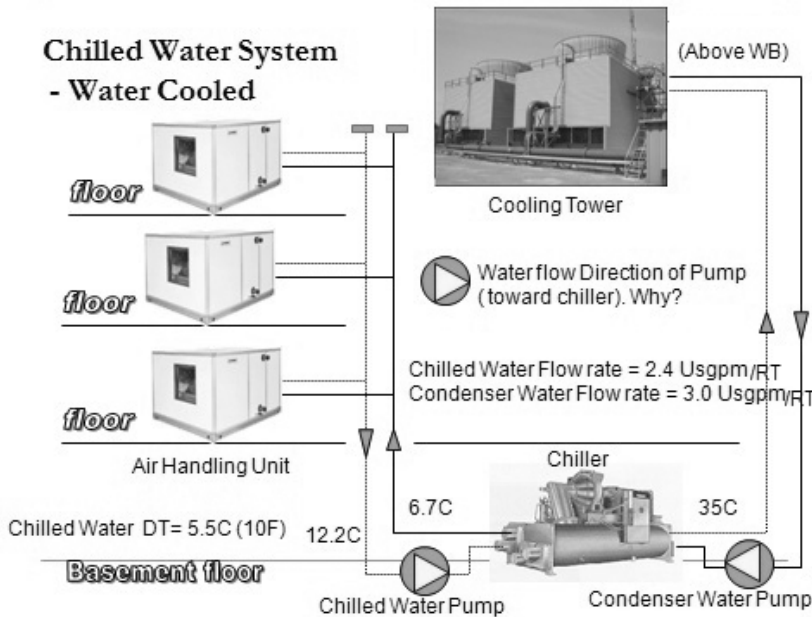
- Equipment ၏ အလေးချိန်(operating weight)နှင့် ကုန်ကျစရိတ်(structural costs)
- Equipment မှ ဖြစ်ပေါ်လာမည့် တုန်ခါမှုများ(vibration)နှင့် ဆူညံသံများ(noise)မှ အနီးဝန်းကျင်သို့ အကျိုး သက်ရောက်မှုများ ကြိုတင်ခန့်မှန်းရမည်။ လိုအပ်လျှင် ကာကွယ်တားဆီးမှုများ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။
- Central plant အတွက် switchgear ၊ motor control center နှင့် transformer များ ထားရန် နေရာနှင့် cable များ ထားရန်နေရာ လိုအပ်သည်။
- Cooling tower ၌ ရေဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်နိုင်သောကြောင့် ရေများများရရှိနိုင်သည့် နေရာနှင့် makeup water tank အတွက် နေရာ လိုအပ်သည်။
- စက်များ ပြုပြင်ရန်၊ အသစ်လဲရန်အတွက် လုံလောက်အောင် ကျယ်သည့်နေရာနှင့် သယ်ယူရန်လမ်းကြောင်းများ လိုအပ်သည်။
- အဆောက်အဦအတွင်း ရေပူ/ရေအေး(cooling and heating service) ပိုက်များ အတွက်နေရာ လိုအပ်သည်။
- နောင်တစ်ချိန်တွင် central plant တိုးချဲ့ရန်အတွက် နေရာ စီမံထားသင့်သည်။
- အဝင်၊ အထွက်လမ်း(road way) နှင့် ကားရပ်နားရန် နေရာ(parking) အတွက် ထည့်သွင်း စဉ်းစားရမည်။

- လောင်စာဆီ(fuel oil) ၊ propane gas နှင့် coal စသည်တို့ သိုလှောင် ထားမည့်နေရာ
- Electrical transformer တပ်ဆင်ထားရာ နေရာ
- Cooling tower မှ အပူများသည် လေထဲသို့ စွန့်ထုတ်ရန်အတွက် နှင့် ဘိုင်လီယာမှ မီးခိုးများ ဘေးကင်းရာသို့ စွန့်ထုတ်ရန် အတွက် လေတိုက်နှုန်းနှင့် လေလမ်းကြောင်းတို့ကို လေ့လာတွက်ချက်သင့်သည်။

ASHRAE ၂၀၀၈ စာအုပ်မှ ကူးယူဖော်ပြသည်။

အရေးပေါ်လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပေးစက်(emergency generator) တည်ရှိရာ အခန်းကို ရွေးချယ်ရန် အတွက် အောက်ပါ အချက်များကို ထည့်စဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။

- (၁) အရေးပေါ်အခြေအနေတွင် လိုအပ်သည့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား ပမာဏ(emergency electrical loads)
- (၂) Combustion air နှင့် cooling air ရရှိနိုင်သည့် နေရာများ
- (၃) လောင်စာဆီ ရရှိနိုင်သည့် နေရာများ(fuel sources)
- (၄) မီးခိုးများနှင့် စွန့်ထုတ်ပစ်ရမည့် ဓာတ်ငွေ့(exhaust gases)များကို ပြင်ပသို့ အလွယ်တကူ စွန့်ထုတ်ပစ်နိုင်သည့် နေရာ ရရှိနိုင်မှု
- (၅) ဆူညံသံများ(noise) ကို ထိန်းချုပ်(control) နိုင်ခြင်း



ပုံ ၁-၁၂ Central cooling system တစ်ခု တည်ဆောက်ထားပုံ

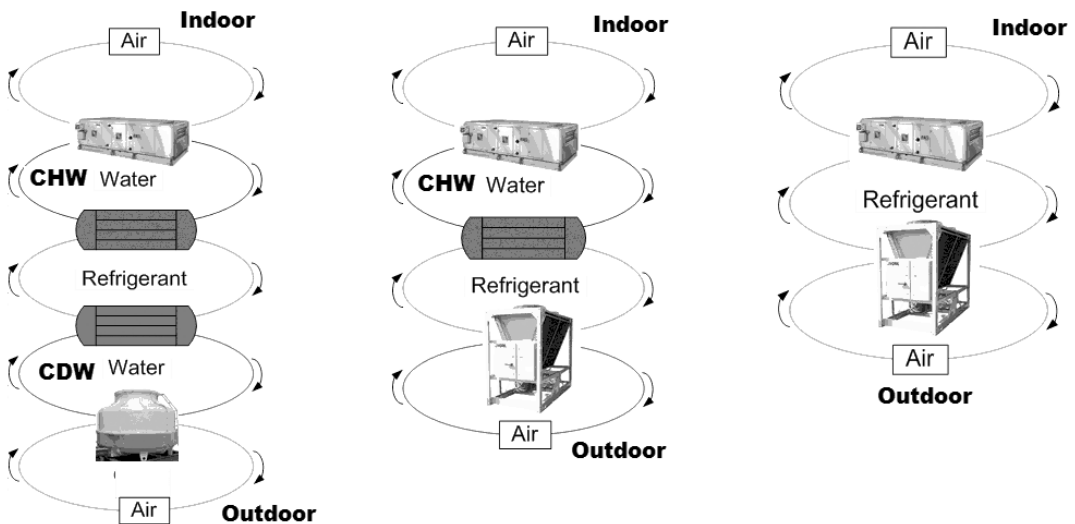
၁.၈ Chilled Water System အမျိုးအစားများ

- (၁) Constant flow systems
 - (က) Constant flow using 3-way control valves
 - (ခ) Constant flow using 2-way control valves and central by-pass
- (၂) Primary secondary flow system
 - (က) Primary constant /Secondary variable flow design
 - (ခ) Primary constant /Secondary variable flow design (with tertiary pumping)
- (၃) Variable Primary Flow chilled water systems (VPF)
 - (က) VPF with dedicated pumps
 - (ခ) VPF with headered pumps

၁.၉ Overview of Chilled Water Plant Rooms

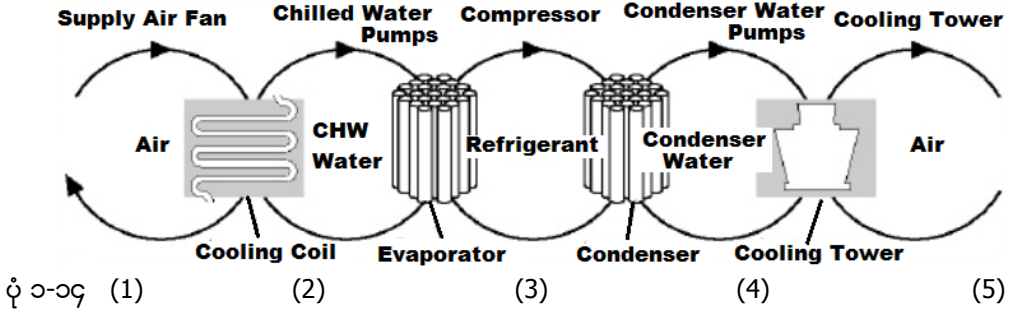
ကြီးမားသည့် ခေတ်မှီ အဆောက်အဦတိုင်းလိုလိုတွင် အများဆုံးတွေ့ရလေ့ရှိသည့် chiller water plant သို့မဟုတ် chilled water system တစ်ခုအကြောင်းကို အတိုချုပ် ဖော်ပြထားသည်။ Chilled water system တစ်ခုတွင် chiller များ၊ pump များ၊ cooling tower များနှင့် AHU/FCU များ ပါဝင်ကြသည်။ တချို့သော system များတွင် heat exchanger pump များ ပါဝင်သည်။ Chilled water system တစ်ခုကို water cooled chiller များ သို့မဟုတ် air cooled chiller များကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထားသည်။ Water cooled chiller များ ပါဝင်သည့် system သို့မဟုတ် plant ကို water cooled plant (water cooled system) ဟုခေါ်သည်။ Air cooled chiller ပါဝင်သည့် system သို့မဟုတ် plant ကို air cooled plant (air cooled system) ဟုခေါ်သည်။

Water cooled chiller ကို အသုံးပြုပါက circuit (၄)မျိုး ရှိပြီး air cooled chiller ကို အသုံးပြုပါက circuit (၃)မျိုးရှိပါသည်။ Air cooled သို့မဟုတ် water cooled chiller အတွင်း၌ရှိသော refrigerant circuit ကို chiller အပိုင်းတွင် အသေးစိတ် ရှင်းလင်း ဖော်ပြထားသည်။

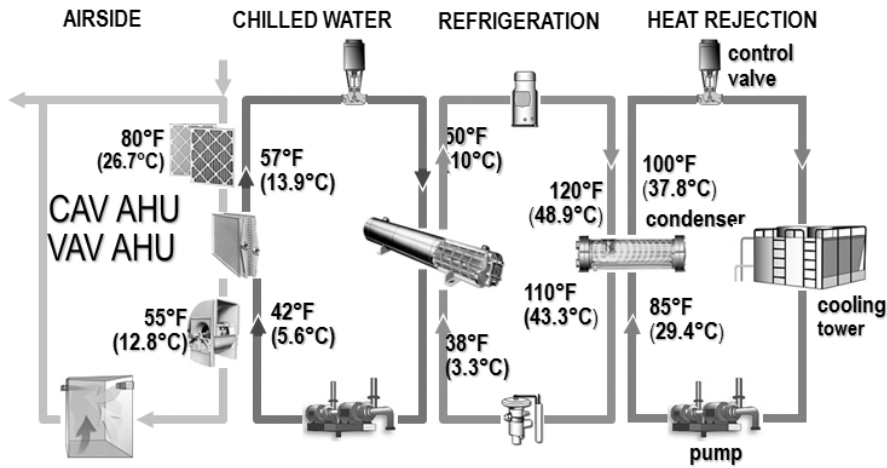


ပုံ ၁-၁၃ Water cooled chiller Air cooled chiller DX packaged

Thermal energy moves from left to right through five loops of heat transfer



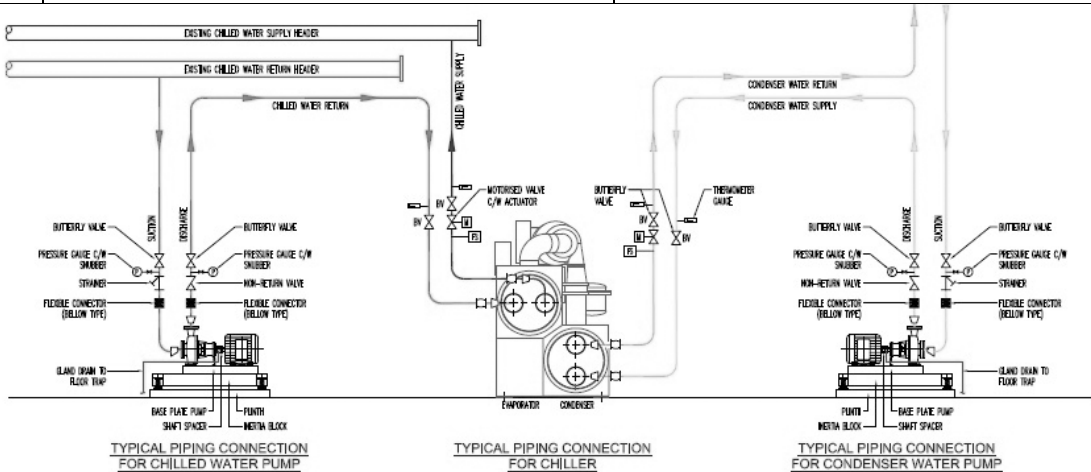
- (၁) Indoor air loop
- (၂) Chilled water loop
- (၃) Refrigerant loop
- (၄) Condenser water loop
- (၅) Cooling tower outdoor air loop



ပုံ ၁-၁၅ Heat transfer loop

Table 1-2 water cooled chilled water system and air cooled chilled water system

	Water Cooled Chilled Water System	Air Cooled Chilled Water System
(က)	Air side circuit သို့မဟုတ် air distribution system	Air side circuit သို့မဟုတ် air distribution system
(ခ)	Chilled water circuit သို့မဟုတ် chilled water distribution system	Chilled water circuit သို့မဟုတ် chilled water distribution system
(ဂ)	Condenser circuit	Air cooled ဖြစ်သောကြောင့် condenser circuit မရှိပါ။
(ဃ)	Chiller အတွင်းရှိ refrigerant circuit	Chiller အတွင်းရှိ refrigerant circuit



ပုံ ၁-၁၆ Chiller တစ်လုံး၏ condenser water pipe နှင့် chilled water pipe တစ်ဆင်ထားပုံ

၁.၁၀ Circuit အခေါ်အဝေါ်များ (Naming of Circuit)

Circuit များအားလုံးတွင် အသွား(supply)နှင့် အပြန်(return) သို့မဟုတ် အဝင်(entering) နှင့် အထွက် (leaving) ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ Supply နှင့် return ဟုသည့် အခေါ်အဝေါ်ကို ပို၍ အသုံးများသည်။ Chilled water circuit တွင် အဆောက်အဦ သို့မဟုတ် load side ကို ရည်ညွှန်းရာ(reference) အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Chiller မှ အထွက်(leaving chilled water)ကို chilled water supply (supply to building) ဟု သတ်မှတ်ပြီး chiller သို့ အဝင်(entering chilled water)ကို chilled water return (return from building) ဟု သတ်မှတ်သည်။ Chilled

water loop/circuit တွင် chiller များ ရှိသည့်ဘက်ကို supply side ဟု သတ်မှတ်ပြီး AHU/FCU များ ရှိသည့်ဘက်ကို demand side(load side) ဟု သတ်မှတ် ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။

Condenser water circuit တွင် cooling tower သည် chiller အတွက် အလုပ်လုပ်ပေးရသောကြောင့် chiller ကို reference အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Chiller သို့ အဝင်(entering condenser water)ကို condenser water supply (supply to chiller) ဟု သတ်မှတ်ပြီး chiller မှ အထွက်(leaving condenser water)ကို condenser water return (return from chiller) ဟု သတ်မှတ်သည်။ Air side circuit တွင် serving area ကို reference အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ AHU/FCU မှထွက်သည့် လေကို supply air (supply air to serving area)ဟု သတ်မှတ်ပြီး အခန်းမှ ပြန်လာသည့် လေ(air)ကို return air (return air from serving area) ဟု သတ်မှတ်သည်။

၁.၁၁ Chilled Water Distribution System သို့မဟုတ် Chilled Water Circuit/Loop

Chilled water distribution system သို့မဟုတ် chilled water circuit/loop တွင် chilled water pump ၊ chiller နှင့် Air Handling Unit(AHU)/Fan Coil Unit(FCU) တို့ ပါဝင်ကြသည်။ Chilled water pump ကို chilled water return ပိုက်လိုင်းဘက် chiller အနီးတွင် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ Chilled water pump ကို chilled water supply ပိုက်လိုင်းဘက်၌ တပ်ဆင်ထားသည့်ကို တွေ့မြင်ရခဲသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် chilled water pump သည် chilled water ကို chiller အတွင်းသို့ တွန်းပို့ခြင်း ဖြစ်သည်။ ထိုသို့ chiller အတွင်းသို့ ရေများကို တွန်းပို့ခြင်းဖြင့် chiller ၏ evaporator အတွင်း၌ ဖိအားမြင့်သည့်ရေများဖြင့် ပြည့်နေသောကြောင့် အပူဖလှယ်မှု(heat exchange) ပိုမိုကောင်းမွန်စေသည်။

Chilled water circuit/loop တွင် Air-Conditioning, Heating and Refrigeration Institute (AHRI) [ယခင် ARI ဟုခေါ်သည်။] က သတ်မှတ်ပြဌာန်းထားသော စံ(standard) အရ chilled water supply temperature သည် 6.7°C ဖြစ်ပြီး chilled water return temperature သည် 12.2°C ဖြစ်သည်။ စံ ရေလည်ပတ်နှုန်း(standard chilled water flow rate)သည် 1 RT အတွက် တစ်မိနစ်လျှင်(၂.၄)ဂါလန်နှုန်း(2.4 USGPM) ဖြစ်သည်။ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားဖြင့် မောင်းသည့် chiller အမျိုးအစားများတွင် ထို chilled water ရေလည်ပတ်နှုန်း(standard chilled water flow rate)ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ ဥပမာ- 500RT(တန် ၅၀၀) chiller တစ်လုံး၏ ရေလည်ပတ်နှုန်း (standard chilled water flow rate) မှာ 1,200GPM (500RT x 2.4GPM) ဖြစ်သည်။

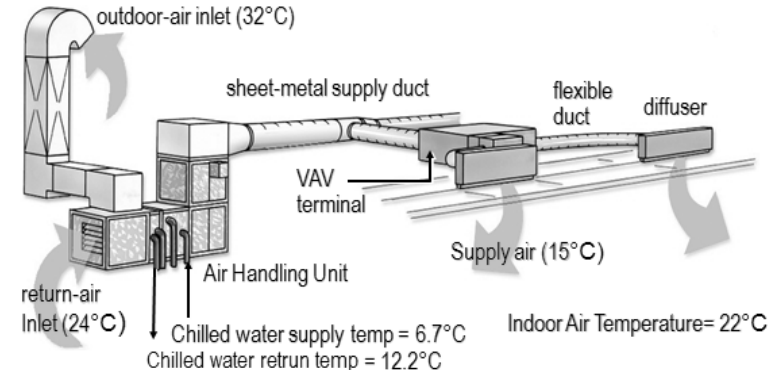
အပူ(heat)သည် အပူချိန်(temperature)မြင့်သည့်နေရာမှ အပူချိန်(temperature)နိမ့်သည့် နေရာသို့ အလိုလျောက် စီးဆင်းလေ့ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် chilled water circuit တွင် အပူချိန်(temperature) မြင့်သည့် 12.2°C chilled water return မှ အပူချိန်(temperature) နိမ့်သည့် refrigerant circuit သို့ စီးဆင်းသွားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် chiller evaporator အတွင်းရှိ refrigerant က အပူများကို စုပ်ယူသွားသည်။ 12.2°C chilled water return သည် အပူများ ဆုံးရှုံးကာ 6.7°C chilled water supply အဖြစ်ဖြင့် chiller အတွင်းမှ ထွက်သွားသည်။ Chilled water circuit ကို closed circuit (closed loop) ဟုခေါ်သည်။ Closed circuit အတွင်းမှ chilled water သည် လေထု(atmosphere) နှင့် မထိတွေ့နိုင်ပေ။

၁.၁၂ Condenser Water Loop သို့မဟုတ် Condenser Water Circuit

Condenser water loop သို့မဟုတ် condenser water circuit တွင် condenser water pump ၊ chiller နှင့် cooling tower တို့ ပါဝင်သည်။ Condenser water pump ကို condenser water supply ပိုက်လိုင်းဘက် chiller အနီးတွင် ထားလေ့ရှိသည်။ Condenser water pump ကို condenser water return ပိုက်လိုင်းဘက်၌ တပ်ဆင်ထားသည့်ကို တွေ့မြင်ရခဲသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် condenser water pump သည် condenser water ကို chiller အတွင်းသို့ တွန်းပို့ခြင်း ဖြစ်သည်။ ထိုသို့ chiller အတွင်းသို့ ရေများကို တွန်းပို့ခြင်းဖြင့် chiller ၏ condenser အတွင်း၌ရေများ high pressure ဖြင့် ပြည့်နေသောကြောင့် အပူဖလှယ်မှု(heat exchange) ပိုမို ကောင်းမွန် စေသည်။

Condenser water circuit/loop တွင် AHRI (Air-Conditioning, Heating and Refrigeration Institute)က သတ်မှတ်ထားသည့် စံ(standard)အရ condenser water supply temperature သည် ပြင်ပလေ (outdoor air)၏ အပူချိန်(web bulb temperature)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ များသောအားဖြင့် wet bulb temperature ထက် (၂.၀)ဒီဂရီ သို့မဟုတ် (၂.၅)ဒီဂရီ စင်တီဂရိတ် ပိုမြင့်လေ့ရှိသည်။ Condenser water supply temperature သည် wet bulb temperature ထက် မည်သည့်အခါမျှ မနိမ့်နိုင်ပါ။ Standard condenser water return temperature သည် 35°C ဖြစ်သည်။ စံ condenser water ရေလည်ပတ်နှုန်း(standard condenser water flow rate)မှာ 1 RT အတွက် တစ်မိနစ်လျှင် (၃.၀)ဂါလန်နှုန်း(3.0 USGPM per RT) ဖြစ်သည်။ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားဖြင့် မောင်းသည့်(electric driven) chiller အမျိုးအစား အားလုံးအတွက် standard condenser water flow rate ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ ဥပမာ- 500RT (တန်၅၀၀) chiller တစ်လုံး၏ standard condenser water ရေလည်ပတ်နှုန်း (standard condenser water flow rate)သည် 1,500GPM(500RT x 3.0GPM) ဖြစ်သည်။

အပူ(heat)သည် အပူချိန်(temperature) မြင့်သည့်နေရာမှ အပူချိန်(temperature)နိမ့်သည့် နေရာသို့ အလို အလျောက် စီးဆင်းလေ့ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် condenser water circuit တွင် အပူ(heat)သည် အပူချိန် မြင့်သည့် chiller အတွင်းရှိ refrigerant circuit မှ အပူချိန်နိမ့်သည့် condenser water supply temperature သို့ စီးဆင်း သွားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အပူချိန်နိမ့်သည့် condenser water supply က အပူချိန်မြင့်သည့် refrigerant circuit မှ အပူများကို စုပ်ယူသွားသည်။ Condenser water supply သည် refrigerant circuit မှ အပူများကို သယ်ဆောင်ပြီး condenser water return အဖြစ် chiller အတွင်းမှ ထွက်သွားသည်။ Condenser water circuit/loop ကို opened circuit/loop ဟုခေါ်သည်။ Opened circuit/loop အတွင်းမှ condenser water သည် လေထု(atmospheric)နှင့် အမြိတ်တွေ့နေသည်။



ပုံ ၁-၁၇ AHU တစ်လုံး၌ chilled water pipe နှင့် duct များ တပ်ဆင်ထားပုံ

၁.၁၃ Air Distribution System (Circuit/Loop)

Air distribution system (circuit/loop)တွင် Air Handling Unit(AHU)၏ blower သည် cold air (supply air) ကို serving area သို့ ရောက်အောင် ပို့ဆောင်ခြင်းနှင့် servicing area မှ return air (warm air) စုပ်ယူခြင်း အလုပ်ကို ဆောင်ရွက်သည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် servicing area ၏ အပူချိန်(temperature) သည် 22°C မှ 24°C ဖြစ်ပြီး supply air အပူချိန်(temperature)သည် 13°C မှ 15°C ဖြစ်သည်။ Return air ၏ temperature သည် 24°C မှ 26°C ဖြစ်ပြီး ပြင်ပလေ(outdoor air)နှင့် ရောနှောလေ့ရှိသည်။

လေလည်ပတ်နှုန်း(air flow rate)သည် chilled water flow rate နှင့် condenser water flow rate များကဲ့သို့ ပုံသေမရှိပေ။ အသုံးပြုမှု အပေါ်မူတည်၍ ပြောင်းလဲလေ့ရှိသည်။ အချိန်တိုင်း ပုံသေလေလည်ပတ်နှုန်း (constant air flow rate) ဖြင့် မောင်းနှင်သော AHU ကို Constant Air Volume(CAV) system ဟု ခေါ်သည်။ Serving area ၏ cooling load လိုအပ်ချက်အရ လေလည်ပတ်နှုန်း(air flow rate) လိုအပ်သလို ပြောင်းလဲ၍ မောင်းနှင်သော AHU ကို Variable-Air-Volume (VAV) system ဟုခေါ်သည်။

-End-

Chapter-2 Vapor Compression Fundamental

သမိုင်း

၁၇၀၀ ခုနှစ် ပထမဆုံး အပူစွမ်းအင်ဖြင့် မောင်းသည့်အင်ဂျင်(heat engine)ကို တီထွင်ခဲ့သည်။

၁၈၀၀ ခုနှစ် ရေခဲ ပြုလုပ်နိုင်ခဲ့သည်။ (ice harvesting)

၁၈၃၄ ခုနှစ် အီသာ(ether)ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြု၍ ပထမဆုံး refrigeration machine ကို တီထွင်နိုင်ခဲ့သည်။

၁၈၆၅ ခုနှစ် အမိုးနီးယားကို အသုံးပြုသည့်(Ammonia compression) ပထမဆုံး စီးပွားဖြစ် ရေခဲစက်(commercial ice maker)ကို စတင် တည်ဆောက်နိုင်ခဲ့သည်။

၁၉၀၁ ခုနှစ် နယူးဇော့စတော့အိတ်ချိန်း(NYSE) အဆောက်အဦသည် ပထမဆုံး လေအေးပေးစက်(air conditioning) တပ်ဆင်ထားသည့် အဆောက်အဦ ဖြစ်ခဲ့သည်။

၁၉၃၀ ခုနှစ် Du Pont ကုမ္ပဏီမှ Feron အမည်ဖြင့် R-12 refrigerant ကို စတင် ထုတ်လုပ်ရောင်းချခဲ့သည်။

၁၉၃၅ ခုနှစ် အများပြည်သူ အသုံးပြုရန် window air conditioning unit များကို စတင် ထုတ်လုပ်ရောင်းချခဲ့သည်။

၁၉၇၅ ခုနှစ် Montreal Protocol (Ozone Protection) သဘောတူညီခဲ့ကြသည်။

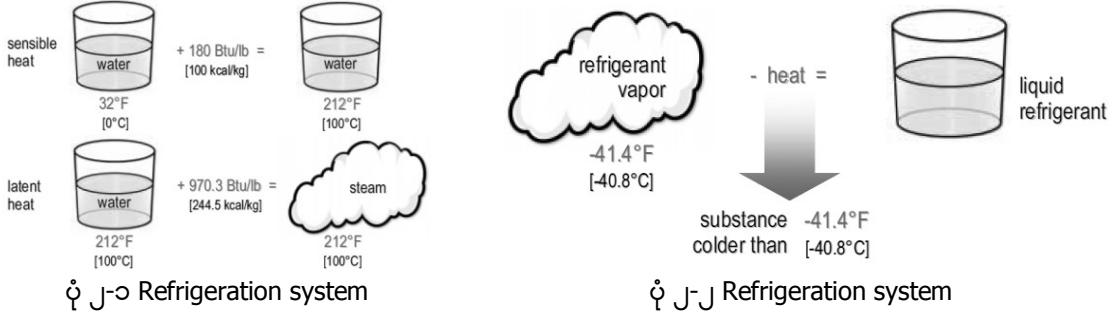
၁၉၉၇ ခုနှစ် Kyoto Protocol (Global warming) စတင် သဘောတူညီခဲ့ကြသည်။

Refrigeration system အမျိုးအစားများမှာ

- (၁) Vapor compression refrigeration systems
- (၂) Absorption refrigeration systems
- (၃) Air-standard refrigeration systems
- (၄) Jet ejector refrigeration systems
- (၅) Thermoelectric refrigeration နှင့်
- (၆) Thermoacoustic refrigeration တို့ ဖြစ်သည်။

Refrigeration machine များနှင့် refrigerant တို့ကို အသုံးပြုမည့်လုပ်ငန်း(application)၏ အပူချိန်ကို လိုက်၍ အုပ်စု(group)များ ခွဲခြားထားသည်။

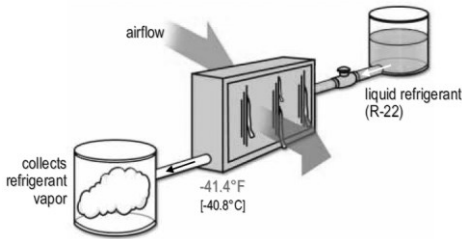
၂.၁ Refrigeration (Vapor Compression Cycle) အကြောင်း



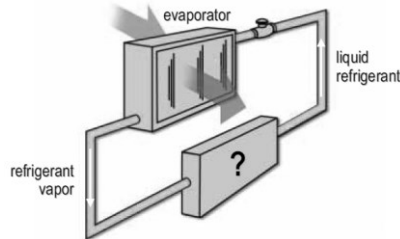
ပုံ ၂-၁ Refrigeration system

ပုံ ၂-၂ Refrigeration system

Refrigeration ဆိုသည်မှာ အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာမှ အပူများကို အပူချိန်မြင့်သည့် နေရာသို့ရောက်အောင် စွန့်ထုတ်သည့် ဖြစ်စဉ်(process)တစ်ခု ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် refrigeration ဆိုသည်မှာ အပူများ (sensible heat or latent heat)ကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း သို့မဟုတ် အေးသွားအောင် ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။



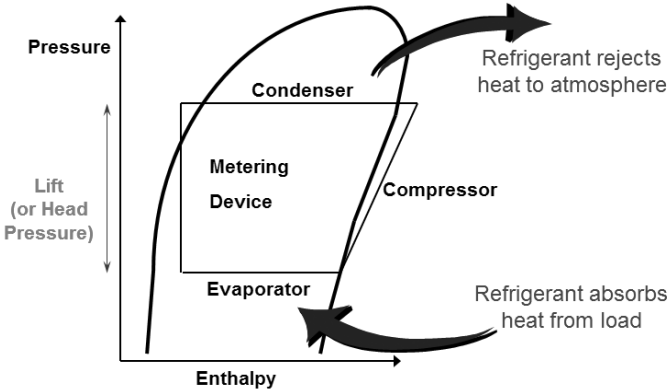
ပုံ ၂-၃ Refrigeration system မှ အပူများစုပ်ယူပုံ



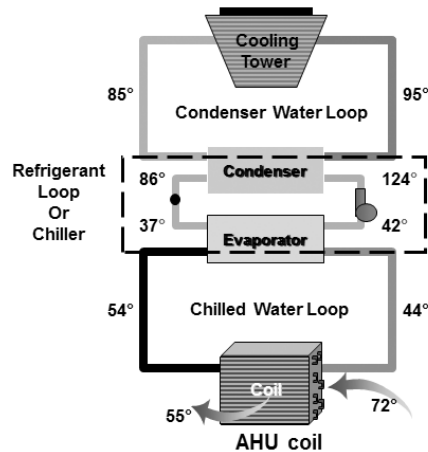
ပုံ ၂-၄ Refrigeration system

၂.၁.၂ Refrigeration

တို့သို့ အပူဖယ်ထုတ်ရန် သို့မဟုတ် အအေးဓာတ်(cooling effect or refrigeration effect)ရရန်အတွက် စွမ်းအင်(energy) တစ်မျိုးမျိုး လိုအပ်သည်။ လျှပ်စစ် စွမ်းအင်(electrical energy) သို့မဟုတ် အပူစွမ်းအင်(thermal energy)ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ စက်မှုစွမ်းအား(mechanical work)ကို အသုံးပြု၍ အပူများကို ဖယ်ထုတ်နိုင်သလို အပူစွမ်းအား(heat)၊ သံလိုက်စွမ်းအား(magnetism)၊ လျှပ်စစ်စွမ်းအား(electricity)၊ လေဆာစွမ်းအား(laser) စသည်တို့ကိုလည်း အသုံးပြုနိုင်သည်။



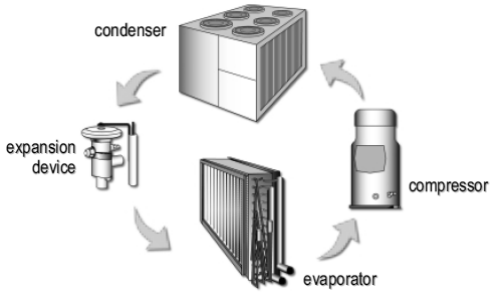
ပုံ ၂.၅(က) Vapor compression cycle



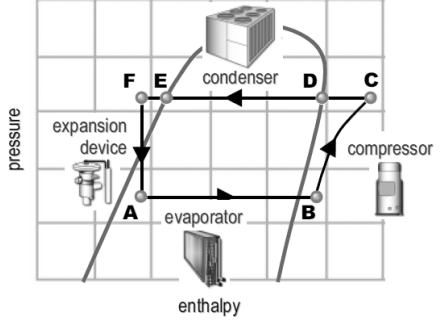
ပုံ ၂.၅(ခ) Vapor compression cycle တစ်ခု

Sensible heat ဥပမာ - အပူချိန် 54°F ဖြင့် ပြန်လာသော return chilled water ကို အပူချိန် 44°F သို့ ရောက်သွားအောင် chiller က sensible heat ဖယ်ထုတ်ခြင်းသည် refrigeration ဖြစ်သည်။ Latent heat ဥပမာ- အပူချိန် 32°F(0°C) ရှိသောရေမှ latent heat များကို ဖယ်ထုတ်ပြီး အပူချိန်ရှိသော 32°F(0°C) ရေခဲအဖြစ်သို့

ရောက်အောင် Latent heat ဖယ်ထုတ်ခြင်း သို့မဟုတ် phase ပြောင်းလဲခြင်းသည်လည်း refrigeration ဖြစ်သည်။ ယနေ့ခေတ်တွင် refrigeration ကို လုပ်ငန်းများစွာ၊ နေရာများစွာတွင် ပုံစံ အမျိုးမျိုး၊ ရည်ရွယ်ချက်အမျိုးမျိုးဖြင့် အသုံးပြုကြသည်။



ပုံ ၂-၆ Vapor compression refrigeration cycle



ပုံ ၂-၇ Vapor compression refrigeration cycle

Vapor compression cycle နှင့် vapor absorption cycle တို့သည် refrigeration cycle များဖြစ်ကြသည်။ Thermodynamic cycle ဟုလည်းခေါ်သည်။ Commercial နှင့် industrial refrigeration system တွင် အများဆုံး အသုံးပြုသော စနစ်မှာ vapor compression system ဖြစ်သည်။ ထိုစနစ်တွင် အဓိက အစိတ်အပိုင်း (၄)ပိုင်း နှင့် ဖြစ်စဉ်(process)လေးမျိုး ပါဝင်သည်။

- (၁) Compressor
- (၂) Condenser
- (၃) Expansion device နှင့်
- (၄) Evaporator တို့ ဖြစ်ကြသည်။

(၁) Compressor

(က) Compressor သည် ဖိအားနိမ့်(low pressure) သည့် ဓာတ်ငွေ့များကို စုပ်ယူပြီး ဖိအားမြင့်(high pressure) အောင် ဖိသိပ်(compress)ပေးသည်။

(၂) Condenser

(က) Condenser အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသော ဖိအားနှင့် အပူချိန်မြင့်သည့် ဓာတ်ငွေ့များမှ အပူများ ထွက်သွားအောင် စွန့်ထုတ်ပေးခြင်းကြောင့် ဖိအားမြင့်သည့် အရည်များအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ Condenser အတွင်း၌ refrigerant အငွေ့သည် latent heat ကို စွန့်ထုတ်ခြင်းဖြင့် အရည်ဘဝသို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ Condensation ဖြစ်ပေါ်သည်။

(ခ) Condenser အတွင်း high pressure ဖြင့် ဝင်ရောက်လာသော ဓာတ်ငွေ့များသည် saturation temperature မြင့်တက်သွားသောကြောင့် အပူစွန့်ထုတ်ရမည့် ပတ်ဝန်းကျင်ထက်ရှိ အပူချိန်ထက် ပိုမြင့်သည်။ ထို့ကြောင့် condenser အတွင်း၌ အပူဖလှယ်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။

(၃) Expansion Device

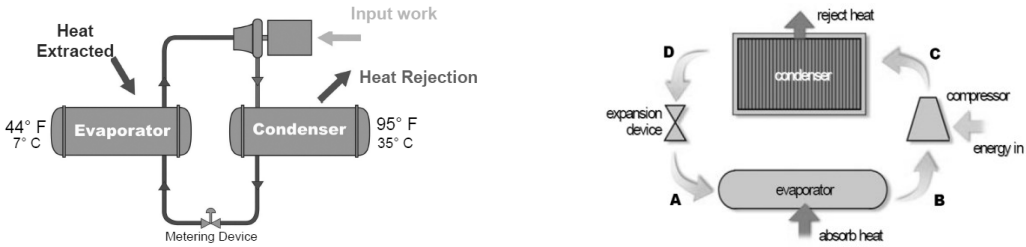
(က) Expansion device သည် evaporator အတွင်း စီးဝင်မည့် refrigerant ပမာဏကို ထိန်းချုပ်ပေးပြီး evaporator အတွင်း refrigerant များ အပြည့်အဝ အငွေ့ပျံ့ရန်အတွက် သတ်မှတ်ထားသော ဖိအားသို့ ကျဆင်းအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် refrigerant များကို ကျယ်ပြန့်(expand)စေသည်။

(ခ) Refrigerant စီးနှုန်းကို ထိန်းသိမ်းပေးခြင်း(control လုပ်ခြင်း)ဖြင့် refrigeration system အတွက် အဓိက လိုအပ်သော high pressure (condensing pressure) နှင့် low pressure (evaporating pressure) ဖိအားခြားနားချက် ဖြစ်ပေါ်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။

(၄) Evaporator

(က) Evaporator အတွင်းသို့ ရောက်ရှိလာသော refrigerant အရည်များသည် အပူများကို စုပ်ယူကာ အရည်အဖြစ်မှ အငွေ့အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။

Evaporator အတွင်းမှ ဓာတ်ငွေ့များကို compressor မှ အမြဲစုပ်ယူနေသောကြောင့် evaporator အတွင်း low pressure ဖြစ်ပေါ်နေသည်။ ထို့ကြောင့် evaporator အတွင်းရှိ refrigerant temperature သည် saturation temperature ထက် ပိုနိမ့်သဖြင့် အလွယ်တကူ အငွေ့ပျံစေပြီး ပတ်ဝန်းကျင်မှ အပူများကို စုပ်ယူနိုင်ခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၈ Chiller တစ်လုံး အလုပ်လုပ်ပုံ နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အပူချိန်များ

၂.၂ Refrigeration System တစ်ခု၏ အဓိက အစိတ်အပိုင်းများ

Refrigeration system တစ်ခုတွင် ပါဝင်သည့် အဓိက အစိတ်အပိုင်း(principal part)များ အကြောင်းကို အောက်တွင် အတိုချုပ် ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Receiver

Evaporator တွင် refrigerant အရည်(Liquid)များ မပြတ်သွားအောင် သိုလှောင် သိမ်းဆည်းပေးသည်။

(၂) Liquid Line

Receiver မှ liquid refrigerant များ expansion valve သို့ ရောက်အောင် သယ်ဆောင်ပေးသည့် လိုင်းကို liquid line ဟုခေါ်သည်။ Expansion valve တည်ရှိရာနေရာသည် စီးနှုန်း(flow) control လုပ်သည့် နေရာ ဖြစ်သည်။

(၃) Refrigerant Flow Control

Evaporator အတွင်းသို့ သင့်လျော်သည့် refrigerant ပမာဏ ဝင်ရောက်သွားစေရန် control လုပ်ပေးသည်။ Liquid refrigerant ၏ ဖိအား လျော့ကျသွားအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။

(၄) Evaporator

Evaporator သည် heat exchange တစ်ခုဖြစ်ပြီး refrigerated space သို့မဟုတ် heat source မှ အပူများကို refrigerantမှ စုပ်ယူသွားနိုင်အောင် အပူကူးပြောင်းမှုဖြစ်စေမည့်မျက်နှာပြင်(heat transfer surface) ပါဝင်သည်။

(၅) Suction Line

Evaporator အတွင်းမှ low pressure vapor များကို compressor ၏ အဝ(suction inlet)သို့ ရောက်အောင် ပို့ဆောင်ပေးသည့် ပိုက်လိုင်းဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် evaporator နှင့် compressor ကို ဆက်ထားပေးသည့် ပိုက်ဖြစ်သည်။

(၆) Compressor

Evaporator အတွင်းမှ ဖိအားနိမ့်သည့်အငွေ့(low pressure vapor)များကို စုပ်ယူပြီး ဖိအား မြင့်တက်အောင် ပြုလုပ်ကာ condenser ဆီသို့ရောက်အောင် တွန်းပို့ပေးသည်။ ထိုသို့ ဖိအားမြင့်တက်အောင် ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။

(၇) Discharge Line

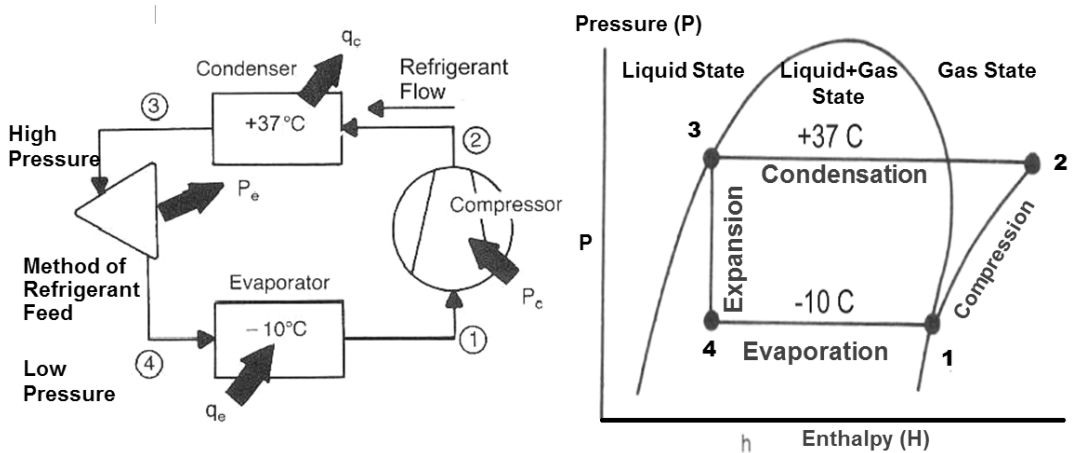
Compressor မှ ထွက်လာသည့် အပူချိန်နှင့် ဖိအားမြင့်သည့် အငွေ့ (high pressure၊ high temperature

vapor) များကို condenser ဆီသို့ သယ်ဆောင်ပေးသည့် ပိုက်လိုင်းကို discharge line ဟု ခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် compressor နှင့် condenser ကို ဆက်ထားပေးသည့် ပိုက်ကို discharge line ဟုခေါ်သည်။

(၈) Condenser

Refrigerant vapor က သယ်ဆောင်ထားသည့်အပူများကို လေထု(atmospheric) သို့မဟုတ် condensing medium ထဲသို့ စွန့်ထုတ်ပစ်နိုင်အောင် heat transfer surface များဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် ကိရိယာကို condenser ဟုခေါ်သည်။ ထိုသို့ အပူစွန့်ထုတ်နေစဉ် refrigerant သည် အငွေ့အဖြစ်မှ အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲ(condense to liquid) သွားသည်။

1-2 : Compression 2-3 : Condensation 3-4 : Expansion 4-1 : Evaporation



ပုံ ၂-၉ Vapor compression refrigeration cycle

၂.၂.၁ Vapor Compression Refrigeration Cycle တစ်ခု၏ Process များ

Process 1-2 Compression

Refrigerant သည် evaporator မှ အထွက်တွင် low pressure အငွေ့ဖြင့် ထွက်လာပြီး compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည်။ ထို့နောက် compressor အတွင်း၌ high pressure အငွေ့အဖြစ်သို့ ရောက်အောင် ဖိသိပ်ခြင်းခံရသည်။ Refrigerant များကို ဖိသိပ်ပေးသည့် ကိရိယာကို "compressor" ဟု ခေါ်သည်။

Process 2-3 Condensation

Compressor အတွင်းမှ ထွက်လာသော high pressure အငွေ့များသည် condenser အတွင်း ဝင်ရောက် သွားပြီး constant pressure အောက်တွင် အပူစွန့်ထုတ်၍ high pressure အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲ သွားသည်။ အအေးခံရာတွင် လေ သို့မဟုတ် ရေကို အသုံးပြုသည်။ High pressure အဖြစ် မြှင့်တင်ထား၍ condenser temperature မြင့်တက်နေသောကြောင့် လေထုအပူချိန်၌ပင် အလွယ်တကူ အပူစီးကူးပြီး အအေးခံ နိုင်သည်။ Refrigerant မှ အပူများကို condenser မှတစ်ဆင့် ပတ်ဝန်းကျင်သို့ စွန့် ထုတ်ပစ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

အငွေ့အဖြစ်(vapor)မှ အရည်အဖြစ်(liquid)သို့ ပြောင်းလဲခြင်း(condensation) ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည့် ကိရိယာကို "condenser" ဟုခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် condenser အတွင်း၌ refrigerant များသည် အပူများကို စွန့်ထုတ်ကာ အငွေ့အဖြစ်(vapor)မှ အရည်အဖြစ်(liquid)သို့ ပြောင်းလဲခြင်း(condensation) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Condenser မှ ထွက်လာသော high temperature ၊ high pressure liquid refrigerant ကို condenser အတွင်း၌ အပူများကို စွန့်ထုတ်စေပြီး အပူချိန်နိမ့်သည့် refrigerant အရည်များအဖြစ် ပြောင်းလဲ စေသည်။

Process 3-4 Expansion

Refrigerant များ ဖိအားမြင့်ရာမှ ဖိအားနိမ့်ရာသို့ ရောက်အောင် လျော့ချပေးသည့် ကိရိယာကို "expansion device" ဟု ခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် refrigerant များ ကျယ်ပြန့်(expend)အောင် သို့မဟုတ် ဖိအား ကျဆင်းသွားအောင် ပြုလုပ်ပေးသည့် ကိရိယာကို "expansion device" ဟုခေါ်သည်။

Process 4-1 Evaporation

Low pressure အရည်များသည် evaporator အတွင်းသို့ ဆက်လက် ဝင်ရောက်လာကြသည်။ Compressor မှ ဓာတ်ငွေ့များ စုပ်ယူနေမှုကြောင့် evaporator pressure လျော့နည်းနေသည်။ ထိုသို့ ဖိအား လျော့နည်းသဖြင့် refrigerant ၏ evaporation temperature မှာလည်း အလွန်နိမ့်နေသည်။ ထို့ကြောင့် refrigerant ဓာတ်ငွေ့များသည် ပတ်ဝန်းကျင်မှ အပူများကို စုပ်ယူပြီး လျင်မြန်စွာ အငွေ့ပျံသွားကြသည်။ မပြောင်းလဲသည့် ဖိအား(constant pressure)အောက်တွင် အငွေ့ပျံပြီး ဖိအားနိမ့်သည့်(low pressure) အငွေ့ဘဝသို့ ရောက်ရှိ သွားကြသည်။ ထို့နောက် compressor အတွင်းသို့ နောက်တစ်ကြိမ် ဝင်ရောက်သွားကြပြီး ဖိသိပ်(compress)ရန် အသင့် ဖြစ်နေသည်။

Refrigeration system ကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Refrigerant များ အငွေ့ပျံခြင်း (evaporation) ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည့် ကိရိယာကို "evaporator" ဟု ခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် evaporator အတွင်း၌ refrigerant များသည် အပူများကို စုပ်ယူကာ အရည်အဖြစ်မှ အငွေ့အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်း သို့မဟုတ် အငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်ပေါ်သည်။

၂.၂.၂ Principles of Refrigeration

- Refrigerant အရည်သည် အနီးမှ အပူများကို စုပ်ယူ(absorb)ကာ အရည်အဖြစ်(liquid)မှ အငွေ့(vapor)အဖြစ် သို့ ပြောင်းလဲသွားသည့်ဖြစ်စဉ်ကို "condensation" ဟုခေါ်သည်။
- Refrigerant အငွေ့(vapor)မှ အပူများကို ဖယ်ထုတ်လိုက်သည့်အခါ အငွေ့အဖြစ်(vapor)မှ အရည်အဖြစ် (liquid) သို့ ပြောင်းလဲသွားသည့် ဖြစ်စဉ်ကို "evaporation" ဟု ခေါ်သည်။
- Compressor အတွင်းသို့ refrigerant များသည် ဖိအားနိမ့်သည့် အငွေ့(low pressure gas)အဖြစ် ဝင်ရောက် လာသည်။ Compressor မှ ဖိသိပ်(compress) လိုက်သောကြောင့် ဖိအားမြင့်သည့် အငွေ့(high pressure gas) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။
- Compressor မှ ထွက်လာသည့် high pressure gas များသည် condenser အတွင်းသို့ ဝင်ရောက် သွားသည်။ Condenser အတွင်း၌ refrigerant မှ အပူများ ဆုံးရှုံးပြီး(စွန့်ထုတ်ပြီး) အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။
- ဖိအားမြင့်သည့် refrigerant အရည်(liquid)များသည် expansion valve ဆီသို့ ရောက်ရှိကာ စီးဆင်းနေမှုကို ဟန့်တားသည့် ခုခံအားများကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။
- ဖိအားနိမ့်သည့်အရည်(low pressure liquid)များသည် evaporator အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားသည်။ Evaporator အတွင်း၌ အပူများကို စုပ်ယူပြီး ဖိအားနိမ့်သည့်အရည်(low pressure liquid)အဖြစ်မှ ဖိအား နိမ့်သည့်အငွေ့(low pressure vapor) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။
- ဖိအားနိမ့်သည့် ဓာတ်ငွေ့(low pressure gas) များသည် compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ကာ cycle အသစ် တစ်ခုကို စတင်ပြန်သည်။
- ဤစာအုပ်တွင် compressor အဝင်(inlet)အခြေအနေကို "state 1" အဖြစ် လည်းကောင်း၊ compressor အထွက် (exit) အခြေအနေ သို့မဟုတ် condenser အဝင်အခြေအနေ ကို "state 2" အဖြစ်လည်းကောင်း၊ condenser အထွက်(exit) အခြေအနေ သို့မဟုတ် expansion device အဝင် အခြေအနေ ကို "state 3" အဖြစ် လည်းကောင်း၊ expansion device အထွက်(exit) အခြေအနေ သို့မဟုတ် evaporator အဝင် အခြေအနေကို

"state 4" အဖြစ်လည်းကောင်း သတ်မှတ်သည်။ သို့သော် စာအုပ်အားလုံးအတွက် မမှန်ကန်ပါ။ ထို့ကြောင့် state များ နာမည်ပေးပုံကို သိနိုင်ရန်အတွက် ပုံနှင့်တွဲ၍ ဖတ်ရှုရန် လိုအပ်သည်။

• **Saturated Liquid**

Saturated liquid ဆိုသည်မှာ refrigerant အရည်(liquid)သည် အငွေ(vapor) အဖြစ်သို့ စတင် မပြောင်းလဲခင် အပြည့်အဝ အရည်(liquid)အနေဖြင့် အပူစွမ်းအင်(heat energy) အများဆုံး ပိုင်ဆိုင်နေသည့် အခြေအနေကို ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အရည်အဖြစ်မှ အငွေအဖြစ်သို့ မပြောင်းလဲခင် အခြေအနေ သို့မဟုတ် အငွေအဖြစ်မှ အရည်အဖြစ်သို့ ရာနှုန်းပြည့် လုံးဝပြောင်းလဲပြီးချိန်ကို ရည်ညွှန်းသည်။

• **Saturated Vapor**

Saturated vapor ဆိုသည်မှာ အပြည့်အဝ အငွေ(vapor) အနေဖြင့် အပူစွမ်းအင်(heat energy) အများဆုံး ပိုင်ဆိုင်နေသည့် အခြေအနေကို ဆိုလိုသည်။ Saturated vapor အခြေအနေမှ အပူစွမ်းအင်(heat energy) အနည်းငယ် လျော့ချလိုက်ရုံဖြင့် အရည်(liquid)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲ(condense to a liquid) သွားလိမ့်မည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အငွေအဖြစ်သို့ ရာနှုန်းပြည့် ပြောင်းလဲပြီးချိန်ကို ရည်ညွှန်းသည်။

• **Subcooled**

အရည်ဆူမှတ်အပူချိန်(boiling temperature)ထက် ပိုနိမ့်သည့် အပူချိန်ကို **Subcooled** အပူချိန် (temperature) ဟုခေါ်သည်။ ဥပမာ - ရေသည် လေထုဖိအားအောက်(atmospheric pressure)တွင် အပူချိန် 100°C ၌ စတင်ဆူပွက်သည်။ ရေ၏အပူချိန်သည် 80°C ဖြစ်နေလျှင် 20°C subcooled ဖြစ်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အရည်ဆူမှတ်အပူချိန်(boiling temperature)ထက် 20°C နိမ့်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။

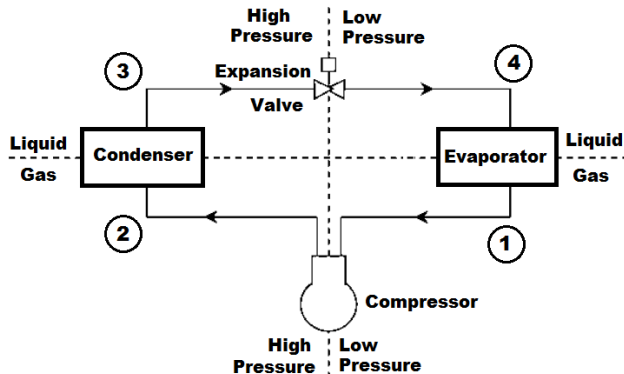
• **Superheated**

အရည်ဆူမှတ် အပူချိန်(boiling temperature)ထက် မြင့်နေချိန်၌ လုံးဝ ရာခိုင်နှုန်းပြည့် အငွေ(vapor) ဖြစ်နေချိန်တွင် ထပ်ထည့်သည့် အပူစွမ်းအင်(heat energy)များကြောင့် မြင့်တက်လာသည့် အပူချိန်ဖြစ်သည်။ ဥပမာ- steam အပူချိန် သည် 110°C ဖြစ်လျှင် 10°C superheated ဖြစ်နေသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ရေ၏ဆူမှတ် အပူချိန်(boiling temperature) သည် လေထုဖိအားအောက်တွင် 100°C ဖြစ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

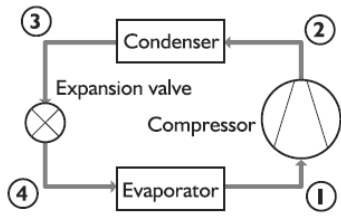
• Expansion valve အဝင်နှင့် အထွက်တို့တွင် enthalpy တူညီကြသည်။ ($h_3 = h_4$) တစ်နည်းအားဖြင့် expansion valve ကြောင့် enthalpy ပြောင်းလဲခြင်း မဖြစ်ပေါ်ပေ။

• State 1 entropy နှင့် state 2 entropy တို့ တူညီကြသည်။ ($S_1 = S_2$) တစ်နည်းအားဖြင့် compressor ကြောင့် entropy မဖြစ်ပေါ်ပေ။

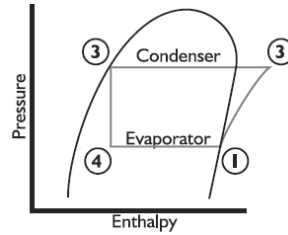
၂.၂-၃ Refrigeration cycle ၏ state များတွင် ဖြစ်ပေါ်နေမည့် အပူချိန်၊ ဖိအားနှင့် အရည်၊ အငွေ အခြေအနေ



ပုံ ၂-၁၀ Refrigeration cycle ၏ state များတွင် ဖြစ်ပေါ်နေမည့် ဖိအား နှင့် အရည်၊ အငွေ အခြေအနေ



ပုံ ၂-၁၁(က)



ပုံ ၂-၁၁(ခ)

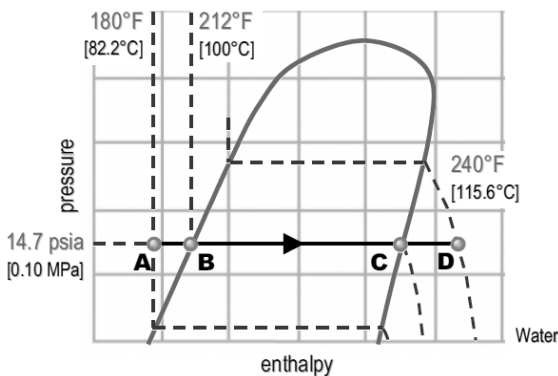
Basic refrigeration cycle ၏ state များတွင် ဖြစ်ပေါ်နေမည့် အပူချိန်၊ ဖိအားနှင့် အရည်အငွေ့ အခြေအနေ

- State -1 Low pressure/temperature vapor
- State -2 High pressure /temperature vapor
- State -3 High pressure /temperature liquid
- State -4 Low pressure /temperature liquid

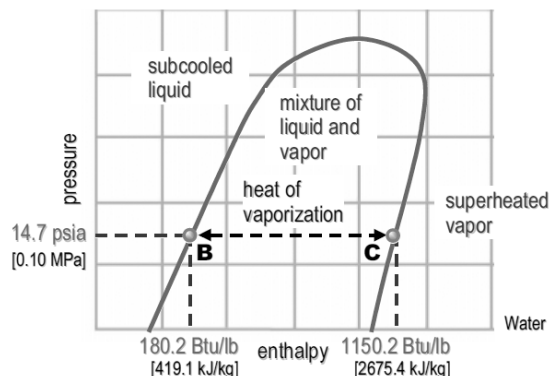
၂.၂.၄ Pressure-enthalpy (P-h) chart

Standard vapor compression cycle ၏ refrigerant ဓာတ်ငွေ့များအကြောင်းကို pressure enthalpy chart (P-h chart)ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ Refrigerant များအကြောင်းကို အခန်း(၄)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Pressure enthalpy diagram နှင့် flow diagram တို့ဖြင့် cycle အလုပ်လုပ်ပုံကို ဖော်ပြနိုင်သည်။ Pressure enthalpy diagram ကို အသုံးပြု၍ vapor compression cycle များ ကို လေ့လာနိုင်သည်။

Chart ၏ ညာဘက်ပိုင်းတွင် refrigerant များသည် အငွေ့အဖြစ်(vapor phase) အဖြစ်တည်ရှိသည်။ Chart ၏ ဘယ်ဘက်ပိုင်းတွင် refrigerant များသည် အရည်(liquid phase) အနေဖြင့် တည်ရှိသည်။ Chart ၏ အလယ်ပိုင်း နေရာကို envelope ဟုခေါ်သည်။ Envelope ၏ ဘယ်ဘက်တွင်ရှိသည့်လိုင်းသည် saturated liquid line ဖြစ်သည်။ Envelope ၏ ညာဘက်တွင်ရှိသည့်လိုင်းသည် saturated vapor line ဖြစ်သည်။ Envelope ၏ အတွင်းပိုင်းတွင် refrigerant သည် အရည်နှင့်အငွေ့ရောနှော(mixture of liquid and vapor) အဖြစ် တည်ရှိသည်။ Envelope ၏ ညာဘက်ပိုင်းတွင်ရှိသည့် vapor များသည် super heated အပူချိန်တွင်ရှိသည်။ Envelope ၏ ဘယ်ဘက်ပိုင်းတွင် ရှိသည့် liquid ၏ အပူချိန်သည် subcooled အပူချိန်ဖြစ်သည်။ Constant temperature များသည် P-h chart ကို ဖြတ်သွားသည်။

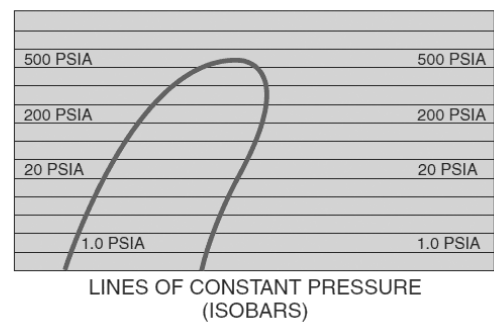
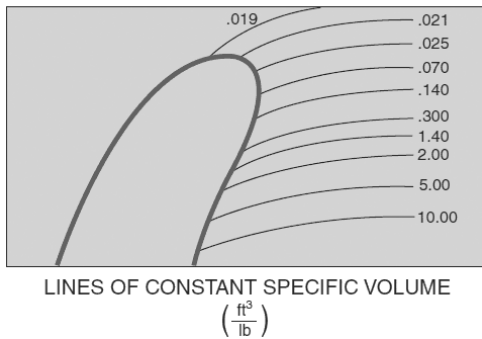
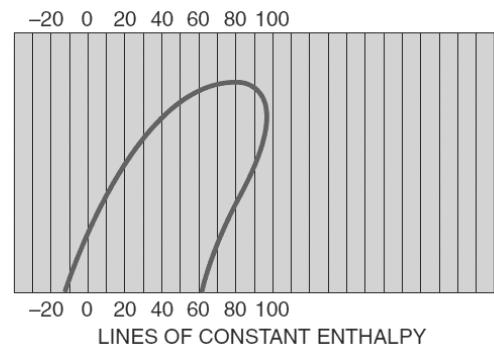
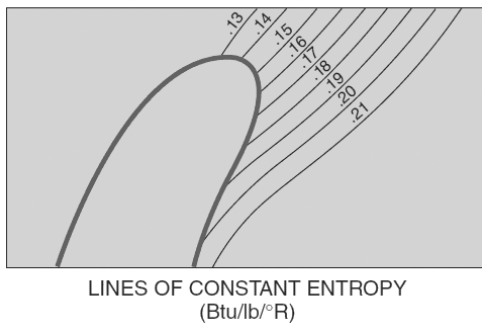
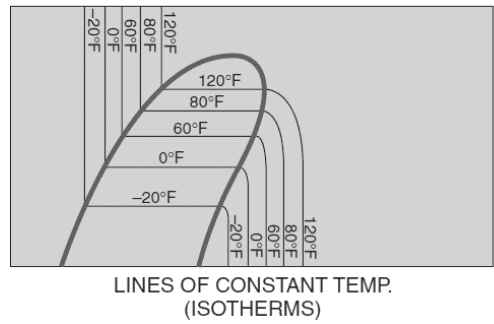
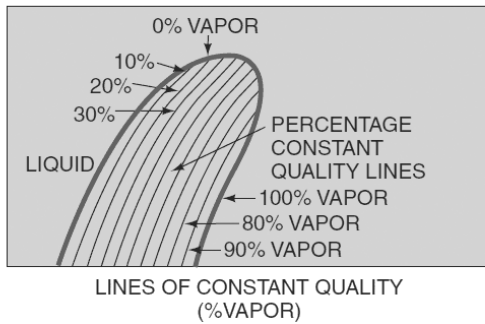
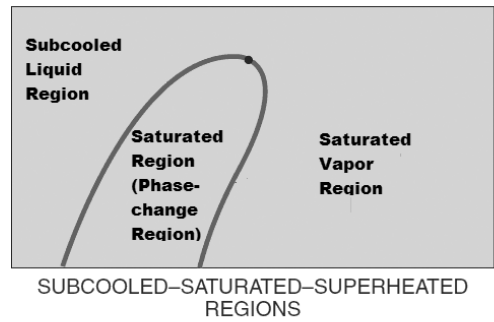
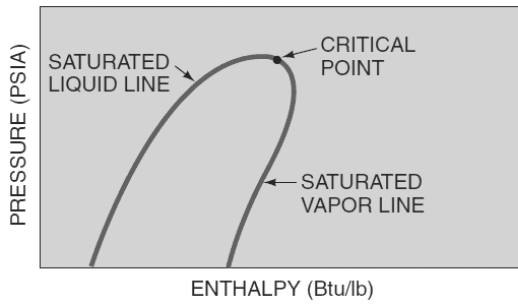


ပုံ ၂-၁၂ P-h chart for water

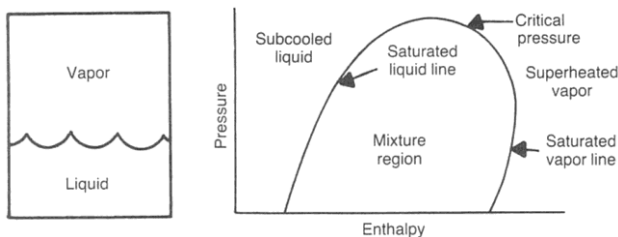


ပုံ ၂-၁၃ Heat of vaporization

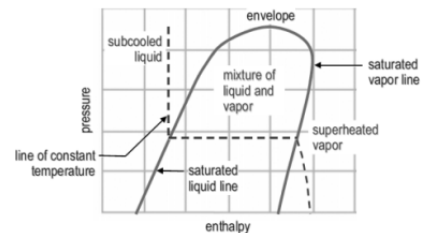
R-22 vapor compression refrigeration cycle ကို လေ့လာရန်အတွက် ဖော်ပြထားသည့်ပုံများဖြစ်သည်။ Cycle ရှိ အဆင့် တစ်ဆင့်ချင်းစီတွင် ရှိသည့် refrigerant အခြေအနေများကို လေ့လာနိုင်သည်။ Refrigeration cycle သည် အဆက်မပြတ်ဖြစ်နေသည့် ဖြစ်စဉ်(continuous process) ဖြစ်သည်။ Refrigerant များ compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ခြင်းဖြင့် စတင်သည်။ ထိုစတင်ဝင်ရောက်သည့် နေရာသည် P-h chart ပေါ်တွင် ဘယ်ဘက် အနိမ့်ပိုင်း (lower left-hand) နေရာဖြစ်သည်။



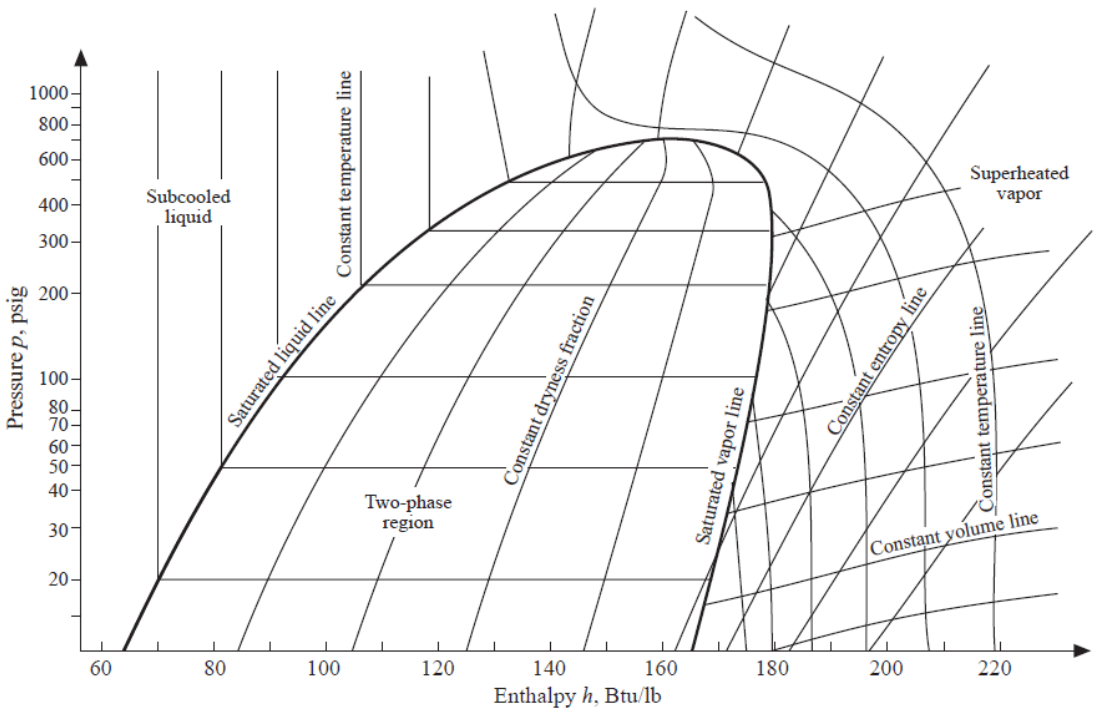
ပုံ ၂-၁၄ Skeletal pressure/enthalpy diagrams.



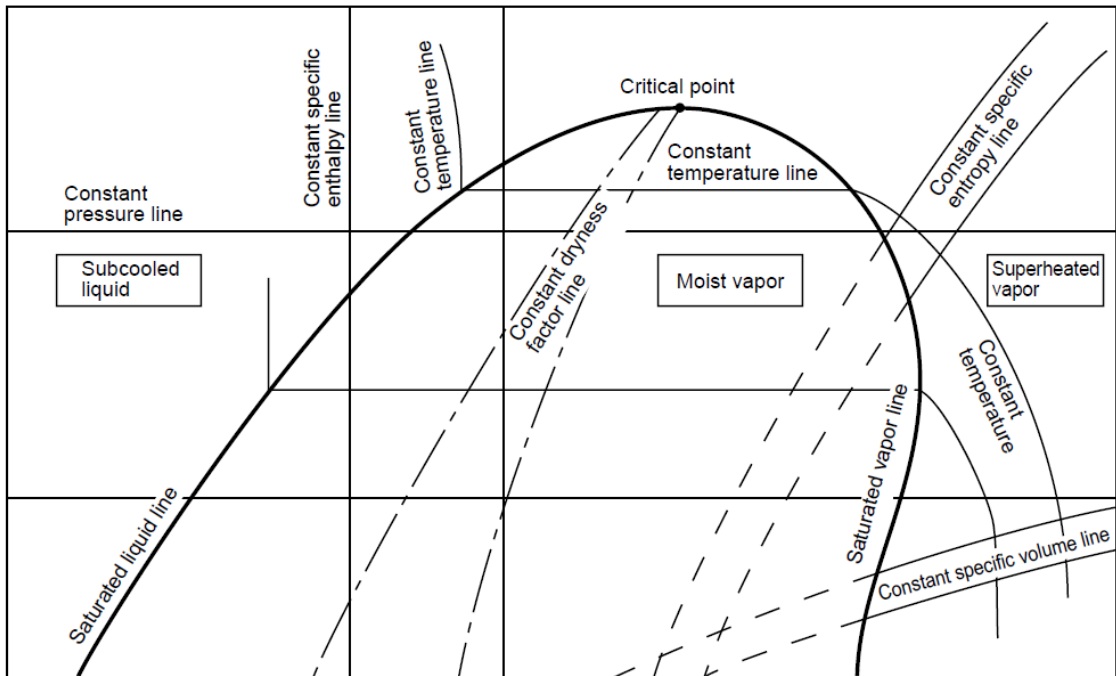
ပုံ ၂-၁၅ Pressure - Enthalpy curve



ပုံ ၂-၁၆ Pressure - Enthalpy chart

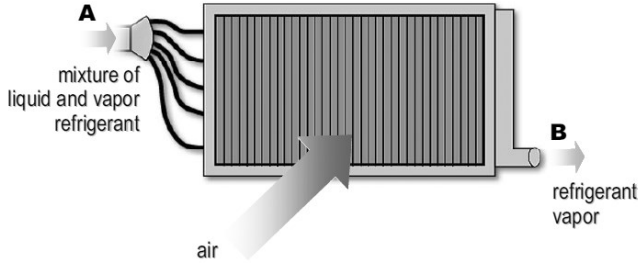


ပုံ ၂-၁၇ Skeleton of pressure-enthalpy diagram for R-22



ပုံ ၂-၁၈ Mollier chart

၂.၃ Refrigeration System တစ်ခု၏ အဓိက အစိတ်အပိုင်း(၄)မျိုး



ပုံ ၂-၁၉ capillary tube တပ်ဆင်ထားသည့် evaporator ပုံ ဖြစ်သည်။ Evaporator အတွင်းသို့ refrigerant များသည် အရည်(liquid)အနေဖြင့် ဝင်ရောက်လာပြီး အပူများကိုစုပ်ယူကာ အငွေ့(vapor)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။

၂.၃.၁ Evaporators

အရည်တစ်မျိုးမျိုးသည် အပူချိန်တိုးလာသည့်အခါ အငွေ့(vapor form) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည့် ဖြစ်စဉ်ကို "Evaporation" ဟုခေါ်သည်။ Refrigeration system တစ်ခုတွင် refrigerant သည် အပူကို စုပ်ယူကာ refrigerant vapor အဖြစ်သို့ ရောက်အောင် ပြောင်းလဲစေသည့် ကိရိယာကို "evaporator"ဟုခေါ်သည်။ Evaporator သည် heat exchanger တစ်မျိုးဖြစ်ပြီး refrigerant နှင့် အေးအောင်လုပ်ခြင်းခံရမည့် အရည်တစ်မျိုးမျိုး(cooling medium) အကြားတွင် အပူကူးပြောင်းမှု(heat exchange) ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ အပူသည် အပူချိန်မြင့်ရာမှ နိမ့်ရာသို့သာ အလိုအလျောက် စီးဆင်းနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် အပူချိန်မြင့်သည့် cooling medium (အေးအောင်လုပ်ခြင်းခံရမည့် အရည်တစ်မျိုးမျိုး)မှ အပူသည် အပူချိန်နိမ့်သည့် refrigerant ဆီသို့ စီးဆင်းသွားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် refrigerant မှ အပူ များကို စုပ်ယူသွားသည်ဟုလည်း ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။

၂.၃.၂ Compressors



Refrigerant ကို ဖိသိပ်(compress)သောကြောင့် compressor ဟု ခေါ်သည်။ Compressor သည် refrigeration system တစ်ခုတွင် အရေးကြီးဆုံး အစိတ်အပိုင်းဖြစ်ပြီး အဓိကလုပ်ငန်း နှစ်ခုကို ဆောင်ရွက်ပေးသည်။

ပုံ ၂-၂၀ Compressor

- (က) Refrigeration system တစ်ခုလုံးတွင် refrigerant များ လည်ပတ်နေအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။
- (ခ) Refrigeration system တွင် compressor သည် စွမ်းအင်(energy) တစ်မျိုးမျိုးကို သုံး၍ ဖိအားနိမ့်သည့်အငွေ့ (low pressure refrigerant vapor)ကို ဖိအားမြင့်သည့်အငွေ့(high pressure refrigerant vapor) အဖြစ်သို့ ရောက်အောင် ဖိသိပ်(compress) ပေးသည်။

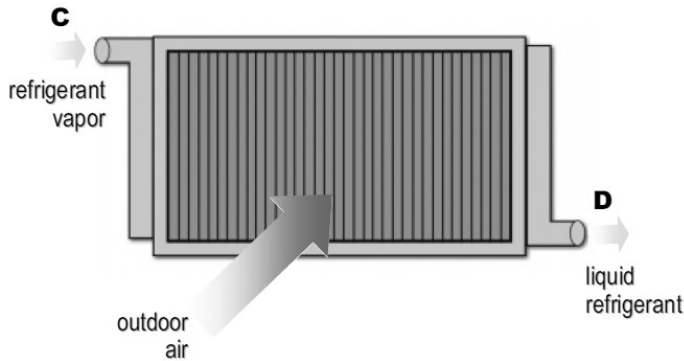
၂.၃.၃ Condensers

Refrigerant vapor မှ အပူများဆုံးရှုံးပြီး အငွေ့(vapor) အခြေအနေမှ အရည်(liquid) အခြေအနေသို့ ပြောင်းလဲသွားသည့် process ကို "condensation process" ဟု ခေါ်သည်။ Refrigerant vapor အခြေအနေမှ liquid အခြေအနေသို့ ပြောင်းအောင်လုပ်သည့် နေရာ သို့မဟုတ် ပစ္စည်းကိရိယာကို condenser ဟု ခေါ်သည်။

Condenser သည် refrigerant မှ အပူများကို လေထု(atmosphere) ထဲသို့ အပူကူးပြောင်း(heat transfer) သွားအောင် ပြုလုပ်ပေးသည့် heat exchange တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ Condenser ၏ အဓိကတာဝန်မှာ ဖိအားမြင့်သည့်

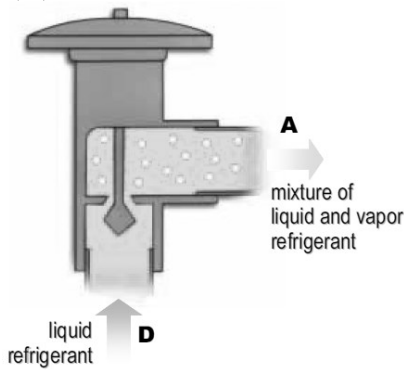
(high pressure) refrigerant vapor မှ အပူများ(sensible and latent heat)ကို ဖယ်ထုတ်ရန် ဖြစ်သည်။ ဖိအား မြင့်သည့်(high pressure) refrigerant vapor မှ အပူများ ထွက်သွားသည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် high pressure liquid အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားခြင်းသည် refrigerant မှ latent heat များ ထွက်သွားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Condenser အတွင်း၌ အပူချိန်မြင့်သည့်(high temperature) refrigerant မှ အပူချိန်နိမ့်ကျသွားခြင်းသည် refrigerant မှ sensible heat များ ထွက်သွားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

လေထုအပူချိန်(ambient temperature) ရှိသည့် အနီးဝန်းကျင်သို့ အပူ(heat)များကို စွန့်ထုတ်ခြင်း (rejection) ပြုလုပ်သည်။ Refrigeration system တစ်ခုတွင် လေ(air)ကို လည်ပတ်စေပြီး condenser မှ အပူကို စွန့်ထုတ်လျှင် air cooled condenser ဟုခေါ်ပြီး ရေ(water)ကို လည်ပတ်စေပြီး condenser မှ အပူကို စွန့်ထုတ်လျှင် water cooled condenser ဟု ခေါ်သည်။



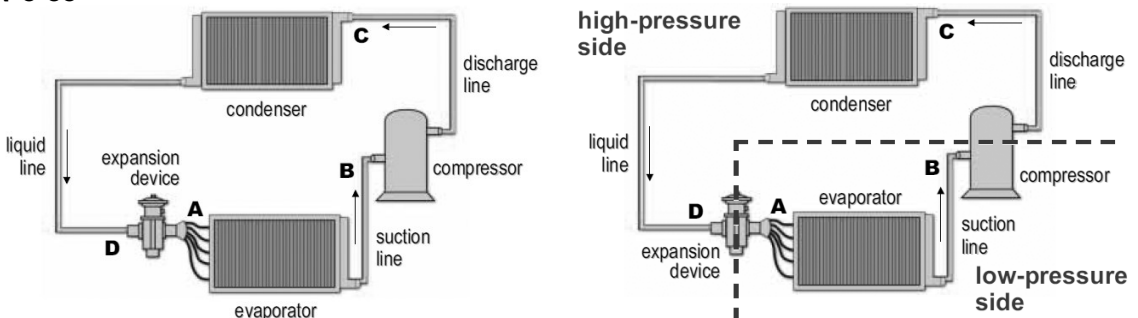
ပုံ ၂-၂၁ Condenser အတွင်း compressor မှ ထွက်လာသည့် refrigerant များသည် အငွေ့(vapor)အနေဖြင့် ဝင်ရောက်လာပြီး အပူများကို စွန့်ထုတ်ကာ အရည်(liquid) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။

၂.၃.၄ Expansion Devices



Expansion device သည် throttling device သို့မဟုတ် orifice ဖြစ်သည်။ Condenser မှ ထွက်လာသည့် ဖိအားမြင့်သည့် အရည် (high pressure liquid)များကို mixture of low pressure vapor and liquid ဖြစ်အောင် expansion device က ပြုလုပ်ပေးသည်။

ပုံ ၂-၂၂ Expansion device



ပုံ ၂-၂၃ Basic refrigeration system

၂.၄ What Are Refrigerants?

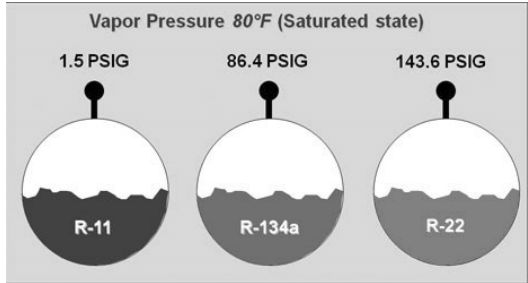
Evaporation ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည့် ကိရိယာ(device) ဖြစ်သောကြောင့် "evaporator" ဟု ခေါ်သည်။ Condensation ဖြစ်အောင် ပြုလုပ် ပေးသည့် ကိရိယာ(device) ဖြစ်သောကြောင့် "condenser" ဟု ခေါ်သည်။

အပူချိန်ပြောင်းလဲသွားသည့်အခါ အရည်အခြေအနေ(liquid state)မှ အငွေ့အခြေအနေ(vapor state) သို့ ပြောင်းလဲနိုင်သည့် ဒြပ်ထု(substance) အားလုံးကို "refrigerant"ဟု သတ်မှတ်နိုင်သည်။ သင့်လျော်သည့် operating temperature နှင့် pressure များရှိသည့် substance များကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုကြသည်။

အဆောက်အဦ air conditioning system များအတွက် R-11 ၊ R-123 ၊ R-12 ၊ R-134a နှင့် R-22 တို့ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုကြသည်။ Refrigerant များအကြောင်းကို အခန်း(၄)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

လေထုဖိအားအောက်တွင် (atmospheric pressure-14.7 psia) refrigerant များ၏ boiling point မတူညီကြပေ။

- R-11 = + 75°F
- R-123 = + 82°F
- R-12 = - 21°F
- R-134a = - 15°F
- R-22 = - 41°F



ပုံ ၂-၂၄ Vapor pressure 80°F နှင့်သက်ဆိုင်သည့် ဖိအားများ

၂.၅ Refrigeration System တစ်ခု အလုပ်လုပ်ပုံ

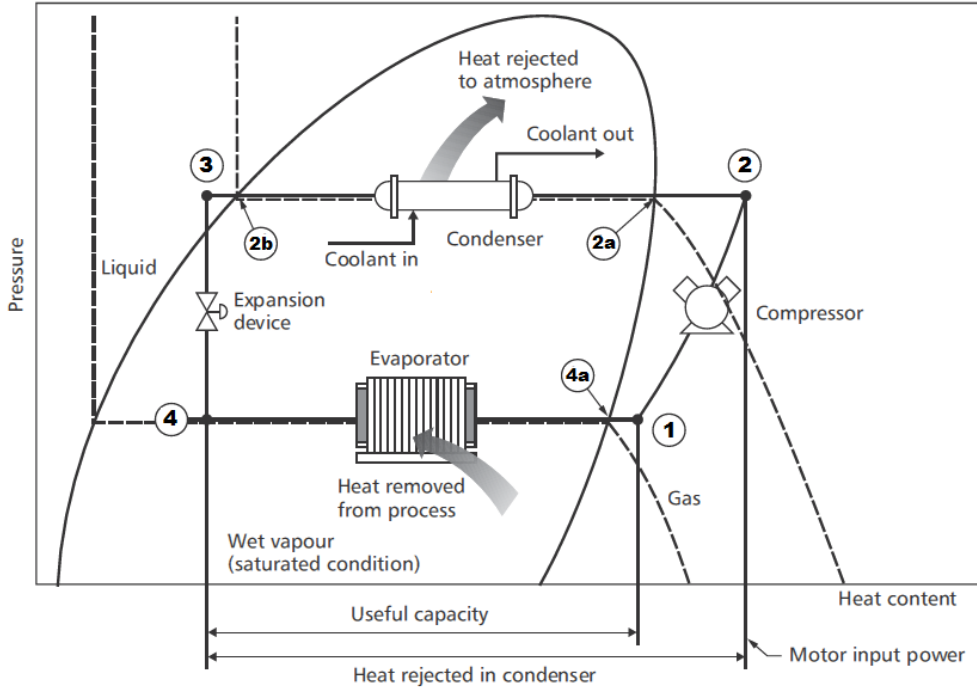
ပုံ(၂-၃)တွင်ပြထားသည့် အတိုင်း ပုံးတစ်ခုအတွင်းမှ R22 refrigerant များ၏ စီးနှုန်း(flow)ကို လိုအပ်သလို ထိန်းချုပ်ရန် valve တပ်ဆင် ပြီး cooling coil တစ်ခုအတွင်းသို့ ဖြတ်စီးစေလိုက်ပါ။ ထိုနောက် ပူနွေးသော လေ(warm air)ကို coil အတွင်းသို့ မှုတ်လိုက်လျှင် cooling coil အတွင်း၌ရှိသော liquid refrigerant သည် လေမှ အပူများကို စုပ်ယူပြီး refrigerant ၏ ဆူမှတ်(boiling temperature)သို့ ရောက်ရှိကာ စတင်၍ refrigerant vapor အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။

ရေသည်လေထုဖိအား(atmospheric pressure) 14.7 psia(0.10 MPa) အောက်တွင် အပူချိန် 212°F (100°C)၌ ဆူပွက်ပြီး(boil) အငွေ့ပျံ(evaporate) သည်။ သို့သော် ရေ၏ ဖိအား(pressure)ကို 14.7 psia(0.10 MPa) ထက် ပိုမြင့်အောင် ပြုလုပ် လိုက်လျှင် ထိုရေသည် အပူချိန် 212°F(100°C)ထက် အနည်းငယ် ပိုမြင့်သည့် တိုင်အောင် ရေဆူခြင်း၊ အငွေ့ပျံခြင်း မဖြစ်တော့ပေ။ ဖိအားမြင့်နေချိန်တွင်(higher pressure) ရေဖော်လီကျူးများသည် အလွန် ကောင်းသောအား(attractive force)ဖြင့် အချင်းချင်း ဆွဲငင်ထားကြသည်။ Refrigerant စတင် ဆူပွက်သည့် အပူချိန်ကို ဆူမှတ်(boiling temperature) ဟုခေါ်သည်။

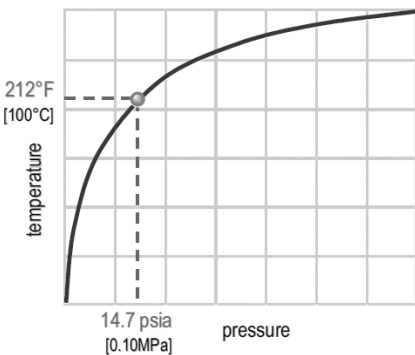
Refrigerant သည် ဖိအားတန်ဖိုး တစ်ခုအောက်တွင် သတ်မှတ်ထားသည့် အပူချိန်၌ အပူများ စုပ်ယူလိုက်သောကြောင့် အရည်အဖြစ်မှ အငွေ့အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားပါက(evaporation ဖြစ်ပါက) ထိုအပူချိန် ၌ပင် အပူများ ဆုံးရှုံးသွားပြီး အငွေ့ အဖြစ်မှ အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲ(condensation) လိမ့်မည်။

အေးနေသည့် အခန်းအတွင်း(refrigerated space) အပူချိန်(evaporator temperature) နှင့် အခန်းပြင်ပ အပူချိန်(condenser temperature) နီးကပ်လေ သို့မဟုတ် ကွာခြားမှုနည်းလေ refrigeration machine ၏ capacity ပိုများလေ ဖြစ်သည်။ အခန်းပြင်ပအပူချိန် ပိုမြင့်လာလေ refrigeration machine ၏ capacity ကျဆင်းသွားလေ ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် refrigeration machine ၏ capacity ကို ဖော်ပြရန်အတွက် အခန်းအတွင်း အပူချိန်(evaporator temperature) နှင့် အခန်းပြင်ပအပူချိန်(condenser temperature) နှစ်မျိုး စလုံးကို သတ်မှတ် ပေးရန် လိုအပ်သည်။

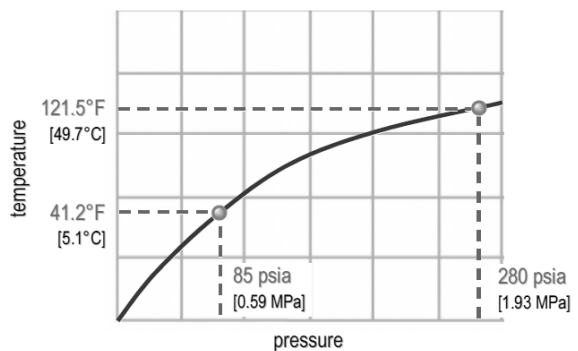
ပုံ(၂-၂၆)နှင့် ပုံ(၂-၂၇) ဝရပ်သည် R-22 ၏ pressure နှင့် corresponding temperature တို့တွင် evaporation ဖြစ်ခြင်းနှင့် condensation ဖြစ်ခြင်းတို့ကို ဖော်ပြသည်။ 85 psia(0.59 MPa) ဖိအားအောက်တွင် liquid R-22 သည် အပူချိန် 41.2°F(5.1°C)၌ ဆူပွက်(boil)သည်။ ဥပမာ- compressor သည် R-22 refrigerant vapor ကို 280 psia [1.93 MPa] ဖိအားသို့ ရောက်အောင် ပြုလုပ်ထားပါက vapor သည် အပူချိန် 121.5°F(49.7°C) တွင် အရည်(liquid) အဖြစ်သို့ condense ဖြစ်လာလိမ့်မည်။



ပုံ ၂-၂၅ Standard vapor compression cycle တစ်ခု၏ pressure enthalpy diagram ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၂၆ Boiling point of water



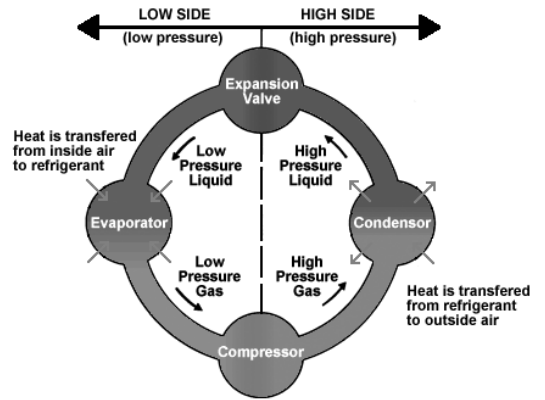
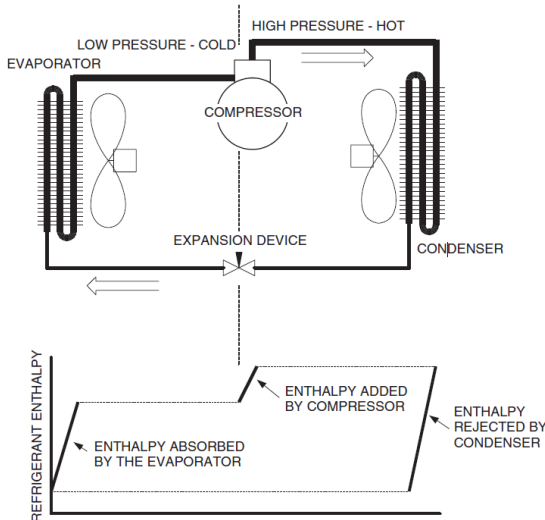
ပုံ ၂-၂၇ Boiling point of refrigerant R-22

၂.၆ Low Pressure Side and High Pressure Side

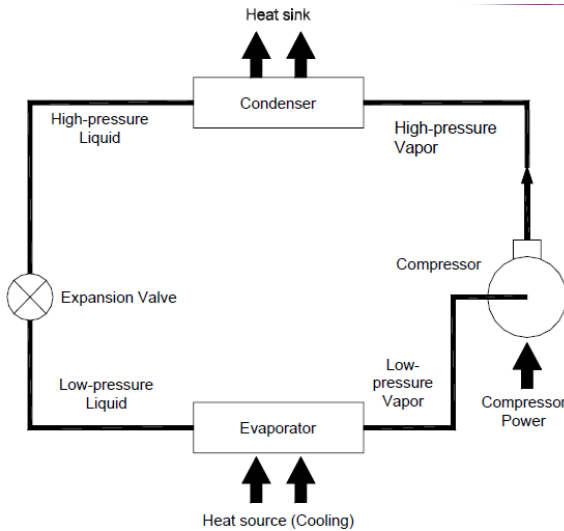
Refrigeration system တစ်ခုတွင် ပါဝင်သော အခြေခံ အစိတ်အပိုင်းများမှာ evaporator ၊ compressor ၊ condenser နှင့် expansion device တို့ ဖြစ်သည်။ Refrigeration system တခုတွင် ပါဝင်သည့် ထိုအစိတ်အပိုင်း များသည် ဖိအားအနိမ့်အမြင့်(pressure level) (၂)မျိုးဖြင့် ပုံမှန်အလုပ် လုပ်စေသည်။ System ၏ ဖိအားမြင့်သည့် ဘက်(high pressure side)တွင် ပါဝင်သော အစိတ်အပိုင်း များသည် condensing pressure ထက် ပိုမြင့်သည့် ဖိအား အောက်တွင် အလုပ်လုပ်ကြသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် condensing pressure ထက် ပိုမြင့်သည့် နေရာ အားလုံးကို high pressure side ဟု သတ်မှတ်သည်။

Low Pressure Side

Low pressure side တွင် refrigerant flow control၊ evaporator နှင့် suction line တို့ ပါဝင်သည်။ Evaporator ထဲတွင် အငွေ့ယုံနေစဉ်(vaporizing) refrigerant ဖိအားသည် "vaporizing pressure" ထက် ပိုနိမ့်သောကြောင့် "low pressure" ၊ "low side pressure" ၊ "suction pressure" ဟူ၍ အမျိုးမျိုး ခေါ်ဆိုလေ့ ရှိသည်။ Low pressure ဘက်တွင် ပါဝင်သော အစိတ်အပိုင်းများသည် evaporating pressure ထက် ပိုနိမ့်သည့် ဖိအားအောက်တွင် အလုပ်လုပ်ကြသည်။ Expansion device အတွက်ပိုင်း၊ evaporator နှင့် compressor တို့ ပါဝင် ကြသည်။



ပုံ ၂-၂၈ Enthalpy flow in vapor compression refrigeration cycle



High Pressure Side

High pressure ဘက်တွင် compressor ၊ discharge line ၊ condenser ၊ receiver နှင့် liquid line တို့ ပါဝင်ကြသည်။ ထို အစိတ်အပိုင်းများသည် "condensing pressure" ထက် ပိုမြင့်သည့် ဖိအား သက်ရောက်ခြင်းခံရသည်။ High side pressure ကို "high pressure" ၊ "discharge pressure" သို့မဟုတ် "condensing pressure" ဟူ၍ အမျိုးမျိုး ခေါ်ဆို လေ့ရှိသည်။ Refrigerant flow control နေရာသည့် high pressure side နှင့် low pressure side ကို ခွဲခြားထားသည့် အမှတ်(dividing point) နေရာ ဖြစ်သည်။ ထိုနေရာသည့် condensing pressure မှ vaporizing pressure သို့ လျော့ချ သည့် နေရာဖြစ်သည်။

ပုံ ၂-၂၉ Standard vapor- compression cycle တစ်ခု

၂.၇ Performance Of The Standard Vapor Compression Cycle

Performance နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်အလက်များမှာ

- (၁) Work of compression
- (၂) Heat rejection rate

- (၃) Refrigeration effect
- (၄) Coefficient of Performance(COP)
- (၅) Volume rate of flow/kilowatt of refrigeration နှင့်
- (၆) Power/ kilowatt of refrigeration တို့ဖြစ်သည်။

Work of compression (kJ/kg) သည် process 1-2 တွင် enthalpy ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်သည်။

$$h_1 + q = h_2 + w$$

ထိုအချိန်တွင် Kinetic နှင့် Potential energy ပြောင်းလဲမှုများကို စဉ်းစားစရာမလိုပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် adiabatic compression ဖြစ်သဖြင့် heat transfer “q” မရှိသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် $h_2 = h_1 + w$ ဖြစ်သည်။

Heat rejection (kJ/kg) သည် process 2-3 မှ လိုအပ်သော cooling fluid flow ပမာဏပင် ဖြစ်သည်။

State 1 မှ refrigerant enthalpy အတွင်းသို့ compressor work ထည့်ပေးခြင်းကြောင့် state 2 enthalpy သည် ပမာဏအားဖြင့် $h_2 = h_1 + w$ နှင့် ညီမျှသည်။ Refrigeration effect (kJ/kg) သည် process 4-1 မှ အပူကူးပြောင်းခြင်းဖြစ်ပြီး $h_1 - h_4$ တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။

Standard vapor compression cycle ၏ Coefficient Of Performance(C.O.P) ဆိုသည်မှာ refrigeration effect ကို work of compression နှင့်စားထားသည့် အချိုးပင်ဖြစ်သည်။ တစ်ခါတစ်ရံ flow rate ကို compressor inlet သို့မဟုတ် state 1 အခြေအနေတွင် တိုင်းတာသည်။

$$COP = \frac{\text{Refrigeration Effect}}{\text{Work of Compressor}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

၂.၈ Actual Vapor Compression Cycle

လက်တွေ့ အခြေအနေတွင် မောင်းနှင်သည့်(actual) vapor compression cycle သည် standard cycle ၏ အခြေအနေနှင့် မတူညီပေ။ Condenser နှင့် evaporator တို့တွင် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)များ ဖြစ်ပေါ်ကြသည်။ Standard cycle တွင် condenser နှင့် evaporator တို့တွင် ဖိအားကျဆင်းမှု မရှိဟုယူဆထားသည်။ Ideal cycle တွင် evaporator အတွင်း၌ supeheating ဖြစ်ခြင်းနှင့် condenser အတွင်း၌ sub cooling ဖြစ်ပေါ်ခြင်းမရှိဟု ယူဆသည်။

Condenser အတွင်း၌ refrigerant မှ အပူစွန့်ထုတ်နေစဉ်အချိန် နှင့် evaporator အတွင်း၌ အရည်ဘဝမှ အငွေ့ဘဝသို့ အငွေ့ယုံနေစဉ်ချိန်တွင် ဖိအားပုံသေ(constant pressure) မဖြစ်နိုင်ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ပွတ်တိုက်မှု(friction)ကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ဖြစ်ပေါ်သည်။ Compressor အဝင်၌ suction valve ကို ဖြတ်ကျော်ရခြင်း၊ condenser ပိုက်လိုင်းနှင့် evaporator ပိုက်လိုင်း၌ ပွတ်တိုက်မှု(friction) တို့ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) များကို အတိအကျ ထည့်သွင်း တွက်ချက်ရန် လိုအပ်သည်။

Compression ပြုလုပ်ရာတွင် adiabatic process မဖြစ်ပေါ်နိုင်ဘဲ general law အရ compression ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Expansion ပြုလုပ်ရာတွင် လုံးဝပြည့်စုံသည့်(perfect) throttling မရရှိနိုင်သောကြောင့် စွမ်းအင် ဆုံးရှုံးမှု အနည်းငယ် ဖြစ်ပေါ်သည်။

၂.၉ Cycle Analysis and Calculations

Vapor compression cycle များ တွက်ချက်ရာတွင် chart ကို အသုံးပြု၍ တွက်ခြင်းနှင့် ဇယား(table)ကို အသုံးပြု၍တွက်ခြင်း ဟူ၍ နည်းနှစ်နည်းကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ အသုံးပြုထားသော refrigerant ဓာတ်ငွေ့၏ ဂုဏ်သတ္တိများကို လိုက်၍ PH chart ကို အသုံးပြုရသည်။ Pressure ၊ saturation temperature ၊ liquid and vapor enthalpy ၊ specific volume ၊ entropy တို့ကို စုစည်း၍ chart ပုံစံဖြင့် စနစ်တကျ ဖော်ပြထားသည်။ Chart ကို

အသုံးပြု၍ တိုက်ရိုက် နေရာချကာ ဖတ်ယူနိုင်သည်။ နေရာချရာတွင် တိကျရန် လိုအပ်သည်။ Refrigerant ဓာတ်ငွေ့၏ ဂုဏ်သတ္တိတန်ဖိုးများကို ဇယားပုံစံဖြင့် ဖော်ပြထားသော table ကို အသုံးပြု၍ တွက်ချက်နိုင်သည်။ ဇယား(table)ကို အသုံးပြုပါက တိုက်ရိုက်နေရာချ၍ မဖတ်နိုင်ချေ။ သက်ဆိုင်ရာ thermodynamic property များကို ဖတ်ယူ၍ တွက်ချက်ရသည်။

Chart ကို အသုံးပြု တွက်ချက်ရာတွင် condenser နှင့် evaporator pressure တန်ဖိုးများ သိလျှင် cycle ကို chart ပေါ်တွင် နေရာချ၍ သက်ဆိုင်ရာ တန်ဖိုးများကို တိုက်ရိုက် ဖတ်ယူနိုင်သည်။ Standard cycle အတွက် compressor အတွင်း h_1 တန်ဖိုးကို evaporator pressure line နှင့် saturation vapor curve တို့ ဆုံရာတွင် ဖတ်ယူနိုင်သည်။ ထိုနေရာရှိ specific volume ၏ တန်ဖိုးကို ဖတ်ယူနိုင်သည်။

Chart ပေါ်တွင် compressor အတွက် enthalpy (h_2) ကို သိရှိနိုင်ရန် point 1 မှ temperature မျဉ်းအတိုင်း မျဉ်းပြိုင်ဆွဲ၍ condenser pressure line နှင့် ဆုံရာအမှတ်တွင် point 2 ကို ဖတ်ယူနိုင်သည်။ ထိုနည်းတူ condenser အတွက် enthalpy ကို condensing pressure line နှင့် saturation liquid curve တို့ ဆုံရာတွင် point 3 နေရာမှ ဖတ်ယူနိုင်သည်။ Expansion valve အတွက်ရှိ enthalpy မှာ condenser အတွက် enthalpy အတိုင်းပင် ဖြစ်သည်။ ($h_3 - h_4$)။ Point 3 မှ evaporator pressure line ပေါ်သို့ ထောင့်မတ်မျဉ်းဆွဲချ၍ ဆုံအမှတ်တွင် point 4 ကို ဖတ်ယူရရှိနိုင်သည်။ ထိုမျဉ်းပေါ်တွင် quality of refrigerant သို့မဟုတ် dryness fraction ကိုပါ ဖတ်ယူနိုင်သည်။

ဇယား(table)ကို အသုံးပြု၍ တွက်ချက်ရာတွင် cycle ၏ condensing နှင့် evaporator pressure သိလျှင် သက်ဆိုင်ရာ saturation temperature များကို ဇယားများ(saturation table နှင့် superheat table)ပေါ်တွင် ဖတ်ယူ နိုင်သည်။ Cycle ၏ point 1 မှ evaporation pressure ရှိသော h_g ၏ တန်ဖိုးပင် ဖြစ်သည်။ Condenser အတွက် point 3 တန်ဖိုးမှာ condensing pressure ရှိ h_f တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။ Evaporator အဝင် point 4 ၏ တန်ဖိုးမှာ point 3 နှင့် အတူ အတူပင် ဖြစ်သည်။

Compressor အတွက်ရှိ point 2 ၏ entropy (S_2)တန်ဖိုးကို ရှာရန် point 1 တွင် ရှိသော entropy (S_1) ကို ဇယားမှ တိုက်ရိုက် ဖတ်ယူနိုင်သည်။ တန်ဖိုးမှာ evaporation pressure S_g ၏ တန်ဖိုးပင် ဖြစ်သည်။ ဖိသိပ်ရာတွင် adiabatic အရ entropy တန်ဖိုး မပြောင်းလဲသောကြောင့် $S_1 = S_2$ ဖြစ်သည်။ S_2 ၏ တန်ဖိုးသည် condensing pressure ရှိ S_g ၏ တန်ဖိုးထက် များနေ၍ point-2 သည် superheated အခြေအနေ ဖြစ်သည်။

$$S_2 = S_g + Cp \log \left(\frac{T_2}{T_f} \right)$$

- S_2 = entropy at state 2
- S_g = Condensing pressure ရှိ saturated vapor enthalpy
- Cp = Specific heat of refrigerant at constant pressure
- T_2 = Compressor အတွက် အပူချိန်
- T_f = Condensing pressure ရှိ saturation temperature

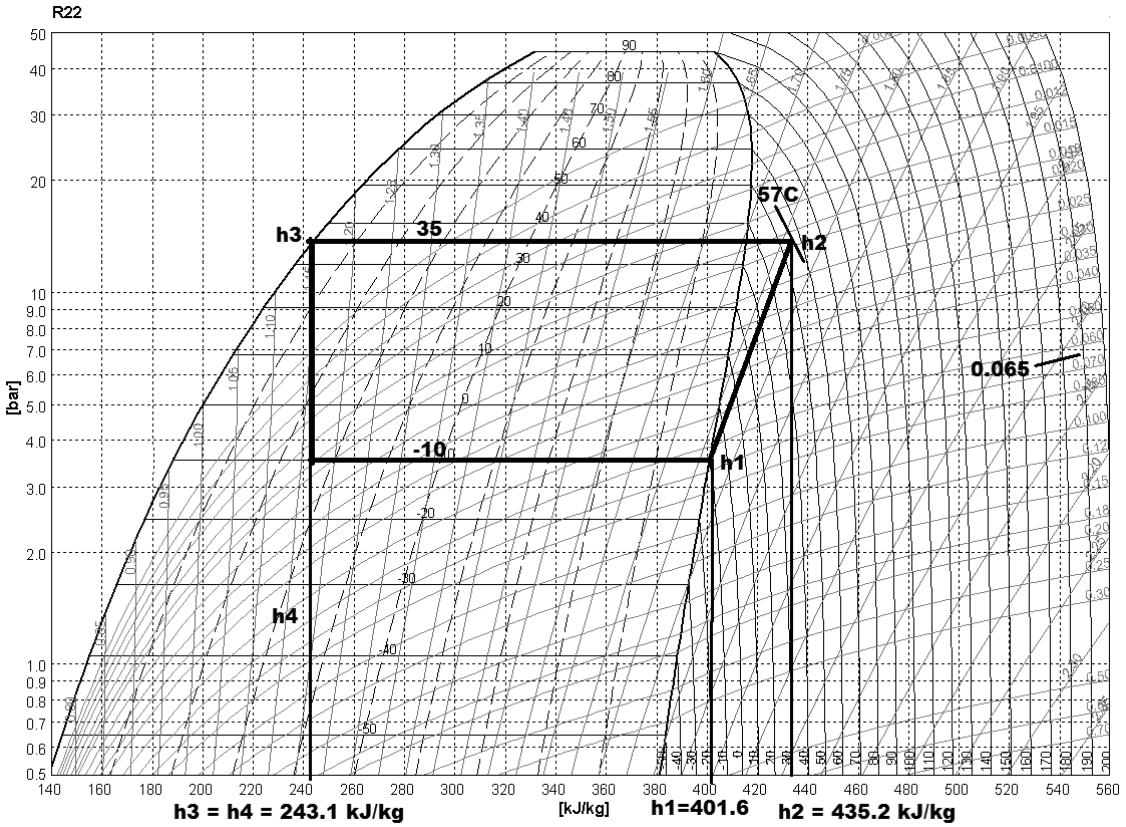
ဆက်လက်၍ compressor အတွက်ရှိ refrigerant enthalpy ကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

$$h_2 = h_g + Cp (T_2 - T_f)$$

ဥပမာ-Refrigerant R-22 အသုံးပြုသော standard vapor compression cycle တစ်ခု၏ စွမ်းအားသည် 50kW ဖြစ်သည်။ Condensing temperature သည် 35°C ဖြစ်ပြီး evaporating temperature သည် -10°C ဖြစ်လျှင် အောက်ပါတို့ကို ရှာပါ။

- (က) Refrigerant effect
- (ခ) Rate of refrigerant
- (ဂ) Compressor power
- (ဃ) C.O.P
- (င) Flow rate
- (စ) Power/kilowatt of refrigeration
- (ဆ) Compressor discharge temperature

အဖြေ - Enthalpy at standard vapor - 10°C ရှိ အပူ $h_1 = 401.6 \text{ kJ/Kg}$ point 1 မှ temperature 35°C ရှိ saturation pressure ကို ရှာပါ။ Diagram အရ $h_2 = 435.2 \text{ kJ/Kg}$ ၊ $h_3 = h_4 = 243.1 \text{ kJ/Kg}$ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂.၃၀ Refrigerant R-22 P-h diagram ပေါ်တွင် ရေးဆွဲထားသည့် vapor compression cycle

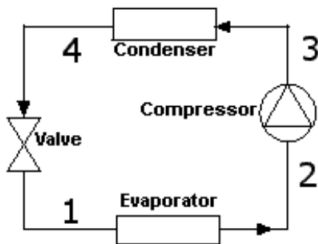
- (က) Refrigeration effect = $h_1 - h_4 = 401.6 - 243.1 = 158.5 \text{ kJ/Kg}$
- (ခ) Rate of refrigerant = Flow rate = $\frac{50 \text{ kW}}{158.5 \text{ kJ/Kg}} = 0.315 \text{ Kg/S}$
- (ဂ) Compressor power = $(0.315 \text{ Kg/s}) (435.2 - 401.6 \text{ kJ/Kg}) = \text{Flow Rate} \times (h_2 - h_1)$
= 10.6 kW
- (ဃ)
$$\text{C.O.P} = \frac{50 \text{ kW}}{10.6 \text{ kW}} = 4.72 \text{ kW}$$
- (င) Volume flow rate ကိုရှာရန်မှာ point 1 အမှတ်ကို ဖြတ်သွားသည့် volume line မှ ဖတ်ယူရသည့် တန်ဖိုးမှ $0.065 \text{ m}^3/\text{kg}$ ဖြစ်သည်။
$$\text{Volume flow rate} = (0.315 \text{ kg/s}) (0.0654 \text{ m}^3/\text{kg})$$

$$= 0.0206 \text{ m}^3/\text{s} = 20.6 \text{ L/S}$$
- (စ) Power/kW of refrigeration = $\frac{10.6 \text{ kW}}{50 \text{ kW}} = 0.212$
- (ဆ) Compressor discharge temperature ကို chart တွင် point 2 ကို ဖြတ်သွားသည့် အပူချိန်လိုင်း (temperature line)မှ ဖတ်ယူရသည့် တန်ဖိုးသည် 57°C ဖြစ်သည်။

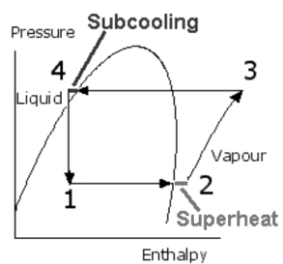
၂.၁၀ Cycle with Subcooling and Superheat

လက်တွေ့အခြေအနေတွင် vapor compression cycle များမှ refrigerant အပူချိန်သည် evaporation temperature ထက် ပို၍ မြင့်တက်သွားခြင်း ဖြစ်နိုင်သလို condensation temperature ထက် ပို၍ နိမ့်သွားခြင်းလည်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Evaporator အတွင်း၌ refrigerant အပူချိန်သည် evaporation temperature ထက် ပို၍ မြင့်တက်သွားခြင်းကို “superheating” ဖြစ်သည်ဟု သတ်မှတ် ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ Condenser အတွင်း၌ refrigerant အပူချိန်သည် condensation temperature ထက် ပို၍ နိမ့်သွားခြင်းကို “sub-cooling” ဖြစ်သည်ဟု သတ်မှတ် ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။

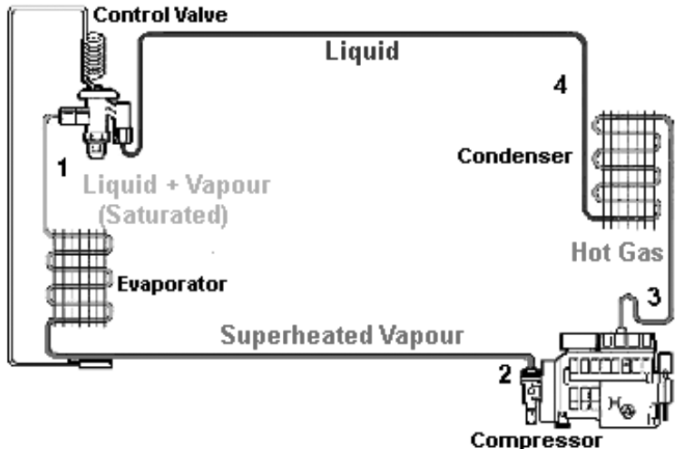
Evaporator အတွင်း၌ refrigerant များကို evaporation ဖြစ်ရုံသာ အတိအကျ control လုပ်ရန် လက်တွေ့တွင် မဖြစ်နိုင်ပေ။ အကယ်၍ refrigerant များသည် 100% evaporation မဖြစ်ပေါ်ပါက အရည် (liquid) အနေနှင့် evaporator မှထွက်သွားပြီး compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် အအေးဓာတ်များ ဆုံးရှုံးသွားလိမ့်မည်။ Compressor ထိခိုက်ပျက်စီးနိုင်သည်။ Compressor များသည် အငွေ့(vapor) များကိုသာ ဖိသိပ်(compress) ရန်အတွက် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည်။ ထိုသို့ မဖြစ်ရန်အတွက် evaporator မှ ထွက်သွား သည့် refrigerant vapor အပူချိန်သည် superheat အပူချိန်(saturation temperature ထက် ပိုမြင့်သည့်အပူချိန်) ဖြစ်နေအောင် control system က ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၂-၃၁(က) ရိုးရှင်းစွာဆွဲထားသည့် diagram



ပုံ ၂-၃၁(ခ) superheat နှင့် subcooled ဖြစ်ပေါ်သည့်နေရာ



ပုံ ၂-၃၁(ဂ) Vapor compression cycle ကို အစိတ်အပိုင်းများဖြင့် ဖော်ပြထားပုံ

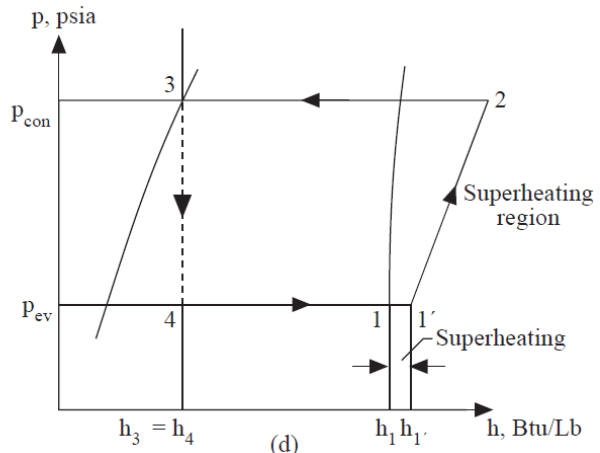
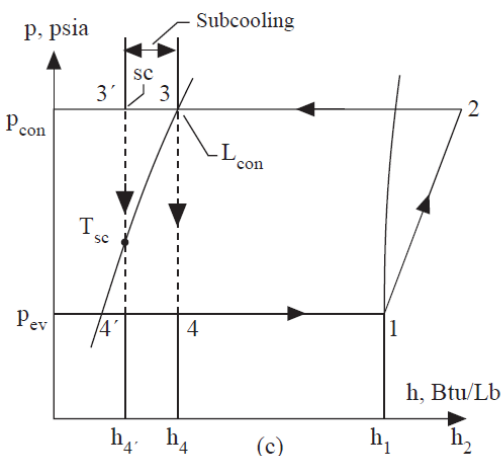
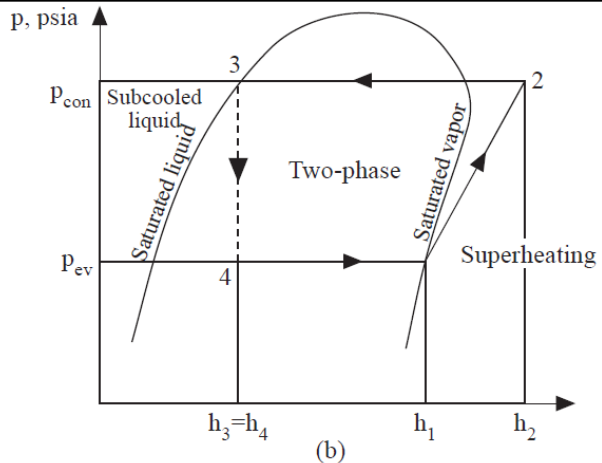
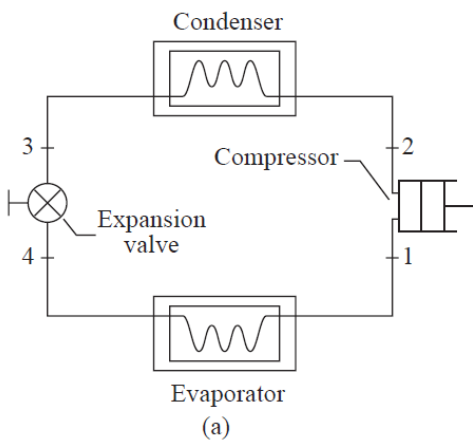
ပုံ(၂-၃၁)များတွင် refrigeration circuit နှင့် အတူ P-h diagram ကို ဖော်ပြထားသည်။ Evaporator အတွင်း၌ refrigerant များ အငွေ့ပျံကာ evaporation process စတင်သည်။ Point 2 သည် vapor region တွင် တည်ရှိသည်။ Vapor region သည် saturated vapor curve ၏ ညာဘက်တွင် တည်ရှိသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် saturated vapor curve ၏ ညာဘက်တွင် refrigerant အငွေ့အသွင်(vapor form)ဖြင့်သာ တည်ရှိ နိုင်သောကြောင့် vapor region ဟုခေါ်ဆိုခြင်းဖြစ်သည်။ Compressor က refrigerant အငွေ့များကို စုပ်ယူပြီး ဖိသိပ် လိုက်သော ကြောင့် ဖိအားမြင့်တက်ကာ point 3သို့ရောက်ရှိသွားသည်။ Refrigerant အငွေ့များသည် ဖိသိပ်ခြင်း ခံရသောကြောင့်

အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။ ထို့အပူချိန်မြင့်သည့် အငွေ့(vapor) များကို condenser အတွင်း၌ အအေးခံသောကြောင့် refrigerant အငွေ့များသည် အပူဆုံးရှုံးကာ အငွေ့အဖြစ်မှ အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲပြီး အပူချိန် နိမ့်ဆင်းသွားသည်။

လက်တွေ့ အခြေအနေတွင် condenser အတွင်း၌ refrigerant များ လုံးဝ အကုန်အစင်အောင် condensation မဖြစ်နိုင်ပေ။ Refrigerant များသည် အရည်အနေဖြင့် condenser မှ expansion valve ဆီသို့ liquid လိုင်း တစ်လျှောက် စီးဆင်းသွားသည်။ အကယ်၍ liquid လိုင်း အတွင်း၌ အငွေ့(vapor)များ ပါရှိနေပါက ဖိအား ကျဆင်းမှု(pressure drop) များခြင်း နှင့် performance ညံ့ဖျင်းခြင်း တို့ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် liquid လိုင်းအတွင်း၌ 100% liquid ဖြစ်နေစေရန်အတွက် condenser အတွင်း၌ subcooling ဖြစ်ပေါ်ရန် လိုအပ်သည်။

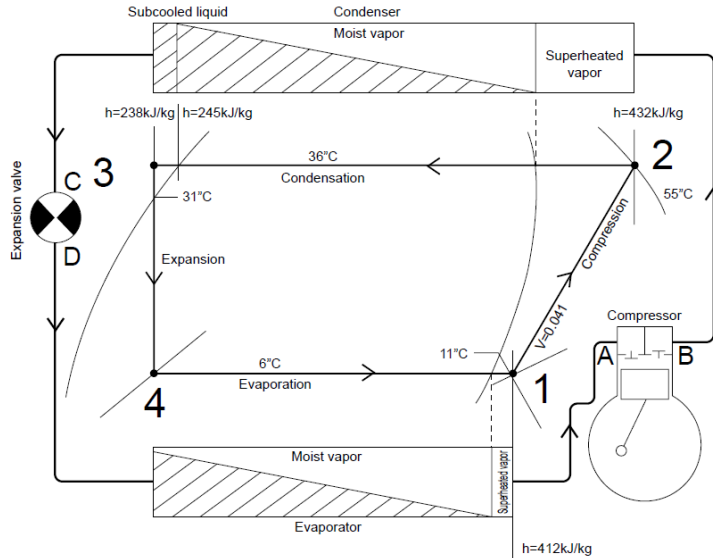
Condenser မှ expansion valve အကြား၌လည်း အပူချိန် ထပ်မံကျဆင်းနိုင်သည်။ Point 4 သည် liquid region တွင် တည်ရှိသည်။ Saturated liquid curve ၏ ဘယ်ဘက်အပိုင်းသည် liquid region ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် saturated liquid curve ၏ ဘယ်ဘက်တွင် refrigerant သည် အရည်အသွင်(liquid form)ဖြင့်သာ တည်ရှိနိုင်သောကြောင့် vapor region ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။ Expansion device သည် ဖိအားမြင့်သည့် refrigerant အရည်များကို ဖိအားလျော့ချပေးသည်။ Point 1 သို့ ပြန်ရောက်ရှိလာသည်။

Superheat နှင့် subcooling ဖြစ်ပေါ်သည့်နေရာသည် diagram ပေါ်တွင် သေးငယ်သည့် ပမာဏသာ ဖြစ်သော်လည်း system ကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်ရန်နှင့် efficient ဖြစ်ရန်အတွက် အလွန် အရေးကြီးသည့် ဖြစ်စဉ်(process) တစ်ခုပြီး နောက်ဖြစ်စဉ်(process) တစ်ခုစတင်ရန်အတွက် ပိုက်များအတွင်း၌ refrigerant များသည် superheated vapor သို့မဟုတ် subcooled liquid အဖြစ်သာ ရွှေ့လျားသွားကြသည်။

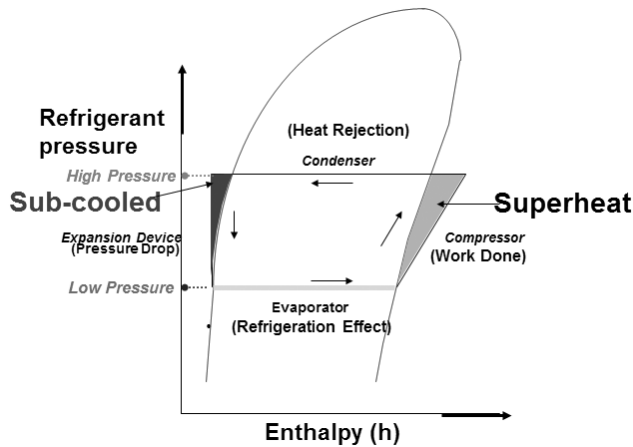


ပုံ ၂-၃၂ A single-stage ideal vapor compression refrigeration cycle- super heating and sub cooling

Compressor တစ်လုံးတည်းသာ (multistage မဟုတ်သည့် chiller) ပါသည့် chiller များတွင် liquid refrigerant ကို subcooling လုပ်ခြင်းဖြင့် refrigeration effect ပိုမို များလာသည်။ ထို့ကြောင့် chiller efficiency လည်း ပိုကောင်းလာသည်။



ပုံ ၂-၃၃ Refrigeration cycle



ပုံ ၂-၃၄ Subcooled and super heat

Effect of Superheating

မပြောင်းလဲသည့်ဖိအား(constant pressure)အောက်တွင် အရည်အခြေအနေမှ အငွေ့(vapor) အဖြစ်သို့ ရာနှုန်းပြည့် ပြောင်းလဲခြင်းကို "saturation" ဖြစ်သည်ဟု သတ်မှတ်သည်။ Saturation ဖြစ်ပြီးနောက် အငွေ့(vapor) တစ်မျိုးမျိုးထဲသို့ အပူများကို ထပ်ထည့်လိုက်လျှင် အပူချိန်မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ ထိုသို့ အပူချိန်မြင့်တက်စေသည့် အပူကို sensible heat ဟုခေါ်သည်။ ပုံသေဖိအား(constant pressure)အောက်တွင် saturation အပူချိန်ထက် ပိုမြင့်သည့် အပူချိန်ကို superheat အပူချိန်ဟု ခေါ်သည်။ အငွေ့(vapor) တစ်မျိုးသည် superheat အပူချိန်တွင် ရာနှုန်းပြည့် ခြောက်သွေ့ နေသည်။

အပူ(heat)ထည့်၍ အပူချိန်မြင့်တက်လျှင် sensible heat ဟုခေါ်သည်။ အပူ(heat) ထည့်၍ အပူချိန် မြင့်တက်ခြင်း မဖြစ်ဘဲ အသွင်(phase)ပြောင်းလျှင် latent heat ဟုခေါ်သည်။ Refrigeration compressor များတွင် slugging မဖြစ်စေရန် suction gas များသည် ရာနှုန်းပြည့် ခြောက်သွေ့ နေရမည်။ ထို့ကြောင့် suction gas သည် superheated အခြေအနေဖြစ်ရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် saturation အပူချိန်ထက် ပိုမြင့်ရမည်။

Subcooled Liquid

အရည် တစ်မျိုးမျိုး၏ saturation temperature ထက်နိမ့်သည့် အပူချိန်ကို subcooled liquid ဟုခေါ်သည်။ ပင်လယ်ရေမျက်နှာပြင်နှင့် တူညီသည့်အမြင့်၌ ရေဆူမှတ်(boiling point) ထက်နိမ့်သည့် ရေ၏အပူချိန် အားလုံးကို subcooled အပူချိန်ဟု သတ်မှတ်သည်။ Condensation ဖြစ်ပြီးနောက် အရည်၏ အပူချိန်သည် saturation temperature ထက် နိမ့်သည့် အပူချိန်အားလုံးသည် subcooled အပူချိန်ဖြစ်သည်။ Subcooling အပူချိန်သည် 5°C မှ 8 °C အတွင်းဖြစ်သည်။

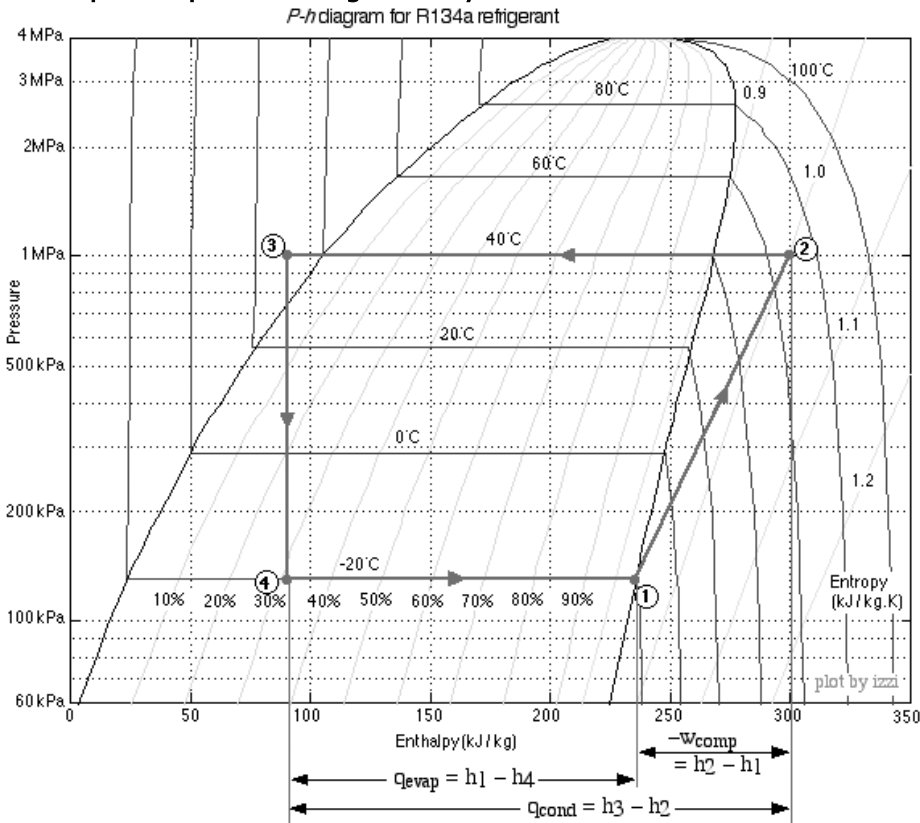
၂.၁၁ Pressure-Enthalpy (P-h) ဖြင့် တွက်နည်း

Pressure-enthalpy (P-h) သည် properties of a refrigerant များကို ဂရပ်ပုံစံဖြင့် ဖော်ပြထားခြင်းဖြစ်သည်။ Refrigeration process ကို ဒေါင်လိုက်မျဉ်း(vertical axis)တွင် ရေးဆွဲထားပြီး enthalpy တန်ဖိုးများကို horizontal axis ပေါ်တွင် ရေးဆွဲထားသည်။

P-h diagram ကို အသုံးပြု၍ အောက်ပါ အချက်များကို ရှာနိုင်သည်။

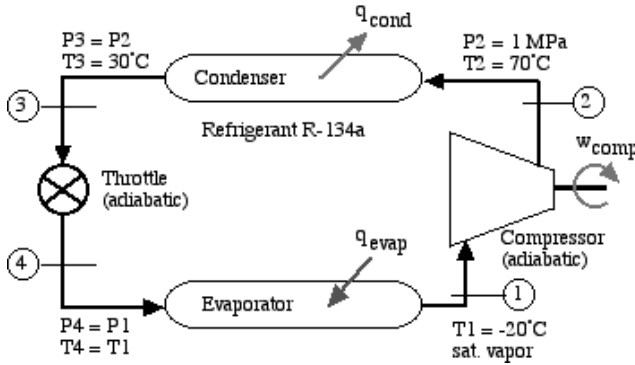
- (၁) The mass flow of refrigerant circulated
- (၂) The theoretical piston displacement of compressor
- (၃) The theoretical power of the compressor
- (၄) The heat rejection at condenser
- (၅) The Carnot COP and the actual COP

A Basic R134a Vapor Compression Refrigeration System



ပုံ ၂-၃၅ R134a P-h diagram

အထက်ပါပုံတွင် basic refrigeration system တစ်ခု၏ typical property value များကို ဖော်ပြထားသည်။ Refrigerant ၏ mass flow rate မဖော်ပြထားသောကြောင့် specific energy value များကို အသုံးပြုထားသည်။



ပုံ ၂-၃၆

ပထမဦးစွာ refrigeration system တစ်ခုကို လေ့လာရန်(analysis) အတွက် P-h diagram ပေါ်တွင် လေ့လာမည့် refrigerant cycle ၏ အချက်အလက်များကို အခြေခံ၍ အမှတ်(point)များ မှတ်သားခြင်း ဖြစ်သည်။

ဥပမာအနေဖြင့် အောက်ပါအချက်များတွက်ယူပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

- Heat absorbed by the evaporator (q_{evap}) [kJ/kg]
- Heat rejected by the condenser (q_{cond}) [kJ/kg]
- Work done to drive the compressor (w_{comp}) [kJ/kg]
- Coefficient of Performance (COP) of the system,

ပထမဦးစွာ P-h diagram ပေါ်တွင် process လေးမျိုးကို ရေးဆွဲရမည်။

- Process (1-2) သည် compression process ဖြစ်သည်။
- Process (2-3) သည် condensation process ဖြစ်သည်။
- Process (3-4) သည် expansion process ဖြစ်သည်။
- Process (4-1) သည် expansion process ဖြစ်သည်။

State (1) သည် evaporator အတွက် သို့မဟုတ် compressor အဝင်အခြေအနေ ဖြစ်သည်။

State (2) သည် condenser ၏ အဝင် သို့မဟုတ် compressor ၏ အထွက် အခြေအနေ ဖြစ်သည်။

State (3) သည် condenser အထွက် သို့မဟုတ် expansion device အဝင် အခြေအနေ ဖြစ်သည်။

State (4) သည် expansion device အထွက် သို့မဟုတ် evaporator အဝင် အခြေအနေ ဖြစ်သည်။

P_4 နှင့် P_1 တူညီသည်။ T_4 နှင့် T_1 တူညီသည်။

State 2 compressor ၏ အထွက်တွင် refrigerant ၏ ဖိအားသည် 1 MPa ဖြစ်သည်။ Refrigerant များသည် evaporator အတွင်းသို့ -20°C saturated mixture အဖြစ် ဝင်ရောက်ပြီး saturated vapor အနေဖြင့် evaporator အတွင်းမှ ထွက်ခွာသွားသည်။

State 2 အမှတ်ကို နေရာချ (Locate) ခြင်း

P-h diagram ပေါ်တွင် 1MPa နှင့် 70°C အပူချိန်လိုင်း(temperature line)တို့ ဖြတ်သည့် အမှတ် (intersecion point)သည် state 2 အမှတ် ဖြစ်သည်။ 70°C သည် 1MPa ၏ saturation temperature ထက် ပိုမြင့်သောကြောင့် super heated region တွင် ရောက်ရှိနေသည်။

State 3 အမှတ်ကို နေရာချ (Locate) ခြင်း

P_2 နှင့် P_3 တူညီသည်ဟု ယူဆသောကြောင့် $P_2 = P_3 = 1 \text{ MPa}$ ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် condenser အတွင်းနှင့် state 2 မှ state 3 သို့ သွားရာလမ်းတစ်လျှောက်တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှုကို လျစ်လျူရှုထားသည်။ ပေးထားချက်အရ T_3 သည် 30°C ဖြစ်သည်။

1MPa pressure line နှင့် 30°C အပူချိန်လိုင်း (temperature line) တို့ ဖြတ်မှတ် (intersecion point) သည် state 3 အမှတ်ဖြစ်သည်။ 30°C သည် 1MPa ၏ saturation temperature ထက် နိမ့်သောကြောင့် subcooled နေရာတွင် ရှိနေသည်။ 1MPa ၏ saturation temperature သည် 40°C ဖြစ်သည်။

State 4 အမှတ်ကို နေရာချ (Locate) ခြင်း

State 3 နှင့် state 4 ဆက်သွယ်ထားသည့် လိုင်းသည် vertical line ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် h_3 သည် h_4 နှင့် ညီမျှသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အပူစွန့်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) သို့မဟုတ် အပူစုပ်ယူခြင်း (heat gain) မဖြစ်ပေါ်ပေ။

State 3 အမှတ်မှ ဒေါင်လိုက်မျဉ်း (vertical line) ဆွဲချ၍ -20°C saturation temperature လိုင်းနှင့် ဆုံသည့် အမှတ်သည် state 4 အမှတ် ဖြစ်သည်။

State 1 အမှတ်ကိုနေရာ(Locate) ချခြင်း

P_4 နှင့် P_1 တူညီသည်။ T_4 နှင့် T_1 တူညီသည်။ R134a refrigerant table (စာမျက်နှာ 2-30 မှ table A-11 ၊ A-12 နှင့် A-13) များကို အသုံးပြု၍ သက်ဆိုင်သည့် တန်ဖိုးများကို ရှာဖွေရမည်။

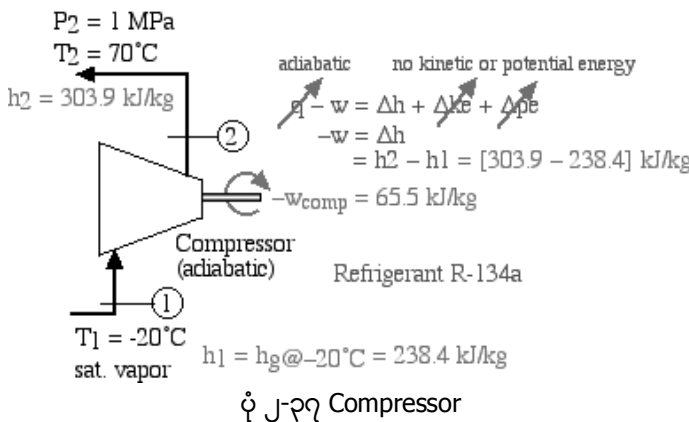
Refrigerant table တွင် subcooled region သို့မဟုတ် တန်ဖိုး မပါဝင်ပေ။ Subcooled region တွင်ရှိသည့် constant temperature လိုင်းများသည် ဒေါင်လိုက်မျဉ်း (vertical line) များဖြစ်သောကြောင့် saturated liquid enthalpy တန်ဖိုးများ ဖြစ်ကြသည်။

Ph diagram ရေးဆွဲပြီးနောက် COP ကို ထွက်ယူနိုင်သည်။

အဓိကအစိတ်အပိုင်း(component) တစ်ခုချင်းစီကို အသေးစိတ် လေ့လာကြပါစို့။ အစိတ်အပိုင်းတစ်ခု ကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး energy equation ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

Compressor

Compressor အတွင်း၌ fluid ၏ kinetic နှင့် potential energy ပြောင်းလဲခြင်းသည် မရှိသလောက် နည်းသောကြောင့် လျစ်လျူရှုနိုင်သည်။ Adiabatic compression ဖြစ်သည်ဟု ယူဆသည်။ Compressor ၏ အဝင် (inlet) နှင့် အထွက်(outlet)ရှိ refrigerant ၏ enthalpy တန်ဖိုးများကို R134a refrigerant table (စာမျက်နှာ 2-30 မှ A-11, A-12, A-13)တို့မှ ဖတ်ယူ နိုင်သည်။



State 1

State 1 သည် saturated liquid လိုင်းပေါ်တွင် တည်ရှိသောကြောင့် table A-11 saturated refrigerant- 134a- temperature table (စာမျက်နှာ 2-30 နှင့် 2-31)မှ ဖတ်ယူရသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ပူရွာတွင် temperature တန်ဖိုး(-20°C) ပေးထားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Table A-11 ၌ temperature (-20°C အတန်းနှင့် saturated vapor h_g column တို့ ဆုံသည့်နေရာမှ ဖတ်ယူလျှင် 238.4 kJ/kg ရသည်။

State 2

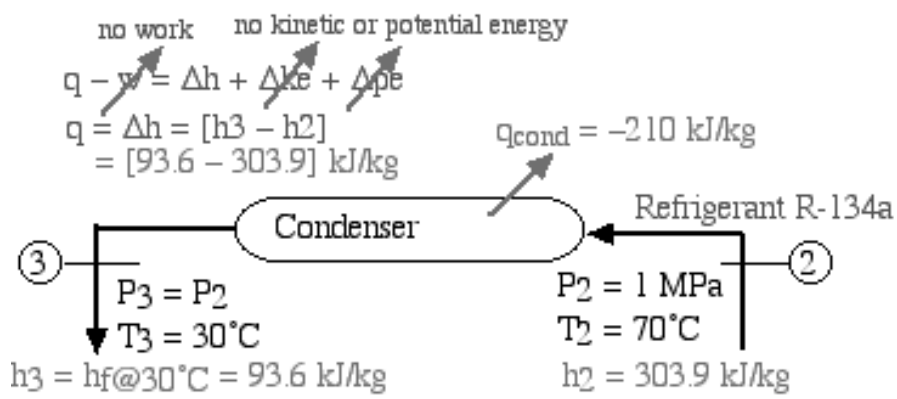
State 2 သည် superheated region နေရာတွင် ရောက်ရှိနေသောကြောင့် စာမျက်နှာ 2-33 နှင့် 2-34 တို့မှ table A-13 superheated refrigerant-134a ဇယားမှ ဖတ်ယူရသည်။ Table A-13 ဖတ်ရာတွင် သက်ဆိုင်သည့် ဖိအားကို ပထမဦးစွာရွေးချယ်ရသည်။ ဤဥပမာ အရ P_2 တန်ဖိုးသည် 1.0 MPa ဖြစ်သောကြောင့် စာမျက်နှာ 2-34

အလယ်နေရာရှိ 1.0 MPa ဇယားငယ်နေရာမှ h2 တန်ဖိုးကို ဖတ်ယူရသည်။ h2 တန်ဖိုးသည် 303.9 kJ/kg ဖြစ်သည်။

စာမျက်နှာ 2-34 အလယ်နေရာရှိ 1.0 MPa ဇယားငယ်မှ S တန်ဖိုး 0.92691 kJ/kg K မှ h2 ကို ဖတ်ယူရသည်။ S2 နှင့် S1 တူညီသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် entropy generation မဖြစ်ပေါ်ပေ။

Condenser

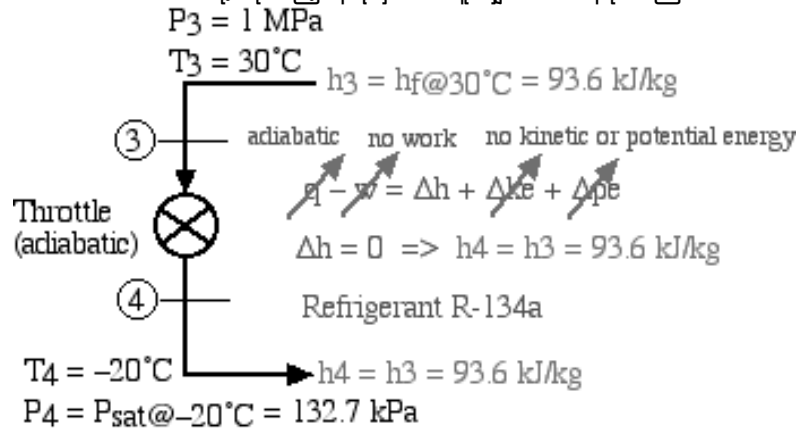
Point (2) မှ high pressure superheated refrigerant များ condenser အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ပြီး အပူ (heat) များကို စွန့်ထုတ်သည်။ ထို့ကြောင့် refrigerant တွင် အပူဆုံးရှုံးခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။ Point (3) သို့ ရောက်သည့် အခါ refrigerant အပူချိန်သည် subcooled အပူချိန် 30°C ဖြစ်သည်။ P1 တန်ဖိုးနှင့် P2 တန်ဖိုး တူညီကြသည်။ P2 တန်ဖိုးသည် 1.0 MPa ဖြစ်သည်။ h2 တန်ဖိုးသည် 93.6 ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၃၈ Condenser

Expansion valve

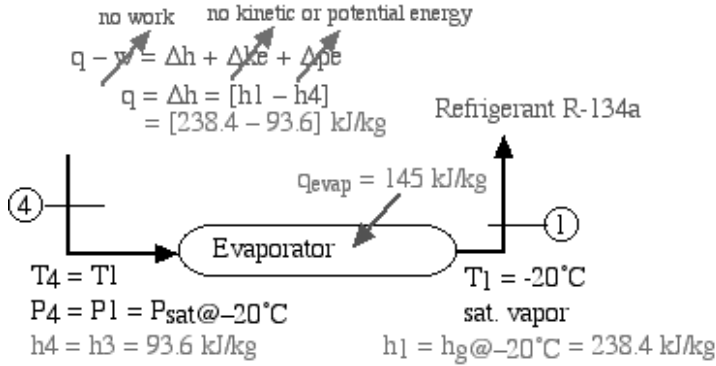
Expansion valve အတွင်း၌ adiabatic process ဖြစ်ပေါ်သည်။ Refrigerant ၏ အပူချိန် သိသိသာသာ ကျဆင်းသွားသည်။ h3 တန်ဖိုးနှင့် h4 တန်ဖိုးတို့ တူညီကြသည်။ စာမျက်နှာ 2-30 ရှိ table A-11 မှ -20°C အတန်းနှင့် Saturation pressure (Psat) column တို့ ဆုံသည့်နေရာမှ ဖတ်ယူလျှင် P4 တန်ဖိုးသည် 132.82 kPa ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၃၉ Expansion valve

Evaporator

Evaporator သည် အနီးရှိ အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာမှ အပူများကို စုပ်ယူပြီး refrigerant များသည် saturated vapor state အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။

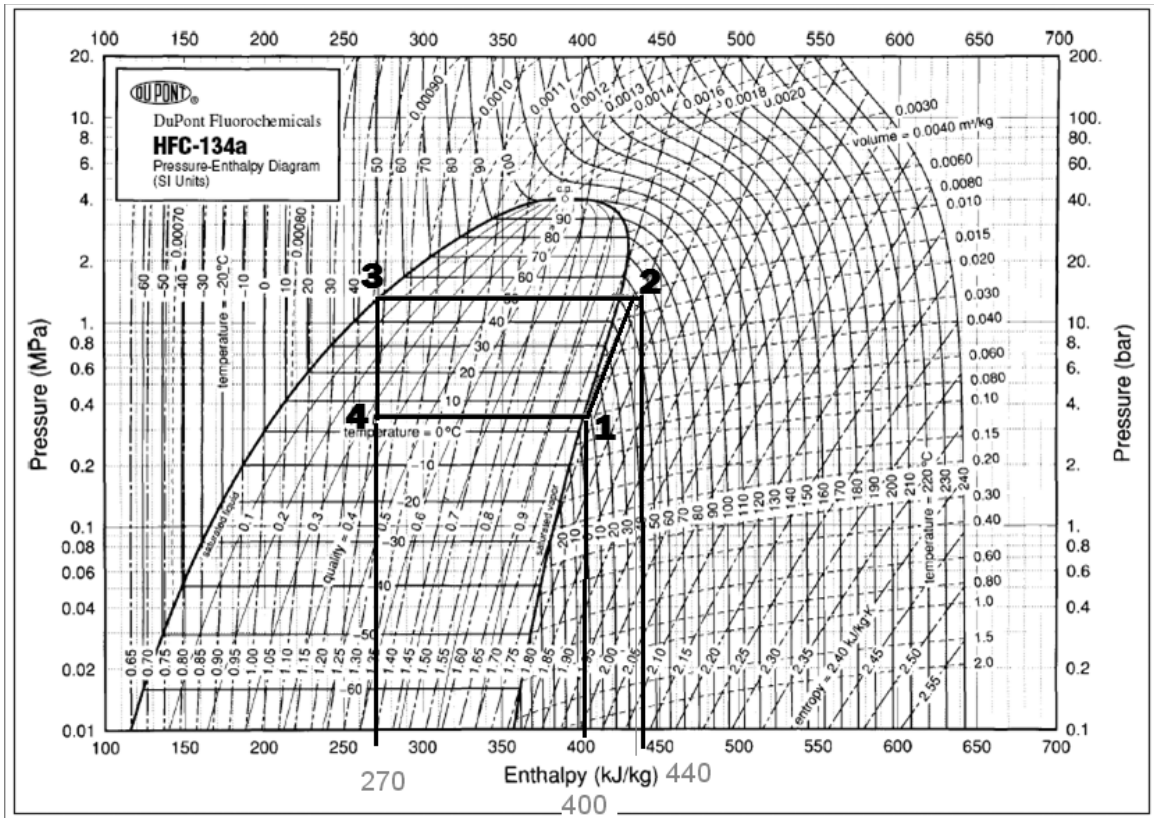


ပုံ ၂-၄၀ Evaporator

$$COP_{Ref} = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}} = \frac{145}{65.5} = 2.2$$

$$COP_{HP} = \frac{Q_{cond}}{W_{comp}} = \frac{210}{65.5} = 3.2$$

$$COP_{HP} = COP_{Ref} + 1$$



ပုံ ၂-၄၁ R134a P-H chart ပေါ်တွင် ဆွဲထားသည့် vapor compression cycle

Condensing $T=50^\circ\text{C}$, $P=1.3 \text{ MPa}=192 \text{ psia}$

Evaporating $T=5^\circ\text{C}$, $P=0.35 \text{ Mpa} = 51 \text{ psia}$

Enthalpy တန်ဖိုးသည် heat quantity ဖြစ်သည်။ Sensible နှင့် latent နှစ်ခုပေါင်းတန်ဖိုး ဖြစ်သည်။ Enthalpy တန်ဖိုး၏ ယူနစ်သည် Btu/lb [kJ/kg] ဖြစ်သည်။

Refrigeration Systems

Refrigeration System Group	Temperature Range
Low temperature application	အပူချိန် - 40°C မှ -25°C အတွင်း
Medium temperature application	အပူချိန် -25°C မှ - 5°C အတွင်း
High temperature application	အပူချိန် - 5°C မှ +10°C အတွင်း

ဆောင်ရွက်လိုသည့် လုပ်ငန်းနှင့် ကိုက်ညီမည့် temperature range ကို လိုက်၍ အောက်ပါအတိုင်း ခွဲခြားထားသည်။

- (က) လတ်ဆတ်သည့် အစားအသောက်များ သိုလှောင်သိမ်းဆည်း(fresh food storage)ရန်အတွက် လိုအပ်သည့် အပူချိန်များမှာ 35°F မှ 45°F(2°C မှ 7°C) အတွင်း ဖြစ်သည်။
- (ခ) အစားအသောက်များ သိုလှောင်ရန် အအေးခန်း(food storage freezer)အတွက် လိုအပ်သည့် အပူချိန်များမှာ -10°F မှ 0°F (-23°C မှ -18°C) အတွင်း ဖြစ်သည်။
- (ဂ) လူများ သက်သောင့်သက်သာဖြစ်စေမည့် အအေးဓာတ်(comfort cooling)ပေးရန်အတွက် chiller မှ ထုတ်ပေးရန် လိုအပ်သည့် အပူချိန်များမှာ -10°F မှ 12°F(5.5°C မှ 6.6°C) အတွင်း ဖြစ်သည်။

Table 2-1 တွင် refrigeration နည်းအမျိုးမျိုးနှင့် သက်ဆိုင်သည့်အချက်များကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။

Cooling method	Usage in building services	Efficiency	Capital cost	Carbon footprint
Vapor compression	High	High	Low	Medium
Absorption:				
—generated heat	Low	Low	High	High
— waste/free heat	Low	High	High	Low
Air cycle	Low	Low	High	Medium
Evaporative	Medium	High	Low	Low
Desiccant	Medium	High	Low	Low
Carbon dioxide	Low	Medium	High	Low

Table 2-2 prospects of alternatives to vapor compression technology

Technology	Theoretical Maximum Carnot Efficiency	State of Development	Best Carnot Efficiency Achieved	Development Barriers	Prospect for Competing with Vapor Compression
Thermoelectric	25-35%	Commercial	10-15%	Medium	Fair
Thermionic	20-30%	Experimental	< 10%	High	Poor
Thermo-tunneling	50-80%	Experimental	No data	Very High	Average
Thermoacoustic	60-100%	Prototype	≈ 20%	Medium	Good
Magnetic	50-60%	Prototype	≈ 20%	Medium	Good
Magnetic	50-60%	Prototype	≈ 20%	Medium	Good
Vapor Compression	70-80%	Commercial	60%	Already developed	Vapor Compression

Table 2-3 prospects of alternatives to vapor compression technology

Technology	Theoretical Maximum Carnot Efficiency	State of Development	Best Carnot Efficiency Achieved	Development Barriers	Extent of R&D Activity	Prospect for Competing with Vapor Compression
Thermoelectric	25-35%	Commercial	10-15%	Medium	Many players	Fair
Thermionic	20-30%	Experimental	< 10%	High	A few players	Poor
Thermo- tunneling	50-80%	Experimental	No data	Very High	A few players	Average
Thermoacoustic	60-100%	Prototype	≈ 20%	Medium	Many players	Good
Magnetic	50-60%	Prototype	≈ 20%1	Medium	Many players	Good
Vapor Compression	70-80%	Commercial	60%	Already developed	Widespread	

Table 2-4 design conditions for fluid refrigerants

Refrigerants Application	Source Fluid Type and Temperature	Source Refrigerant Temperature	Sink Fluid Type and Temperature	Sink Refrigerant Temperature	Fluid Carnot COP	Refrigerant Carnot COP
Water-cooled chillers	44°F water	38°F	85°F water	91°F	12.3	9.4
Air-cooled chillers	44°F water	38°F	95°F air	105 °F	9.9	7.4
Air-cooled unitary equipment	55°F air	45°F	95°F air	105°F	12.9	8.4
Refrigerator	38°F air	28°F	90°F air	100°F	9.6	6.8
Freezer	5°F air	-5°F	90°F air	100°F	5.5	4.3

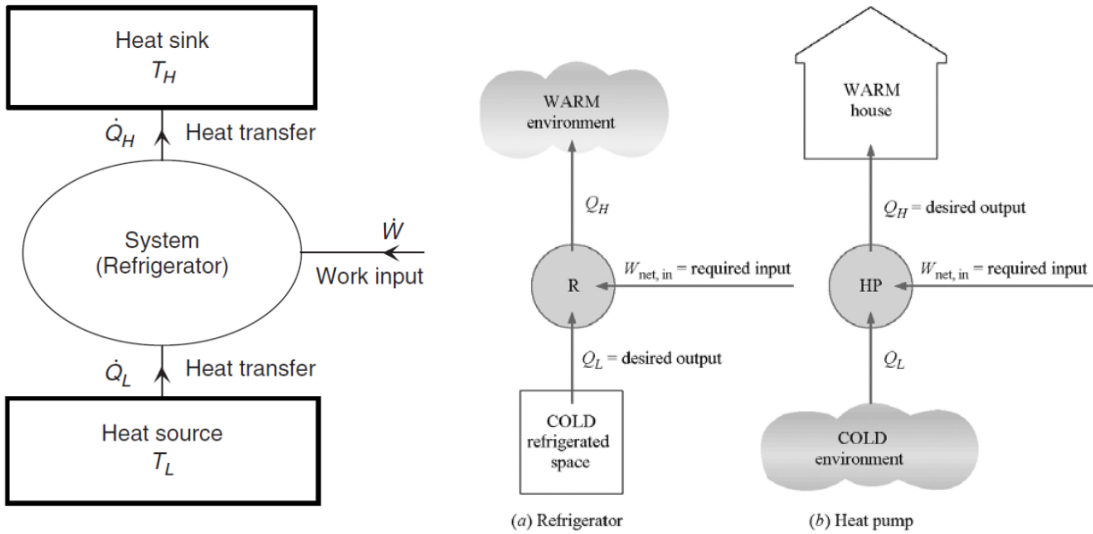
Table 2-5 design conditions for solid refrigerants

Refrigerants Application	Source Fluid Type and Temperature	Source Refrigerant Temperature	Sink Fluid Type and Temperature	Sink Refrigerant Temperature	Fluid Carnot COP	Refrigerant Carnot COP
Water-cooled chillers	44°F water	42°F	85°F water	87°F	12.3	11.1
Air-cooled chillers	44°F water	42°F	95°F air	101°F	9.9	8.5
Air-cooled unitary equipment	55°F air	49°F	95°F air	101°F	12.9	9.8
Refrigerator	38°F air	32°F	90°F air	96°F	9.6	7.7
Freezer	5°F air	-1°F	90°F air	96°F	5.5	4.7

Evaporator ၏ enthalpy ကို compressor ၏ enthalpy ဖြင့် စားထားသည့်အချိုး များလေ system effectiveness ပိုကောင်းလေ ဖြစ်သည်။ Compressor work နည်းနည်းဖြင့် refrigeration effect များများ ရရှိလျှင် COP ကောင်းသည်။

Refrigeration system တစ်ခု၏ အဓိက ရည်ရွယ်ချက်သည် အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာ(heat source)မှ အပူများကို အပူချိန်မြင့်သည့် နေရာ(heat sink) ရောက်အောင် ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ပုံ(၂-၄၂)တွင် refrigeration machine အဖြစ် မောင်းနှင်သည့် thermodynamic system တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။

- T_L = Absolute temperature of the source (low temperature)
- Q_L = The heat transferred from the source is the refrigeration effect (refrigeration load)
- T_H = Absolute temperature of the sink (high temperature)
- Q_H = The heat rejection to the sink at the temperature T_H
- W = Work input



ပုံ ၂-၄၂ Refrigerator အဖြစ် အသုံးပြုထားသည့် thermodynamic system တစ်ခု

အဆက်မပြတ် မောင်းနှင်သည့်(continuous operation) system တစ်ခု ဖြစ်သောကြောင့် "first law of thermodynamics" ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ အပူများကို သယ်ဆောင်သွားရန်အတွက် refrigerant ကို အသုံးပြုသည်။ Refrigerant အပူချိန်သည် evaporator သို့မဟုတ် heat source ၏ အပူချိန်(temperature)ထက် နိမ့်သောကြောင့် refrigerant သည် heat source မှ အပူများကို စုပ်ယူသွားပြီး၊ refrigerant ၏ အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။ ထိုနောက် compressor အတွင်းသို့ ရောက်ရှိသွားပြီး ဖိသိပ်ခြင်းခံရကာ အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။ မြင့်တက်လာသည့် refrigerant အပူချိန်သည် heat sink သို့မဟုတ် condenser ၏ အပူချိန်ထက် ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် refrigerant သည် heat sink သို့ ရောက်ရှိချိန်တွင် အပူများကို စွန့်ထုတ်ပစ်နိုင်သည်။

Evaporator ၏ enthalpy နှင့် compressor ၏ enthalpy နှစ်ခုပေါင်း တန်ဖိုးသည် condenser မှ ဖယ်ထုတ် (rejected) သည့် enthalpy ပမာဏ နှင့် ကိုက်ညီသည်။ $Q_H = Q_L + W$

Table A-11 Saturated Refrigérant R134a Temperature Table

TABLE A-11

Saturated refrigerant-134a—Temperature table

Temp., <i>T</i> °C	Sat. press., <i>P</i> _{sat} kPa	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg·K		
		Sat. liquid, <i>v</i> _f	Sat. vapor, <i>v</i> _g	Sat. liquid, <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>u</i> _g	Sat. liquid, <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>h</i> _g	Sat. liquid, <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>s</i> _g
-40	51.25	0.0007054	0.36081	-0.036	207.40	207.37	0.000	225.86	225.86	0.00000	0.96866	0.96866
-38	56.86	0.0007083	0.32732	2.475	206.04	208.51	2.515	224.61	227.12	0.01072	0.95511	0.96584
-36	62.95	0.0007112	0.29751	4.992	204.67	209.66	5.037	223.35	228.39	0.02138	0.94176	0.96315
-34	69.56	0.0007142	0.27090	7.517	203.29	210.81	7.566	222.09	229.65	0.03199	0.92859	0.96058
-32	76.71	0.0007172	0.24711	10.05	201.91	211.96	10.10	220.81	230.91	0.04253	0.91560	0.95813
-30	84.43	0.0007203	0.22580	12.59	200.52	213.11	12.65	219.52	232.17	0.05301	0.90278	0.95579
-28	92.76	0.0007234	0.20666	15.13	199.12	214.25	15.20	218.22	233.43	0.06344	0.89012	0.95356
-26	101.73	0.0007265	0.18946	17.69	197.72	215.40	17.76	216.92	234.68	0.07382	0.87762	0.95144
-24	111.37	0.0007297	0.17395	20.25	196.30	216.55	20.33	215.59	235.92	0.08414	0.86527	0.94941
-22	121.72	0.0007329	0.15995	22.82	194.88	217.70	22.91	214.26	237.17	0.09441	0.85307	0.94748
-20	132.82	0.0007362	0.14729	25.39	193.45	218.84	25.49	212.91	238.41	0.10463	0.84101	0.94564
-18	144.69	0.0007396	0.13583	27.98	192.01	219.98	28.09	211.55	239.64	0.11481	0.82908	0.94389
-16	157.38	0.0007430	0.12542	30.57	190.56	221.13	30.69	210.18	240.87	0.12493	0.81729	0.94222
-14	170.93	0.0007464	0.11597	33.17	189.09	222.27	33.30	208.79	242.09	0.13501	0.80561	0.94063
-12	185.37	0.0007499	0.10736	35.78	187.62	223.40	35.92	207.38	243.30	0.14504	0.79406	0.93911
-10	200.74	0.0007535	0.099516	38.40	186.14	224.54	38.55	205.96	244.51	0.15504	0.78263	0.93766
-8	217.08	0.0007571	0.092352	41.03	184.64	225.67	41.19	204.52	245.72	0.16498	0.77130	0.93629
-6	234.44	0.0007608	0.085802	43.66	183.13	226.80	43.84	203.07	246.91	0.17489	0.76008	0.93497
-4	252.85	0.0007646	0.079804	46.31	181.61	227.92	46.50	201.60	248.10	0.18476	0.74896	0.93372
-2	272.36	0.0007684	0.074304	48.96	180.08	229.04	49.17	200.11	249.28	0.19459	0.73794	0.93253
0	293.01	0.0007723	0.069255	51.63	178.53	230.16	51.86	198.60	250.45	0.20439	0.72701	0.93139
2	314.84	0.0007763	0.064612	54.30	176.97	231.27	54.55	197.07	251.61	0.21415	0.71616	0.93031
4	337.90	0.0007804	0.060338	56.99	175.39	232.38	57.25	195.51	252.77	0.22387	0.70540	0.92927
6	362.23	0.0007845	0.056398	59.68	173.80	233.48	59.97	193.94	253.91	0.23356	0.69471	0.92828
8	387.88	0.0007887	0.052762	62.39	172.19	234.58	62.69	192.35	255.04	0.24323	0.68410	0.92733
10	414.89	0.0007930	0.049403	65.10	170.56	235.67	65.43	190.73	256.16	0.25286	0.67356	0.92641
12	443.31	0.0007975	0.046295	67.83	168.92	236.75	68.18	189.09	257.27	0.26246	0.66308	0.92554
14	473.19	0.0008020	0.043417	70.57	167.26	237.83	70.95	187.42	258.37	0.27204	0.65266	0.92470
16	504.58	0.0008066	0.040748	73.32	165.58	238.90	73.73	185.73	259.46	0.28159	0.64230	0.92389
18	537.52	0.0008113	0.038271	76.08	163.88	239.96	76.52	184.01	260.53	0.29112	0.63198	0.92310

Table A-11 Saturated Refrigerant R134a Temperature Table (Continued)

TABLE A-11												
Saturated refrigerant-134a—Temperature table (Concluded)												
Temp., <i>T</i> °C	Specific volume, m ³ /kg			Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg·K		
	Sat. press., <i>P</i> _{sat} kPa	Sat. liquid, <i>v</i> _f	Sat. vapor, <i>v</i> _g	Sat. liquid, <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>u</i> _g	Sat. liquid, <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>h</i> _g	Sat. liquid, <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>s</i> _g
20	572.07	0.0008161	0.035969	78.86	162.16	241.02	79.32	182.27	261.59	0.30063	0.62172	0.92234
22	608.27	0.0008210	0.033828	81.64	160.42	242.06	82.14	180.49	262.64	0.31011	0.61149	0.92160
24	646.18	0.0008261	0.031834	84.44	158.65	243.10	84.98	178.69	263.67	0.31958	0.60130	0.92088
26	685.84	0.0008313	0.029976	87.26	156.87	244.12	87.83	176.85	264.68	0.32903	0.59115	0.92018
28	727.31	0.0008366	0.028242	90.09	155.05	245.14	90.69	174.99	265.68	0.33846	0.58102	0.91948
30	770.64	0.0008421	0.026622	92.93	153.22	246.14	93.58	173.08	266.66	0.34789	0.57091	0.91879
32	815.89	0.0008478	0.025108	95.79	151.35	247.14	96.48	171.14	267.62	0.35730	0.56082	0.91811
34	863.11	0.0008536	0.023691	98.66	149.46	248.12	99.40	169.17	268.57	0.36670	0.55074	0.91743
36	912.35	0.0008595	0.022364	101.55	147.54	249.08	102.33	167.16	269.49	0.37609	0.54066	0.91675
38	963.68	0.0008657	0.021119	104.45	145.58	250.04	105.29	165.10	270.39	0.38548	0.53058	0.91606
40	1017.1	0.0008720	0.019952	107.38	143.60	250.97	108.26	163.00	271.27	0.39486	0.52049	0.91536
42	1072.8	0.0008786	0.018855	110.32	141.58	251.89	111.26	160.86	272.12	0.40425	0.51039	0.91464
44	1130.7	0.0008854	0.017824	113.28	139.52	252.80	114.28	158.67	272.95	0.41363	0.50027	0.91391
46	1191.0	0.0008924	0.016853	116.26	137.42	253.68	117.32	156.43	273.75	0.42302	0.49012	0.91315
48	1253.6	0.0008996	0.015939	119.26	135.29	254.55	120.39	154.14	274.53	0.43242	0.47993	0.91236
52	1386.2	0.0009150	0.014265	125.33	130.88	256.21	126.59	149.39	275.98	0.45126	0.45941	0.91067
56	1529.1	0.0009317	0.012771	131.49	126.28	257.77	132.91	144.38	277.30	0.47018	0.43863	0.90880
60	1682.8	0.0009498	0.011434	137.76	121.46	259.22	139.36	139.10	278.46	0.48920	0.41749	0.90669
65	1891.0	0.0009750	0.009950	145.77	115.05	260.82	147.62	132.02	279.64	0.51320	0.39039	0.90359
70	2118.2	0.0010037	0.008642	154.01	108.14	262.15	156.13	124.32	280.46	0.53755	0.36227	0.89982
75	2365.8	0.0010372	0.007480	162.53	100.60	263.13	164.98	115.85	280.82	0.56241	0.33272	0.89512
80	2635.3	0.0010772	0.006436	171.40	92.23	263.63	174.24	106.35	280.59	0.58800	0.30111	0.88912
85	2928.2	0.0011270	0.005486	180.77	82.67	263.44	184.07	95.44	279.51	0.61473	0.26644	0.88117
90	3246.9	0.0011932	0.004599	190.89	71.29	262.18	194.76	82.35	277.11	0.64336	0.22674	0.87010
95	3594.1	0.0012933	0.003726	202.40	56.47	258.87	207.05	65.21	272.26	0.67578	0.17711	0.85289
100	3975.1	0.0015269	0.002630	218.72	29.19	247.91	224.79	33.58	258.37	0.72217	0.08999	0.81215

Source: Tables A-11 through A-13 are generated using the Engineering Equation Solver (EES) software developed by S. A. Klein and F. L. Alvarado. The routine used in calculations is the R134a, which is based on the fundamental equation of state developed by R. Tillner-Roth and H.D. Baehr, "An International Standard Formulation for the Thermodynamic Properties of 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (HFC-134a) for temperatures from 170 K to 455 K and Pressures up to 70 MPa," *J. Phys. Chem. Ref. Data*, Vol. 23, No. 5, 1994. The enthalpy and entropy values of saturated liquid are set to zero at -40°C (and -40°F).

Table A-12 Saturated Refrigerant R134a Pressure Table

TABLE A-12

Saturated refrigerant-134a—Pressure table

Press., <i>P</i> kPa	Sat. temp., <i>T</i> _{sat} °C	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg·K		
		Sat. liquid, <i>v</i> _f	Sat. vapor, <i>v</i> _g	Sat. liquid, <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>u</i> _g	Sat. liquid, <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>h</i> _g	Sat. liquid, <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>s</i> _g
60	-36.95	0.0007098	0.31121	3.798	205.32	209.12	3.841	223.95	227.79	0.01634	0.94807	0.96441
70	-33.87	0.0007144	0.26929	7.680	203.20	210.88	7.730	222.00	229.73	0.03267	0.92775	0.96042
80	-31.13	0.0007185	0.23753	11.15	201.30	212.46	11.21	220.25	231.46	0.04711	0.90999	0.95710
90	-28.65	0.0007223	0.21263	14.31	199.57	213.88	14.37	218.65	233.02	0.06008	0.89419	0.95427
100	-26.37	0.0007259	0.19254	17.21	197.98	215.19	17.28	217.16	234.44	0.07188	0.87995	0.95183
120	-22.32	0.0007324	0.16212	22.40	195.11	217.51	22.49	214.48	236.97	0.09275	0.85503	0.94779
140	-18.77	0.0007383	0.14014	26.98	192.57	219.54	27.08	212.08	239.16	0.11087	0.83368	0.94456
160	-15.60	0.0007437	0.12348	31.09	190.27	221.35	31.21	209.90	241.11	0.12693	0.81496	0.94190
180	-12.73	0.0007487	0.11041	34.83	188.16	222.99	34.97	207.90	242.86	0.14139	0.79826	0.93965
200	-10.09	0.0007533	0.099867	38.28	186.21	224.48	38.43	206.03	244.46	0.15457	0.78316	0.93773
240	-5.38	0.0007620	0.083897	44.48	182.67	227.14	44.66	202.62	247.28	0.17794	0.75664	0.93458
280	-1.25	0.0007699	0.072352	49.97	179.50	229.46	50.18	199.54	249.72	0.19829	0.73381	0.93210
320	2.46	0.0007772	0.063604	54.92	176.61	231.52	55.16	196.71	251.88	0.21637	0.71369	0.93006
360	5.82	0.0007841	0.056738	59.44	173.94	233.38	59.72	194.08	253.81	0.23270	0.69566	0.92836
400	8.91	0.0007907	0.051201	63.62	171.45	235.07	63.94	191.62	255.55	0.24761	0.67929	0.92691
450	12.46	0.0007985	0.045619	68.45	168.54	237.00	68.81	188.71	257.53	0.26465	0.66069	0.92535
500	15.71	0.0008059	0.041118	72.93	165.82	238.75	73.33	185.98	259.30	0.28023	0.64377	0.92400
550	18.73	0.0008130	0.037408	77.10	163.25	240.35	77.54	183.38	260.92	0.29461	0.62821	0.92282
600	21.55	0.0008199	0.034295	81.02	160.81	241.83	81.51	180.90	262.40	0.30799	0.61378	0.92177
650	24.20	0.0008266	0.031646	84.72	158.48	243.20	85.26	178.51	263.77	0.32051	0.60030	0.92081
700	26.69	0.0008331	0.029361	88.24	156.24	244.48	88.82	176.21	265.03	0.33230	0.58763	0.91994
750	29.06	0.0008395	0.027371	91.59	154.08	245.67	92.22	173.98	266.20	0.34345	0.57567	0.91912
800	31.31	0.0008458	0.025621	94.79	152.00	246.79	95.47	171.82	267.29	0.35404	0.56431	0.91835
850	33.45	0.0008520	0.024069	97.87	149.98	247.85	98.60	169.71	268.31	0.36413	0.55349	0.91762
900	35.51	0.0008580	0.022683	100.83	148.01	248.85	101.61	167.66	269.26	0.37377	0.54315	0.91692
950	37.48	0.0008641	0.021438	103.69	146.10	249.79	104.51	165.64	270.15	0.38301	0.53323	0.91624
1000	39.37	0.0008700	0.020313	106.45	144.23	250.68	107.32	163.67	270.99	0.39189	0.52368	0.91558
1200	46.29	0.0008934	0.016715	116.70	137.11	253.81	117.77	156.10	273.87	0.42441	0.48863	0.91303
1400	52.40	0.0009166	0.014107	125.94	130.43	256.37	127.22	148.90	276.12	0.45315	0.45734	0.91050
1600	57.88	0.0009400	0.012123	134.43	124.04	258.47	135.93	141.93	277.86	0.47911	0.42873	0.90784
1800	62.87	0.0009639	0.010559	142.33	117.83	260.17	144.07	135.11	279.17	0.50294	0.40204	0.90498
2000	67.45	0.0009886	0.009288	149.78	111.73	261.51	151.76	128.33	280.09	0.52509	0.37675	0.90184
2500	77.54	0.0010566	0.006936	166.99	96.47	263.45	169.63	111.16	280.79	0.57531	0.31695	0.89226
3000	86.16	0.0011406	0.005275	183.04	80.22	263.26	186.46	92.63	279.09	0.62118	0.25776	0.87894

Table A-13 Superheated Refrigerant R134a Table

TABLE A-13												
Superheated refrigerant-134a												
T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
$P = 0.06 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -36.95^\circ\text{C})$				$P = 0.10 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -26.37^\circ\text{C})$				$P = 0.14 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -18.77^\circ\text{C})$				
Sat.	0.31121	209.12	227.79	0.9644	0.19254	215.19	234.44	0.9518	0.14014	219.54	239.16	0.9446
-20	0.33608	220.60	240.76	1.0174	0.19841	219.66	239.50	0.9721				
-10	0.35048	227.55	248.58	1.0477	0.20743	226.75	247.49	1.0030	0.14605	225.91	246.36	0.9724
0	0.36476	234.66	256.54	1.0774	0.21630	233.95	255.58	1.0332	0.15263	233.23	254.60	1.0031
10	0.37893	241.92	264.66	1.1066	0.22506	241.30	263.81	1.0628	0.15908	240.66	262.93	1.0331
20	0.39302	249.35	272.94	1.1353	0.23373	248.79	272.17	1.0918	0.16544	248.22	271.38	1.0624
30	0.40705	256.95	281.37	1.1636	0.24233	256.44	280.68	1.1203	0.17172	255.93	279.97	1.0912
40	0.42102	264.71	289.97	1.1915	0.25088	264.25	289.34	1.1484	0.17794	263.79	288.70	1.1195
50	0.43495	272.64	298.74	1.2191	0.25937	272.22	298.16	1.1762	0.18412	271.79	297.57	1.1474
60	0.44883	280.73	307.66	1.2463	0.26783	280.35	307.13	1.2035	0.19025	279.96	306.59	1.1749
70	0.46269	288.99	316.75	1.2732	0.27626	288.64	316.26	1.2305	0.19635	288.28	315.77	1.2020
80	0.47651	297.41	326.00	1.2997	0.28465	297.08	325.55	1.2572	0.20242	296.75	325.09	1.2288
90	0.49032	306.00	335.42	1.3260	0.29303	305.69	334.99	1.2836	0.20847	305.38	334.57	1.2553
100	0.50410	314.74	344.99	1.3520	0.30138	314.46	344.60	1.3096	0.21449	314.17	344.20	1.2814
$P = 0.18 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -12.73^\circ\text{C})$				$P = 0.20 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -10.09^\circ\text{C})$				$P = 0.24 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -5.38^\circ\text{C})$				
Sat.	0.11041	222.99	242.86	0.9397	0.09987	224.48	244.46	0.9377	0.08390	227.14	247.28	0.9346
-10	0.11189	225.02	245.16	0.9484	0.09991	224.55	244.54	0.9380				
0	0.11722	232.48	253.58	0.9798	0.10481	232.09	253.05	0.9698	0.08617	231.29	251.97	0.9519
10	0.12240	240.00	262.04	1.0102	0.10955	239.67	261.58	1.0004	0.09026	238.98	260.65	0.9831
20	0.12748	247.64	270.59	1.0399	0.11418	247.35	270.18	1.0303	0.09423	246.74	269.36	1.0134
30	0.13248	255.41	279.25	1.0690	0.11874	255.14	278.89	1.0595	0.09812	254.61	278.16	1.0429
40	0.13741	263.31	288.05	1.0975	0.12322	263.08	287.72	1.0882	0.10193	262.59	287.06	1.0718
50	0.14230	271.36	296.98	1.1256	0.12766	271.15	296.68	1.1163	0.10570	270.71	296.08	1.1001
60	0.14715	279.56	306.05	1.1532	0.13206	279.37	305.78	1.1441	0.10942	278.97	305.23	1.1280
70	0.15196	287.91	315.27	1.1805	0.13641	287.73	315.01	1.1714	0.11310	287.36	314.51	1.1554
80	0.15673	296.42	324.63	1.2074	0.14074	296.25	324.40	1.1983	0.11675	295.91	323.93	1.1825
90	0.16149	305.07	334.14	1.2339	0.14504	304.92	333.93	1.2249	0.12038	304.60	333.49	1.2092
100	0.16622	313.88	343.80	1.2602	0.14933	313.74	343.60	1.2512	0.12398	313.44	343.20	1.2356
$P = 0.28 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -1.25^\circ\text{C})$				$P = 0.32 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 2.46^\circ\text{C})$				$P = 0.40 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 8.91^\circ\text{C})$				
Sat.	0.07235	229.46	249.72	0.9321	0.06360	231.52	251.88	0.9301	0.051201	235.07	255.55	0.9269
0	0.07282	230.44	250.83	0.9362								
10	0.07646	238.27	259.68	0.9680	0.06609	237.54	258.69	0.9544	0.051506	235.97	256.58	0.9305
20	0.07997	246.13	268.52	0.9987	0.06925	245.50	267.66	0.9856	0.054213	244.18	265.86	0.9628
30	0.08338	254.06	277.41	1.0285	0.07231	253.50	276.65	1.0157	0.056796	252.36	275.07	0.9937
40	0.08672	262.10	286.38	1.0576	0.07530	261.60	285.70	1.0451	0.059292	260.58	284.30	1.0236
50	0.09000	270.27	295.47	1.0862	0.07823	269.82	294.85	1.0739	0.061724	268.90	293.59	1.0528
60	0.09324	278.56	304.67	1.1142	0.08111	278.15	304.11	1.1021	0.064104	277.32	302.96	1.0814
70	0.09644	286.99	314.00	1.1418	0.08395	286.62	313.48	1.1298	0.066443	285.86	312.44	1.1094
80	0.09961	295.57	323.46	1.1690	0.08675	295.22	322.98	1.1571	0.068747	294.53	322.02	1.1369
90	0.10275	304.29	333.06	1.1958	0.08953	303.97	332.62	1.1840	0.071023	303.32	331.73	1.1640
100	0.10587	313.15	342.80	1.2222	0.09229	312.86	342.39	1.2105	0.073274	312.26	341.57	1.1907
110	0.10897	322.16	352.68	1.2483	0.09503	321.89	352.30	1.2367	0.075504	321.33	351.53	1.2171
120	0.11205	331.32	362.70	1.2742	0.09775	331.07	362.35	1.2626	0.077717	330.55	361.63	1.2431
130	0.11512	340.63	372.87	1.2997	0.10045	340.39	372.54	1.2882	0.079913	339.90	371.87	1.2688
140	0.11818	350.09	383.18	1.3250	0.10314	349.86	382.87	1.3135	0.082096	349.41	382.24	1.2942

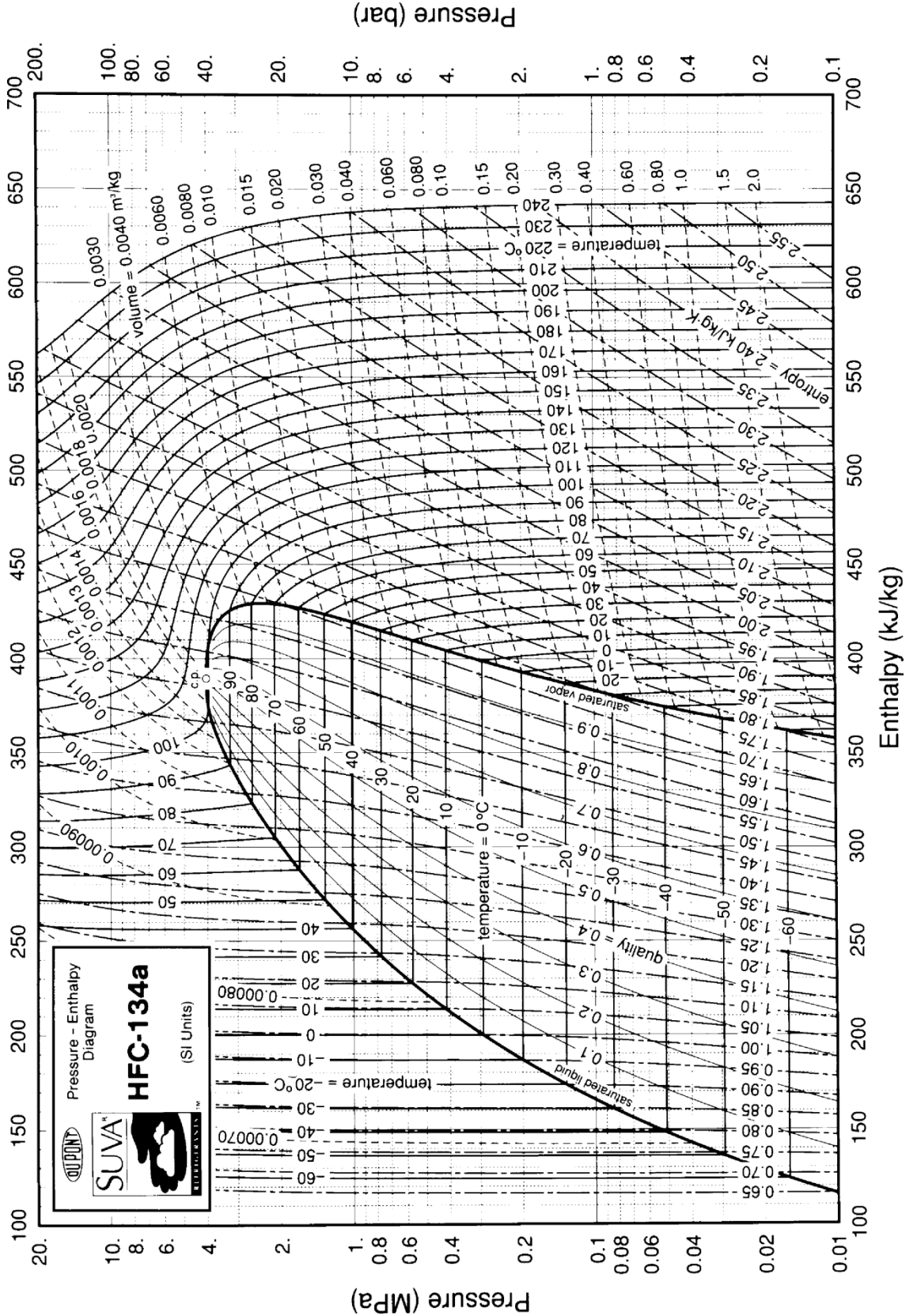
Table A-13 Superheated Refrigerant R134a Table (Continued)

TABLE A-13

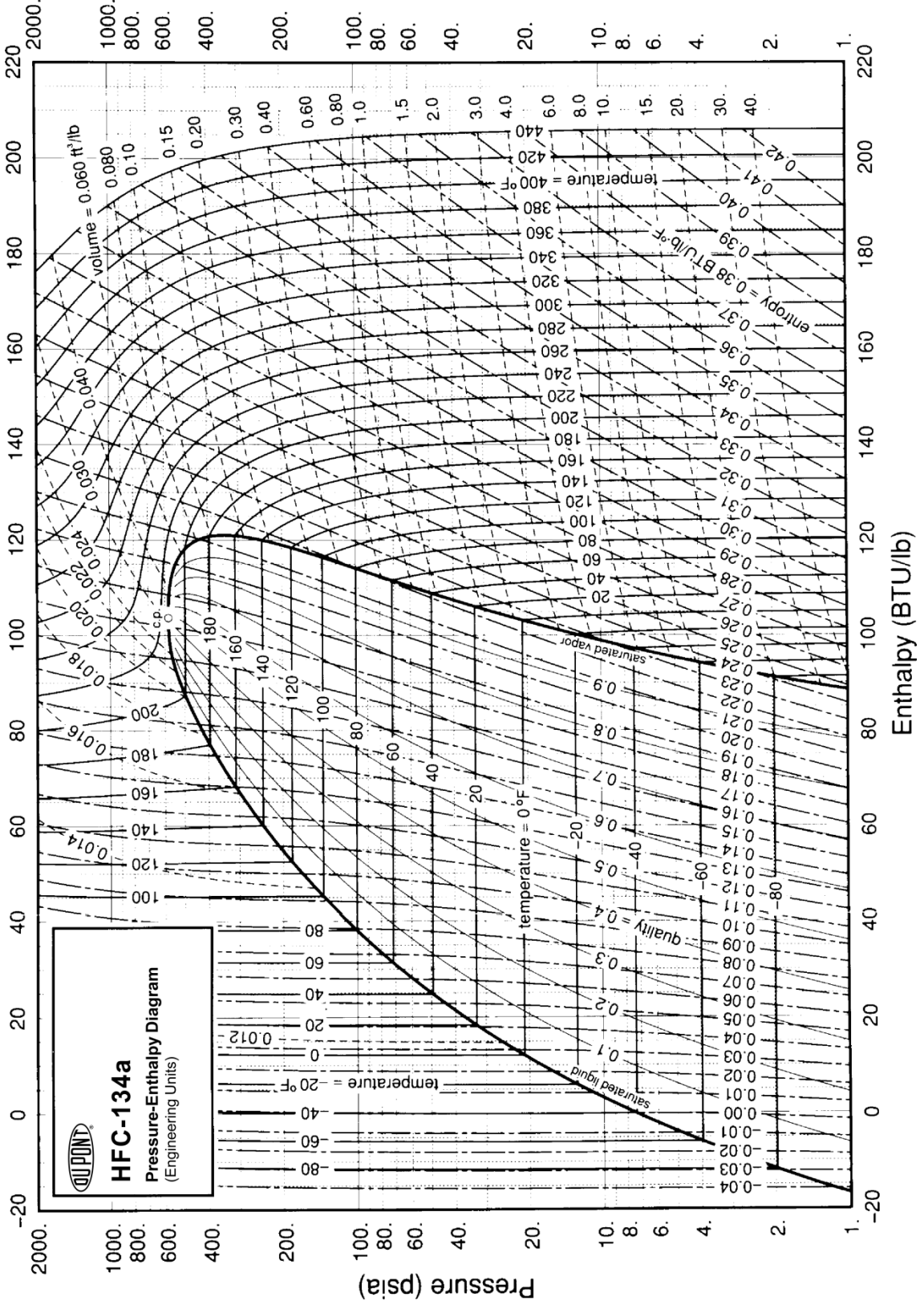
Superheated refrigerant-134a (Continued)

<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg·K	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg·K	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg·K
<i>P</i> = 0.50 MPa (<i>T</i> _{sat} = 15.71°C)				<i>P</i> = 0.60 MPa (<i>T</i> _{sat} = 21.55°C)				<i>P</i> = 0.70 MPa (<i>T</i> _{sat} = 26.69°C)				
Sat.	0.041118	238.75	259.30	0.9240	0.034295	241.83	262.40	0.9218	0.029361	244.48	265.03	0.9199
20	0.042115	242.40	263.46	0.9383								
30	0.044338	250.84	273.01	0.9703	0.035984	249.22	270.81	0.9499	0.029966	247.48	268.45	0.9313
40	0.046456	259.26	282.48	1.0011	0.037865	257.86	280.58	0.9816	0.031696	256.39	278.57	0.9641
50	0.048499	267.72	291.96	1.0309	0.039659	266.48	290.28	1.0121	0.033322	265.20	288.53	0.9954
60	0.050485	276.25	301.50	1.0599	0.041389	275.15	299.98	1.0417	0.034875	274.01	298.42	1.0256
70	0.052427	284.89	311.10	1.0883	0.043069	283.89	309.73	1.0705	0.036373	282.87	308.33	1.0549
80	0.054331	293.64	320.80	1.1162	0.044710	292.73	319.55	1.0987	0.037829	291.80	318.28	1.0835
90	0.056205	302.51	330.61	1.1436	0.046318	301.67	329.46	1.1264	0.039250	300.82	328.29	1.1114
100	0.058053	311.50	340.53	1.1705	0.047900	310.73	339.47	1.1536	0.040642	309.95	338.40	1.1389
110	0.059880	320.63	350.57	1.1971	0.049458	319.91	349.59	1.1803	0.042010	319.19	348.60	1.1658
120	0.061687	329.89	360.73	1.2233	0.050997	329.23	359.82	1.2067	0.043358	328.55	358.90	1.1924
130	0.063479	339.29	371.03	1.2491	0.052519	338.67	370.18	1.2327	0.044688	338.04	369.32	1.2186
140	0.065256	348.83	381.46	1.2747	0.054027	348.25	380.66	1.2584	0.046004	347.66	379.86	1.2444
150	0.067021	358.51	392.02	1.2999	0.055522	357.96	391.27	1.2838	0.047306	357.41	390.52	1.2699
160	0.068775	368.33	402.72	1.3249	0.057006	367.81	402.01	1.3088	0.048597	367.29	401.31	1.2951
<i>P</i> = 0.80 MPa (<i>T</i> _{sat} = 31.31°C)				<i>P</i> = 0.90 MPa (<i>T</i> _{sat} = 35.51°C)				<i>P</i> = 1.00 MPa (<i>T</i> _{sat} = 39.37°C)				
Sat.	0.025621	246.79	267.29	0.9183	0.022683	248.85	269.26	0.9169	0.020313	250.68	270.99	0.9156
40	0.027035	254.82	276.45	0.9480	0.023375	253.13	274.17	0.9327	0.020406	251.30	271.71	0.9179
50	0.028547	263.86	286.69	0.9802	0.024809	262.44	284.77	0.9660	0.021796	260.94	282.74	0.9525
60	0.029973	272.83	296.81	1.0110	0.026146	271.60	295.13	0.9976	0.023068	270.32	293.38	0.9850
70	0.031340	281.81	306.88	1.0408	0.027413	280.72	305.39	1.0280	0.024261	279.59	303.85	1.0160
80	0.032659	290.84	316.97	1.0698	0.028630	289.86	315.63	1.0574	0.025398	288.86	314.25	1.0458
90	0.033941	299.95	327.10	1.0981	0.029806	299.06	325.89	1.0860	0.026492	298.15	324.64	1.0748
100	0.035193	309.15	337.30	1.1258	0.030951	308.34	336.19	1.1140	0.027552	307.51	335.06	1.1031
110	0.036420	318.45	347.59	1.1530	0.032068	317.70	346.56	1.1414	0.028584	316.94	345.53	1.1308
120	0.037625	327.87	357.97	1.1798	0.033164	327.18	357.02	1.1684	0.029592	326.47	356.06	1.1580
130	0.038813	337.40	368.45	1.2061	0.034241	336.76	367.58	1.1949	0.030581	336.11	366.69	1.1846
140	0.039985	347.06	379.05	1.2321	0.035302	346.46	378.23	1.2210	0.031554	345.85	377.40	1.2109
150	0.041143	356.85	389.76	1.2577	0.036349	356.28	389.00	1.2467	0.032512	355.71	388.22	1.2368
160	0.042290	366.76	400.59	1.2830	0.037384	366.23	399.88	1.2721	0.033457	365.70	399.15	1.2623
170	0.043427	376.81	411.55	1.3080	0.038408	376.31	410.88	1.2972	0.034392	375.81	410.20	1.2875
180	0.044554	386.99	422.64	1.3327	0.039423	386.52	422.00	1.3221	0.035317	386.04	421.36	1.3124
<i>P</i> = 1.20 MPa (<i>T</i> _{sat} = 46.29°C)				<i>P</i> = 1.40 MPa (<i>T</i> _{sat} = 52.40°C)				<i>P</i> = 1.60 MPa (<i>T</i> _{sat} = 57.88°C)				
Sat.	0.016715	253.81	273.87	0.9130	0.014107	256.37	276.12	0.9105	0.012123	258.47	277.86	0.9078
50	0.017201	257.63	278.27	0.9267								
60	0.018404	267.56	289.64	0.9614	0.015005	264.46	285.47	0.9389	0.012372	260.89	280.69	0.9163
70	0.019502	277.21	300.61	0.9938	0.016060	274.62	297.10	0.9733	0.013430	271.76	293.25	0.9535
80	0.020529	286.75	311.39	1.0248	0.017023	284.51	308.34	1.0056	0.014362	282.09	305.07	0.9875
90	0.021506	296.26	322.07	1.0546	0.017923	294.28	319.37	1.0364	0.015215	292.17	316.52	1.0194
100	0.022442	305.80	332.73	1.0836	0.018778	304.01	330.30	1.0661	0.016014	302.14	327.76	1.0500
110	0.023348	315.38	343.40	1.1118	0.019597	313.76	341.19	1.0949	0.016773	312.07	338.91	1.0795
120	0.024228	325.03	354.11	1.1394	0.020388	323.55	352.09	1.1230	0.017500	322.02	350.02	1.1081
130	0.025086	334.77	364.88	1.1664	0.021155	333.41	363.02	1.1504	0.018201	332.00	361.12	1.1360
140	0.025927	344.61	375.72	1.1930	0.021904	343.34	374.01	1.1773	0.018882	342.05	372.26	1.1632
150	0.026753	354.56	386.66	1.2192	0.022636	353.37	385.07	1.2038	0.019545	352.17	383.44	1.1900
160	0.027566	364.61	397.69	1.2449	0.023355	363.51	396.20	1.2298	0.020194	362.38	394.69	1.2163
170	0.028367	374.78	408.82	1.2703	0.024061	373.75	407.43	1.2554	0.020830	372.69	406.02	1.2421
180	0.029158	385.08	420.07	1.2954	0.024757	384.10	418.76	1.2807	0.021456	383.11	417.44	1.2676

Pressure-Enthalpy Diagram for HFC-134a (SI Units)



Pressure-Enthalpy Diagram for HFC-134a (English Units)



Chapter-3 Vapor Compression Cycle Theory and Calculation

၃.၁ Vapor Compression Refrigeration Cycle

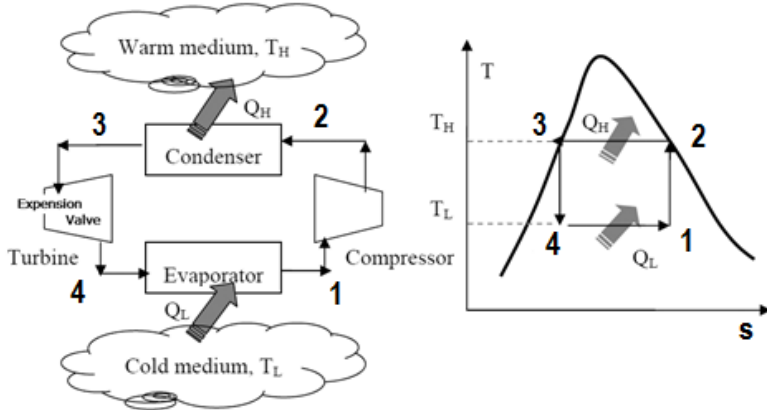
အပူချိန်မြင့်သည့် နေရာ(high temperature)မှ အပူ(heat)များသည် အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာ(low temperature)သို့ အလိုအလျောက် ကူးပြောင်းနိုင်သော်လည်း အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာ(low temperature)မှ အပူ (heat)များ အပူချိန်မြင့်သည့် နေရာ(high temperature)သို့ ရောက်သွားစေရန်အတွက် refrigeration ကိရိယာ (device) တစ်မျိုးမျိုး လိုအပ်သည်။

အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာမှ အပူ(heat)များကို အပူချိန်မြင့်သည့်နေရာသို့ ကူးပြောင်း(transfer) သွားအောင် ပြုလုပ်ပေးခြင်းကို "refrigeration" ဟုခေါ်သည်။ Refrigeration cycle ကို ဖြစ်စေပြီး refrigeration effect ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည့် ကိရိယာများ(devices)ကို "refrigerator" ဟုခေါ်သည်။ Vapor compression refrigeration cycle များကို အများဆုံး တွေ့မြင်နိုင်သည်။ Refrigerant သည် အပူများကို စုပ်ယူပြီး အငွေ့အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲ(vaporize) သွားသည်။ Refrigerant vapor များကို compressor ဖြင့် ဖိသိပ်(compress)ပြီး ဖိအားမြင့်နေချိန်တွင် condenser အတွင်း၌ အပူများ ထွက်သွားအောင် ပြုလုပ်၍ အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲစေသည်။ ထို့နောက် ဖိအားမြင့်သည့် refrigerant သည် အပူဓာတ်များကို စုပ်ယူကာ ကျယ်ပြန့်(expend)လာသည်။ ထိုကဲ့သို့ ထပ်ခါထပ်ခါ ပြုလုပ်ခြင်းကို "vapor compression refrigeration cycle" ဟုခေါ်သည်။

၃.၂ Reversed Carnot Cycles

Carnot cycle သည် heat engine အလုပ်လုပ်ပုံကို ဖော်ပြသည့် cycle ဖြစ်ပြီး၊ refrigeration cycle သည် heat engine အလုပ်လုပ်ပုံနှင့် ပြောင်းပြန်ဖြစ်သောကြောင့် reversed Carnot cycle ဟုခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။ Carnot cycle ကို ပြောင်းပြန်ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်သောကြောင့် reversed Carnot cycle ဟုခေါ်သည်။

Refrigeration cycle သည် အပူစွမ်းအင် သို့မဟုတ် အလုပ်(work)ကို system အတွင်းသို့ ထည့်ပေးပြီး အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာ(low temperature heat source T_L)မှ အပူများ အပူချိန်မြင့်သည့်နေရာ(high temperature heat sink - T_H)သို့ ကူးပြောင်းစေသည့် reversed Carnot cycle ဖြစ်သည်။ Carnot cycle သည် reversible isothermal processes နှစ်ခုနှင့် isentropic processes နှစ်ခု ပါဝင်သည့် reversible cycle ဖြစ်သည်။ Refrigerator နှင့် heat pump တို့သည် reversed Carnot cycle ကို အခြေခံ၍ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသောကြောင့် Carnot refrigerator သို့မဟုတ် Carnot heat pump ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆို လေ့ရှိသည်။



ပုံ ၃-၁ Carnot refrigerator ၏ အဓိက အစိတ်အပိုင်း(major components)များနှင့် T-s diagram

Reversed Carnot cycle သည် မတူညီသည့် အပူချိန် နှစ်ခုအကြားတွင် အလုပ်လုပ်သည့် refrigeration cycle ဖြစ်ပြီး efficient အဖြစ်ဆုံး ဖြစ်သည်။ အမြင့်ဆုံး theoretical COP ကို ပေးနိုင်သည့် cycle ဖြစ်သည်။ Reversed Carnot cycle COP ထက် ပိုကောင်းသည့် refrigeration machine ကို တီထွင်ပြုလုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

ပုံ(၃-၁)တွင် ဖော်ပြထားသည့် refrigeration cycle ကို “**Reversed Carnot Cycle**” ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ Heat engine သည် စက်မှုစွမ်းအင် သို့မဟုတ် အလုပ်(work) ရရှိရန်အတွက် လောင်စာဆီ(fuel)ကို မီးလောင်စေပြီး အပူစွမ်းအင် ထည့်ပေးသည့် Carnot cycle ဖြစ်သည်။

Refrigerator များ နှင့် heat pump များသည် အလုပ်လုပ်ပုံ တူညီသည့် ကိရိယာ(device)များ ဖြစ်ကြသည်။ အသုံးပြုပုံ သို့မဟုတ် အလိုရှိသည့် ရည်ရွယ်ချက်သာ ကွဲပြားသည်။ Refrigerator များ နှင့် heat pump များ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ကို Coefficient Of Performance (COP) ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။

$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{Net(in)}}$$

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W_{Net(in)}}$$

$$COP_{Ref,Carnot} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

$$COP_{HP,Carnot} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L}}$$

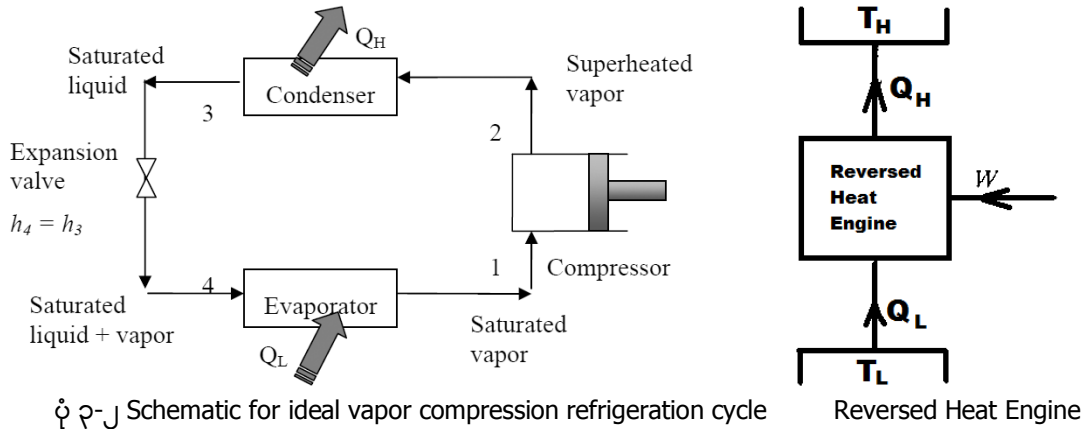
ပုံ(၃-၁)တွင် refrigerant သည် အပူ(heat)များကို isothermal နည်းဖြင့် low-temperature (T_L) source မှ စုပ်ယူသည်။ စုပ်ယူသည့် အပူမာဏသည် Q_L (process 1-2) ဖြစ်သည်။ State 3 တွင် compressor သည် isentropical နည်းဖြင့် refrigerant များကို ဖိသိပ်(compress)သောကြောင့် အပူချိန် T_H သို့ မြင့်တက် သွားသည်။ ထို့နောက် အပူချိန်မြင့်သည့်နေရာ(high-temperature sink)သို့ isothermal နည်းဖြင့် အပူ(heat)များကို စွန့်ထုတ်ပစ်(reject)သည်။ စွန့်ထုတ်ပစ်သည့် အပူမာဏသည် Q_H (process 2-3) ဖြစ်သည်။ Process 3-4 အတွင်း refrigerant သည် အငွေ့အဖြစ်(saturated vapor state)မှ အရည်အဖြစ်(saturated liquid state)အဖြစ်သို့ condenser အတွင်း၌ ပြောင်းလဲသွားသည်။ ထို့နောက် အပူချိန်နိမ့်သည့် state 1 သို့ isentropical နည်းဖြင့် ကျယ်ပြန့်(expand) သည်။ Carnot refrigerator နှင့် Carnot heat pump တို့၏ Coefficients Of Performance (COP)ကို အပူချိန် ဖြင့်လည်း ဖော်ပြနိုင်သည်။

T_L (low temperature) မြင့်၍ သော်လည်းကောင်း သို့မဟုတ် T_H (high temperature) နိမ့်သောကြောင့် သော်လည်းကောင်း T_L နှင့် T_H အကြား အပူချိန်ခြားနားချက် နည်းလာလျှင် COP တန်ဖိုး ပိုများ လာလိမ့်မည်။

Reversed Carnot cycle သည် efficient အဖြစ်ဆုံးသော refrigeration cycle ဖြစ်သည်။ လက်တွေ့ လည်ပတ်နေသည့် refrigeration cycle များ၏ efficiency သည် reversed Carnot cycle ထက်ပို မကောင်းနိုင်ပေ။ Isothermal heat transfer process နှစ်ခုသည် လက်တွေ့တွင် evaporator နှင့် condenser အတွင်း၌ ဖိအား မပြောင်းလဲစေဘဲ(constant pressure) တစ်သမတ်တည်းဖြစ်အောင် ထိန်းထားရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

၃.၃ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycles

Refrigerator များ၊ air-conditioner များ ၊ chiller များနှင့် heat pump များသည် vapor compression refrigeration ကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထားသည့် ကိရိယာများ ဖြစ်ကြသည်။



ပုံ ၃-၂ Schematic for ideal vapor compression refrigeration cycle

Ideal vapor compression cycle အတွက် ယူဆချက်(assumption)များ မှာ

- (က) Evaporator ၊ condenser နှင့် compressor များတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် irreversibility များကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားခြင်း မပြုပါ။
- (ခ) ပွတ်တိုက်မှု(friction)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားကျဆင်းမှုများ(frictional pressure drops)ကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားခြင်း မပြုပါ။
- (ဂ) Heat exchanger နှစ်ခုဖြစ်သည့် evaporator နှင့် condenser အတွင်း၌ refrigerant သည် ပုံသေဖိအား (constant pressure)ဖြင့် စီးဆင်း(flow)နေသည်ဟု ယူဆထားသည်။
- (ဃ) အနီးဝန်းကျင်သို့(surroundings) စီးကူးသွားသည့် အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss) မရှိဟု ယူဆထားသည်။
- (င) Compression process ကို isentropic process အဖြစ် ယူဆထားသည်။

၃.၃.၁ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycles ရှင်းပြချက် (၁)

Vapor compression refrigeration cycle ကို refrigerator များ၊ chiller များ၊ air-conditioning system များ၊ heat pump များ စသည်တို့တွင် အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။

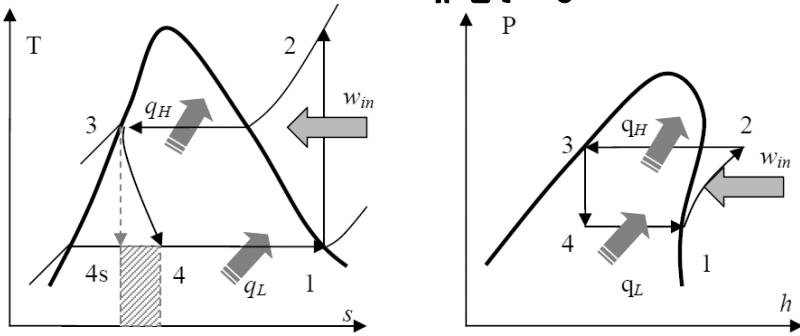
Vapor compression refrigeration cycle တွင် အောက်ပါ ဖြစ်စဉ် လေးမျိုး ပါဝင်သည်။

- 1-2 Isentropic compression in a compressor
- 2-3 Constant-pressure heat rejection in a condenser
- 3-4 Throttling in an expansion device
- 4-1 Constant-pressure heat absorption in an evaporator

Ideal vapor compression refrigeration cycle တွင် refrigerant များသည် compressor အတွင်းသို့ အငွေ့(saturated vapor)အဖြစ် ဝင်ရောက်လာသည်။ ထိုအခြေအနေကို state 1 ဟုသတ်မှတ်သည်။ Compressor သည် isentropic compression process ဖြင့် refrigerant များကို ဖိသိပ်(compress)နေစဉ် အပူချိန် မြင့်တက် လာသည်။ Compressor အထွက် state 2 မှ refrigerant များသည် condenser အတွင်းသို့ superheated vapor အဖြစ် ဝင်ရောက်သည်။ Condenser အတွင်း refrigerant များသည် အပူများကို စွန့်ထုတ်ပြီး saturated liquid အဖြစ်သို့(state 3) ရောက်ရှိသွားသည်။ Condenser အတွင်းရှိ refrigerant အပူချိန်သည် အပူစွန့်ထုတ်ခြင်းခံရသည့် အနီးဝန်းကျင်ရှိ အပူချိန်ထက် ပိုမြင့်သည်။

State 3 တွင် saturated liquid refrigerant များကို evaporator pressure သို့ရောက်အောင် expansion valve သို့မဟုတ် capillary tube သုံး၍ throttling လုပ်၍ လျော့ချလိုက်သည့်အခါ refrigerant အပူချိန်သည် refrigerated space ၏ အပူချိန်ထက် ပိုနည်း သွားသည်။ Refrigerant များသည် evaporator (state 4) အတွင်းသို့ low-quality saturated mixture အဖြစ် ဝင်ရောက်လာသည်။ Refrigerated space မှ အပူများကို စုပ်ယူပြီး လုံးဝ ကုန်စင်အောင် အငွေ့ပျံ(evaporate)သွားသည်။ ထို့နောက် အငွေ့(saturated vapor)အနေဖြင့် evaporator အတွင်းမှ ထွက်သွားပြီး compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ကာ နောက်ထပ် refrigeration cycle တစ်ခု စတင်သည်။ Refrigeration cycle သည် အဆက်မပြတ် လည်ပတ်နေသည့် cycle ဖြစ်သည်။

၃.၃.၂ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycles ရှင်းပြချက် (၂)



ပုံ ၃-၃ Ideal vapor compression refrigeration cycle တစ်ခု၏ T-s diagrams နှင့် P-h diagrams

State 1 မှ State 2: Internally | Reversible | Adiabatic (isentropic) Compression Process

Refrigerant ကို reversible | adiabatic (isentropic) နည်းဖြင့် ဖိသိပ်(compression)သည်။ State 1 မှ saturated vapor များသည် state 2 သို့ superheated vapor အဖြစ်ရောက်ရှိ သွားသည်။ (S1 = S2)

$$w_{in} = h_2 - h_1$$

State 2 မှ State 3: Internally | Reversible | Constant Pressure Heat Rejection Process

State 2 မှ state 3 သည် internally | reversible | constant pressure heat rejection ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် refrigerant မှ အပူစွန့်ထုတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ State 3 သို့ ရောက်ချိန်တွင် refrigerant အပူချိန်ကျဆင်းပြီး အရည်(saturated liquid)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ ထိုသို့ပြောင်းလဲခြင်းကို condensation ဖြစ်သည်ဟု ခေါ်သည်။ Refrigerant မှ အပူများကို condenser water သို့မဟုတ် လေထု ထဲသို့ စွန့်ထုတ်ပစ်လိုက်သည်။

$$q_H = h_2 - h_3$$

State 3 မှ State 4: Irreversible Throttling Process

အပူချိန်(temperature) နှင့် ဖိအား(pressure) ကျဆင်းသော်လည်း enthalpy မပြောင်းလဲ (constant)ပေ။ State 4 ဆီသို့ refrigerant များသည် low quality saturated mixture အဖြစ် ဝင်ရောက် သည်။

$$h_3 = h_4 \text{ (constant enthalpy)}$$

State 4 မှ State 1: Internally | Reversible | Constant Pressure Heat Interaction Process

Refrigerant (two-phase mixture) များသည် အပူများကို စုပ်ယူပြီး ဆူပွက်(evaporated) သည်။ State point 1 တွင် saturated vapor အဖြစ်သို့ ရောက်ရှိသည်။ Refrigerant များ ဆူပွက်ရန်အတွက် လိုအပ်သည့် latent enthalpy ကို evaporator အတွင်း၌ refrigerated space မှ ရရှိသည်။ Evaporator အတွင်း၌ refrigerant ဆီသို့ ကူးပြောင်းသွားသည့် အပူပမာဏ(amount of heat transferred)ကို refrigeration load ဟု ခေါ်သည်။

$$q_L = h_1 - h_4$$

မှတ်ချက်

Ideal compression refrigeration cycle သည် internally reversible cycle မဟုတ်ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် throttling လုပ်ခြင်းသည် irreversible process ဖြစ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

အကယ်၍ expansion valve (throttling device) ကို isentropic turbine ဖြင့် အစားထိုးနိုင်လျှင် refrigerant သည် evaporator အတွင်းသို့ state 4s နေရာမှ (ပုံ ၃-၃) ဝင်ရောက်လာလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် refrigeration capacity ပိုများ လာနိုင်သည်။ ပမာဏအားဖြင့် curve 4-4s အောက်ရှိ ဧရိယာ(area under 4-4s) နှင့် တူညီသည့် work input ပမာဏ လျော့နည်းလိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် turbine မှ အသုံးပြုနိုင်သည့် work တချို့ကို ထုတ်ပေးနိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ သို့သော် လက်တွေ့ အခြေအနေတွင် expansion valve ကို turbine ဖြင့် အစားထိုးရန် အတွက် ကုန်ကျစရိတ်ပိုများခြင်းနှင့် ပို၍ ရှုပ်ထွေး ခက်ခဲခြင်းတို့ ဖြစ်နိုင်သည်။

Evaporating temperature ကို 1°C မြှင့်၍ မောင်းနှင်လျှင် COP 2% မှ 4% အထိ ပိုကောင်းလာနိုင်သည်။
Condensing temperature ကို 1°C နိမ့်၍ မောင်းနှင်လျှင် COP 2% မှ 4% အထိ ပိုကောင်းလာနိုင်သည်။

Vapor compression system များကို လေ့လာတွက်ချက်ရာတွင် အောက်ပါအချက်များ ပါဝင်သည်။

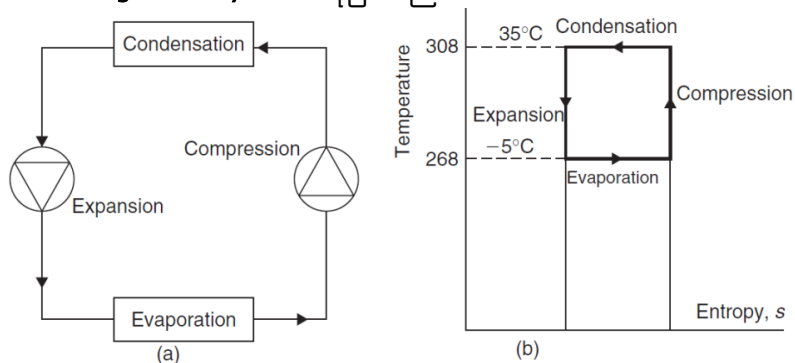
- (က) T-s diagram နှင့် P-h chart ရေးဆွဲပါ။
- (ခ) System ရှိ အဆင့်တိုင်းအတွက် principal state များ နှင့် တန်ဖိုးများ ကို ရှာဖွေပါ။
- (ဂ) အဓိက process များ၌ mass ၊ energy နှင့် entropy balance equation များအသုံးပြု၍ လိုအပ်သည့် တန်ဖိုးများကို ရှာပါ။
- (ဃ) Refrigeration နှင့် heat pump system များ၏ performance ၊ coefficient of performance နှင့် capacity ကို ရှာပါ။

Vapor compression system များကို engineering model ဖြင့် လေ့လာရာတွင် အောက်ပါ အဆင့်များ ပါဝင်သည်။

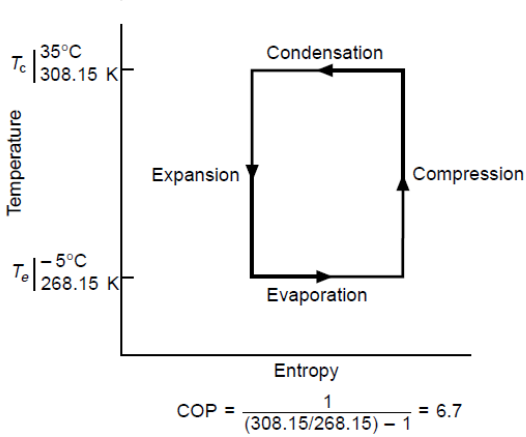
- (၁) Component တစ်ခုချင်းစီကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး steady state အခြေအနေတွင် လေ့လာ(analyze)သည်။
- (၂) Compressor များသည် adiabatic နည်းဖြင့် compression ပြုလုပ်သည်ဟု ယူဆတွက်ချက်သည်။
- (၃) Refrigerant များသည် expansion valve နေရာတွင် throttling process ဖြစ်ပေါ်သည်။
- (၄) Kinetic energy နှင့် potential energy ပြောင်းလဲမှုများကို လျစ်လျူရှု၍ တွက်ချက်သည်။

၃.၃.၃ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၁)

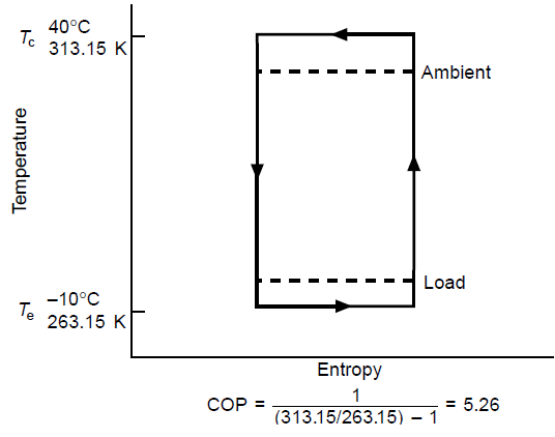
ပထမဦးစွာ ideal reversible cycle တစ်ခုကို စတင် လေ့လာကြည့်ကြပါစို့။ ပုံ(၃-၄)တွင် ဖော်ပြထားသည့် ideal reversible cycle တစ်ခုသည် အပူချိန် နိမ့်သည့် နေရာ(T_L)မှ အပူများသည် အပူချိန် မြင့်သည့်နေရာ(T_H)သို့ ကူးပြောင်းသည့် "Ideal Refrigeration Cycle" တစ်ခုဖြစ်သည်။



ပုံ ၃-၄(က) Ideal reversed Carnot cycle (a) circuit and (b) temperature–entropy diagram



ပုံ ၃-၄(ခ) Ideal reversed Carnot cycle



ပုံ ၃-၄(ဂ) Modified reversed Carnot cycle

Refrigeration cycle တွင် အသုံးပြုထားသည့် fluid ကို “Refrigerant” ဟုခေါ်သည်။ Refrigeration cycle တွင် ပါဝင်သည့် အဓိက component (၄)မျိုးကြောင့် process (၄)ခု ဖြစ်ပေါ်သည်။ Refrigerant သည် ထို process လေးခုလုံးသို့ ရောက်ရှိပြီး ထပ်ခါထပ်ခါ အဆက်မပြတ် လည်ပတ်နေသည်။

Compression process နှင့် expansion process နှစ်ခုသည် ပုံ(၃-၄)တွင် မျဉ်းမတ်များဖြင့် ဖော်ပြထားသည့် constant entropy (isentropic) process များ ဖြစ်ကြသည်။ Entropy မပြောင်းလဲသည့် (isentropic) process သည် reversible process သို့မဟုတ် ideal process ဖြစ်သည်။ Entropy မပြောင်းလဲ သောကြောင့် entropy generation မဖြစ်ပေါ်ပေ။ Entropy generation မဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် reversible process ဖြစ်သည်။ လက်တွေ့တွင် မဖြစ်နိုင်သည့် ideal process ဖြစ်သည်။

System မှ အပူများ စုပ်ယူသွားခြင်း(heat addition to refrigerant) နှင့် အပူများစွန့်ထုတ်ခြင်း(rejection of heat)တို့ ဖြစ်နေချိန်တွင် အပူချိန် ပြောင်းလဲခြင်းမရှိ(constant temperature)ဟု ယူဆ ထားသောကြောင့် မျဉ်းဖြောင့်များ(horizontal lines)ဖြင့် ပုံ(၃-၄-က-b)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

ဖိသိပ်ခြင်း(compression) ပြုလုပ်နေချိန်တွင် system အတွင်းသို့ စွမ်းအင် သို့မဟုတ် အလုပ်(work) ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Expansion ဖြစ်နေချိန်တွင် စွမ်းအင် သို့မဟုတ် အလုပ်(work) များ ပြန်ထွက်လာသည်။

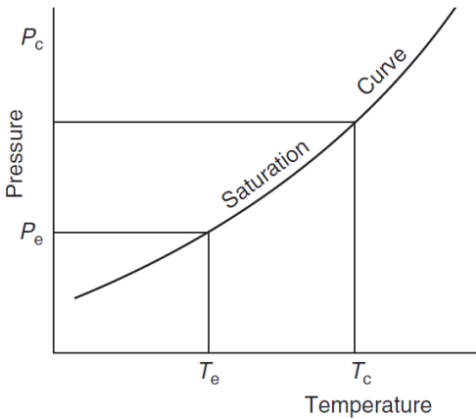
Evaporation ဖြစ်နေချိန်တွင် အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာမှ အပူ(heat)များကို system က စုပ်ယူသည်။ Condensation ဖြစ်ပေါ်နေချိန်တွင် system အတွင်းမှ အပူ(heat)များကို အပြင်သို့ စွန့်ထုတ်သည်။ ထည့်ပေးရသည့် စွမ်းအင် သို့မဟုတ် အလုပ်(work) နှင့် ပြန်ရရှိနိုင်သည့် cooling effect တို့မှ Coefficient Of Performance (COP)ကို တွက်ယူနိုင်သည်။

Vapor compression cycle ကို refrigeration လုပ်ငန်းများအတွက် အသုံးပြုသည်။ Refrigerant များသည် အပူချိန်ကို လိုက်၍ ဆူပွက်ခြင်း(boiling) နှင့် condensation ဖြစ်ခြင်းတို့ ဖြစ်ပေါ်သည်။ Refrigerant က အပူကို စုပ်ယူလျှင် ဆူပွက်ခြင်း(boiling)ဖြစ်ပေါ်ပြီး အပူစွန့်ထုတ်လျှင် condensation ဖြစ်ပေါ်သည်။ Refrigerant များ၏ အပူချိန် (evaporation temperature နှင့် condensing temperature)သည် ဖိအား(pressure)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ Refrigerant ၏ အပူချိန်သည် freezing point နှင့် critical temperature တို့ထက် ကျော်လွန်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

ပုံ(၃-၅)တွင် Te သည် evaporation temperature ဖြစ်ပြီး Tc သည် condensing temperature ဖြစ်သည်။ Pe သည် evaporation pressure ဖြစ်ပြီး Pc သည် condensing pressure ဖြစ်သည်။

ဆူပွက်(boiling)ရန်အတွက် refrigerant များသည် အပူ(latent heat of evaporation) များကို စုပ်ယူရသည်။ Condensing ဖြစ်ရန်အတွက် latent heat များကို ပြန်စွန့်ထုတ်ပစ်ရသည်။ ထို့ကြောင့် chiller ၏ evaporator

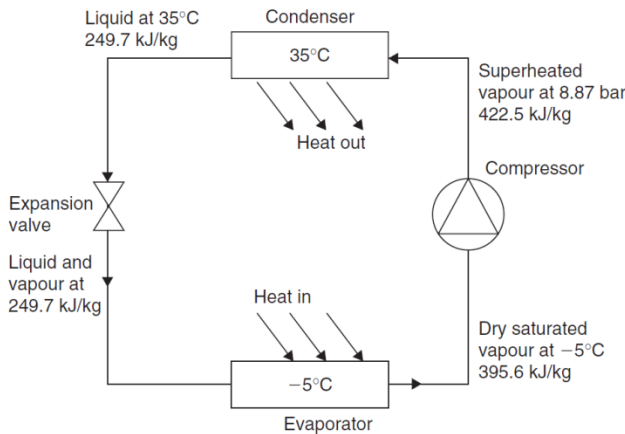
အတွင်း၌ refrigerant သည် အပူများကို စုပ်ယူ(absorb)ရသည်။ Chiller ၏ condenser အတွင်း၌ refrigerant သည် အပူများကို စွန့်ထုတ်(reject)သည်။



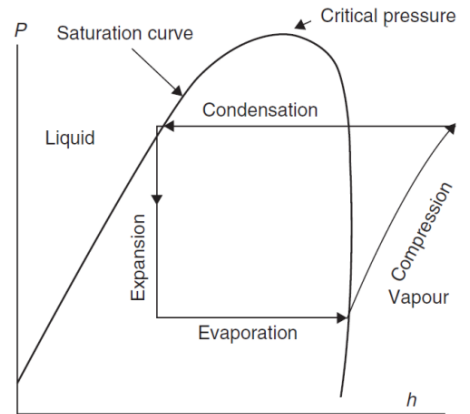
Evaporator အတွင်း၌ အပူချိန်နှင့် ဖိအားနိမ့်သည့် အချိန်တွင် အပူကို စုပ်ယူလိုက်သောကြောင့် အပူချိန် မြင့်တက် လာပြီး အငွေ့ပျံခြင်း(vaporization)ဖြစ်ပေါ်သည်။ အငွေ့(vapor) များကို စက်ဖြင့် ဖိသိပ်(compress) သောကြောင့် ဖိအား မြင့်တက်လာသည်။

ဖိအားမြင့်တက်မှုကြောင့် corresponding saturation temperature လည်း မြင့်တက်သည်။ အပူချိန်မြင့်သည့် အငွေ့အဖြစ်မှ အပူများကို စွန့်ထုတ်ပြီး အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသည်။

ပုံ ၃-၅ Evaporation and condensation



ပုံ ၃-၆ Simple vapor compression cycle with pressure and enthalpy values for R134a



ပုံ ၃-၇ Vapor compression cycle ကို ဖော်ပြထားသည့် Pressure-enthalpy diagram

ဥပမာ- ပုံ(၃-၆)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း အပူချိန် -5°C ရှိသည့်နေရာ(evaporator)မှ အပူများကို အပူချိန် 35°C ရှိသည့်နေရာ(condenser)သို့ စွန့်ထုတ် (reject)ပစ်ရန် အတွက် Carnot COP (ideal COP) ကို ရှာပါ။

အဖြေ - အပူချိန်များကို absolute temperature သို့ပြောင်းပါ။ -5°C သည် 268 K နှင့် အနီးစပ်ဆုံး တူညီသည်။ 35°C သည် 308 K နှင့် အနီးစပ်ဆုံး တူညီသည်။

$$COP = \frac{Q_2}{W} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

$$Carnot COP = \frac{268}{308 - 268} = 6.7$$

အပူချိန် -5°C ရှိသည့်နေရာမှ အပူများကို အပူချိန် 35°C ရှိသည့်နေရာသို့ စွန့်ထုတ်(reject)ပစ်ရန် အတွက် COP 6.7 ထက် ပိုကောင်းသည့် စက်ကို တည်ဆောက်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

ပုံ(၃-၇)တွင် refrigeration cycle ကို ဖော်ပြထားသည်။ Evaporation process ဖြစ်နေချိန်တွင် အပူချိန် နိမ့်သည့်နေရာ သို့မဟုတ် working fluid မှ အပူများကို refrigerant က စုပ်ယူလိုက်သောကြောင့် cooling effect သို့မဟုတ် refrigeration effect ဖြစ်ပေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် working fluid နှင့် refrigerant တို့၌ enthalpy ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။

P-h diagram

Vapor compression cycle ကို လေ့လာရန်အတွက် အင်ဂျင်နီယာများသည် pressure - enthalpy diagram သို့မဟုတ် P-h diagram ကို အသေးစိတ် နားလည်သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်သည်။ P-h diagram သည် substance များ၏ liquid phase နှင့် gas phase တို့၏ ပြောင်းလဲပုံကို အလွယ်တူဆုံးနည်းဖြင့် ဖော်ပြထားသည့် ဂရပ် ဖြစ်သည်။

ပုံ(၃-၇) ၏ vertical axis တွင် pressure (P) တန်ဖိုးများကို ဖော်ပြထားသည်။ ရေပြင်ညီလိုင်း(horizontal line)တွင် enthalpy(h) တန်ဖိုးများကို ဖော်ပြထားသည်။ Saturation curve သည် အရည်အနေဖြင့်သာ(pure liquid) ရှိနိုင်သည့် နေရာနှင့် အငွေ့သက်သက်(pure gas or vapor)ရှိနေသည့် နေရာကို ပိုင်းခြားထားသည့် လိုင်းဖြစ်သည်။

Vapor ဟုဖော်ပြထားသည့် နေရာ(region)တွင် refrigerant သည် superheated vapor အနေဖြင့် ရှိနေလိမ့်မည်။ Liquid ဟု ဖော်ပြထားသည့် နေရာ(region)တွင် refrigerant သည် subcooled liquid အနေဖြင့် ရှိနေလိမ့်မည်။

Curve ၏ အပေါ်ဘက်နေရာတွင် refrigerant သည် အရည်(liquid)ဖြစ်မည်၊ အငွေ့(vapor)ဖြစ်မည် သို့မဟုတ် နှစ်မျိုးစလုံး ဖြစ်နေမည် ဟူ၍ အတိအကျပြောရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ အငွေ့(vapor)အခြေအနေတွင် ဖြစ်ပေါ် နေသည့် ဖိအားထက် ပိုမြင့်မားလျှင် refrigerant သည် အရည်(liquid) မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။

Curve ၏ ထိပ်ဆုံး ဖိအား(pressure)ကို “critical pressure” ဟုခေါ်သည်။ Curve ၏ အတွင်းဘက်တွင် အရည်(liquid)အသွင် နှင့် အငွေ့(vapor)အသွင် နှစ်မျိုး ရောနှောနေသည့် အခြေအနေ(mixture of liquid and vapor)ဖြစ်သည်။ ပုံ(၃-၇)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း vapor compression cycle ကို P-h diagram ပေါ်တွင် ရေးဆွဲ နိုင်သည်။

Evaporation process သို့မဟုတ် refrigerant အငွေ့ပျံခြင်း(vaporization)ဖြစ်စဉ်သည် ဖိအား မပြောင်းလဲသည့် ဖြစ်စဉ်(constant pressure process) ဖြစ်သောကြောင့် ရေပြင်ညီလိုင်း(horizontal line)ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

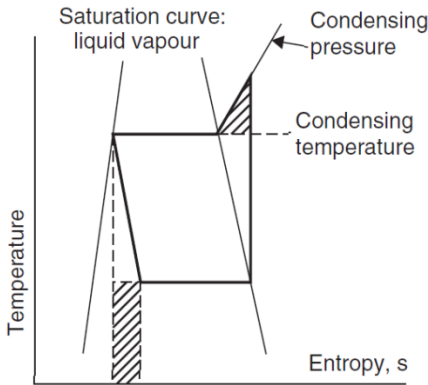
Compression process တွင် စွမ်းအင်(energy)ကို အသုံးပြု၍ ဖိသိပ်ခြင်း(compression) ပြုလုပ် သောကြောင့် refrigerant vapor ၏ အပူချိန် မြင့်တက်လာပြီး enthalpy လည်း မြင့်တက်လာသည်။ ထို့ကြောင့် Compression process ကို ဒေါင်လိုက်မျဉ်း(vertical line)ဖြင့် အောက်မှ အထက်သို့ ဖော်ပြထားသည်။ ဖိသိပ်ခြင်း (compression) လုပ်ပြီးချိန်တွင် superheated အပူချိန်သို့ ရောက်နေသောကြောင့် saturation curve အပြင်ဘက်သို့ ရောက်သွားသည်။ ဖိသိပ်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့်အပူ(heat of compression)များကြောင့် refrigerant ၏ enthalpy မြင့်တက် သွားသည်။ Adiabatic compression ဟု သတ်မှတ်သည်။

နောက်ဆုံးရောက်ရှိသည့် compression temperature (discharge temperature)သည် condensation temperature ထက် ပိုမြင့်သည်။ Condensation စတင် မဖြစ်ပေါ်ခင် refrigerant vapor သည် အေးသွားသည်။ ထို့ကြောင့် condensation temperature ထက် ပိုမြင့်နေသည့် အပူချိန်မှ condensation temperature သို့ရောက်ရန် အပူအနည်းငယ်ခန့်ကို စွန့်ထုတ်သည်။ ဤအချက်သည် ideal cycle နှင့် မတူညီသည့် အချက်ဖြစ်သည်။ Actual condensation process ကို saturation curve အတွင်း၌ ရေပြင်ညီလိုင်း(horizontal line) ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

ပုံ(၃-၈)တွင် simple vapor compression cycle ကို temperature entropy diagram ဖြင့် ဖော်ပြ ထားသည်။ မျဉ်းစောင်းများခြစ်ထားသည့်နေရာ(shaded areas)သည် reversed Carnot cycle နှင့် မတူညီသည့် အချက် ဖြစ်သည်။

Adiabatic compression process သည် condensing temperature ရောက်သည်အထိ ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ မျဉ်းစောင်းများခြစ်ထားသည့်နေရာ(shaded areas)သည် ပိုလုပ်ရသည့် အလုပ်(extra-work)ပမာဏ ဖြစ်သည်။

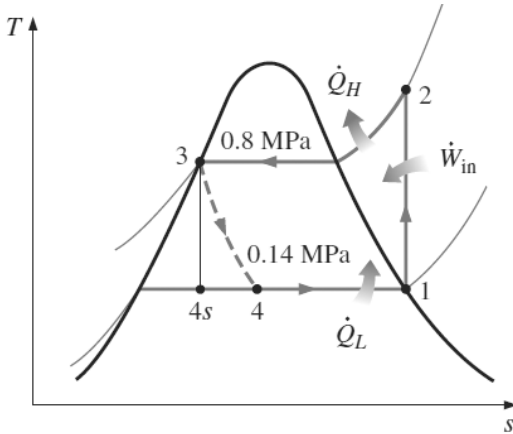
အပူချိန်မပြောင်းလဲသည့် (constant temperature) compression process ကို Isothermal compression process ဟုခေါ်သည်။ Isothermal compression ဖြစ်အောင်လုပ်နိုင်လျှင် ပိုလုပ်ရသည့် အလုပ်(extra-work) မလိုအပ်ပေ။ တစ်နည်းအားဖြင့် condensing pressure သို့ ရောက်အောင်သာ ဖိသိပ်(compress)လျှင် extra work ကို ရောင်လွှဲနိုင်သည်။



Expansion ဖြစ်စဉ်သည် enthalpy မပြောင်းလဲသည့် ဖြစ်စဉ် (constant enthalpy process) ဖြစ်သည်။ P-h diagram ပေါ်တွင် ဒေါင်လိုက်မျဉ်း(vertical line)ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

Expansion ဖြစ်နေစဉ်အတွင်း အပူစုပ်ယူခြင်း(absorption) သို့မဟုတ် စွန့်ထုတ်ခြင်း (rejection) မဖြစ်ပေါ်ပေ။ Refrigerant များသည် valve ကို ဖြတ်သန်း စီးဆင်း သွားခြင်းသာ ဖြစ်သည်။

ပုံ ၃-၈ Ideal vapor compression cycle တစ်ခု၏ temperature-entropy diagram



Valve ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သွားသည့် ဖိအား ကျဆင်းခြင်း (reduction in pressure) သည် temperature နိမ့်ဆင်းခြင်းနှင့် အချိုးညီသည်။ Valve ကို ဖြတ်သွားနေစဉ် refrigerant တချို့သည် အငွေ့(vapor)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ Working fluid သို့မဟုတ် refrigerant ၏ ထုထည်(volume) ပိုများ လာသည်။ Expansion ဖြစ်အောင် ပြုလုပ် ပေးသည့် valve ဖြစ်သောကြောင့် "expansion valve" ဟု ခေါ်သည်။

ပုံ ၃-၉(က) ဥပမာတွင် ဖော်ပြထားသည့် ideal vapor compression refrigeration cycle ၏ T-s diagram

Expansion process တွင် စွမ်းအင်(energy) ပြန်ရအောင်(recover) ပြုလုပ်လိုလျှင် expansion valve သုံးမည့်အစား တာဘိုင်(turbine)ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ ပြန်လည်ရရှိနိုင်သည့် စွမ်းအင်(recover energy)ပမာဏကို ပုံ(၃-၈)တွင် မျဉ်းစောင်းများခြစ်ထားသည့် ကြိုက်နေရာ(shaded rectangle)ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

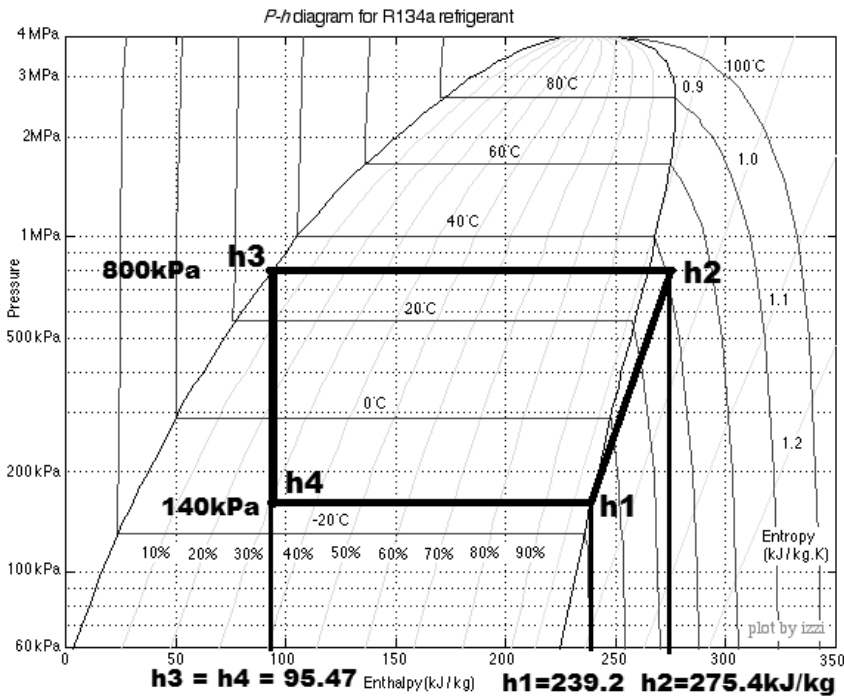
ပုံ(၃-၉)မှ T-S diagram တွင် ရေးဆွဲထားသည့် process curve အောက်ရှိ ဧရိယာသည် reversible processes ၌ heat transfer ဖြစ်ပေါ်သည့် ပမာဏကို ဖော်ပြသည်။ Area under the process curve (4-1)သည် evaporator အတွင်း၌ refrigerant မှ စုပ်ယူ လိုက်သည့် အပူပမာဏ(heat absorbed)ကို ဖော်ပြသည်။ Area under the process curve(2-3)သည် condenser အတွင်း၌ refrigerant မှ အပူများကို စွန့်ထုတ်သည့်(heat rejected) ပမာဏကို ဖော်ပြသည်။ အကြမ်းအားဖြင့်(rule of thumb) evaporating temperature ကို 1°C မြှင့်တင်တိုင်း သို့မဟုတ် condensing temperature ကို 1°C လျော့ချနိုင်တိုင်း COP (၂) ရာခိုင်နှုန်းမှ (၃) ရာခိုင်နှုန်း ပိုကောင်း နိုင်သည်။

၃.၃.၄ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ (၂)

Refrigerant R-134A ကို အသုံးပြုထားသည့် refrigerator သည် ဖိအား 0.14 MPa နှင့် 0.8 MPa အကြားတွင် မောင်းရန် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် ideal vapor compression refrigeration cycle ဖြစ်သည်။

Refrigerant စီးနှုန်း(mass flow rate) သည် 0.05 kg/s ဖြစ်လျှင် အောက်ပါတို့ကို ရှာပါ။

- (၁) Rate of heat removal from the refrigerated space and the power input to the compressor,
- (၂) Rate of heat rejection to the environment နှင့်
- (၃) Refrigerator ၏ COP ကို ရှာပါ။



ပုံ ၃-၉(ခ) ဥပမာတွင် ဖော်ပြထားသည့် ideal vapor compression refrigeration cycle ၏ T-s diagram

အဖြေ-

Refrigerator များ အားလုံးသည် ဖိအားနှစ်မျိုး အကြားတွင် vapor compression refrigeration cycle ကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထားကြသည့် ကိရိယာများဖြစ်သည်။

ယူဆချက်များ(assumptions)

- (၁) Component တစ်ခုချင်းစီကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး steady state အခြေအနေတွင် လေ့လာ (analyze)သည်။
- (၂) Kinetic energy နှင့် potential energy ပြောင်းလဲမှုများကို လျစ်လျူရှု၍ တွက်ချက်သည်။

ပုံ(၃-၉က)တွင် refrigeration cycle ၏ T-s diagram ဖြင့် လေ့လာပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Ideal vapor compression refrigeration cycle ဖြစ်သောကြောင့် compressor သည် isentropic ဖြစ်သည်။ Condenser မှ refrigerant များသည် saturated liquid အနေဖြင့် ထွက်သွားသည်။ Compressor အတွင်းသို့ saturated vapor ဝင်ရောက်လာသည်ဟု ယူဆထားသည်။

Refrigerant R-134A ဇယားမှ state လေးခုမှ တစ်ခုချင်းစီ၏ refrigerant enthalpy များကို ဖတ်ယူပါသည်။

State 1

State 1 သည် saturated liquid လိုင်းပေါ်တွင် တည်ရှိသောကြောင့် saturated refrigerant- 134a- Pressure table(စာမျက်နှာ 2-32 မှ table A-12)မှ ဖတ်ယူရသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ပုစ္ဆာတွင် pressure တန်ဖိုး (0.14 MPa) ပေးထားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ စာမျက်နှာ 2-32 မှ table A-12 ၌ pressure 140 kPa အတန်းနှင့် saturated vapor h_g column တို့ ဆုံသည့်နေရာမှ ဖတ်ယူလျှင် 239.16 kJ/kg ရသည်။

$$P_1 = 0.14 \text{ MPa} \quad \rightarrow \quad h_1 = h_g @ 0.14 \text{ MPa} = 239.16 \text{ kJ/kg}$$

$$S1 = S_g @ 0.14 \text{ MPa} = 0.94456 \text{ kJ/kg K}$$

State 2

State 2 သည် superheated region နေရာတွင် ရောက်ရှိနေသောကြောင့် (စာမျက်နှာ 2-33 နှင့် 2-34 မှ table A-13) superheated refrigerant-134a ဇယားမှ ဖတ်ယူရသည်။ စာမျက်နှာ 2-33 နှင့် 2-34 မှ table A-13 ကို ဖတ်ရာတွင် သက်ဆိုင်သည့် ဖိအားကို ပထမဦးစွာ ရွေးချယ်ရသည်။ ဤဥပမာ အရ P2 တန်ဖိုးသည် 0.8 MPa ဖြစ်သောကြောင့် 0.8 MPa ဇယားငယ်နေရာမှ ဖတ်ယူရသည်။ စာမျက်နှာ 2-34 အလယ်နေရာတွင် 0.8 MPa ဇယားငယ် ရှိသည်။ S2 နှင့် S1 တူညီသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် entropy generation မဖြစ်ပေါ်ပေ။ 0.8 MPa ဇယားငယ်မှ S တန်ဖိုး 0.94456 kJ/kg K မှ h2 တန်ဖိုးကို ဖတ်ယူရသည်။ h2 တန်ဖိုးကို တိုက်ရိုက် ဖတ်ယူရန် မဖြစ်နိုင်သောကြောင့် S=0.9480 kJ/kg K လိုင်းမှ h တန်ဖိုးကို ဖတ်၍ တွက်ယူခြင်း ဖြစ်သည်။

$$\left. \begin{array}{l} P2 = 0.8 \text{ MPa} \\ S2 = S1 = 0.94456 \text{ kJ/kg K} \end{array} \right\} h2 = 275.39 \text{ kJ/kg}$$

State 3

State 3 သည် saturated liquid လိုင်းပေါ်တွင် တည်ရှိသောကြောင့် saturated refrigerant- 134a- Pressure table (စာမျက်နှာ 2-32 မှ table A-12)မှ ဖတ်ယူရသည်။ စာမျက်နှာ 2-32 မှ table A-12 ၌ pressure 800 kPa အတန်းနှင့် saturated vapor h_f column တို့ ဆုံသည့်နေရာမှ ဖတ်ယူလျှင် 95.47 kJ/kg ရသည်။

$$P3 = 0.8 \text{ MPa} \rightarrow h3 = h_{f @ 0.8 \text{ MPa}} = 95.47 \text{ kJ/kg}$$

State 4

h4 တန်ဖိုးသည် နှင့် h3 တန်ဖိုးနှင့်တူညီသည်။ Throttling လုပ်ခြင်းကြောင့် enthalpy တန်ဖိုးများ မပြောင်းလဲသွားပေ။

$$h4 \cong h3 \text{ (throttling)} \rightarrow h4 = 95.47 \text{ kJ/kg}$$

(က) Refrigerated space မှ အပူစွန့်ထုတ်နှုန်း(rate of heat removal - \dot{Q}_L)နှင့် compressor အတွက် လိုအပ်သည့် power input (\dot{W}_{in})ကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

Refrigerated space မှ အပူဖယ်ထုတ်နှုန်း(rate of heat removal - \dot{Q}_L)

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_4) = (0.05 \text{ kg/s}) [(239.16 - 95.47) \text{ kJ/kg}] = 7.18 \text{ kW}$$

Power input (\dot{W}_{in})

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}(h_2 - h_1) = (0.05 \text{ kg/s}) [(275.39 - 239.16) \text{ kJ/kg}] = 1.81 \text{ kW}$$

(ခ) Refrigerant မှ ပြင်ပ(environment)သို့ စွန့်ထုတ်လိုက်သည့် အပူစွန့်ထုတ်နှုန်း(rate of heat rejection)

$$\dot{Q}_H = \dot{m}(h_2 - h_3) = (0.05 \text{ kg/s}) [(275.39 - 95.47) \text{ kJ/kg}] = 9.0 \text{ kW}$$

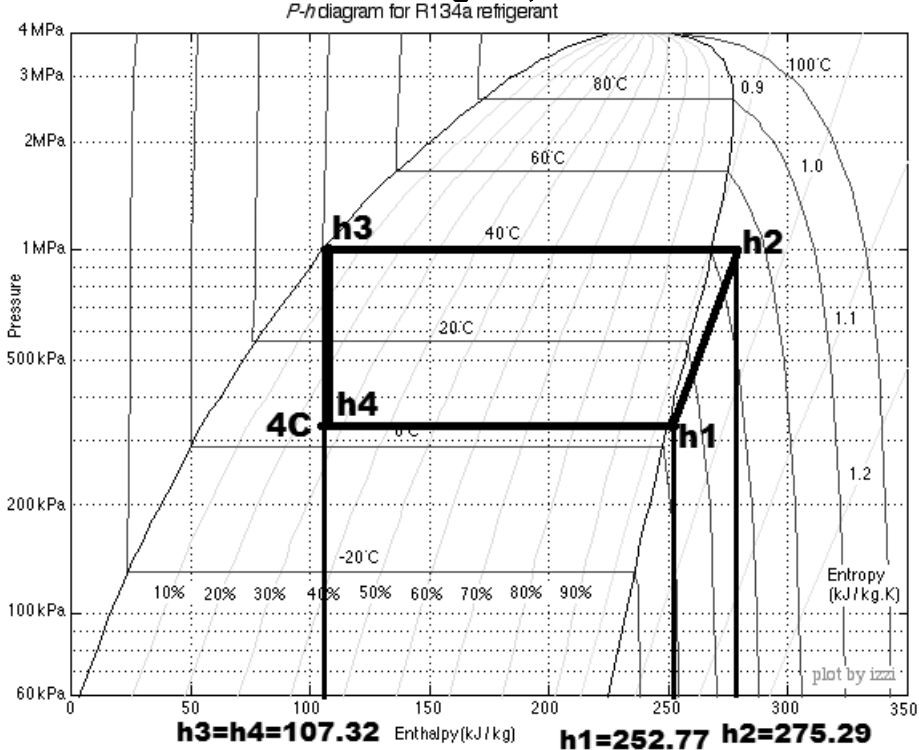
Energy balance equation မှ တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W}_{in} = 7.18 + 1.81 = 8.99 \text{ kW}$$

$$COP_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{in}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{7.18 \text{ kW}}{1.81 \text{ kW}} = 3.97$$

Refrigerator သည် အပူစွမ်းအင်(thermal energy) (၄)ယူနစ်ခန့်ကို refrigerated space မှ ဖယ်ထုတ်ပစ်ရန် အတွက် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား(electric energy) (၁)ယူနစ်ကို အသုံးပြုသည်။

၃.၃.၅ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၃)



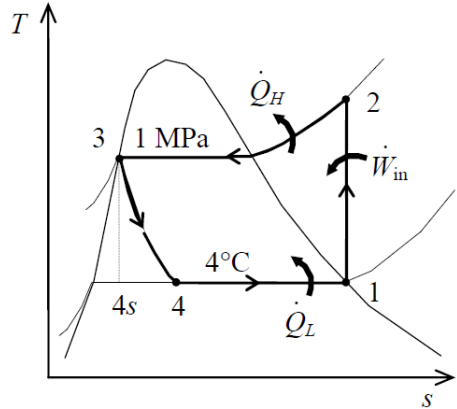
ပုံ ၃-၉(ဂ) ဥပမာတွင် ဖော်ပြထားသည့် ideal vapor compression refrigeration cycle ၏ T-s diagram

Ideal vapor compression refrigeration cycle တစ်ခုတွင် refrigerant R-134a ကို working fluid အဖြစ် အသုံးပြုထားသည်။ COP နှင့် power requirement တို့ကိုရှာပါ။

အဖြေ-

ယူဆချက်များ(assumptions)

- (၁) Component တစ်ခုချင်းစီကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး steady state အခြေအနေတွင် လေ့လာ (analyze)သည်။
- (၂) Kinetic energy နှင့် potential energy ပြောင်းလဲမှုများကို လျစ်လျူရှု၍ တွက်ချက်သည်။



ပုံ ၃-၁၀

Ideal vapor compression refrigeration cycle တွင် compression process သည် isentropic ဖြစ်သည်။ Refrigerant များ compressor အတွင်းသို့ evaporator ဖိအား(pressure) အောက်တွင် saturated vapor အဖြစ် ဝင်ရောက်လာသည်။ Condenser မှ condenser ဖိအား(pressure) အောက်တွင် saturated liquid အဖြစ် ထွက်သွားသည်။ (စာမျက်နှာ 2-30 နောက်ပိုင်းမှ table A-11 ၊ A-12 နှင့် A-13)

State 1

State 1 သည် saturated liquid လိုင်းပေါ်တွင် တည်ရှိသောကြောင့် saturated refrigerant- R134a temperature table(စာမျက်နှာ 2-30 နှင့် 2-31 မှ table A-11)မှ ဖတ်ယူရသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ပူစွာတွင် temperature (4°C) ပေးထားသောကြောင့်ဖြစ်သည်။ စာမျက်နှာ 2-30 နှင့် 2-31 မှ table A-11 ၌ temperature (4°C)အတန်းနှင့် saturated vapor h_g column တို့ ဆုံသည့်နေရာမှ ဖတ်ယူလျှင် 252.77 kJ/kg ရသည်။ State 1 ၌ အပူချိန် 4°C သည် saturated vapor အခြေအနေ ဖြစ်သည်။

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = 4^\circ\text{C} \\ \text{sat. vapor} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_g @ 4^\circ\text{C} = 252.77 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = s_g @ 4^\circ\text{C} = 0.92927 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array}$$

State 2

State 2 သည် superheated region နေရာတွင် ရောက်ရှိနေသောကြောင့် superheated refrigerant-134a ဇယား(စာမျက်နှာ 2-33 နှင့် 2-34 မှ table A-13)မှ ဖတ်ယူရသည်။ Table A-13 ဖတ်ရာတွင် သက်ဆိုင်သည့် ဖိအားကို ပထမဦးစွာ ရွေးချယ်ရသည်။ ဤဥပမာ အရ P2 တန်ဖိုးသည် 1.0 MPa ဖြစ်သောကြောင့် 1.0 MPa ဇယားငယ် နေရာမှ ဖတ်ယူရသည်။ စာမျက်နှာ 2-34 အလယ်နေရာတွင် 1.0 MPa ဇယားငယ် ရှိသည်။ S2 နှင့် S1 တူညီသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် entropy generation မဖြစ်ပေါ်ပေ။ 1.0 MPa ဇယားငယ်မှ S တန်ဖိုး 0.92927 မှ h2 တန်ဖိုးကို ဖတ်ယူရသည်။ h2 တန်ဖိုးကို တိုက်ရိုက် ဖတ်ယူရန် မဖြစ်နိုင်သောကြောင့် S=0.9525 kJ/kg K လိုင်းမှ h တန်ဖိုးကို ဖတ်၍ တွက်ယူခြင်း ဖြစ်သည်။

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 1 \text{ MPa} \\ s_2 = s_1 \end{array} \right\} h_2 = 275.29 \text{ kJ/kg}$$

State 3

State 3 သည် saturated liquid လိုင်းပေါ်တွင် တည်ရှိသောကြောင့် saturated refrigerant- 134a- Pressure table (စာမျက်နှာ 2-32 မှ table A-12)မှ ဖတ်ယူရသည်။ စာမျက်နှာ 2-32 မှ table A-12 ၌ pressure 1000 kPa အတန်းနှင့် saturated vapor hf column တို့ ဆုံသည့်နေရာမှ ဖတ်ယူလျှင် 107.32 kJ/kg ရသည်။

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 1 \text{ MPa} \\ \text{sat. liquid} \end{array} \right\} h_3 = h_f @ 1 \text{ MPa} = 107.32 \text{ kJ/kg}$$

State 4

h4 တန်ဖိုးသည် နှင့် h3 တန်ဖိုးနှင့်တူညီသည်။ Throttling လုပ်ခြင်းကြောင့် enthalpy တန်ဖိုးများ မပြောင်းလဲသွားပေ။

$$h_4 \equiv h_3 = 107.32 \text{ kJ/kg (throttling)}$$

Refrigerant ၏ mass flow rate

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}_R (h_2 - h_1) - \dot{Q}_{in}$$

$$\dot{Q}_L = \dot{m} (h_1 - h_4) \rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{Q}_L}{(h_1 - h_4)} = \frac{400 \text{ kJ/s}}{(252.77 - 107.32) \text{ kJ/kg}} = 2.750 \text{ kg/s}$$

Power requirement သည်

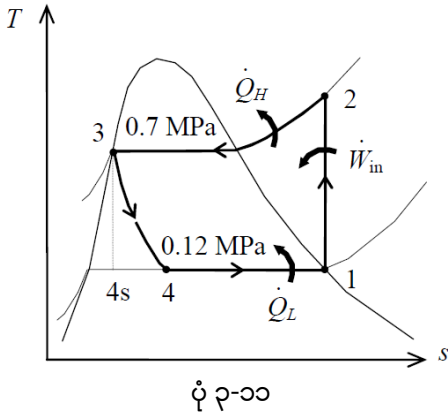
$$\dot{W}_{in} = \dot{m} (h_2 - h_1) = (2.750 \text{ kg/s})(275.29 - 252.77) \text{ kJ/kg} = 61.93 \text{ kW}$$

Refrigerator ၏ COP သည်

$$COP_{Max} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{in}} = \frac{400 \text{ kW}}{61.93 \text{ kW}} = 6.46$$

အထက်ပါ ဥပမာမှ condenser pressure ကို 0.9 MPa ပြောင်း၍ လေ့ကျင့်ခန်းအဖြစ် တွက်ပါ။

၃.၃.၆ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၄)



အထက်ပါ ဥပမာမှ throttling valve နေရာတွင် isentropic turbine ဖြင့် ပြောင်းလဲတပ်ဆင်လိုက်လျှင် ပိုကောင်းလာမည့် COP (percentage) နှင့် refrigerated space မှ အပူ စွန့်ထုတ်နှုန်း(rate of heat removal) ကို ရှာပါ။

Answers: 4.2 percent, 4.2 percent

အဖြေ- Ideal vapor compression refrigeration cycle တစ်ခုတွင် refrigerant R-134a ကို working fluid အဖြစ် အသုံးပြုထားသည်။ Throttling valve နေရာတွင် isentropic turbine ဖြင့် ပြောင်းလဲ တပ်ဆင်သည်။

ယူဆချက်များ(assumptions)

(၁) Component တစ်ခုချင်းစီကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး steady state အခြေအနေတွင် လေ့လာ (analyze)သည်။

(၂) Kinetic energy နှင့် potential energy ပြောင်းလဲမှုများကို လျစ်လျူရှု၍ တွက်ချက်သည်။

Throttling valve နေရာတွင် isentropic turbine ဖြင့် ပြောင်းလဲ တပ်ဆင်သည့်အခါ

$$s_{4s} = s_3 = s_f @ 0.7 \text{ MPa} = 0.33230 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

Turbine အထွက်အခြေအနေ(exit)တွင် ရှိမည့် enthalpy တန်ဖိုးသည်

$$x_{4s} = \left(\frac{s_3 - s_f}{s_{fg}} \right)_{@ 120 \text{ kPa}} = \frac{0.33230 - 0.09275}{0.85503} = 0.2802$$

$$h_{4s} = (h_f + x_{4s} h_{fg})_{@ 120 \text{ kPa}} = 22.49 + (0.2802)(214.48) = 82.58 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_L = \dot{m} (h_1 - h_{4s}) = (0.05 \text{ kg/s})(236.97 - 82.58) \text{ kJ/kg} = 7.72 \text{ kW}$$

$$COP_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{in}} = \frac{7.72 \text{ kW}}{1.83 \text{ kW}} = 4.23$$

\dot{Q}_L နှင့် COP တို့တွင် ပိုကောင်းလာသည့် ရာခိုင်နှုန်း(percentage) ကို တွက်ယူသည်။

\dot{Q}_L ပိုများလာသည့် ရာခိုင်နှုန်း(percentage)

$$\dot{Q}_L = \frac{\Delta \dot{Q}_L}{\dot{Q}_L} = \frac{7.72 - 7.41}{7.41} = 4.2\%$$

COP_R ပိုကောင်းလာသည့် ရာခိုင်နှုန်း(percentage)

$$COP_R = \frac{\Delta COP_R}{COP_R} = \frac{4.23 - 4.06}{4.06} = 4.2\%$$

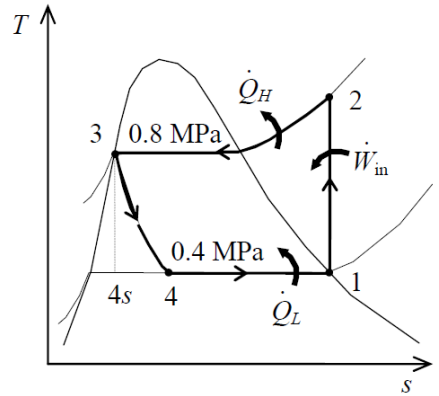
၃.၃.၇ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ (၅)

Ideal vapor compression refrigeration cycle တစ်ခုတွင် refrigerant-134a ကို working fluid အဖြစ် အသုံးပြု ထားသည်။ Refrigerant ၏ mass flow rate နှင့် power requirement များကို တွက်ပါ။

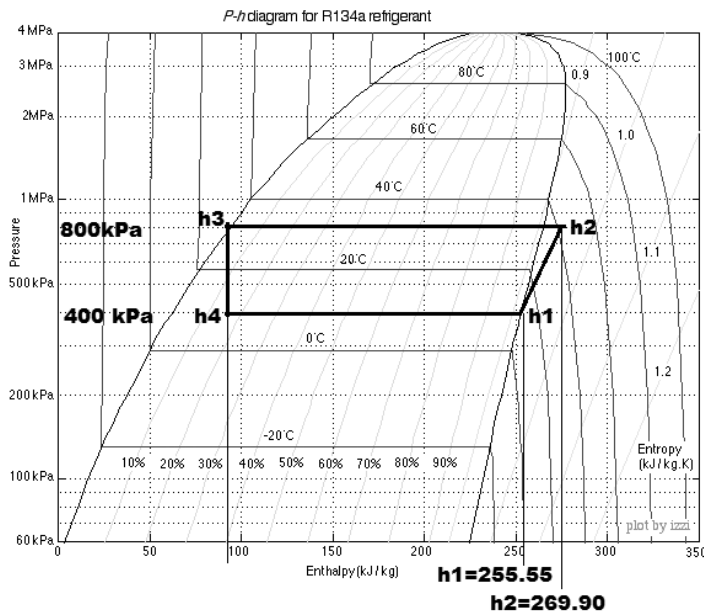
အဖြေ-

ယူဆချက်(assumptions)

- (၁) Component တစ်ခုချင်းစီကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး steady state အခြေအနေတွင် လေ့လာ (analyze)သည်။
- (၂) Kinetic energy နှင့် potential energy ပြောင်းလဲမှု များကို လျစ်လျူရှု၍ တွက်ချက်သည်။



ပုံ ၃-၁၂(က)



ပုံ ၃-၁၂(ခ)

Ideal vapor compression refrigeration cycle တစ်ခုတွင် compression process သည် isentropic ဖြစ်သည်။ Compressor အတွင်းသို့ refrigerant များ evaporator pressure အောက်တွင် saturated vapor အဖြစ် ဝင်ရောက် လာသည်။ Condenser အတွင်းမှ condenser pressure အောက်တွင် saturated liquid အဖြစ် ထွက်သွားသည်။ Refrigerant table များ(စာမျက်နှာ 2-30 နောက်ပိုင်းမှ table A-11 ၊ A-12 နှင့် A-13)မှ တန်ဖိုးများကို ဖတ်ယူပါ။

State 1

State 1 သည် saturated liquid လိုင်းပေါ်တွင် တည်ရှိသောကြောင့် saturated refrigerant- R134a pressure table (စာမျက်နှာ 2-32 မှ table A-12)မှ ဖတ်ယူရသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ပုံစံတွင် pressure တန်ဖိုး(400 kPa) ပေးထားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ စာမျက်နှာ 2-32 မှ table A-12 ၌ pressure 400 kPa အတန်းနှင့် saturated vapor h_g column တို့ ဆုံသည့်နေရာမှ ဖတ်ယူလျှင် 255.55 kJ/kg ရသည်။

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 400 \text{ kPa} \\ \text{sat. vapor} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_g @ 400 \text{ kPa} = 255.55 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = s_g @ 400 \text{ kPa} = 0.92691 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array}$$

State 2

State 2 သည် superheated region နေရာတွင် ရောက်ရှိနေသောကြောင့် superheated refrigerant-R134a ဇယား(စာမျက်နှာ 2-33 နှင့် 2-34 မှ table A-13)မှ ဖတ်ယူရသည်။ Table A-13 ဖတ်ရာတွင် သက်ဆိုင်သည့် ဖိအားကို ပထမဦးစွာ ရွေးချယ်ရသည်။ ဤဥပမာအရ P2 တန်ဖိုးသည် 0.8 MPa ဖြစ်သောကြောင့် 0.8 MPa ဇယားငယ်နေရာမှ ဖတ်ယူရသည်။ စာမျက်နှာ 2-34 အလယ်နေရာတွင် 0.8 MPa ဇယားငယ် ရှိသည်။ S2 နှင့် S1 တူညီသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် entropy generation မဖြစ်ပေါ်ပေ။ 0.8 MPa ဇယားငယ်မှ S တန်ဖိုး 0.92691 kJ/kg K မှ h2 တန်ဖိုးကို ဖတ်ယူရသည်။ h2 တန်ဖိုးကို တိုက်ရိုက် ဖတ်ယူရန် မဖြစ်နိုင်သောကြောင့် S=0.9480 kJ/kg K လိုင်းမှ h တန်ဖိုးကို ဖတ်၍ တွက်ယူရခြင်း ဖြစ်သည်။

$$\left. \begin{matrix} P_2 = 800 \text{ kPa} \\ s_2 = s_1 \end{matrix} \right\} h_2 = 269.90 \text{ kJ/kg}$$

State 3

State 3 သည် saturated liquid လိုင်းပေါ်တွင် တည်ရှိသောကြောင့် saturated refrigerant- R134a-pressure table (စာမျက်နှာ 2-32 မှ table A-12) မှ ဖတ်ယူရသည်။ စာမျက်နှာ 2-32 မှ table A-12 ၌ pressure 800 kPa အတန်းနှင့် saturated vapor h_f column တို့ ဆုံသည့်နေရာမှ ဖတ်ယူလျှင် 95.47 kJ/kg ရသည်။

$$\left. \begin{matrix} P_3 = 800 \text{ kPa} \\ \text{sat. liquid} \end{matrix} \right\} h_3 = h_f @ 800 \text{ kPa} = 95.47 \text{ kJ/kg}$$

State 4

h4 တန်ဖိုးသည် နှင့် h3 တန်ဖိုးနှင့်တူညီသည်။ Throttling လုပ်ခြင်းကြောင့် enthalpy တန်ဖိုးများ မပြောင်းလဲသွားပေ။

$$h_4 \cong h_3 = 95.47 \text{ kJ/kg (throttling)}$$

Refrigerant ၏ mass flow rate သည်

$$\dot{Q}_L = \dot{m} (h_1 - h_4) \rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{Q}_L}{(h_1 - h_4)} = \frac{10 \text{ kJ/s}}{(255.55 - 95.47) \text{ kJ/kg}} = 0.06247 \text{ kg/s}$$

Power requirement သည်

$$\dot{W}_{in} = \dot{m} (h_2 - h_1) = (0.06247 \text{ kg/s})(269.90 - 255.55) \text{ kJ/kg} = 0.8964 \text{ kW}$$

၃.၃.၈ Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ (၆)

Refrigerator တစ်လုံးတွင် refrigerant-134a ကို working fluid အဖြစ် အသုံးပြုထားသည်။ Ideal vapor compression refrigeration cycle အဖြစ်သတ်မှတ်၍

- (က) refrigerant ၏ mass flow rate
- (ခ) condenser pressure နှင့်
- (ဂ) refrigerator ၏ COP တို့ကို ရှာပါ။

အဖြေ-

ယူဆချက်များ(assumptions)

- (၁) Component တစ်ခုချင်းစီကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး steady state အခြေအနေတွင် လေ့လာ (analyze)သည်။
- (၂) Kinetic energy နှင့် potential energy ပြောင်းလဲမှုများကို လျစ်လျူရှု၍ တွက်ချက်သည်။

(က) Refrigerant table များမှ တန်ဖိုးများကို ဖတ်ယူပါ။

$$\left. \begin{matrix} P_4 = 120 \text{ kPa} \\ x_4 = 0.30 \end{matrix} \right\} h_4 = 86.83 \text{ kJ/kg}$$

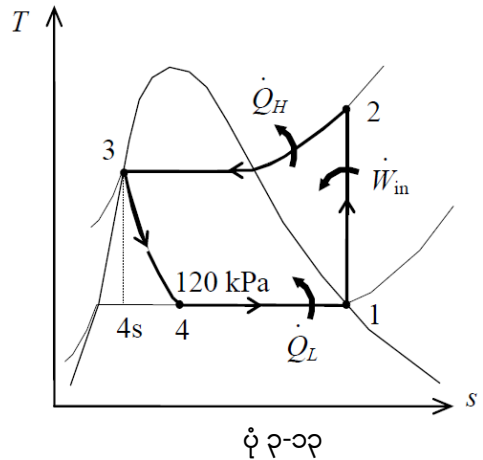
$$h_3 = h_4$$

$$\left. \begin{matrix} h_3 = 86.83 \text{ kJ/kg} \\ x_3 = 0 \text{ (sat. liq.)} \end{matrix} \right\} P_3 = 671.8 \text{ kPa}$$

$$P_2 = P_3$$

$$\left. \begin{matrix} P_2 = 671.8 \text{ kPa} \\ T_2 = 60^\circ\text{C} \end{matrix} \right\} h_2 = 298.87 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{matrix} P_1 = P_4 = 120 \text{ kPa} \\ x_1 = 1 \text{ (sat. vap.)} \end{matrix} \right\} h_1 = 236.97 \text{ kJ/kg}$$



Refrigerant ၏ mass flow rate သည်

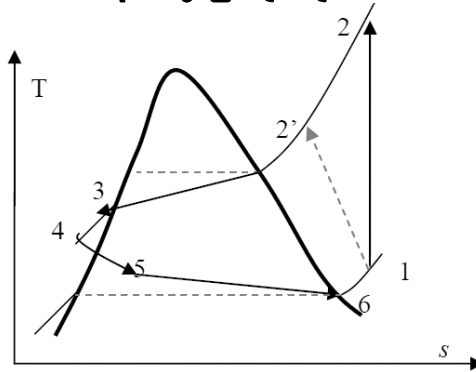
$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_{in}}{h_2 - h_1} = \frac{0.45 \text{ kW}}{(298.87 - 236.97) \text{ kJ/kg}} = 0.00727 \text{ kg/s}$$

(ဂ) Refrigeration load နှင့် COP သည်

$$\dot{Q}_L = \dot{m} (h_1 - h_4) = (0.00727 \text{ kg/s})(236.97 - 86.83) \text{ kJ/kg} = 1.091 \text{ kW}$$

$$\text{COP}_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{in}} = \frac{1.091 \text{ kW}}{0.45 \text{ kW}} = 2.43$$

၃.၄ Ideal Cycles နှင့် Actual Cycles တို့၏ ကွာခြားချက်များ



ပုံ ၃-၁၄ Actual vapor compression cycle တစ်ခု၏ T-s diagram

Ideal cycle နှင့် actual cycle တို့ ခြားနားချက်များမှာ component များ၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် irreversibility ကြောင့် ဖြစ်သည်။

(၁) Ideal cycle တွင် refrigerant များသည် compressor အတွင်းသို့ saturated vapor အနေဖြင့် ဝင်ရောက်လာသည်ဟု ယူဆထားသော်လည်း လက်တွေ့ အခြေအနေတွင် refrigerant များသည် compressor အတွင်းသို့ superheated vapor အဖြစ် ဝင်ရောက်လာကြသည်။

(၂) Evaporator နှင့် compressor ကို ဆက်ထားသည့် ပိုက်ကို suction line ဟုခေါ်သည်။ Suction line ရှည်လွန်းသည့်အခါ ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) နှင့် အနီးဝန်းကျင်သို့ အပူစီးကူးမှု (heat transfer) ပိုမိုများလာနိုင်သည်။ Ideal cycle တွင် ထိုအရာများ မဖြစ်ပေါ်ဟု ယူဆထားသည်။ ပုံ(၃-၁၄)မှ process 6-1 ရည်ညွှန်းသည်။ လက်တွေ့မောင်းနှင်ချိန်တွင် ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) ဖြစ်ပေါ်သည်။

- (၃) Compressor များသည် လက်တွေ့ အခြေအနေတွင် internally reversible မဖြစ်နိုင်သောကြောင့် entropy ပိုများလာနိုင်သည်။ Entropy generation ဖြစ်သည်ဟု ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ သို့သော် multi-stage compressor များတွင် intercooler တပ်ဆင်ထားခြင်း သို့မဟုတ် refrigerant ဖြင့် အေးအောင် ပြုလုပ်ခြင်း ဖြင့်လည်း entropy မများအောင် ပြုလုပ် နိုင်သည်။ ပုံ(၃-၁၄)တွင် state 2'နေရာကို ရည်ညွှန်းသည်။
- (၄) လက်တွေ့အခြေအနေတွင် refrigerant များသည် condenser မှ sub-cooled liquid အခြေအနေဖြင့် ထွက်သွားသည်။ ပုံ(၃-၁၄)တွင် point 3 မှ point 4 သည် sub-cooling process ဖြစ်သည်။ Sub-cooling ဖြစ်ခြင်းကြောင့် cooling capacity ပိုများလာနိုင်ပြီး expansion valve အတွင်းသို့ vapor (bubbles) အနေဖြင့် ဝင်ရောက်ခြင်းမှ ကာကွယ်ပေးသည်။
- (၅) Condenser အတွင်း၌ အပူစွန့်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) နှင့် evaporator အတွင်း၌ အပူ စုပ်ယူခြင်း(heat addition)တို့ ဖြစ်နေစဉ် refrigerant ၏ ဖိအား ပြောင်းလဲနေသည်။ Ideal cycle တွင် ပုံသေ ဖိအား (constant pressure)၌ အပူစွန့်ထုတ်ခြင်း (heat rejection)နှင့် အပူစုပ်ယူခြင်း(heat addition) ဖြစ်ပေါ် သည်ဟု ယူဆထားသည်။

၃.၅ Practical Considerations and COP

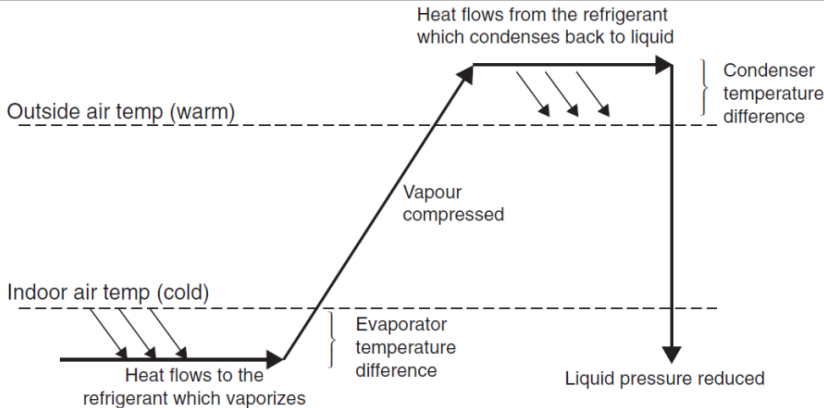
Refrigerant R134a ကို အသုံးပြုထားသည့် simple circuit တစ်ခုကို ပုံ(၃-၆)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

ပုံ(၃-၆)မှ အပူချိန် 5°C တွင် evaporation ဖြစ်ပြီး 35°C တွင် condensation ဖြစ်သည်။ Pressure နှင့် enthalpy တို့ကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

Enthalpy of fluid entering evaporator	= 249.7 kJ/kg
Enthalpy of saturated vapor leaving evaporator	= 395.6 kJ/kg
Cooling effect = 395.6 - 249.7	= 145.9 kJ/kg
Enthalpy of superheated vapor leaving compressor (isentropic compression)	= 422.5

Vapor compression cycle သည် စက်မှုစွမ်းအင်(mechanical energy)ကို အသုံးပြု၍ အပူစွမ်းအင်(heat energy)ကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ထိုစွမ်းအင် နှစ်မျိုး၏ ပမာဏမှတစ်ဆင့် system ၏ စွမ်းဆောင်ရည် (performance)ကို တွက်ယူနိုင်သည်။

Ideal သို့မဟုတ် theoretical vapor compression cycle ၏ Coefficient Of Performance (COP)သည် Carnot cycle ၏ Coefficient Of Performance(COP)ထက် နည်းသည်။ Ideal vapor compression cycle COP သည် အသုံးပြုထားသည့် refrigerant ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။



ပုံ ၃-၁၅ Evaporator နှင့် condenser တို့၌ အပူစီးကူးမှု ဖြစ်ပေါ်စေရန်အတွက် အပူချိန်ကွာခြားချက် (temperature difference) လိုအပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

Heat exchanger အရွယ်အစားကြီးလေ အပူချိန် ခြားနားချက်(temperature difference) နည်းလေ ဖြစ်သည်။ Refrigerant အပူချိန် နှင့် medium အပူချိန်ခြားနားချက် အနည်းငယ်သာ ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။ Cycle ၏ COP သည် condenser နှင့် evaporator အပူချိန် ခြားနားချက်(temperature difference) အပေါ်တွင် မူတည်။ (see Table 3-2).

Table 3-2 တွင် cycle ၏ temperature lift မြင့်တက်လာခြင်းကြောင့် heat exchanger အပူချိန် ခြားနားချက်(temperature difference)ပိုများကာ Carnot COP ကျဆင်းသွားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

Table 3-2 COP values at 5°C, with an outside air temperature of 35°C (refrigerant R404A)

ΔT at evaporator and condenser (K)	0	5	10
Evaporating temperature (°C)	-5	-10	-15
Condensing temperature (°C)	35	40	45
Temperature lift (K)	40	50	60
Evaporating pressure (bar absolute)	5.14	4.34	3.64
Condensing pressure (bar absolute)	16.08	18.17	20.47
Pressure ratio	3.13	4.19	5.62
Carnot COP (refrigeration cycle)	6.70	5.26	4.30
COP, ideal vapor compression cycle ¹	4.96	3.56	2.62
COP with 70% efficient compression ²	3.47	2.49	1.83
System efficiency index, SEI ³	0.518	0.372	0.273

Note 1: The ideal vapor compression cycle with constant enthalpy expansion and isentropic adiabatic compression with refrigerant R404A.

Note 2: The vapor compression cycle as above and with 70% efficient compression with R404A and no other losses.

Note 3: SEI is the ratio between the actual COP and the Carnot COP with reference to the cooling load and outside air temperatures, i.e. when the heat exchanger temperature differences, ΔT , are zero. SEI decreases as ΔT increases due to less effective heat exchangers. Values are shown for the cycle with 70% efficient compression. Actual values will tend to be lower due to pressure drops and other losses.

Heat exchanger ၏ အရွယ်အစား(size)ကြောင့် လက်တွေ့ အခြေအနေတွင် အကျိုးသက်ရောက်မှုများ ရှိနိုင်သည်။

Evaporator အရွယ်အစား ကြီးမားလာခြင်းကြောင့် အောက်ပါ အကျိုးကျေးဇူးများ ရရှိနိုင်သည်။

- (၁) Suction pressure မြင့်တက်လာပြီး သိပ်သည်းဆများခြင်းကြောင့် gas များ compressor အတွင်းသို့ ပိုဝင်ရောက်သည်။ Swept volume တူညီသော်လည်း ပိုများသည့် mass များ ဝင်ရောက်လာခြင်းကြောင့် refrigeration effect ပိုများလာသည်။
- (၂) Suction pressure မြင့်မားသောကြောင့် compression ratio နည်းသွားသည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု နည်းသည်။

Condenser အရွယ်အစား ကြီးမားလာခြင်းကြောင့် အောက်ပါ အကျိုးကျေးဇူးများ ရရှိနိုင်သည်။

- (၁) Condensing temperature ကျဆင်းပြီး colder liquid များ expansion valve အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သောကြောင့် cooling effect ပိုများလာသည်။
- (၂) Discharge pressure နိမ့်သောကြောင့် compression ratio နည်းသွားသည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနည်းသည်။

ဥပမာ-

Refrigerant R134a ကို အသုံးပြုထားသည့် refrigeration cycle တစ်ခုသည် အခန်း တစ်ခုကို အပူချိန် 0°C တွင် ထိန်းထားရန် လိုအပ်ပြီး ပြင်ပအချိန် 30°C ရှိသည့်နေရာသို့ အပူများကို စွန့်ထုတ်ပစ်ရန် ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသည်။ Evaporator နှင့် condenser တို့ ၏ အပူချိန် ခြားနားချက်(temperature difference)သည် 5 K ဖြစ်သည်။ Refrigeration cycle ၏ Carnot COP နှင့် R134a အသုံးပြုထားသည့် ideal vapor compression cycle COP ကို ရှာပါ။

အဖြေ - Carnot COP for 0°C (273 K) to 30°C (303 K)

$$Carnot COP = \frac{273}{(303 - 273)} = 9.1$$

Evaporator နှင့် condenser တို့၏ အပူချိန်ခြားနားချက်(temperature difference)သည် 5K ဖြစ်သောကြောင့် refrigeration cycle ၏ evaporating အပူချိန်သည် 5°C ဖြစ်သည်။ Condensing အပူချိန်သည် 35°C ဖြစ်သည်။ အခန်းအပူချိန် 0°C မှ အပူများကိုစုပ်ယူရန် chiller ၏ evaporator အတွင်းရှိ refrigerant ၏ အပူချိန်သည် -5°C ဖြစ်ရမည်။ ပြင်ပအပူချိန် 30°C သို့ အပူများကို စွန့်ထုတ်ရန်အတွက် chiller ၏ condenser အတွင်းရှိ refrigerant ၏ အပူချိန်သည် 35°C ဖြစ်ရမည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် evaporator နှင့် condenser တို့၏ အပူချိန် ခြားနားချက်သည် 5K ဖြစ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

Refrigeration cycle ၏ evaporating အပူချိန်သည် -5°C ဖြစ်ပြီး condensing အပူချိန်သည် 35°C ဖြစ်လျှင် Carnot COP ကို ရှာပါ။

$$Carnot COP = \frac{268}{(303 - 268)} = 6.7$$

R-134a အတွက် (စာမျက်နှာ 3-18 မှ)

Cooling effect = 395.6 - 249.7 = 145.9 kJ/kg

Compressor energy input = 422.5 - 395.6 = 26.9 kJ/kg.

Ideal R134a vapor compression cycle COP

$$Ideal R134a vapor compression cycle COP = \frac{Cooling Effect (Q)}{Compressor Energy Input (W_{input})}$$

$$= \frac{145.9 kJ/kg}{26.9 kJ/kg} = 6.7$$

Mechanical နှင့် thermal loss များကြောင့် actual cycle COP သည် 6.7 ထက် ပိုညံ့ဖျင်းနိုင်သည်။ COP သည် cooling effect နှင့် compressor input power တို့၏ အချိုးဖြစ်သည်။ Vapor compression cycle များ ဒီဇိုင်း လုပ်ရန် နှင့် အမှားရှာဖွေရန်အတွက် P-h သို့မဟုတ် Mollier diagram ကို အသေးစိတ် စနစ်တကျ နားလည်ရန် လိုအပ်သည်။

၃.၆ Refrigeration and Heat Pumps

ပုံ(၃-၁၆)တွင် ဖော်ပြထားသည့် အိမ်သုံး ရေခဲသေတ္တာမှ freezer compartment အတွင်းရှိ tube များသည် ရေခဲ သေတ္တာအတွင်းမှ အပူများကို စုပ်ယူပြီး evaporator အဖြစ် ဆောင်ရွက် ပေးသည်။ ရေခဲသေတ္တာ နောက်၌ ရှိနေသည့် coil သည် အပူများကို စွန့်ထုတ်သည့် condenser အဖြစ် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။

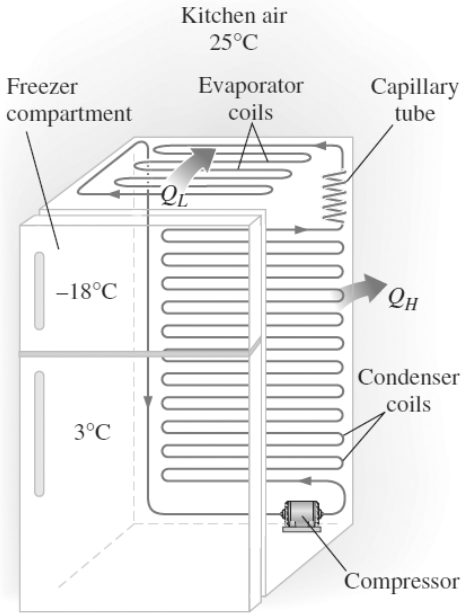
$$(q_{in} - q_{out}) = (w_{in} - w_{in}) = h_e - h_i$$

$$COP_R = \frac{q_L}{W_{net in}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

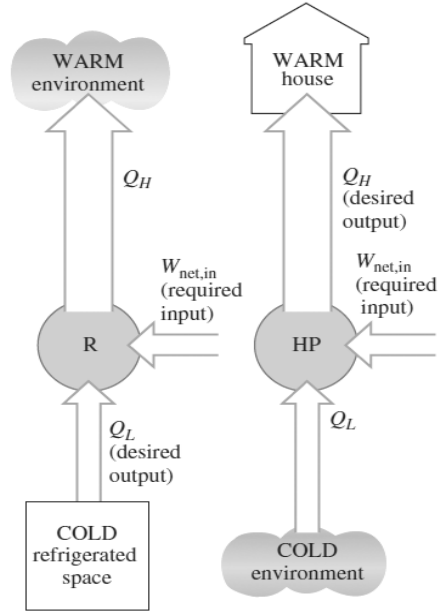
$$COP_{HP} = \frac{q_H}{W_{net\ in}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

where $h_2 = h_g @ P_1$ and $h_3 = h_f @ P_3$ for the ideal case.

Q_L သည် အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာ (T_L)မှ စုပ်ယူလိုက်သည့် အပူပမာဏ ဖြစ်သည်။
 Q_H သည် အပူချိန်မြင့်သည့်နေရာ (T_H)သို့ စွန့်ထုတ်ပစ်လိုက်သည့် အပူပမာဏ ဖြစ်သည်။
 W_{net} သည် refrigerator သို့ ထည့်ပေးရမည့် net work input ဖြစ်သည်။



ပုံ ၃-၁၆ အိမ်သုံး ရေခဲသေတ္တာ (household refrigerator) တစ်လုံးပုံ



ပုံ ၃-၁၇ (a) Refrigerator

(b) Heat pump

အပူချိန်မြင့်သည့်နေရာမှ အပူ(heat)သည် အပူချိန်နိမ့်သည့် နေရာသို့ သဘာဝအတိုင်း အလိုအလျောက် စီးဆင်းနိုင်သည်။ သို့သော် အပူချိန် နိမ့်သည့်နေရာ အပူ(heat)သည် အပူချိန် မြင့်သည့် နေရာသို့ အလိုအလျောက် စီးဆင်းရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာမှ အပူ(heat)များသည် အပူချိန် မြင့်သည့် နေရာသို့ အပူ(heat)များ ကူးပြောင်း (transfer) သွားအောင် ပြုလုပ်ပေးသည့် ကိရိယာများ(devices)ကို refrigerator သို့မဟုတ် refrigeration machine ဟု ခေါ်သည်။

Refrigerator တစ်လုံးကို ပုံ(၃-၁၆) နှင့် ပုံ(၃-၁၇a)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ T_L သည် အပူချိန် နိမ့်သည့်နေရာ (အေးသည့်နေရာ)၏ အပူချိန် ဖြစ်သည်။ T_H သည် ပူသည့် နေရာ(အပူချိန်မြင့်သည့်နေရာ)၏ အပူချိန် ဖြစ်သည်။

အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာမှ အပူ(heat)များ အပူချိန်မြင့်သည့်နေရာသို့ ကူးပြောင်း(transfer)သွားအောင် ပြုလုပ်ပေးသည့် ကိရိယာများ(devices)ကို heat pump ဟု ခေါ်သည်။ Device တစ်မျိုးတည်းသာဖြစ်ပြီး အသုံးပြုမှု မူတည်၍ refrigerator နှင့် heat pump ကွဲပြားခြင်းဖြစ်သည်။

Refrigerator နှင့် heat pump တို့၏ performance ကို Coefficient of Performance (COP)ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

$$COP_R = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}} = \frac{\text{Cooling effect}}{\text{Work input}} = \frac{Q_L}{W_{net\ input}}$$

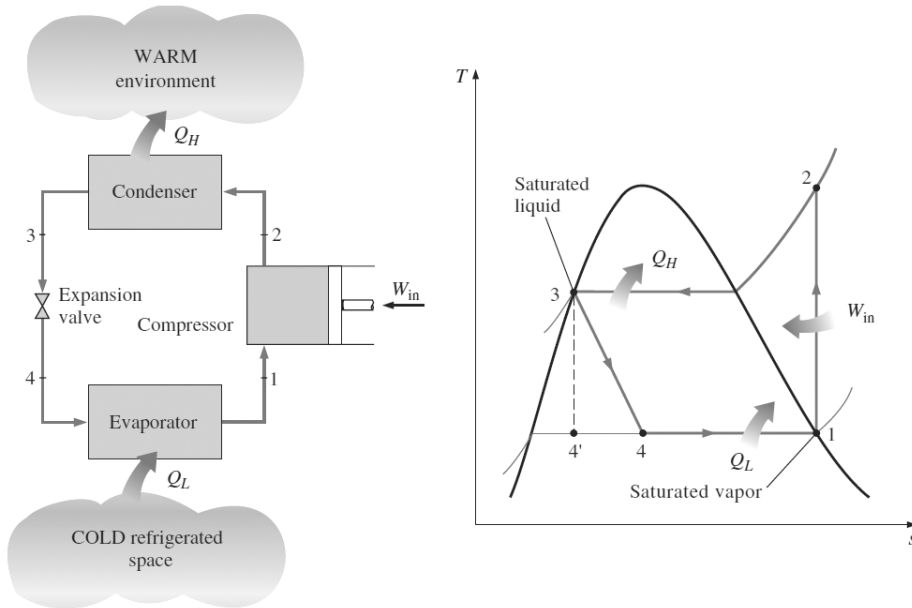
$$COP_{HP} = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}} = \frac{\text{Heating effect}}{\text{Work input}} = \frac{Q_H}{W_{net in}}$$

$$COP_{HP} = COP_R + 1$$

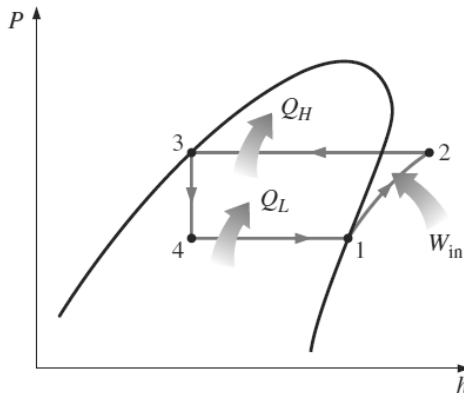
COP_R နှင့် COP_{HP} တို့သည် (၁)ထက် ပိုများသည့် တန်ဖိုးများ ဖြစ်ကြသည်။

Refrigeration system တစ်ခု၏ cooling capacity သည် အပူချိန်နိမ့်သည့် နေရာ(refrigerated space)မှ အပူကိုဖယ်ထုတ်နိုင်သည့်နှုန်း(rate of heat removal) ဖြစ်ပြီး tons of refrigeration ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။

One ton of refrigeration ဆိုသည်မှာ အပူချိန် 0°C(32°F)တွင် ရေခဲတစ်တန်ကို အပူချိန် 0°C ရေ(liquid water)ကို အဖြစ်သို့ (၂၄)နာရီအတွင်း ရောက်အောင် ဖယ်ထုတ်ပေးရန် လိုအပ်သော အပူပမာဏဖြစ်သည်။ One ton of refrigeration သည် 211 kJ/min၊ 12,000 Btu/hr သို့မဟုတ် 200 Btu/min နှင့် ညီမျှသည်။



ပုံ ၃-၁၈ Schematic and T-s diagram for the ideal vapor compression refrigeration cycle.



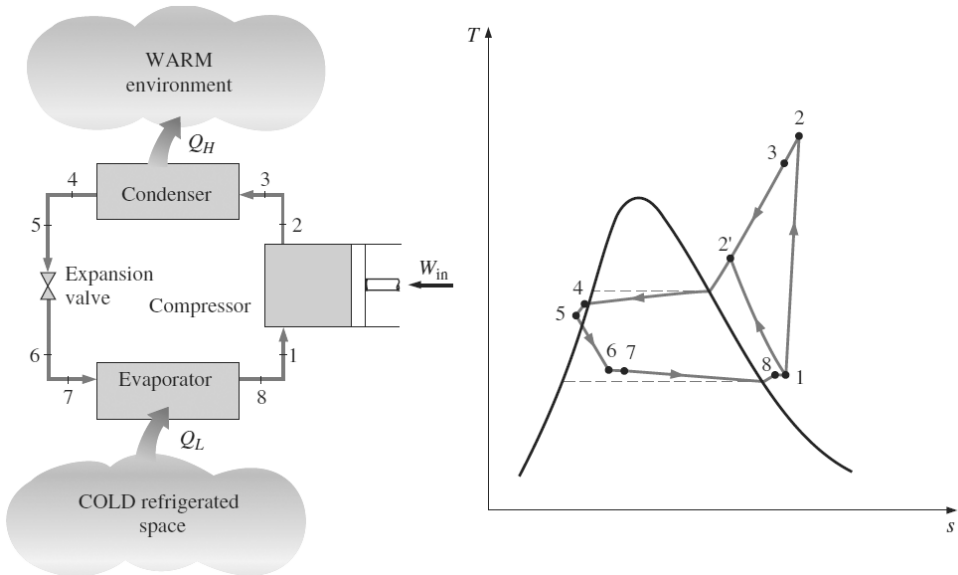
ပုံ ၃-၁၉ The P-h diagram of an ideal vapor compression refrigeration cycle.

၃.၇ Actual Vapor Compression Refrigeration Cycle

Actual vapor compression refrigeration cycle တွင် ideal cycle နှင့် မတူညီသည့် ကွာခြားချက်များစွာ ရှိသည်။ ပါဝင်သည့် component များတွင် irreversibility ဖြစ်ပေါ်သည်။ အရည်များ ပွတ်တိုက်မှု(fluid

friction)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)က irreversibility ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ အပူများသည် အနီးဝန်းကျင်သို့ ကူးပြောင်း(transfer)သွားသည်။

ပုံ(၃-၂၀)တွင် actual vapor compression refrigeration cycle ၏ T-s diagram ကို ဖော်ပြထားသည်။ Ideal cycle တွင် refrigerant များသည် evaporator မှ saturated vapor အနေဖြင့် ထွက်ခွာသွားပြီး compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သည်ဟု ယူဆထားသည်။ သို့သော် လက်တွေ့တွင် ထိုကဲ့သို့ အတိအကျ control လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ Compressor အဝင်(inlet)နေရာတွင် refrigerant ကို အနည်းငယ် superheated ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားရသည်။ လုံးဝ အငွေ့ အခြေအနေဖြစ်အောင်(completely vaporized) ပြုလုပ်ထားရသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ evaporator နှင့် compressor ကို ဆက်ထားသည့် ပိုက်သည် အလွန်ရှည်လျားနေသည်အခါ fluid friction ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ပိုများလာနိုင်သောကြောင့် refrigerant မှ အပူများ အနီးဝန်းကျင်သို့ ကူးပြောင်းသွားသည့် ပမာဏ ပိုများလာနိုင်သည်။



ပုံ ၃-၂၀ Actual vapor compression refrigeration cycle တစ်ခု၏ schematic နှင့် T-s diagram

Connecting line တွင် အပူစုပ်ယူခြင်း(heat gain)နှင့် evaporator အတွင်း၌ ဖိအား ကျဆင်းခြင်း (pressure drop)တို့ကြောင့် superheating ဖြစ်နိုင်သည်။ Connecting line အတွင်း၌ specific volume တိုးလာခြင်းကြောင့် compressor တွင် power input ပိုများလာနိုင်သည်။

Ideal cycle တွင် compression process သည် internally reversible နှင့် adiabatic process ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် isentropic process ဖြစ်သည်။ လက်တွေ့တွင် ပွတ်တိုက်မှုများ(frictional effect)ကြောင့် entropy ပိုများလာနိုင်သည်။ အပူများဆုံးရှုံးခြင်း၊ တိုးလာခြင်း နှင့် heat transfer ဖြစ်ပေါ်ခြင်း တို့ကြောင့်လည်း entropy များခြင်း သို့မဟုတ် နည်းခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Process 1-2 တွင် refrigerant ၏ entropy တိုးလာလိမ့်မည်။ လက်တွေ့အခြေအနေတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် (actual compression process) Process 1-2' တွင် refrigerant ၏ entropy နည်းသွားလိမ့်မည်။

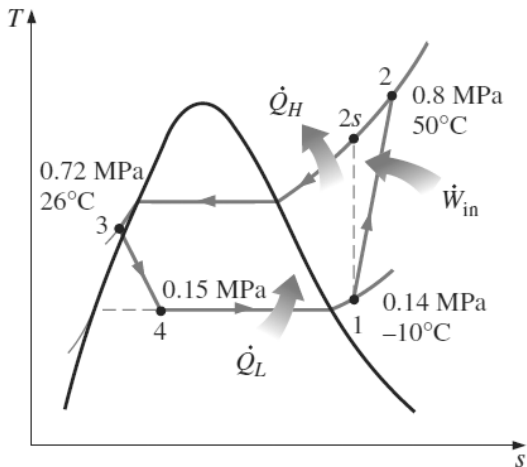
Compression process 1-2' သည် isentropic compression process ထက် ပို၍ လိုလားဖွယ် ဖြစ်သည်။ Refrigerant ၏ specific volume လျော့နည်းသွားသောကြောင့် work input လည်း လျော့နည်းသွား လိမ့်မည်။ Compression process အတွင်း၌ refrigerant ကို အေးနေအောင်ပြုလုပ်ထားနိုင်လျှင် ပိုကောင်းသည်။ လက်တွေ့တွင် ဖြစ်နိုင်ပြီး စီးပွားရေးအရ ပို၍ တွက်ခြေကိုက်သည်။ Refrigerant သည် condenser အတွင်းမှ saturated liquid အဖြစ် ထွက်ခွာသည်။

Ideal အခြေအနေတွင် refrigerant သည် condenser အတွင်းမှ saturated liquid အနေဖြင့် ထွက်သွားသည်။ ထိုအချိန်၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားသည် compressor exit pressure ဖြစ်သည်။ လက်တွေ့ အခြေအနေတွင် condenser ၊ throttling valve ၊ suction လိုင်း နှင့် discharge လိုင်း တို့၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) ကို ရှောင်လွှဲရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

Condensation process တွင် saturated liquid ဖြစ်အောင် အတိအကျ control လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ Saturated liquid အဖြစ်သို့ အပြည့်အဝ မရောက်ရှိဘဲ throttling valve အတွင်းသို့ မဝင်ရောက် စေသင့်ပေ။ ထို့ကြောင့် refrigerant များကို subcooled အပူချိန်ထိရောက်အောင် ကျဆင်းစေပြီးမှ throttling valve ထဲသို့ ဝင်ရောက်စေခြင်း ဖြစ်သည်။

Evaporator အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် refrigerant သည် စွမ်းအင်ပိုင်ဆိုင်မှုနည်း (low enthalpy) သောကြောင့် refrigerant space မှ အပူများကို ကောင်းစွာ စုပ်ယူနိုင်သည်။ Throttling valve နှင့် evaporator တို့သည် အလွန် နီးကပ်စွာ တည်ရှိသောကြောင့် ထိုနှစ်ခုအကြားတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု အလွန်နည်းသည်။

၃.၇.၁ Actual Vapor Compression Refrigeration Cycle



ဥပမာ - Refrigerator တစ်လုံး၏ compressor အတွင်း သို့ refrigerant R-134a သည် အပူချိန် -10°C ၊ ဖိအား 0.14 MPa superheated vapor အနေဖြင့် ဝင်ရောက် လာသည်။ Mass flow rate သည် 0.05 kg/s ဖြစ်သည်။ Compressor မှ အပူချိန် 50°C ၊ ဖိအား 0.8 MPa ဖြင့် ထွက်သွားသည်။ Refrigerant များသည် condenser အတွင်း၌ အပူချိန် 26°C နှင့် 0.72 MPa ဖြင့် ရောက်ရှိပြီး အအေးခံသည်။ ဖိအား 0.15 MPa တွင် throttling ပြုလုပ်သည်။

ပုံ ၃-၂၁ T-s diagram ဥပမာ

တခြားသော အပူစီးကူးမှု (heat transfer) များ၊ component များ တစ်ခုနှင့် တစ်ခုအကြား ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု များကို ထည့်သွင်းတွက်ချက်ခြင်း မပြုဘဲ အောက်ပါတို့ကို ရှာပါ။

- (၁) Refrigerated space မှ အပူဖယ်ထုတ်နှုန်း (rate of heat removal) နှင့် compressor ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု (power input)
- (၂) Compressor ၏ isentropic efficiency နှင့်
- (၃) Refrigerator ၏ Coefficient of Performance (COP)

အဖြေ-

ယူဆချက်များ (assumptions)

- (၁) Component တစ်ခုချင်းစီကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး steady state အခြေအနေတွင် လေ့လာ (analyze) သည်။
- (၂) Kinetic energy နှင့် potential energy ပြောင်းလဲမှုများကို လျစ်လျူရှု၍ တွက်ချက်သည်။

Analysis

ပုံ(၃-၂၁) တွင် refrigeration cycle ကို T-s diagram ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ Condenser မှ refrigerant များသည် compressed liquid အနေဖြင့် ထွက်ခွာသွားပြီး compressor အတွင်းသို့ superheated vapor

အနေဖြင့် ဝင်ရောက်သွားသည်။ State များကို လိုက်၍ refrigerant ၏ enthalpy တန်ဖိုး အမျိုးမျိုး ပြောင်းလဲနေသည်။

P1 = 0.14 MPa	}	h ₁ = 246.36 kJ/kg
T1 = -10°C		
P2 = 0.8 MPa	}	h ₂ = 286.69 kJ/kg
T2 = 50°C		
P3 = 0.72 MPa	}	h ₃ = h _{f@26°C} = 87.83 kJ/kg
T3 = 26°C		
h ₄ ≅ h ₃ (throttling)	→	h ₄ = 87.83 kJ/kg

(က) Refrigerated space မှ အပူဖယ်ထုတ်နှုန်း(rate of heat removal) နှင့် compressor အတွက် လိုအပ်သည့် power input ကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_4) = (0.05 \text{ kg/s}) [(246.36 - 87.83) \text{ kJ/kg}] = 7.93 \text{ kW}$$

နှင့်

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}(h_2 - h_1) = (0.05 \text{ kg/s}) [(286.69 - 246.36) \text{ kJ/kg}] = 2.02 \text{ kW}$$

(ခ) Compressor ၏ isentropic efficiency

$$\eta_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

where the enthalpy at state 2s

(P_{2s} = 0.8 MPa and s_{2s} = s₁ = 0.9724 kJ/kg · K) is 284.21 kJ/kg.

ထို့ကြောင့်

$$\eta_c = \frac{284.21 - 246.36}{286.69 - 246.36} = 0.939 \text{ or } 93.9\%$$

(ဂ) Refrigerator ၏ coefficient of performance (COP)

$$COP_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{in}} = \frac{7.93 \text{ kW}}{2.02 \text{ kW}} = 3.93$$

ဆွေးနွေးချက် (discussion)

ပြီးခဲ့သည့်ဥပမာနှင့် တူညီသည်။ ကွဲပြားချက်တစ်ခုမှာ compressor inlet အဝင်တွင် refrigerant သည် superheated အပူချိန် ဖြစ်သည်။ Condenser မှ အထွက်တွင် subcooled အပူချိန် ဖြစ်သည်။ Compression process သည် isentropic ဖြစ်သည်။ Refrigerated space မှ အပူ စွန့်ထုတ်နှုန်း(heat removal rate) 10.4% ပိုများလာသည်။ Compressor ထည့်ပေးရမည့် ပါဝါ(power input)သည် 11.6% ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် refrigerator ၏ COP သည် 3.97 မှ 3.93 အထိ ကျဆင်း သွားသည်။

၃.၇.၂ Heat Rejection by A Refrigerator

ပုံ(၃-၂၂)တွင် ဖော်ပြထားသည့် refrigerator ရှိ food compartment ကို အပူချိန် 4°C တွင် ထိန်းထားရန် လိုအပ်သည်။ အပူ စွန့်ထုတ်နှုန်း(heat removal rate)သည် 360 kJ/min ဖြစ်သည်။

Refrigerator တွင် လိုအပ်သည့် power input သည် kW ဖြစ်လျှင် အောက်ပါတို့ကို ရှာပါ။

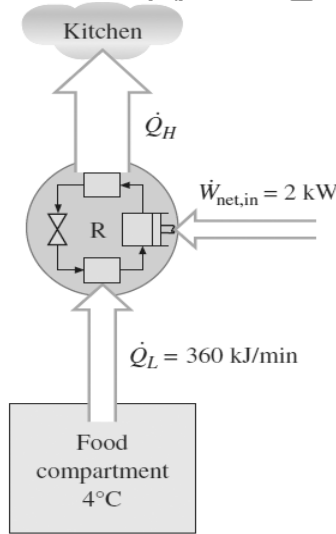
(က) Refrigerator ၏ Coefficient of Performance (COP)

(ခ) Rate of heat rejection to the room that houses the refrigerator.

Solution

Refrigerator ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲနှုန်း(power consumption)ကို ပေးထားသည်။ COP နှင့် အပူစွန့်ထုတ်နှုန်း (rate of heat rejection)ကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

Assumptions Steady operating conditions exist ဟုယူဆထားသည်။



ပုံ ၃-၂၂ Schematic for example

Analysis

(က) Refrigerator ၏ COP သည် 3 ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် refrigerated space မှ အပူ(heat) 3 kJ ဖယ်ထုတ်ရန်အတွက် compressor အတွက် 1 kJ work ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

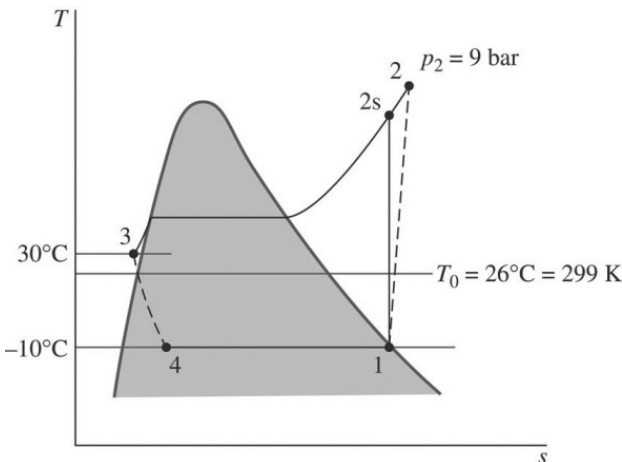
$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{net\ in}} = \frac{360\ kJ/min}{2\ kW} \left(\frac{1\ kW}{60\ kJ/min} \right) = 3$$

(ခ) Refrigerator ၏ အပူစွန့်ထုတ်နှုန်း(rate of heat rejection)

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W}_{net\ in} = 360\ kJ/min + (2\ kW) \left(\frac{60\ kJ/min}{1\ kW} \right) = 480\ kJ/min$$

၃.၇.၃ Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၁)

R-134a ကို အသုံးပြုထားသည့် vapor-compression refrigeration cycle တစ်ခု၏ ဒေတာများကို အောက်တွင် ဇယား (table) ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ Refrigerant mass flow rate သည် 0.08 kg/s ဖြစ်လျှင် အောက်ပါတို့ကို ရှာပါ။



- (a) Compressor power (kW)
- (b) Refrigeration capacity (tons)
- (c) Coefficient of performance,
- (d) Isentropic compressor efficiency.

ပုံ ၃-၂၃

State	1	2s	2	3	4
Enthalpy h (kJ/kg)	241.35	272.39	280.15	91.4	91.49
Pressure (bar)		9	9	9	
Temperature (°C)	-10			30	-10

(a) The compressor power is

$$\dot{W}_c = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

$$\dot{W}_{comp} = \left(0.08 \frac{kg}{s}\right) (280.15 - 241.35) kJ/kg$$

$$\dot{W}_c = 3.1 kW$$

(b) The refrigeration capacity is

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m} (h_1 - h_4)$$

$$\dot{Q}_{in} = \left(0.08 \frac{kg}{s}\right) (241.35 - 91.49) kJ/kg$$

$$\dot{Q}_{in} = 11.99 kW = 3.41 RT$$

(c) The coefficient of performance is

$$COP = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)}$$

$$COP = \frac{(241.35 - 91.49)}{(280.15 - 241.35)}$$

$$COP = 3.86$$

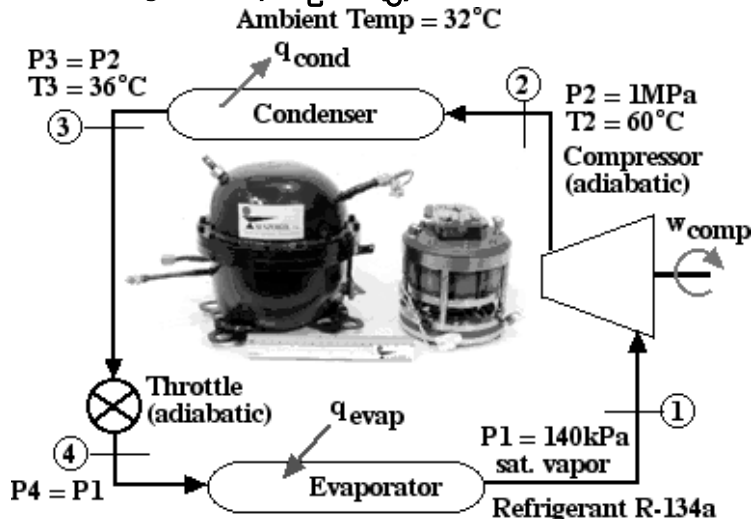
(d) The isentropic compressor efficiency is

$$\text{Isentropic compressor efficiency} = \frac{(h_{2s} - h_1)}{(h_2 - h_1)}$$

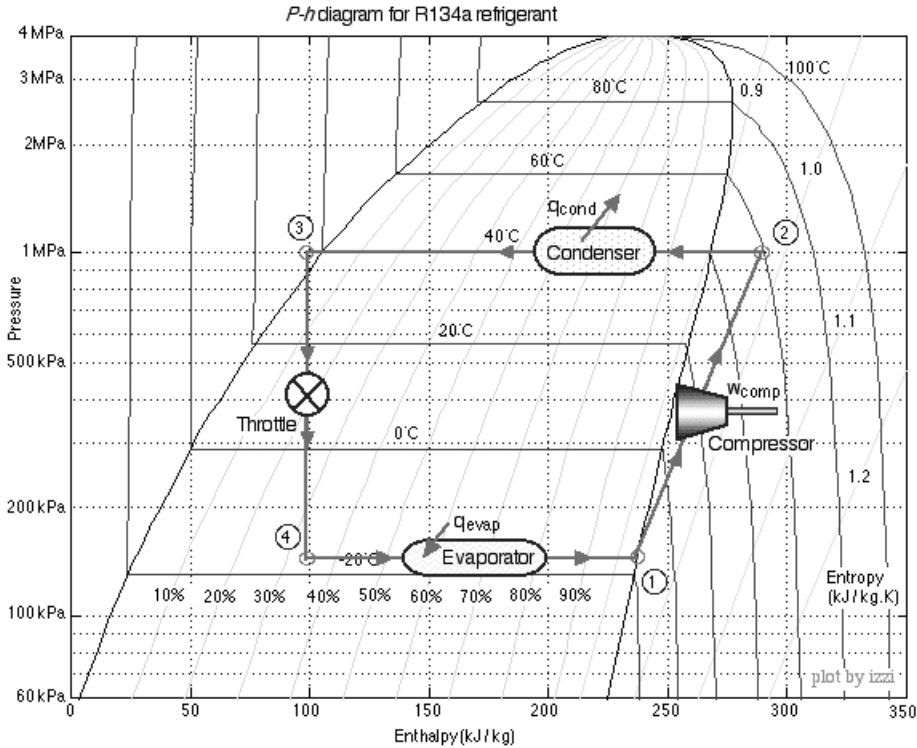
$$\text{Isentropic compressor efficiency} = \frac{(272.39 - 241.35) kJ/kg}{(280.15 - 241.35) kJ/kg}$$

$$\text{Isentropic compressor efficiency} = 0.8 = 80\%$$

၃.၇.၄ Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ (၂)



ပုံ ၃-၂၄(က)



ပုံ ၃-၂၄(ခ)

အဖြေ

ပထမ အဆင့်(step 1)အနေဖြင့် ပုစ္ဆာတွင် ပေးထားသော အချက်အလက်များကို ချရေးပါ။

Compressor inlet pressure = 140 KPa

Compressor inlet temperature = -10°C

Compressor outlet pressure = 1 MPa

η_c (isentropic efficiency of the compressor) = 89%

\dot{V} (Refrigerant flow rate) 0.2 m³/min

Throttling inlet pressure = 0.95 MPa

Throttling inlet temperature = 30°C

Evaporator outlet temperature = -18.5°C (saturated vapor)

ဒုတိယ(step 2) အနေဖြင့် တစ်ဆင့်ချင်းစီရှိ ဖိအား(pressures) အပူချိန်(temperatures) တန်ဖိုးများကို ရှာပါ။

P1 = 140 kPa P2 = 1.0 MPa P3 = 0.95 MPa P4 = Unknown

T1 = -10°C T2 = Unknown T3 = 30°C T4 = Unknown

P5 = Unknown

T5 = -18.5°C

တတိယ(step 3) အနေဖြင့် ညီမျှခြင်းများကို အသုံးပြု၍ တွက်ပါ။

(a) Mass flow rate (\dot{m}).

$$\dot{m} = \dot{V}/v$$

(b) The power input to the compressor.

$$\dot{W}_{in} = \frac{\dot{m} \times (h_{2s} - h_1)}{\eta_c}$$

(c) The rate of heat removal.

$$\dot{Q}_L = \dot{m} \times (h_5 - h_4)$$

(d) The pressure drop between the evaporator and the compressor.

$$\Delta P = P_5 - P_1$$

(e) The rate of heat gain in the line between the evaporator and the compressor..

$$\dot{Q}_{gain} = \dot{m} \times (h_1 - h_5)$$

စတုတ္ထ(step 4) အနေဖြင့် တစ်ဆင့်ချင်းစီရှိ entropy and enthalpy တန်ဖိုးများကို တွက်ပါ။ သိရန်လိုအပ်သည့် ဖိအား(pressure) များကို တွက်ပါ။ (စာမျက်နှာ 2-30 နောက်ပိုင်းမှ table A-11 ၊ A-12 နှင့် A-13)

(a) State 1

$$P_1 = 140 \text{ kPa}$$

$$T_1 = -10^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 243.40 \text{ kJ/kg (စာမျက်နှာ 2-33 နှင့် 2-34 မှ table A-13)}$$

$$s_1 = 0.9606 \text{ kJ/(kg K) (စာမျက်နှာ 2-33 နှင့် 2-34 မှ table A-13)}$$

$$v = 0.14549 \text{ m}^3/\text{kg (စာမျက်နှာ 2-33 နှင့် 2-34 မှ table A-13)}$$

(b) State 2

$$P_2 = 1.0 \text{ MPa}$$

$$T_2 = \text{Unknown}$$

$$s_2 = s_1 = 0.9606 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$h_{2s} = 286.04 \text{ kJ/kg (စာမျက်နှာ 2-33 နှင့် 2-34 မှ table A-13)}$$

(c) State 3

$$P_3 = 0.95 \text{ MPa}$$

$$T_3 = 30^\circ\text{C}$$

$$h_3 \cong h_f @ 30^\circ\text{C} = 91.49 \text{ kJ/kg (စာမျက်နှာ 2-30 နှင့် 2-31 မှ table A-11)}$$

(d) State 4

$$P_4 = \text{Unknown}$$

$$T_4 = \text{Unknown}$$

$$h_4 \cong h_3 = 91.49 \text{ kJ/kg}$$

(e) State 5

$$T_5 = -18.5^\circ\text{C}$$

Saturated vapor

$$P_5 = 0.14287 \text{ MPa (စာမျက်နှာ 2-30 နှင့် 2-31 မှ table A-11)}$$

$$h_5 = 236.23 \text{ kJ/kg (စာမျက်နှာ 2-30 နှင့် 2-31 မှ table A-11)}$$

Step 5. Plug variables into equations and solve.

$$\dot{m} = \dot{V} / v$$

$$\dot{m} = \frac{[(0.2 \text{ m}^3/\text{min}) \times (1\text{min}/60\text{sec})]}{0.14549 \text{ m}^3/\text{kg}}$$

$$\dot{m} = 0.0229 \text{ kg/s}$$

(A) Compressor အတွက် လိုအပ်သည့် power input

$$\dot{W}_{in} = \frac{\dot{m} \times (h_{2s} - h_1)}{\eta_c}$$

$$\dot{W}_{in} = \frac{0.0229 \text{ kg/s} \times (286.04 \text{ kJ/kg} - 243.40 \text{ kJ/kg})}{0.89}$$

$$\dot{W}_{in} = 1.25 \text{ kW}$$

(B) အပူစွန့်ထုတ်နှုန်း (rate of heat removal)

$$\dot{Q}_L = \dot{m} \times (h_5 - h_4)$$

$$\dot{Q}_L = 0.0229 \text{ kg/s} \times (236.23 \text{ kJ/kg} - 91.49 \text{ kJ/kg})$$

$$\dot{Q}_L = 3.31 \text{ kW}$$

(C) Evaporator နှင့် compressor တို့အကြား ပိုက်လိုင်းတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop)

$$\Delta P = P_5 - P_1$$

$$\Delta P = 0.14287 \text{ MPa} - 140 \text{ kPa}$$

$$\Delta P = 2.87 \text{ kPa}$$

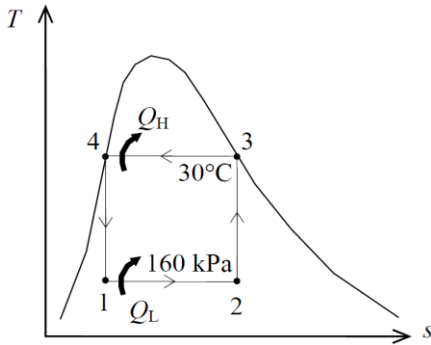
(D) Evaporator နှင့် compressor တို့အကြား ပိုက်လိုင်းတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် rate of heat gain

$$\dot{Q}_{gain} = \dot{m} \times (h_1 - h_5)$$

$$\dot{Q}_{gain} = 0.0229 \text{ kg/s} \times (243.40 \text{ kJ/kg} - 236.23 \text{ kJ/kg})$$

$$\dot{Q}_{gain} = 0.164 \text{ kW}$$

၃.၇.၅ Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၃)



ပုံ ၃-၂၅

R-134a ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုထားသည့် Carnot refrigeration cycle တစ်ခုသည် steady-flow ဖြင့် မောင်းနှင်ချိန်တွင်

(က) Coefficient of Performance (COP)

(ခ) Refrigerated space မှ စုပ်ယူလိုက်သည့် အပူပမာဏ (amount of heat absorbed) နှင့်

(ဂ) Net work input တို့ကို ရှာပါ။

ယူဆချက်များ (assumptions)

(၁) Component တစ်ခုချင်းစီကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး steady state အခြေအနေတွင် လေ့လာ (analyze) သည်။

(၂) Kinetic energy နှင့် potential energy ပြောင်းလဲမှုများကို လျစ်လျူရှု၍ တွက်ချက်သည်။

အဖြေ - (က) TH သည် 30°C (303 K) ဖြစ်သည်။ TL သည် Tsat @ 160 kPa = -15.6°C = 257.4 K ဖြစ်သည်။ Carnot refrigerator ၏ Coefficient of Performance (COP) ကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

$$COP_{Ref,Carnot} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

$$COP_{Ref,Carnot} = \frac{1}{\frac{(303)}{257.4 \text{ K}} - 1}$$

$$COP_{Ref,Carnot} = 5.64$$

(ခ) Refrigerant tables (စာမျက်နှာ 2-30 နှင့် 2-31 မှ table A-11)

$$h_3 = h_{g@30^\circ\text{C}} = 266.66 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = h_{f@30^\circ\text{C}} = 93.58 \text{ kJ/kg}$$

ထို့ကြောင့်

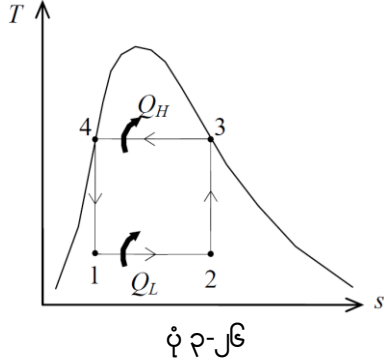
$$q_H = h_3 - h_4 = 266.66 - 93.58 = 173.08 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{q_H}{q_L} = \frac{T_H}{T_L} \Rightarrow q_L = \frac{T_L}{T_H} q_H = \left(\frac{257.4K}{303K} \right) (173.08 \text{ kJ/kg}) = 147.03 \text{ kJ/kg}$$

(ဂ) Net work input

$$w_{net} = q_H - q_L = 173.08 - 147.03 = 26.05 \text{ kJ/kg}$$

၃.၇.၆ Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၄)



Carnot refrigerator ၏ condenser အတွင်းသို့ refrigerant-134a များသည် ဖိအား 90 psia တွင် saturated vapor အဖြစ် ဝင်ရောက်လာပြီး ဖိအား quality of 0.05 ဖြင့် ထွက်သွားသည်။ Refrigerated space မှ အပူများကို pressure of 30 psia တွင် စုပ်ယူသည်။ T-s diagram ပေါ်တွင် saturation line များ ပါဝင်သည့် cycle ပုံကို ဆွဲပါ။ အောက်ပါ တန်ဖိုးများကို ရှာပါ။ (IP ယူနစ် ဥပမာ ဖြစ်သည်။)

ပုံ ၃-၂၆

- (a) Coefficient of Performance (COP)
- (b) Quality at the beginning of the heat-absorption process နှင့်
- (c) Net work input

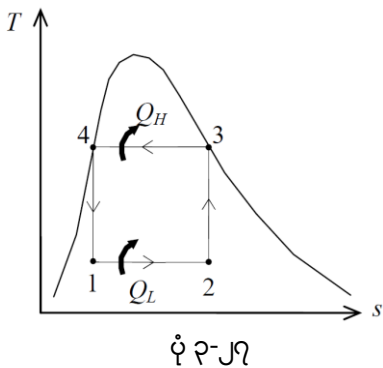
အဖြေ - Refrigerant-134a ကို အသုံးပြုထားသည့် Carnot refrigeration cycle ဖြစ်သည်။ Steady flow အခြေအနေတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် တန်ဖိုးများကို တွက်ယူသည်။

ယူဆချက်များ(assumptions)

- (၁) Component တစ်ခုချင်းစီကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး steady state အခြေအနေတွင် လေ့လာ (analyze)သည်။
- (၂) Kinetic energy နှင့် potential energy ပြောင်းလဲမှုများကို လျစ်လျူရှု၍ တွက်ချက်သည်။

Analysis

(a) Noting that $T_H = T_{sat} @ 90 \text{ psia} = 72.78^\circ\text{F} = 532.8 \text{ R}$ and $T_L = T_{sat} @ 30 \text{ psia} = 15.37^\circ\text{F} = 475.4 \text{ R}$



$$COP_{Ref,Carnot} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

$$COP_{Ref,Carnot} = \frac{1}{\frac{(532.8R)}{475.4 \text{ K} - 1}}$$

$$COP_{Ref,Carnot} = 8.28$$

(b) Process 4-1 သည် isentropic process ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့်

$$\begin{aligned} S_1 = S_4 &= (S_f + x_4 S_{fg})_{@90\text{psia}} = 0.07481 + (0.05)(0.14525) \\ &= 0.08207 \text{ Btu/lbm} \cdot \text{R} \end{aligned}$$

$$x_1 = \left(\frac{S_1 - S_f}{S_{fg}} \right)_{@ 30 \text{ psia}} = \left(\frac{0.08207 - 0.03793}{0.18589} \right) = \mathbf{0.2374}$$

(c) T-s diagram တွင် စတုဂံအတွင်းရှိ ဧရိယာ(area enclosed) သည် net work ဝဟာဏနှင့် ညီမျှသည်။ $s_3 = s_4$ @ 90 psia = 0.22006 Btu/lbm·R,

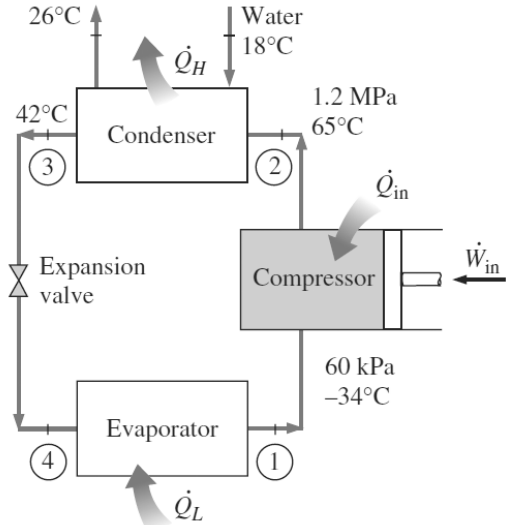
$$w_{net,in} = (T_H - T_L)(S_3 - S_4)$$

$$= (72.78 - 15.37)(0.22006 - 0.08207) \text{ Btu/lbm} \cdot R = \mathbf{7.92 \text{ Btu/lbm}}$$

၃.၇.၇ Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ (၅)

Refrigerator တစ်လုံးတွင် R-134a ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုထားသည်။ Refrigerated space ၏ အပူချိန်သည် 30°C ဖြစ်သည်။ အပူချိန် 18°C ထဲသို့ cooling water ထဲသို့ အပူများကို စွန့်ထုတ်သည်။ Cooling water rate သည် 0.25 kg/s ဖြစ်ပြီး အပူချိန် 26°C ဖြင့် condenser မှ ထွက်သွားသည်။

Refrigerant များသည် condenser အတွင်းသို့ ဖိအား 1.2 MPa နှင့် အပူချိန် 65°C ဖြင့် ဝင်ရောက်သွားပြီး အပူချိန် 42°C ဖြင့် ပြန်ထွက်သွားသည်။ Compressor ၏ အဝင်အခြေအနေ(inlet state)သည် ဖိအား 60 kPa နှင့် အပူချိန် 34°C ဖြစ်သည်။ Compressor သည် အနီးဝန်းကျင်(surroundings)မှ အပူပမာဏ 450 W ကို စုပ်ယူ သွားသည်။



- အောက်ပါ တို့ကို ရှာပါ။
- (a) Evaporator အဝင်(inlet)တွင် ရှိမည့် refrigerant ၏ quality
 - (b) Refrigeration load
 - (c) Refrigerator ၏ COP နှင့်
 - (d) Compressor သည် တူညီသည် စွမ်းအင်(same power input)ကို သုံးစွဲ၍ ရရှိနိုင်မည့် theoretical maximum refrigeration load ကို ရှာပါ။

ပုံ ၃-၂၈

ယူဆချက်များ(assumptions)

- (၁) Component တစ်ခုချင်းစီကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး steady state အခြေအနေတွင် လေ့လာ (analyze)သည်။
- (၂) Kinetic energy နှင့် potential energy ပြောင်းလဲမှုများကို လျစ်လျူရှု၍ တွက်ချက်သည်။

Analysis (a) Refrigerant-134a table များမှ တန်ဖိုးများကို ဖတ်ယူပါ။ (စာမျက်နှာ 2-30 နှင့် 2-31 မှ table A-11 နှင့် A-13 တို့မှ

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 60 \text{ kPa} \\ T_1 = -34^\circ\text{C} \end{array} \right\} h_1 = 230.03 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 1200 \text{ kPa} \\ T_2 = 65^\circ\text{C} \end{array} \right\} h_2 = 295.16 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 1200 \text{ kPa} \\ T_3 = 42^\circ\text{C} \end{array} \right\} h_3 = 111.23 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = h_3 = 111.23 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 60 \text{ kPa} \\ h_4 = 111.23 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} x_4 = \mathbf{0.4795}$$

ပူစွာတွင် ပေးထားသည့် အပူချိန်(given temperature)များမှ saturated liquid enthalpy ကို အသုံးပြု၍ enthalpy တန်ဖိုးများကို ရှာပါ။ အပူချိန် 18°C တွင် ရှိသည့် ရေ၏ enthalpy မှာ 75.47 kJ/kg ဖြစ်သည်။ အပူချိန် 26°C တွင် ရှိသည့် ရေ၏ enthalpy မှာ 108.94 kJ/kg ဖြစ်သည်။

$$h_{w1} = h_f @ 18^\circ\text{C} = 75.47 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{w2} = h_f @ 26^\circ\text{C} = 108.94 \text{ kJ/kg}$$

(b) Refrigerant ၏ mass flow rate ကို compressor ၏ energy balance ညီမျှခြင်း(equation)မှ တွက်ယူပါ။

$$\dot{m}_R (h_2 - h_3) = \dot{m}_w (h_{w2} - h_{w1})$$

$$\dot{m}_R (295.16 - 111.23) \text{ kJ/kg} = (0.25 \text{ kg/s})(108.94 - 75.47) \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_R = 0.0455 \text{ kg/s}$$

Refrigerant မှ transfer လုပ်ပေးသည့် waste heat ၊ compressor power input နှင့် refrigeration load တို့ကို တွက်ယူသည်။

$$\dot{Q}_H = \dot{m}_R (h_2 - h_3) = (0.0455 \text{ kg/s})(295.16 - 111.23) \text{ kJ/kg} = 8.367 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}_R (h_2 - h_1) - \dot{Q}_{in}$$

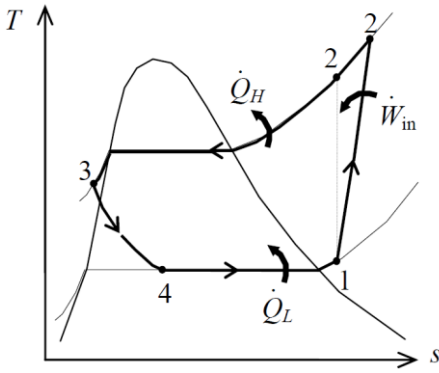
$$= (0.0455 \text{ kg/s})(295.16 - 230.03) \text{ kJ/kg} - 0.45 \text{ kW} = 2.513 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W}_{in} = 8.367 - 2.513 = 5.85 \text{ kW}$$

(c) Refrigerator ၏ COP(လက်တွေ့)

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{in}} = \frac{5.85}{2.513} = 2.33$$

(d) Refrigerator ၏ reversible COP(အမြင့်ဆုံးရရှိနိုင်သည့် COP)



ပုံ ၃-၂၉

အများဆုံး (maximum) refrigeration load သည်

$$\dot{Q}_{L,max} = COP_{Max} \dot{W}_{in} = (5.063)(2.513 \text{ kW}) = 12.72 \text{ kW}$$

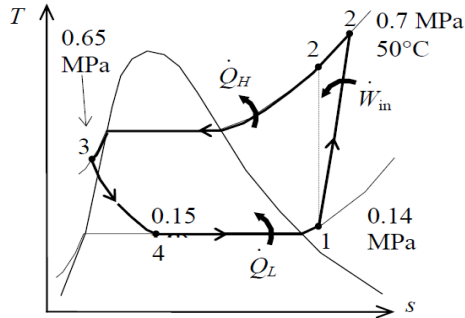
$$COP_{Max} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

$$COP_{Max} = \frac{1}{\frac{(18 + 273)}{(-30 + 273)} - 1}$$

$$COP_{Max} = 5.063$$

၃.၇.၈ Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၆)

Refrigerator တစ်လုံးတွင် R-134a ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုထားသည်။ (က) Refrigerated space မှ အပူစွန့်ထုတ်နှုန်း (rate of heat removal)၊ (ခ) compressor အတွက် လိုအပ်သည့် power input ၊ (ဂ) compressor ၏ isentropic efficiency နှင့် refrigerator ၏ COP တို့ကို ရှာပါ။



ပုံ ၃-၃၀

ယူဆချက်များ (assumptions)

- (၁) Component တစ်ခုချင်းစီကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး steady state အခြေအနေတွင် လေ့လာ (analyze) သည်။
- (၂) Kinetic energy နှင့် potential energy ပြောင်းလဲမှုများကို လျစ်လျူရှု၍ တွက်ချက်သည်။

(က) Refrigerant table မှ တန်ဖိုးများကို ဖတ်ယူပါ။ (စာမျက်နှာ 2-32 မှ Table A-12 နှင့် A-13),

$$\left. \begin{matrix} P_1 = 0.14 \text{ MPa} \\ T_1 = -10^\circ\text{C} \end{matrix} \right\} \begin{matrix} h_1 = 246.36 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 0.97236 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{matrix}$$

$$\left. \begin{matrix} P_2 = 0.7 \text{ MPa} \\ T_2 = 50^\circ\text{C} \end{matrix} \right\} h_2 = 288.53 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{matrix} P_{2s} = 0.7 \text{ MPa} \\ s_{2s} = s_1 \end{matrix} \right\} h_{2s} = 281.16 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{matrix} P_3 = 0.65 \text{ MPa} \\ T_3 = 24^\circ\text{C} \end{matrix} \right\} h_3 = h_f @ 24^\circ\text{C} = 84.98 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 \cong h_3 = 84.98 \text{ kJ/kg (throttling)}$$

Refrigerated space မှ အပူစွန့်ထုတ်နှုန်း (rate of heat removal) နှင့် compressor အတွက် လိုအပ်သည့် power input ကို တွက်ယူပါ။

$$\dot{Q}_L = \dot{m} (h_1 - h_4) = (0.12 \text{ kg/s}) \cdot (246.36 - 84.98) \text{ kJ/kg} = 19.4 \text{ kW}$$

နှင့်

$$\dot{W}_{in} = \dot{m} (h_2 - h_1) = (0.12 \text{ kg/s}) (288.53 - 246.36) \text{ kJ/kg} = \mathbf{5.06 \text{ kW}}$$

(ခ) Compressor ၏ adiabatic efficiency

$$\eta_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{281.16 - 246.36}{288.53 - 246.36} = \mathbf{82.5\%}$$

(ဂ) Refrigerator ၏ COP

$$COP_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{in}} = \frac{19.4 \text{ kW}}{5.06 \text{ kW}} = \mathbf{3.83}$$

၃.၇.၉ Vapor Compression Refrigeration Cycle ဥပမာ(၇)

Refrigerator တစ်လုံး၏ compressor အတွင်းသို့ R-134a သည် ဖိအား:140 kPa ၊ အပူချိန် -10°C နှင့် စီးနှုန်း: $0.3 \text{ m}^3/\text{min}$ ဖြင့်ဝင်ရောက်လာပြီး ဖိအား: 1 MPa ဖြင့် ထွက်သွားသည်။ Compressor ၏ isentropic efficiency သည် 78 percent ဖြစ်သည်။ Throttling valve အတွင်းသို့ refrigerant များ 0.95 MPa and 30°C ဖြင့် ဝင်ရောက် သွားပြီး evaporator အတွင်းမှ saturated vapor အဖြစ် အပူချိန် -18.5°C ဖြင့် ထွက်သွားသည်။ Cycle ကို T-s diagram ပေါ်တွင် saturation line များဖြင့် ရေးဆွဲပါ။ အောက်ပါ တန်ဖိုးများကို တွက်ပါ။

(က) Compressor အတွက် လိုအပ်သည့် power input

(ခ) Refrigerated space မှ အပူစွန့်ထုတ်နှုန်း(rate of heat removal) နှင့်

(ဂ) ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) နှင့် evaporator နှင့် compressor အကြား ပိုက်လိုင်းတွင် တိုးလာမည့် အပူနှုန်း(rate of heat gain) ကို ရှာပါ။

အဖြေ

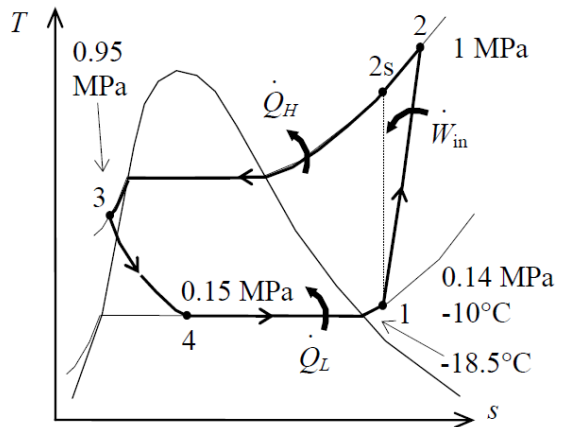
ယူဆချက်များ(assumptions)

(၁) Component တစ်ခုချင်းစီကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး steady state အခြေအနေတွင် လေ့လာ (analyze)သည်။

(၂) Kinetic energy နှင့် potential energy ပြောင်းလဲမှုများကို လျစ်လျူရှု၍ တွက်ချက်သည်။

(က) Refrigerant table များ မှ တန်ဖိုးများကို ဖတ်ယူပါ။ (စာမျက်နှာ 2-32 မှ Table A-12 နှင့် A-13),

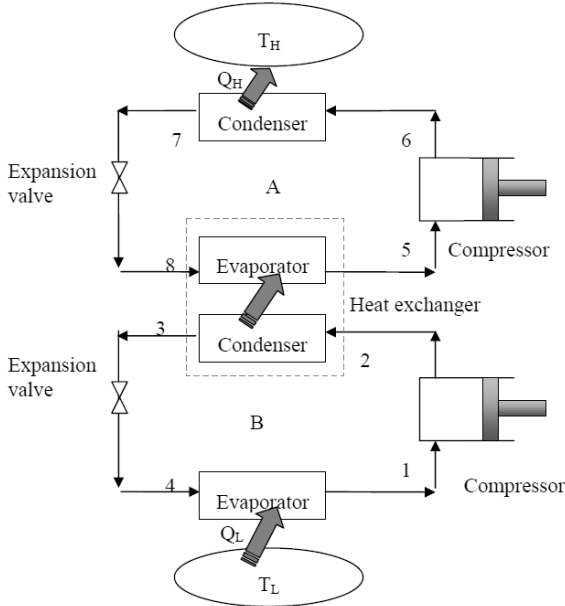
- $P_1 = 140 \text{ kPa}$ } $h_1 = 246.36 \text{ kJ/kg}$
- $T_1 = -10^\circ\text{C}$ } $s_1 = 0.97236 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$
- } $v_1 = 0.14605 \text{ m}^3/\text{kg}$
- $P_2 = 1.0 \text{ MPa}$ } $h_{2s} = 289.20 \text{ kJ/kg}$
- $s_{2s} = s_1$ }
- $P_3 = 0.95 \text{ MPa}$ } $h_3 \cong h_f @ 30^\circ\text{C} = 93.58 \text{ kJ/kg}$
- $T_3 = 30^\circ\text{C}$ }
- $h_4 \cong h_3 = 93.58 \text{ kJ/kg}$ (throttling)
- $T_5 = -18.5^\circ\text{C}$ } $P_5 = 0.14165 \text{ MPa}$
- sat. vapor } $h_5 = 239.33 \text{ kJ/kg}$



ပုံ ၃-၃၁

အဖြေ (a) 1.88 kW, (b) 4.99 kW, (c) 1.65 kPa, 0.241 kW

၃.၈ Cascade Refrigeration Cycles

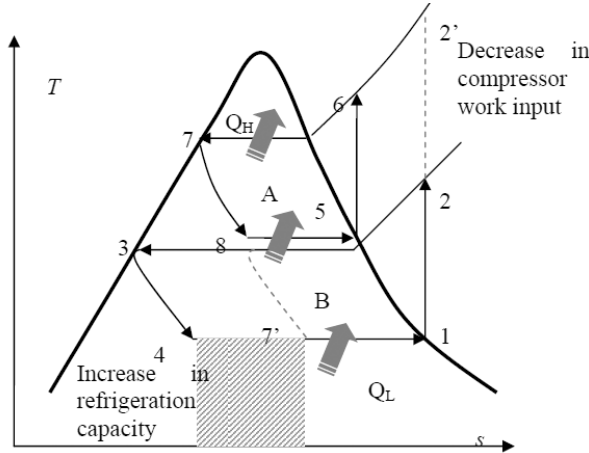


စက်မှုလုပ်ငန်းများတွင် အလွန်နိမ့်သည့် အပူချိန်ရရှိရန် လိုအပ်သည်။ အပူချိန် ကွာခြားချက် အလွန် များလျှင် compression ratio များများ ရရန်လိုအပ်သည်။

ဖိအား(pressure range)ကွာခြားချက် အလွန် များခြင်းကြောင့် compressor ၏ စွမ်းဆောင်ရည် (performance) ညံ့ဖျင်းလိမ့်မည်။

ထိုပြဿနာကို ဖြေရှင်းရန် refrigeration cycle များကို အတန်းလိုက် ပုံစံမျိုး(series) ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် cascade refrigeration cycle များ တည်ဆောက် နိုင်သည်။

ပုံ ၃-၃၂(က) Two stage cascade refrigeration cycle



ပုံ ၃-၃၂(ခ) Two-stage cascade refrigeration system တစ်ခု၏ T-s diagram

ပုံ(၃-၃၂)တွင် two-stage cascade refrigeration cycle တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။ Cycle နှစ်ခုကို heat exchanger ဖြင့် ဆက်ထားသည်။ Topping cycle (cycle A) ၏ evaporator နှင့် bottoming cycle (cycle B) ၏ condenser တို့ကို heat exchanger ဖြင့် ဆက်ထားသည်။ Heat exchanger ကို ကောင်းစွာ insulate လုပ်ထားသည်။ Heat exchanger အတွင်း၌ kinetic energy နှင့် potential energy ပြောင်းလဲမှုတို့ကို လျစ်လျူရှု ထားသည်။ Bottoming cycle မှ topping cycle သို့ ကူးပြောင်းသွားသည့် အပူပမာဏ တူညီသည်ဟု သတ်မှတ်သည်။ Cycle ခုချင်းစီ၏ mass flow rate တူညီကြသည်။ Cycle နှစ်ခုစလုံးတွင် ရှိသည့် refrigerant အမျိုးအစား တူညီကြသည်။ Heat exchanger အတွင်း၌ fluid များ တစ်ခုနှင့်တစ်ခု မရောနှောအောင် ပြုလုပ် ထားသည်။

Cascade refrigeration cycle ဆိုသည်မှာ နှစ်ခု သို့မဟုတ် နှစ်ခုထက်ပိုသည့် refrigeration cycle များကို အတန်းလိုက်ပုံစံ(series)ဖြင့် တပ်ဆင်မောင်းနှင်သည့် refrigeration cycle ကို ဆိုလိုသည်။ နိမ့်သည့်အပူချိန်(TL) နှင့် မြင့်သည့် အပူချိန်(TH)တို့ ကွာခြားမှု အလွန်များလျှင် cascade cycle ကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။ ပုံ(၃-၃၂) low

temperature refrigerator အတွက် condenser သည် high temperature refrigerator ၏ evaporator ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် low temperature refrigerator မှ အပူများကို high temperature refrigerator အတွင်းသို့ စွန့်ထုတ်သည်။

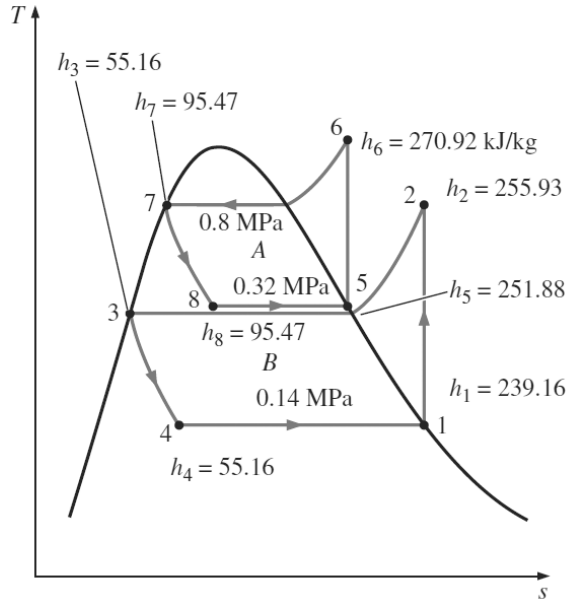
Cascading လုပ်ခြင်းဖြင့် refrigeration cycle ၏ COP ပိုကောင်းနိုင်သည်။ နိမ့်သည့်အပူချိန်(TL) နှင့် မြင့်သည့် အပူချိန်(TH) တို့ကို လိုက်၍ သင့်လျော်သည့် evaporator pressure နှင့် condenser pressure ကို သတ်မှတ်ပြီး လိုအပ်ချက်နှင့် အကိုက်ညီဆုံးသော refrigerant ကို ရွေးချယ်နိုင်သည်။

Low temperature cycle နှင့် high temperature cycle ကို heat exchanger များဖြင့် ဆက်ထားသည်။ ထို heat exchanger သည် cycle A တွင် evaporator အဖြစ် cycle B တွင် condenser အဖြစ် အသီးသီး ဆောင်ရွက်ကြသည်။ ထို့ကြောင့် အောက်ပါညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။ ပုံ (၃-၃၂-က) နှင့် ပုံ (၃-၃၂-ခ)မှ

$$\dot{m}_A(h_5 - h_8) = \dot{m}_B(h_2 - h_3)$$

$$COP_{R,cascade} = \frac{\dot{m}_B(h_1 - h_4)}{\dot{m}_A(h_6 - h_5) + \dot{m}_B(h_2 - h_1)}$$

ပုံ(၃-၃၂-ခ)တွင် refrigeration capacity (area under 4-7') တိုးလာပုံ နှင့် compressor work (2-2'-6-5) လျော့နည်းသွားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ ပုံ(၃-၃၁-ခ) T-s diagram အရ cascading လုပ်ခြင်းကြောင့် compressor work လျော့နည်းသွားသည်။ Refrigerated space မှ စုပ်ယူလိုက်သည့် အပူ(heat)ပမာဏ ပိုများလာသည်။ ထို့ကြောင့် refrigeration system ၏ COP ပိုကောင်းလာသည်။ တချို့သော refrigeration system များတွင် သုံးဆင့် (three stage) သို့မဟုတ် လေးဆင့်(four stages) cascading cycle များကို အသုံးပြုကြသည်။



ပုံ ၃-၃၂ Two-Stage Cascade Refrigeration Cycle ဥပမာ

Two-Stage Cascade Refrigeration Cycle ဥပမာ-

ပုံ(၃-၃၁)မှ two stage cascade refrigeration system တစ်ခုသည် ဖိအား 0.8 နှင့် 0.14 MPa အကြားတွင် မောင်းနှင်အောင် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ထားသည်။ Refrigerant R-134a ကို working fluid အဖြစ် အသုံးပြု ထားသည်။ Stage တစ်ခုချင်းစီကို ideal vapor compression refrigeration cycle အဖြစ် ယူဆသည်။ Lower cycle မှ upper cycle အတွင်းသို့ အပူစွန့်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)ဖြစ်စဉ်သည် heat exchanger အတွင်း၌ adiabatic counter flow ဖြင့် ဖြစ်ပေါ်သည်။ Refrigerant stream နှစ်မျိုးလုံးသည် ဖိအား 0.32 MPa ဖြင့် heat exchanger

အတွင်းသို့ ဝင်ရောက် လာသည်။ Refrigerant စီးနှုန်း(mass flow rate) သည် 0.05 kg/s ဖြစ်လျှင် အောက်ပါတို့ကို ရှာပါ။

- (၁) Lower cycle တွင် ဖြစ်ပေါ်မည့် refrigerant mass flow rate ကို ရှာပါ။
- (၂) Refrigerated space မှ အပူဖယ်ထုတ်နှုန်း(rate of heat removal)နှင့် compressor ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု (power input)ကို ရှာပါ။
- (၃) COP ကိုရှာပါ။

- ယူဆချက်များ(assumption)
- (က) Steady operation
 - (ခ) $\Delta KE = \Delta PE = 0$
 - (ဂ) Adiabatic heat exchanger

ပုံ(၃-၃၃) တွင် cascade cycle ၏ T-s diagram ကို ဖော်ပြထားသည်။ Stage (၈) ဆင့်၏ enthalpy များကို refrigerant R-134a ဂုဏ်သတ္တိ(property)ဇယားမှ ဖတ်ယူနိုင်သည်။ (Tables A-11 ၊ A-12 နှင့် A-13)

(၁) Heat exchanger ၏ energy balance ညီမျှခြင်းမှ တစ်ဆင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

Lower cycle တွင် ဖြစ်ပေါ်မည့် refrigerant mass flow rate

$$\begin{aligned} \dot{m}_A h_5 + \dot{m}_B h_3 &= \dot{m}_A h_8 + \dot{m}_B h_2 \\ \dot{m}_A (h_5 - h_8) &= \dot{m}_B (h_2 - h_3) \\ 0.05 \text{ kg/s} (251.88 - 95.47) \text{ kJ/kg} &= \dot{m}_B (255.93 - 55.16) \text{ kJ/kg} \\ \dot{m}_B &= 0.093 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

(၂) Cascade cycle မှ စွန့်ထုတ်မည့် အပူပမာဏ(heat removal)ကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\begin{aligned} \dot{Q}_L &= \dot{m}_B (h_1 - h_4) = 0.0390 \text{ kg/s} (239.16 - 55.15) \text{ kJ/kg} = 7.18 \text{ kW} \\ \dot{W}_{in} &= \dot{W}_{comp1,in} + \dot{W}_{comp2,in} = \dot{m}_A (h_6 - h_5) + \dot{m}_B (h_2 - h_1) = 1.61 \text{ kW} \end{aligned}$$

(၃) Cycle ၏ COP

$$\begin{aligned} COP_R &= \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{net,in}} = \frac{7.18 \text{ kW}}{1.61 \text{ kW}} = 4.46 \\ \dot{m}_A (h_5 - h_8) &= \dot{m}_B (h_2 - h_3) \\ \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_B} &= \frac{(h_2 - h_3)}{(h_5 - h_8)} \\ COP_{R,cascade} &= \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{net}} = \frac{\dot{m}_B (h_1 - h_4)}{\dot{m}_A (h_6 - h_5) + \dot{m}_B (h_2 - h_1)} \end{aligned}$$

၃.၈.၁ Compound Systems

Cascade refrigeration cycle ကို compound system ဟူ၍လည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။ Cascade refrigeration cycle တစ်ခုတွင် နှစ်လုံး သို့မဟုတ် နှစ်လုံးထက် ပိုများသည့် compressor များကို အတန်းလိုက် ဆက်ထားသည်။ Compressor များကို intercooling နှင့် desuperheating မပြုလုပ်ဘဲ အတန်းလိုက်(in series) ဆက်ထားသည့်အခါ single compression အဖြစ် သတ်မှတ်နိုင်သည်။ Compound system အဖြစ် မသတ်မှတ်ပေ။ Compound system အဖြစ် သတ်မှတ်ရန် အတွက် intercooler ၊ economizer သို့မဟုတ် subcooler စသည့် ကိရိယာများ ပါဝင်ရန် လိုအပ်သည်။

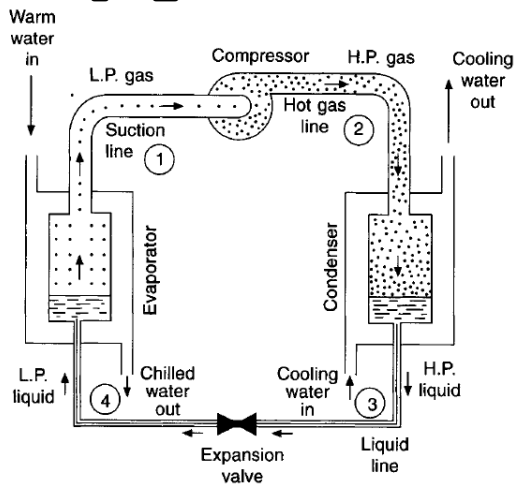
Compound system တစ်ခု၏ ရည်ရွယ်ချက်များမှာ

- (၁) Refrigeration effect ပိုများစေရန်
- (၂) Compressor အထွက် အပူချိန် (discharge temperature) နိမ့်ကျစေရန်
- (၃) Equipment အရွယ်အစား(size) သေးငယ်စေရန်
- (၄) System ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption) လျော့နည်းစေရန် နှင့်
- (၅) နှစ်စဉ်ကုန်ကျစရိတ်(annual operation expenses) လျော့နည်းစေရန် တို့ ဖြစ်သည်။

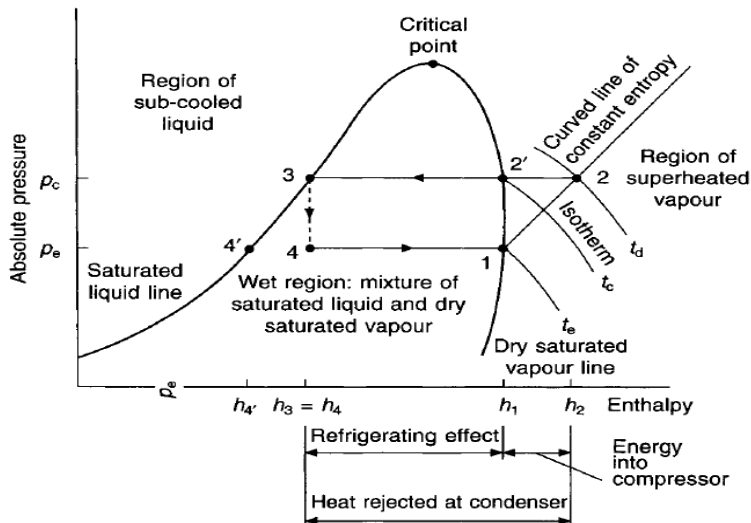
Compound system အများစုသည် 2-stage compression system များ ဖြစ်ကြသည်။ 2-stage system သည် single system နှစ်ခုကို intermediate flash intercooler သို့မဟုတ် liquid subcooling type intercooler ဖြင့် ဖွဲ့စည်းတည်ဆောက်ထားသည်။ 2-stage compression ၏ ကြားခံ ဖိအား(intermediate pressure) ကို အောက်ပါ ပုံသေနည်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

$$P_i = \sqrt{P_1 \times P_2}$$

Intermediate pressure (Pi) တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် saturated temperature သည် 2-stage compound system ၏ intermediate temperature ဖြစ်သည်။



ပုံ ၃-၃၄(က) Basic vapor compression cycle applied to a water chiller.



ပုံ ၃-၃၄(ခ) Simple saturation refrigeration cycle on a pressure-enthalpy diagram

၃.၉ လေ့ကျင့်ရန် ပုစ္ဆာများ

Refrigeration System Components

(၁) What are the major components of a vapor compression refrigeration system?

Compressors

(၂) What are the two main functions of a compressor in a refrigeration cycle?

(၃) What are the two main categories of refrigerant compressors?

(၄) What are the desirable characteristics of a compressor?

(၅) What criteria are considered in the selection of a proper refrigerant compressor?

(၆) What are the main characteristics of hermetic compressors?

(၇) What are the main applications of semi-hermetic compressors?

(၈) What is the difference between hermetic and semi-hermetic compressors?

(၉) What are the three types of positive displacement compressors?

(၁၀) What are the main parameters affecting the efficiencies of reciprocating compressors?

(၁၁) What are the general design configurations of rotary compressors?

(၁၂) Describe operating principle of rotary compressors.

(၁၃) What are the suitable applications of rotary compressors?

(၁၄) What are the basic advantages of vane compressors?

(၁၅) Is screw compressor a positive displacement compressor? What is the temperature range for screw compressors?

(၁၆) Describe the operating principle of a screw compressor?

(၁၇) What are the basic advantages of screw compressors?

(၁၈) What is the basic operating principle of dynamic compressors? What are the main types?

(၁၉) What are the suitable applications of centrifugal compressors in place of positive displacement compressors? What is the suitable load range for centrifugal compressors?

(၂၀) What is the basic operating principle of a centrifugal compressor?

(၂၁) How are compressors rated? Define compression ratio for a compressor.

(၂၂) What are the factors influencing the performance of a compressor?

(၂၃) Does lowering suction temperature decrease the power input to a refrigerant compressor? Explain.

(၂၄) It is known that the higher the compression ratio of a compressor the lower the efficiency. Explain how the higher compression ratios be avoided.

(၂၅) List the methods of compressor capacity control.

(၂၆) Refrigerant-134a enters the compressor of a refrigeration cycle at 120 kPa gauge pressure. The condenser is maintained at an absolute pressure of 800 kPa. If the atmospheric pressure is 95 kPa, determine the compression ratio of the compressor.

- (၂၇) Refrigerant-134a enters the compressor of a refrigeration cycle at 100 kPa and -20°C with a flow rate of $1.8\text{ m}^3/\text{min}$ and leaves at 700 kPa and 50°C . Determine
- the power input,
 - the isentropic efficiency, and
 - the exergy destruction and the exergy efficiency of the compressor. Take $T_0 = 25^{\circ}\text{C}$.
- (၂၈) Refrigerant-134a enters the compressor of a refrigeration cycle at 160 kPa as a saturated vapor with a flow rate of $6.5\text{ m}^3/\text{min}$ and leaves at 900 kPa. The compressor isentropic efficiency is 75%. Determine (a) the temperature of R-134a at the exit of the compressor and (b) the exergy destruction and the exergy efficiency of the compressor. Take $T_0 = 25^{\circ}\text{C}$.
- (၂၉) Refrigerant-134a enters the compressor of a refrigeration cycle at 100 kPa and -20°C with a flow rate of $0.18\text{ m}^3/\text{min}$ and leaves at 700 kPa and 50°C . The ratio of the clearance volume to the displacement volume is 0.05. Determine the volumetric efficiency of the compressor.
- (၃၀) Refrigerant-134a enters the compressor of a refrigeration cycle at 160 kPa as a saturated vapor and leaves at 900 kPa. The compressor volumetric efficiency is 85% and the ratio of the clearance volume to the displacement volume is 0.04. Determine the temperature of R-134a at the exit of the compressor.
- (၃၁) Refrigerant-134a enters the evaporator of a refrigeration cycle at 200 kPa with a vapor mass fraction of 0.15 and leaves at 1200 kPa as a saturated vapor with a flow rate of $0.045\text{ m}^3/\text{min}$. The volumetric efficiency of the compressor is 92%. Determine the refrigeration capacity of the system.

Condensers

- (၃၂) What criteria are used in the selection of condensers?
- (၃၃) What are the main types of condensers?
- (၃၄) What are the advantages and disadvantages of air-cooled condensers?
- (၃၅) Describe the operating principle of a cooling tower.
- (၃၆) What is the effect of climatic conditions on the effectiveness of evaporative condensers?
- (၃၇) Refrigerant-134a enters the condenser of a refrigeration cycle at 1000 kPa and 80°C with a flow rate of 0.038 kg/s and leaves at the same pressure subcooled by 4.4°C . The refrigerant is condensed by rejecting its heat to water, which experiences a temperature rise of 9°C . Determine
- the rate of heat rejected in the condenser,
 - the mass flow rate of water, and
 - the rate of cooling if the COP of this refrigeration cycle at these conditions is 1.4.
- (၃၈) Heat is rejected from the condenser of a heat pump cycle by refrigerant-134a entering at 700 kPa and 50°C at a rate of 105 kg/h and leaves as a saturated liquid. Determine (a) the temperature of R-134a at the condenser exit, (b) the volume flow rate at the exit of the condenser in L/min , (c) the COP of the heat pump if the rate of heat absorbed in the evaporator is $12,000\text{ Btu/h}$, and (d) the rate of exergy destruction. Take $T_0 = 77^{\circ}\text{F}$.

- (၃၉) A vapor compression refrigeration cycle uses ammonia as the working fluid. Heat is rejected from ammonia to air in the condenser. The air enters at 70°F at a rate of 45 lbm/min and leaves at 85°F. Ammonia experiences an enthalpy change of 86 Btu/lbm as it flows through the condenser. Determine
- the rate of heat rejected in the condenser in Btu/h and
 - the ratio of mass flow rates of air and ammonia. Take the specific heat of air to be 0.240 Btu/lbm °F.

Evaporators

- (၄၀) How can evaporators be classified?
- (၄၁) List some applications of liquid coolers in refrigeration.
- (၄၂) What is the difference between the operation of a flooded evaporator and a direct expansion evaporator (also called dry cooler)? Which one is more preferable?
- (၄၃) Heat is absorbed from a cooled space at a rate of 320 kJ/min by refrigerant-22 that enters the evaporator at $-10\text{ }^\circ\text{C}$ with a quality of 0.3 and leaves as saturated vapor at the same pressure. Determine the volume flow rates of R-22 at the compressor inlet and outlet. The properties of R-22 at the inlet and exit of the evaporator are as follows: $h_1 = 252.16\text{ kJ/kg}$, $v_1 = 0.02010\text{ m}^3/\text{kg}$, $h_2 = 401.10\text{ kJ/kg}$, $v_2 = 0.06523\text{ m}^3/\text{kg}$
- (၄၄) Refrigerant-134a enters the expansion valve of a refrigeration cycle at 900 kPa as a saturated liquid with a flow rate of 150 L/h. R-134a leaves the evaporator at 100 kPa superheated by 6.4°C. The refrigerant is evaporated by absorbing heat from air which is cooled from 15 to 2°C. Determine
- the rate of heat absorbed in the evaporator,
 - the mass flow rate of air,
 - the COP of the cycle if the compressor work input is 72.5 kJ/kg, and
 - the rate of entropy generation and exergy destruction in the evaporator. Take $T_0 = 25^\circ\text{C}$.
- (၄၅) A heat pump operates on a vapor compression refrigeration cycle with R-134a as the refrigerant. R-134a enters the evaporator at -12.7°C with a vapor mass fraction of 27% and leaves at the same pressure as a saturated vapor. The refrigerant is evaporated by absorbing heat from ambient air at 0 °C. Determine
- the amount of heat absorbed from the ambient air and
 - the exergy destruction in the evaporator, both per unit mass flow rate of the refrigerant.

Throttling Devices

- (၄၆) List the most common throttling devices.
- (၄၇) Can thermostatic expansion valves control the rate of liquid-refrigerant flow to the evaporator? If so, how is this done?
- (၄၈) If there is no temperature drop across a thermostatic expansion valve, what could be the reason? Explain.

- (၄၉) Explain characteristics of capillary tubes.
- (၅၀) Refrigerant-134a enters the throttling valve of a heat pump system at 200 psia as a saturated liquid and leaves at 20 psia. Determine
- the temperature drop across the throttling valve and
 - the entropy generation and the exergy destruction during this process. Take $T_0 = 77^\circ\text{F}$.
- (၅၁) Refrigerant-502 (a blend of R-115 and R-22) enters the throttling valve of a heat pump system at 45°C as a saturated liquid and leaves at -22°C as a mixture of saturated liquid and vapor. Determine
- the pressures at the inlet and exit of the valve and the vapor mass fraction at the exit and
 - the entropy generation during this process. R-502 properties are not available in the book. Use other sources to solve this problem.

Auxiliary Devices

- (၅၂) List auxiliary devices used in refrigeration systems.
- (၅၃) What is the purpose of using an accumulator?
- (၅၄) What is the purpose of using a receiver?
- (၅၅) What is the purpose of using an oil separator?
- (၅၆) What is the purpose of using a strainer? What types are available?
- (၅၇) What is the purpose of using a drier? Which factors influence the selection of the correct size of a drier?
- (၅၈) What is the purpose of using a check valve?
- (၅၉) Describe the operation of a defrost controller with timer.

Problem: A steady-flow Carnot refrigeration cycle uses refrigerant- 134a as the working fluid. The refrigerant changes from saturated vapor to saturated liquid at 30°C in the condenser as it rejects heat. The evaporator pressure is 160 kPa. Show the cycle on a T-s diagram relative to saturation lines, and determine

- the coefficient of performance,
- the amount of heat absorbed from the refrigerated space, and
- the net work input.

Answers: (a) 5.64, (b) 147 kJ/kg, (c) 26.1 kJ/kg

Problem: A refrigerator uses refrigerant-134a as the working fluid and operates on an ideal vapor compression refrigeration cycle between 0.12 and 0.7 MPa. The mass flow rate of the refrigerant is 0.05 kg/s. Show the cycle on a T-s diagram with respect to saturation lines.

Determine

- the rate of heat removal from the refrigerated space and the power input to the compressor,
- the rate of heat rejection to the environment, and

(c) the coefficient of performance.

Answers: (a) 7.41 kW, 1.83 kW, (b) 9.23 kW, (c) 4.06

Problem: 11–18 Refrigerant-134a enters the compressor of a refrigerator as superheated vapor at 0.14 MPa and -10°C at a rate of 0.12 kg/s, and it leaves at 0.7 MPa and 50°C. The refrigerant is cooled in the condenser to 24°C and 0.65 MPa, and it is throttled to 0.15 MPa. Disregarding any heat transfer and pressure drops in the connecting lines between the components, show the cycle on a T-s diagram with respect to saturation lines, and determine

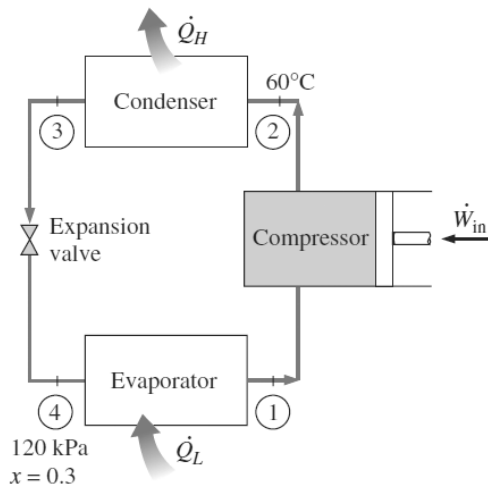
- (a) the rate of heat removal from the refrigerated space and the power input to the compressor,
- (b) the isentropic efficiency of the compressor, and
- (c) the COP of the refrigerator.

Answers: (a) 19.4 kW, 5.06 kW, (b) 82.5 percent, (c) 3.83

Problem: 11–22 A refrigerator uses refrigerant-134a as the working fluid and operates on the ideal vapor compression refrigeration cycle. The refrigerant enters the evaporator at 120 kPa with a quality of 30 percent and leaves the compressor at 60°C. If the compressor consumes 450 W of power, determine

- (a) the mass flow rate of the refrigerant, (b) the condenser pressure, and (c) the COP of the refrigerator.

Answers: (a) 0.00727 kg/s, (b) 672 kPa, (c) 2.43



၃.၁၀ Problems

(၁) R-12 ကို အသုံးပြုထားသော theoretical cycle တစ်ခုတွင် condensing temperature သည် 85°F ဖြစ်ပြီး evaporating temperature သည် 25°F ဖြစ်သည်။ ထို cycle အတွက်

- (၁) Compressor work done (Btu/lb)
- (၂) Refrigeration effect (Btu/lb)
- (၃) Heat rejected in condenser (Btu/lb)
- (၄) C.O.P နှင့်
- (၅) Quality of refrigerant after expansion တို့ကိုရှာပါ။

(၂) R-12 အသုံးပြုသော ရေခဲစက်တစ်လုံး၌ compressor တစ်လုံးတွင် ဆလင်ဒါ(၄)လုံး တပ်ဆင်ထားသည်။ ဆလင်ဒါ တစ်လုံး၏ bore သည် 3 inches ဖြစ်ပြီး stroke သည် 4 inches ဖြစ်သည်။ R.P.M 600 rpm ဖြင့် မောင်းလျှင် condensing pressure သည် 108 psi နှင့် evaporating pressure သည် 25 psi ဖြစ်လိမ့် မည်ဟု ယူဆက theoretical cycle ၏ အောက်ပါတန်ဖိုးများကို ရှာပါ။ [IP ယူနစ်]

- (၁) Refrigeration capacity (RT)
- (၂) Theoretical horse power(HP) required

- (၃) Theoretical cycle မဟုတ်ဘဲ ဖိသိပ်ရာတွင် $p v^{1.2} = C$ ဖြစ်ခဲ့လျှင် လိုအပ်မည့် မြင်းကောင်ရေနှင့် compressor မှ စွန့်ထုတ်မည့် အပူပမာဏတို့ကို ရှာပါ။
- (၃) R-12 အသုံးပြုသော ရေခဲစက်တစ်လုံးကို 25 ton of refrigeration ထုတ်လုပ်နိုင်အောင် ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသည်။ Condenser pressure သည် 135 PSI ဖြစ်ပြီး evaporator pressure သည် 30 PSI ဖြစ်သည်။ Standard cycle ဟု ယူဆလျက် အောက်ပါ တန်ဖိုးများကို ရှာပါ။ [IP ယူနစ်]
 - (၁) Mass flow rate of refrigerant (lb/min)
 - (၂) Piston displacement of compressor (ft³/Min)
 - (၃) Horse power required of compressor တို့ကိုရှာပါ။
- (၄) Freon အသုံးပြုသော standard cycle သည် condensing temperature 90°F နှင့် evaporating temperature 0°F ကြားတွင် အလုပ်လုပ်နေသည်။ Refrigerant 1lb အတွက်
 - (၁) ရရှိမည့် refrigeration effect
 - (၂) Refrigeration effect 1 RT ရရှိရန်အတွက် လိုအပ်မည့် lb/min
 - (၃) Compressor အတွင်း ဝင်ရောက်မည့် ထုထည်စီးနှုန်း (volume flow rate)
 - (၄) လိုအပ်မည့် H.P
 - (၅) C.O.P နှင့်
 - (၆) Condenser အတွင်း စွန့်ထုတ်မည့် အပူပမာဏ (amount of heat rejection)တို့ကို ရှာပါ။
- (၅) 3 tons of refrigeration ထုတ်လုပ်ပေးနေသော ရေခဲစက်တစ်လုံးသည် 350 rpm ဖြင့် လည်ပတ်နေသည်။ Condenser temperature 100°F နှင့် evaporator temperature 10°F ရှိနေရန် လိုအပ်သည်။ အသုံးပြုမည့် compressor အရွယ်အစားမှာ stroke = 1.5 bore ဖြစ်သည်။ Standard cycle ဟု ယူဆ၍ အောက်ပါ ဓာတ်ငွေ့များ အသုံးပြုလျှင် လိုအပ်မည့် compressor အတိုင်းအတာများကို ရှာပါ။ [IP ယူနစ်]
 - (A) R - 12, (B) R - 22, (C) R - 717
- (၆) R - 12 အသုံးပြုနေသော vapor compression cycle တစ်ခုတွင် evaporator temperature သည် 25°C ဖြစ်ပြီး condenser temperature သည် 85°C ဖြစ်သည်။
 - (၁) Compressor အထွက်ရှိဓာတ်ငွေ့၏ အပူချိန်(discharge temperature)
 - (၂) Compressor work done(Btu/lb)
 - (၃) Heat rejected in condenser (Btu/lb)
 - (၄) Evaporator အဝင်ရှိ refrigerant quality
 - (၅) C.O.P တို့ကို ရှာပါ။ (Cp = 1473 Btu/lb °R ဖြစ်သည်။)
- (၇) အမိုးနီးယားဓာတ်ငွေ့သုံး ရေခဲစက်တစ်လုံးတွင် displacement capacity 10.9ft³/min ရှိသော compressor ကို အသုံးပြုသည်။ Condensing temperature သည် 85°F ဖြစ်ပြီး evaporating temperature သည် 10°F ဖြစ်သည်။ Compressor အထွက် enthalpy သည် 655 Btu/lb ဖြစ်ပြီး standard cycle ဟု ယူဆလျက် အောက်ပါတို့ကို ရှာပါ။ (Take Cp= 0.7 Btu/lb°F)
 - (၁) Compressor အထွက် ဓာတ်ငွေ့၏ အပူချိန်
 - (၂) Quality of refrigerant after expansion
 - (၃) Refrigerant mass flow rate (lb/min)
 - (၄) H.P required for the compressor
 - (၅) Water cooled condenser ကို အသုံးပြုထားပြီး ရေအဝင်အထွက် အပူချိန်ခြားနားခြင်း 10°F သာ ထားရှိ လိုသော် လိုအပ်မည့် ရေထုထည်စီးနှုန်း(gal/min) တို့ကိုရှာပါ။
- (၈) Ammonia vapor compression cycle တစ်ခုသည် 50psia နှင့် 160 psia ကြားတွင် အလုပ်လုပ်နေသည်။

Compressor အထွက် အပူချိန်သည် 85°F ဖြစ်ပြီး စုစုပေါင်း(total) enthalpy သည် 675.8 Btu/lb ဖြစ်သည်။ Condenser အထွက်အပူချိန် သည် 60°F ဖြစ်ပြီး enthalpy သည် 109.2 Btu/lb ဖြစ်သည်။ Condenser မှ 450 Btu/min နှုန်းဖြင့် အပူစွန့်ထုတ်နေလျှင် အောက်ပါတို့၏ တန်ဖိုးများကို ရှာပါ။

- (၁) Mass flow rate of refrigerant (lb/min)
- (၂) H.P required of compressor
- (၃) Tons of refrigeration
- (၄) C.O.P

(၉) Freon 12 အသုံးပြုနေသော ရေခဲစက်(ice plant)တစ်ခုတွင် evaporating temperature သည် - 30°F ဖြစ်ပြီး condensing temperature သည် 80°F ဖြစ်သည်။ Refrigerant စီးနှုန်း(mass flow rate) သည် 5 lb/min ဖြစ်ခဲ့လျှင်

- (၁) Refrigeration effect (Btu/min)
- (၂) Cooling capacity(ton) တို့ကို ရှာပါ။

(၁၀) Ammonia ဓာတ်ငွေ့သုံး ရေခဲစက်တစ်ခု၏ capacity သည် 18 tons ဖြစ်၍ condenser temperature သည် 120°F ဖြစ်ပြီး evaporator temperature သည် 40°F ကြားတွင် အလုပ်လုပ်နေသည်။ Standard cycle ဟု ယူဆ၍ (က) mass flow rate (lb/min) ၊ (ခ) volume flow rate (ft³/min) တို့ကို ရှာပါ။

(၁၁) Refrigeration system တစ်ခုတွင် R-12 ကို သုံးထားပြီး၊ evaporator temperature သည် 40°F ဖြစ်ပြီး condenser temperature သည် 120°F ဖြစ်သည်။ (က) cooling capacity (Btu/Ib) ၊ (ခ) mass flow rate (lb/ min/ton) ၊ (ဂ) C.O.P တို့ကို ရှာပါ။

(၁၂) ရေခဲစက် (vapor compression refrigeration ice plant) တစ်ခုသည် အမိုးနီးယားဓာတ်ငွေ့ကို အသုံးပြု ထားပြီး 150 psia နှင့် 50 psia ကြားတွင် အလုပ်လုပ်နေသည်။ Mass flow rate 3 lb/min နှုန်းဖြင့် လည်ပတ်နေပြီး compressor အထွက် enthalpy သည် 652.8 Btu/lb ရှိပြီး၊ condenser ထဲတွင် 70°F သို့ subcooled လုပ်ခဲ့သည်။ Cp for vapor = 0.7 နှင့် Cp for liquid = 7.15 Btu/lb °R ဟု ယူဆလျက် (က) cooling capacity (ton) ၊ (ခ) C.O.P တို့ကိုရှာပါ။

(၁၃) ရေခဲစက်တစ်ခုတွင် single acting compressor ကို အသုံးပြု၍ swept volume သည် 9.9 ft³/min ဖြစ်သည်။ Suction pressure သည် 34.3 psia ဖြစ်သည်။ Discharge pressure သည် 169.2 psia ဖြစ်သည်။ Condenser အထွက် အပူချိန်သည် 68°F ဖြစ်ပြီး အဝင်အပူချိန်သည် 140°F ဖြစ်သည်။ အမိုးနီးယားဖြစ်သည်။ Condenser မှ အပူစွန့်ထုတ်မှု 483 Btu/min နှင့် evaporator မှ အပူစုပ်ယူနှုန်း 356 Btu/min ရှိသည်။ Cp for vapor = 0.7 Btu/ lb °F ယူဆလျက် (က) C.O.P (ခ) mass flow rate (ဂ) cooling capacity in ton (ဃ) evaporator အဝင်နှင့်အထွက် အခြေအနေများကို ရှာပါ။

(၁၄) Single acting single cylinder အသုံးပြုနေသော ရေခဲစက်တစ်ခုတွင် Bore = 3.75 inch နှင့် stroke = 4 inch နှင့် 400 rpm ဖြင့် လည်ပတ်နေသည်။ ဓာတ်ငွေ့မှာ အမိုးနီးယားဖြစ်ပြီး၊ 160 psia နှင့် 50 psia ကြားတွင် အလုပ်လုပ်နေသည်။ Condenser အဝင်အပူချိန်သည် 150°F ဖြစ်ပြီး အထွက်အပူချိန်သည် 70°F ဖြစ်သည်။ Condenser cooling water သည် 56°F ဖြင့် ဝင်ရောက်ပြီး 70.5°F တွင် ပြန်ထွက်သွားသည်။ ရေလှည့်ပတ်နှုန်းမှာ 1.42 Gal/min ရှိသည်။ Evaporator မှ 60°F ရှိသော ရေသန့်အဖြစ် 62 lb/hr နှုန်းထုတ်ပေးနေသည်။ Cp for liquid = 1.15 နှင့် Cp for vapor = 0.62 Btu/lb°F ဟု ယူဆ၍ (က) ton of refrigeration ၊ (ခ) C.O.P ၊ (ဂ) mass flow rate lb/min ၊ (ဃ) evaporator အဝင်နှင့်အထွက် ဓာတ်ငွေ့အခြေအနေများ ကို ရှာပါ။

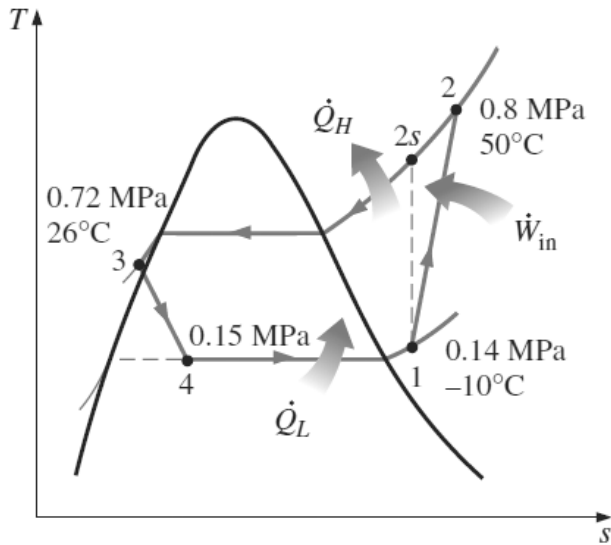
(၁၅) Food freezing system တစ်ခုတွင် 20 ton of refrigeration အသုံးပြုနေပြီး၊ evaporator temperature

သည် 40°F ဖြစ်ပြီး condenser temperature သည် 72°F ရှိကာ R-22 ကို အသုံးပြုနေသည်။ Condenser မှ အထွက်တွင် 7°F sub cooled ဖြစ်ပြီး၊ evaporator အထွက်တွင် 6°F superheating ဖြစ်သည်။ Compression ပြုလုပ်စဉ် adiabatic process ဖြစ်ပြီး၊ cylinder အရေအတွက်(၆)ခု ပါဝင်ကာ Bore = Stroke ဖြစ်သည်။

RPM 1500 ဖြင့် လည်ပတ်နေလျှင်

- (၁) Refrigeration effect,
- (၂) Mass flow rate,
- (၃) Volume flow rate
- (၄) H P required
- (၅) Heat rejected in condenser,
- (၆) Bore and stroke of compressor တို့ကိုရှာပါ။

(၁၆) Refrigerator တစ်ခု၏ compressor အတွင်းသို့ R-134a သည် ဖိအား 140 kPa နှင့် အပူချိန် -10°C ဖြင့် ဝင်ရောက်လာသည်။ Refrigerant R-134a စီးနှုန်းသည် 0.2 m³/min ဖြစ်ပြီး compressor မှ ဖိအား 1 MPa ဖြင့် ထွက်သွားသည်။ Compressor ၏ isentropic efficiency သည် 78 percent ဖြစ်သည်။ Throttling valve အတွင်းသို့ ဖိအား 0.95 MPa နှင့် အပူချိန် 30°C ဝင်ရောက်ပြီး၊ evaporator အတွင်းမှ saturated vapor -18.5°C ဖြင့် ထွက်ခွာသွားသည်။



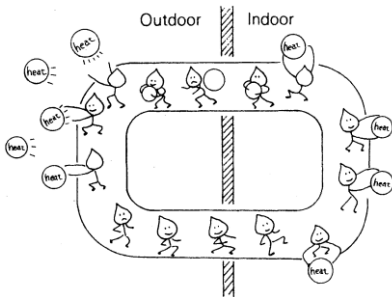
T-s diagram

အထက်ပါပုံတွင် refrigeration cycle ကို T-s diagram ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ အောက်ပါတို့ကို ရှာပါ။

- (၁) Compressor သို့ ထည့်ပေးရမည့် စွမ်းအား(power input)
- (၂) Refrigerated space မှ အပူစွန့်ထုတ်နှုန်း(rate of heat removal) နှင့်
- (၃) Evaporator နှင့် compressor အကြားတွင် ဖြစ်ပေါ်သော pressure drop နှင့် rate of heat gain ကို ရှာပါ။

- End -

Chapter-4 Refrigerants



Refrigerant သည် vapor compression cycle များတွင် အသုံးပြုသည့် substance တစ်မျိုးဖြစ်သည်။ Refrigerant များကို အပူ သယ်ဆောင်သူများ(heat carrier) ဟု၍လည်း ခေါ်ဆိုနိုင်သည်။

Chiller များနှင့် refrigeration machine များတွင် မရှိမဖြစ် လိုအပ်သည့် substance တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ အရည်အဖြစ် သော် လည်းကောင်း၊ အငွေ့အဖြစ် သော်လည်းကောင်း ရှိနေနိုင်သည်။

လူ၏ခန္ဓာကိုယ်အတွင်း၌ သွေးများလည်ပတ်နေသကဲ့သို့ chiller သို့မဟုတ် refrigeration machine များ အတွင်း၌လည်း refrigerant က သွေးများကဲ့သို့ လည်ပတ်နေသည်။ လူ့နှလုံး(heart)သည် သွေးများကို လည် ပတ်အောင် တွန်းပေး(pump) နေသကဲ့သို့ chiller တစ်လုံးအတွင်းရှိ compressor က refrigerant များ လည်ပတ် နေအောင် တွန်းပေး(pump) နေသည်။

လူ့ခန္ဓာအတွက် သွေးအမျိုးအစားများ ကွဲပြားသကဲ့သို့ chiller တစ်လုံးအတွက်လည်း refrigerant အမျိုးအစား များစွာ ကွဲပြားနိုင်သည်။ အသုံးများသော refrigerant များမှာ R11၊ R12၊ R22၊ R123၊ R134a စသည်တို့ ဖြစ်သည်။ အမည်များစွာ ကွဲပြားသကဲ့သို့ refrigerant တစ်မျိုးချင်းကို လိုက်၍ ဓာတုဂုဏ်သတ္တိများ(chemical properties)၊ အပူဆိုင်ရာဂုဏ်သတ္တိများ(thermal properties)နှင့် သဘာဝပတ်ဝန်းကျင်အပေါ် အကျိုး သက်ရောက်မှု များ(environmental effects) စသည့်တို့ ကွဲပြားကြသည်။

Refrigerant ၏ အဓိပ္ပာယ်ဖွင့်ဆိုချက်(definition) အရ refrigeration system များတွင် အပူ ကူးပြောင်းမှု(heat transfer) ဖြစ်ပေါ်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည့် fluid ကို refrigerant ဟု သတ်မှတ်သည်။

Refrigerant သမိုင်း

- (၁) ၁၉၂၆ ခုနှစ် မတိုင်ခင်အချိန်က industrial process များတွင် Ether ၊ CO₂ ၊ NH₃ စသည့် refrigerant များကို စတင် အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။
- (၂) ၁၉၂၆ ခုနှစ် တွင် ပထမဆုံး CFC (R12) ကို Freon အမည်ဖြင့် တီထွင်ခဲ့ပြီး Du Pont ကုမ္ပဏီမှ ၁၉၃၀ ခုနှစ်တွင် စီးပွားဖြစ် ထုတ်လုပ် ရောင်းချခဲ့သည်။

- (၃) ၁၉၈၀ခုနှစ်တွင် CFC နှင့် HCFC များ ထုတ်လုပ်ခြင်း ရပ်ဆိုင်းခဲ့ပြီး HFC ဖြင့် အစားထိုး အသုံးပြုရန် ကြိုးစား ခဲ့ကြသည်။
- (၄) ၁၉၉၀ ခုနှစ်တွင် green house effect ကပ်ဘေးဆိုးကို ရှောင်လွှဲရန်အတွက် refrigerant အသစ်များကို ကြိုးစား ရှာဖွေလာ ခဲ့ကြသည်။
- (၅) Azeotrope refrigerant: R5XX. Blends behaving like pure Ref (၂)မျိုး သို့မဟုတ် (၃)မျိုး စုပေါင်း ထားသည့် ဓာတ်ငွေ့ဖြစ်သည်။ Substances. No glide.
- (၆) Zeotrope refrigerant များ(R4XX)ကို စတင် အသုံးပြုကြသည်။

၄.၁ Refrigerant အမျိုးအစားများ

၄.၁.၁ ယနေ့တွင် အသုံးပြုနေသည့် Refrigerant အမျိုးအစားများ

- (၁) ဟေလွန် ကာဗွန်စစ်စစ် (Halon carbon)
- (၂) Blend များ
 - (က) Azeotropes
 - (ခ) Zeotropes
- (၃) Hydrocarbons ပါဝင်သည့် organic compound များ
- (၄) Ammonia ၊ CO₂ စသည့် inorganic compound များ သို့မဟုတ် natural refrigerant များ

၄.၁.၂ Halocarbon

Halogenated သို့မဟုတ် halocarbons ဆိုသည်မှာ hydrocarbons ကိုဆိုလိုသည်။ Halocarbons refrigerant များသည် အရောင်မရှိခြင်း(colourless) ၊ မီးမလောင်နိုင်ခြင်း(non-inflammable) ၊ သတ္တုအများစုနှင့် ဓာတ်မပြုခြင်း (non-corrosive to most metals) နှင့် အဆိပ်မသင့်ခြင်း(non-toxic) တို့ ဖြစ်ကြသည်။ Primary refrigerant များ အဖြစ် အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။

Refrigerant အဖြစ်အသုံးပြုသောကြောင့် "R" ဟု သတ်မှတ် ပြောဆိုကြခြင်း ဖြစ်သည်။ Refrigerant အားလုံး ကို ဓာတုဖွဲ့စည်းမှုအရ အစု(group) လေးစု ခွဲခြားထားသည်။

(၁) CFC အုပ်စု(R11 သည် CFC refrigerant တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။)

CFC သည် chlorofluorocarbon ဖြစ်ပြီး ကာဗွန်(Carbon) ၊ ကလိုရင်း(Chlorine) နှင့် ဖလိုရင်း(Fluorine) တို့ပေါင်းစပ်ထားသည့် ခြပ်ပေါင်း(organic compound) ဖြစ်သည်။ မီသိန်း(methane) နှင့် အီသိန်း(ethane) ဓာတ်ငွေ့အမျိုးအစား တို့နှင့် အနီးစပ်ဆုံး တူညီကြသည်။

(၂) HCFC အုပ်စု(R22 သည် HCFC refrigerant တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။)

HCFC သည် hydrochlorofluorocarbons ဖြစ်ပြီး ကာဗွန်(Carbon)၊ ကလိုရင်း(Chlorine)၊ ဖလိုရင်း (Fluorine) နှင့် ဟိုက်ထရိုဂျင်(Hydrogen) တို့ ပေါင်းစပ်ထားသည့် ခြပ်ပေါင်း(organic compound) ဖြစ်သည်။ ကလိုရင်း(Chlorine) ဓာတ်ငွေ့သည် အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်သည်။ Du Pont ကုမ္ပဏီမှ Freon နာမည် ဖြင့် R22 ကိုထုတ်လုပ်သည်။ Freon 22 သည် Du Pont နှင့်သာသက်ဆိုင်သည့် ကိုယ်ပိုင်နာမည် ဖြစ်သည်။ အများနှင့် သက်ဆိုင်သည့်နာမည်(common name) မဟုတ်ပါ။

(၃) HFC အုပ်စု(R134a သည် HFC refrigerant ဖြစ်သည်။)

HFC သည် hydrofluorocarbons ဖြစ်ပြီးကာဗွန်(Carbon)၊ ဖလိုရင်း(Fluorine) နှင့် ဟိုက်ဒရိုဂျင်(Hydrogen) သုံးမျိုး ပေါင်းစပ်ထားသည့် ခြပ်ပေါင်း(organic compound) ဖြစ်သည်။ HFC တွင် ကလိုရင်း(chlorine) မပါသောကြောင့် HFC သည် အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့ မဟုတ်ပေ။

(၄) HC အုပ်စု

HC သည် hydrocarbon ဖြစ်ပြီး ကာဗွန်(Carbon) နှင့် ဟိုက်ဒရိုဂျင်(Hydrogen) တို့ ပါဝင်သည့် ခြပ်ပေါင်း (organic compound) ဖြစ်သည်။

၄.၁.၃ Azeotropic Refrigerants

Azeotropic refrigerant များသည် blend များ ဖြစ်ကြသည်။ Pure substance များကဲ့သို့ လုပ်ဆောင် နိုင်သည့် ဂုဏ်သတ္တိများ ရှိသည်။

500 series refrigerant များသည် Azeotropic mixture များ ဖြစ်ကြသည်။

R507 သည် R125(50%) နှင့် R143a(50%) တို့ ပေါင်းစပ်ထားသည့် Azeotropic mixture များ ဖြစ်သည်။

R502 သည် R115 (48.8%) နှင့် R22(51.2%) တို့ ပေါင်းစပ်ထားသည့် Azeotropic mixture များ ဖြစ်သည်။

HFC refrigerant အများစုသည် ဓာတ်ငွေ့ နှစ်မျိုး သို့မဟုတ် နှစ်မျိုးထက်ပိုများသော ဓာတ်ငွေ့များကို ပေါင်းစပ်ထားသည့် mixture သို့မဟုတ် blend များဖြစ်ကြသည်။ Mixture များသည် azeotrope များ ၊ near azeotrope များ သို့မဟုတ် zeotrope များ ဖြစ်ကြသည်။ Mixture ဆိုသည်မှာ ရေ နှင့် ငံပြာရည် ပေါင်းသကဲ့သို့ ရောနှောပြီး တစ်သားတည်း ဖြစ်သွားခြင်းမျိုး ဖြစ်သည်။ Blend များသည် တစ်သားတည်း ရောနှောသွားခြင်းမျိုး မဟုတ်ဘဲ အတူတကွ ရှိနေခြင်းမျိုး ဖြစ်သည်။ ဥပမာ- ရေ နှင့် ဆီ တို့ ပုလင်းတစ်ခု အတွင်း၌ အတူရှိနေခြင်းမျိုး ဖြစ်သည်။

Azeotropes များသည် တစ်သားတည်းဖြစ်အောင် ရောနှောနေသောကြောင့် substance တစ်ခု အနေဖြင့် သတ်မှတ်သည်။ ဆူမှတ်(boiling point) တစ်ခုသာရှိသည်။ ပထမဦးဆုံး Azeotropes သည် R502 ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် phase change ဖြစ်သည့် evaporating temperature နှင့် condensing temperature တို့လည်း ပြောင်းလဲနေသည်။

Blend များတွင် ပါဝင်နေသော ဓာတ်ငွေ့များအချင်းချင်း တစ်သားတည်း မရောနှောသောကြောင့် ယိုစိမ့် (leak)သည့်အခါ မည်သည့် ဓာတ်ငွေ့က ရာခိုင်နှုန်း(%)မည်မျှ ယိုစိမ့်သွားသည်ကို မသိနိုင်သောကြောင့် ရှိသမျှ blend refrigerant အားလုံးကို ထုတ်ပစ်ကာ refrigerant အသစ် ပြန်ထည့်ယူ ရသည်။

Refrigerant ကို equipment အတွင်းသို့ ထည့်သည့်အခါ အရည်အခြေအနေ(liquid phase) တွင်သာ ထည့်သွင်းရသည်။ အငွေ့အခြေအနေ(liquid phase)တွင် equipment အတွင်းသို့ ထည့်သွင်းပါက ဓာတ်ငွေ့ တစ်ခုချင်းစီ၏ ပါဝင်နှုန်း မမှန်ကန်တော့ပေ။ Blend အမျိုးအစား refrigerant တွင် ပါဝင်သည့် ဓာတ်ငွေ့ များ တစ်ခုနှင့် တစ်ခု၏ temperature glide သည် 5 K ထက် ကျော်လျှင် flooded type evaporator များတွင် အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။

တချို့သော mixture များ၏ glide သည် 2K ထက် နည်းသည်။ ထိုကဲ့သို့ mixture မျိုးကို "near azeotrope" ဟုခေါ်သည်။ လက်တွေ့ လုပ်ငန်းခွင်များတွင် substance တစ်ခုတည်းအဖြစ် သဘောထားကာ အသုံးပြုကြသည်။ R404A နှင့် R410A တို့သည် near azeotrope များဖြစ်ကြသည်။ အိုဇုန်းလွှာ ပျက်စီးစေမှု မရှိသလောက် နည်းခြင်း(virtually zero ODP) နှင့် ပူနွေးစေမှု မဖြစ်ပေါ်စေသော(zero GWP) refrigerant ကို "Natural refrigerant" ဟု ခေါ်ဆိုကြသည်။

၄.၁.၄ Zeotropic Refrigerants

Zeotropic mixture များသည် ဓာတ်ငွေ့ နှစ်မျိုး သို့မဟုတ် သုံးမျိုးကို အချိုးအစား တိကျစွာ ရောနှော ပေါင်းစပ်ထားသော အရော(mixture)များ ဖြစ်သည်။ Zeotrope များသည် halocarbon များကို ရောနှောထားသည့် အရော(mixture of halocarbons) များ ဖြစ်ကြသည်။

ဥပမာ- R407C သည် R32(23%) ၊ R125(25%) နှင့် R134a(52%) တို့ ရောနှောထားသည့် အရော(mixture) ဖြစ်သည်။

400 series refrigerant များသည် Zeotropic mixture များ ဖြစ်ကြသည်။

R407 A သည် R32(20%) R125(40%) နှင့် R134a(40%) တို့ ပေါင်းစပ်ထားသည့် Zeotropic Mixture များ ဖြစ်ကြသည်။

၄.၁.၅ Organic compound

600 series refrigerant များသည် organic compound များ ဖြစ်ကြသည်။

R600a သည် isobutane ဖြစ်ပြီး organic compound တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။

၄.၁.၆ Inorganic mixture

700 series refrigerant များသည် inorganic mixture များ ဖြစ်ကြသည်။

R717 သည် ammonia (inorganic compound) ဖြစ်ပြီး မော်လီကျူးလား mass သည် 17 ဖြစ်သည်။

၄.၂ Refrigerant Color Codes

Chiller များ သို့မဟုတ် refrigeration machine များအတွင်းသို့ refrigerant များ လွှဲမှားစွာ ထည့်သွင်း မိခြင်း ကို ကာကွယ်ရန်အတွက် refrigerant များ ထည့်ထားသည့် cylinder များကို အရောင်များဖြင့် ခွဲခြားထားသည်။

၄.၂.၁ CFCs ဓာတ်ငွေ့များ

Table 4-1 HCFCs ဓာတ်ငွေ့များ ထည့်ထားသည့် ဆလင်ဒါများ၏ အရောင်များ

Refrigerant နံပါတ်	ဆလင်ဒါ အရောင်	ဓာတုဗေဒအမည်	အသုံးပြုသည့်နေရာများ
R-11	Orange	Trichloromonofluoromethane	Centrifugal chillers
R-12	White	Dichlorodifluoromethane	Reciprocating and rotary equipments
R-13	Light Blue	Monochlorotrifluoromethane	Used in low stage of cascade systems
R-13B1	Coral	Bromotrifluoromethane	Low to Medium temperature applications
R-113	Purple	Trichlorotrifluoroethane	Low capacity centrifugal chillers
R-114	Dark Blue	Dichlorotetrafluoroethane	High capacity chillers
R-500	Yellow	Refrigerant 152A/12	Industrial and commercial Reciprocating compressors
R-502	Light Purple	Refrigerant 22/115	Reciprocating and rotary equipments
R-503	Aquamarine	Refrigerant 23/13	Low temperature commercial refrigeration

၄.၂.၂ HCFCs ဓာတ်ငွေ့များ

Table 4-2 HCFCs ဓာတ်ငွေ့များ ထည့်ထားသည့် ဆလင်ဒါများ၏ အရောင်များ

Refrigerant နံပါတ်	Cylinder ၏ အရောင်	ဓာတုဗေဒအမည်	အသုံးပြုသည့်နေရာများ
R-22	Light Green	Monochlorodifluoromethane	Residential commercial and industrial
R-123	Light Gray	Dichlorotrifluoroethane	R-11 replacement for centrifugal chillers
R-124	Deep Green	Chlorotetrafluoroethane	Medium pressure chillers
R-401A	Coral Red	R-22 + R-152a + R-124	Medium temperature systems
R-401B	Mustard Yellow	R-22 + R-152a + R-124	Transport refrigeration; domestic refrigerators
R-402A	Light Brown	R-22 + R-125 + R-290	Ice machine; vending; supermarket and food service
R-402B	Green Brown	R-22 + R-125 + R-290	Supermarket food service and transport

၄.၂.၃ HFCs ဓာတ်ငွေ့များ

Table 4-3 HFCs ဓာတ်ငွေ့များ ထည့်ထားသည့် ဆလင်ဒါများ၏ အရောင်များ

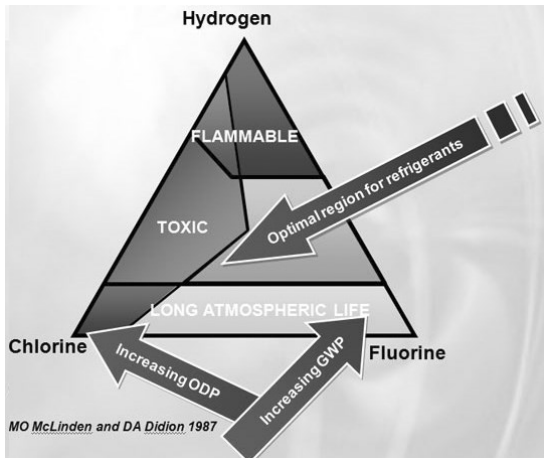
Refrigerant နံပါတ်	Cylinder ၏ အရောင်	ဓာတုဗေဒအမည်	အသုံးပြုသည့်နေရာများ
R-23	Light Gray	Trifluoromethane	Low temperature refrigerant
R-134a	Light Sky Blue	Tetrafluoroethane	Automotive industry and refrigeration systems
R-404A	Orange	R-125 + R-143a + R-134a	Medium and low temperature
R-407C	Chocolate Brown	R-32 + R-125 + R-134a	R-22 Replacement
R-410A	Rose	R-32 + R-125	Replacement for residential air conditioning
R-507	Light Brown	Refrigerant 125/143a	Replacement for low-temp commercial refrigerant.

CFC refrigerant များကို တစ်ကမ္ဘာလုံးအတိုင်းအတာဖြင့် မထုတ်လုပ်ကြရန် နှင့် အသုံးမပြုကြရန် နိုင်ငံအားလုံးနီးပါးက သဘောတူညီပြီးဖြစ်သည်။ HCFC refrigerant များကို မထုတ်လုပ်ကြရန် နှင့် အသုံးမပြုကြရန် နိုင်ငံအားလုံးနီးပါး ကြိုးစားနေချိန်(transition period)လည်း ဖြစ်သည်။ HFC refrigerant များကိုမူ သူ့ထက်ကောင်းသည့် refrigerant မပေါ်ပေါက်ချိန်အထိ သုံးစွဲကြလိမ့်မည်။

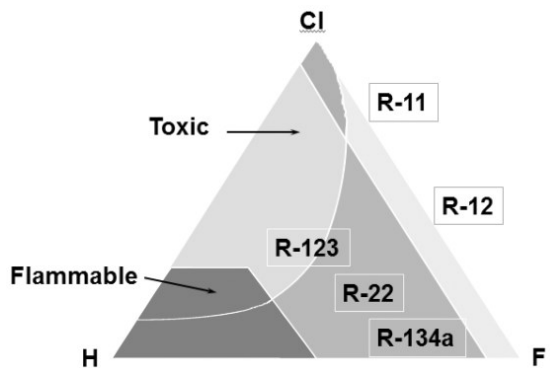
Refrigerant များကို အခြေခံဖြင့် ဓာတ်ငွေ့သုံးမျိုးဖြင့် ဖွဲ့စည်းထားသည်။ ကလိုရင်း(Chlorine) ၊ ဟိုက်ဒရိုဂျင် (Hydrogen) ၊ ဖလိုရင်း(Fluorine)ဓာတ်ငွေ့တို့ ဖြစ်သည်။ Refrigerant များသည်အမျိုးအစားကိုလိုက်၍ ထိုဓာတ်ငွေ့ သုံးမျိုး၏ ပါဝင်မှုအချိုးအစားများမှာ ကွဲပြားကြသည်။

ကလိုရင်း(Chlorine) နှင့် ဖလိုရင်း(Fluorine) တို့သည် လေထုထဲတွင် ကြာရှည်စွာ တည်ရှိနိုင်သည်။

ကလိုရင်း(Chlorine) ပါဝင်မှုများသည့် refrigerant သည် အိုဇုန်းလွှာကို ထိခိုက်စေခြင်း(Ozone Depletion Potential- ODP) ဖြစ်နိုင်သည်။ ဖလိုရင်း(Fluorine) ပါဝင်မှုများသည့် refrigerant သည် ကမ္ဘာကြီး ပူနွေးလာမှု(Global Warming Potential-GWP)ကို ပိုမိုဖြစ်စေသည်။ ဟိုက်ဒရိုဂျင်(Hydrogen) ပါဝင်မှုများသည့် refrigerant သည် မီးလောင်လွယ်(flammable) စေသည်။ ကလိုရင်း(Chlorine) ပါဝင်မှုများသည့် refrigerant သည် အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့(toxic) ဖြစ်သည်။



ပုံ ၄-၁



ပုံ ၄-၂

အပူကို စုပ်ယူနိုင်စွမ်းရှိသည့် မည်သည့် substance ကိုမဆို refrigerant အနေဖြင့်အသုံးပြုနိုင်သည်။ မိမိ အသုံးချလိုသည့် လုပ်ငန်း(application)၏ အပူချိန်အတိုင်းအတာ(temperature range)အတွင်း၌ substance တစ်ခုသည် အသွင်သဏ္ဍာန်(phase) ပြောင်းလဲခြင်း မရှိပါက secondary refrigerant သို့မဟုတ် အပူစီးကူးနိုင်သည့် ကြားခံ(heat transfer media)အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်သည်။

ရေ(water)ကို အဆောက်အဦများ၏ chilled water system များတွင် heat transfer media အဖြစ် အသုံးပြုကြသည်။ အဆောက်အဦများရှိ chilled water system များ၏ အပူချိန်သည် 6°C မှ 20°C အတွင်း ဖြစ်သည်။ သို့သော် 3°C ထက်နိမ့်သော သို့မဟုတ် 0°C ထက်နိမ့်သော အပူချိန်လိုအပ်သည့် စက်မှုလုပ်ငန်း (industrial application) များအတွက် ရေကို အသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် Brine ၊ Glycol mixture(ရေ နှင့် Glycol အရော)ကို အသုံးပြုရသည်။ ရေခဲအမှတ်သည် 0°C ဖြစ်သောကြောင့် 0°C အောက်တွင် အလုပ်လုပ်သော system များအတွက် ရေသည် မသင့်လျော်ပေ။ Brine ၊ Glycol mixture တို့၏ ရေခဲအမှတ်(freezing Point)သည် 0°C ထက် နိမ့်သောကြောင့် အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။ 3°C ထက်နိမ့်သည့် လုပ်ငန်းများအတွက် ရေကို heat transfer medium အဖြစ် အသုံးမပြုသင့်ပေ။

၁၉၂၀ နှင့် ၁၉၃၀ နှစ်များတွင် Chlorofluorocarbons(CFCs) အုပ်စုတွင် ပါဝင်သော R-11 ၊ R-12 ၊ R-503 refrigerant များကို တွင်ကျယ်စွာ အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။ ဓာတ်ငွေ့ဖွဲ့စည်းပုံ တည်ငြိမ်ပြီး အလွန် efficient ဖြစ်သည့် ဓာတ်ငွေ့များ ဖြစ်သည်။ သို့သော် ထိုဓာတ်ငွေ့များ လေထုအတွင်းသို့ လွှင့်ထုတ်လိုက်ပါက သို့မဟုတ် စွန့်ပစ်လိုက်ပါက လေထုထဲတွင် နှစ်ပေါင်း ရာချီ၍ ရှိနေ(long-lived in atmosphere) နိုင်သည်။

လေထုလွှာအနိမ့်ပိုင်းတွင် ရှိနေသည့် CFC မော်လီကျူးများသည် infrared radiation စုပ်ယူပြီး(Global warming)ကို ဖြစ်စေသည်။ ကမ္ဘာကြီး ပူနွေးစေပြီး လေထုလွှာ အထက်ပိုင်းသို့ ရောက်ရှိသွားလျှင် CFC မော်လီကျူးများသည် ပြိုကွဲသွားကာ Chlorine ဓာတ်ငွေ့ ထွက်လာသည်။ ထိုထွက်လာသည့် Chlorine ဓာတ်ငွေ့သည် အိုဇုန်းလွှာ (ozone layer)ကို ထိခိုက်ပျက်စီးစေသည်။ အိုဇုန်းလွှာသည် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်များ(Ultra Violet) ကမ္ဘာမြေပေါ်သို့ မကျရောက်စေရန် ကာကွယ်ပေးသည်။ အိုဇုန်းလွှာ ပျက်စီးခြင်းကြောင့် ခရမ်းလွန် ရောင်ခြည်များ အတားအဆီးမဲ့ ကမ္ဘာမြေပေါ်သို့ ကျရောက်ကာ ဘေးအန္တရာယ် များစွာကို ဖြစ်ပေါ်စေနိုင်သည်။

CFC ဓာတ်ငွေ့များအတွင်းသို့ ဟိုက်ဒရိုအက်တမ် တစ်လုံးကို ထည့်သွင်းခြင်းဖြင့်(HCFC ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်စေကာ) CFC မော်လီကျူးများ လေထုထဲတွင်ရှိနေနိုင်သည့် သက်တမ်းကို များစွာ လျော့ချနိုင်ကြောင်း သုတေသန ပညာရှင်များက ရှာဖွေတွေ့ရှိခဲ့သည်။

ထို့ကြောင့် သဘာဝပတ်ဝန်းကျင် ထိခိုက်မှုများ(environmental impact)ကို လျော့ချနိုင်ခဲ့သည်။ Hydrochlorofluoro carbon(HCFC) ဓာတ်ငွေ့များဖြစ်သော R-22 နှင့် R123 refrigerant များကို တွင်ကျယ်စွာ အသုံးပြုလာကြသည်။ HCFC ဓာတ်ငွေ့များသည် ကမ္ဘာကြီး ပူနွေးစေမှု(Global Warning Potential)ကို နည်းစေသော်လည်း အိုဇုန်းလွှာပျက်စီးမှု(Ozone Depletion Potential)ကို ဖြစ်ပေါ်စေနိုင်သောကြောင့် ၂၀၂၀ ခုနှစ် နောက်ပိုင်းတွင် HCFC refrigerant ကို အသုံးပြုသည့် equipment များ ထုတ်လုပ်ခြင်း၊ ရောင်းချခြင်း၊ တပ်ဆင်ခြင်းကို ခွင့်ပြုလိမ့်မည် မဟုတ်တော့ပေ။

Hydrofluorocarbons(HFCs) refrigerant များကို အသုံးပြုလာကြပြီး environmental ရှုထောင့်မှ ကြည့်လျှင် လက်ရှိအကောင်းဆုံးသော refrigerant ဖြစ်သည်။ R134a သည် အလွန် အသုံးများသော HFCs refrigerant ဖြစ်သည်။ R123 (HCFC) ကို negative pressure chiller များတွင် အသုံးပြုပြီး R134a (HFC) ကို positive pressure chiller များတွင် အသုံးပြုသည်။

Refrigerant များကို ASHRAE Standard 34-1989 အရ အဆိပ်သင့်မှု(toxicity)အုပ်စု နှင့် မီးလောင်လွယ်မှု (flammability) အုပ်စုဟူ၍ အုပ်စုနှစ်မျိုး ခွဲခြားသတ်မှတ်ထားသည်။

အဆိပ်အုပ်စု(Toxicity Group)	မီးလောင်လွယ်သည့် အုပ်စု(Flammability Group)
A= nontoxic (အဆိပ်သင့်ပစ္စည်းများလုံးဝ မပါဝင်)	1= No flame propagation(မီးမလောင်နိုင်)
B= evidence of toxicity identified (အဆိပ်သင့်နိုင်သော ပစ္စည်းများ ပါဝင်သည်။)	2= Low flammability(မီးလောင်နိုင်သည်)
	3= High Flammability (မီးလောင်လွယ်သည်)

၄.၃ Refrigerant များ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ

Vapor compression cycle ကို အခြေခံ၍ refrigeration machine များကို တည်ဆောက် ထားကြသည်။ Vapor compression cycle တွင် refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်ရန်အတွက် အောက်ပါ ဂုဏ်သတ္တိများပေါ်တွင် အခြေခံသည်။

(က) Non poisonous and Non toxic (or low toxicity)

လူကို အန္တရာယ်ပြုနိုင်သော ဓာတုဗေဒ ပစ္စည်းများ မပါဝင်ရ။ အဆိပ်သင့်စေမည့် ဓာတ်ငွေ့များ ပါဝင်မှု မရှိစေရ။

(ခ) Chemically stable in both liquid and vapor state

မည့်သည့် အခြေအနေ(liquid or vapor)တွင် ဖြစ်ပါစေ ဓာတုဗေဒနည်းအရ ဓာတ်ပြိုကွဲမှု မရှိစေရ။ တည်ငြိမ်မှု(stable) ရှိရမည်။

(ဂ) Non Flammable

မီးလောင်လွယ်သည့် ဓာတ်ငွေ့ မဖြစ်စေရ။ ကိုယ်တိုင်လည်း မီးမလောင် သို့မဟုတ် မီးလောင်ခြင်း ကိုလည်း

အားမပေးသည့် ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်ရမည်။

(ဃ) Non Corrosive

သတ္တုများနှင့် ဓာတ်ပြုခြင်း ၊ သံချေးတက်ခြင်း၊ ကြေးချေးတက်ခြင်းစသည်တို့ မဖြစ်နိုင်သည့် ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်ရမည်။

(င) Low Boiling Point

ဆူမှတ်(boiling point) နိမ့်သည့် ဓာတ်ငွေ့မျိုး ဖြစ်ရမည်။ Boiling point နိမ့်သည့် refrigerant သည် corresponding pressure နိမ့်သောကြောင့် ဖိသိပ်ရန် လွယ်ကူသည်။

(စ) High Latent Heat

Latent heat ပမာဏ တန်ဖိုးများသည့် ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်ရမည်။ Latent heat ပမာဏများသောကြောင့် တူညီသော refrigeration effect သို့မဟုတ် cooling capacity ရရှိရန်အတွက် စွမ်းအင်ပမာဏ အနည်းငယ်သာ အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

(ဆ) Small Specific Volume

Specific Volume(ft³/lb) တန်ဖိုးနည်းသည့် ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်ရမည်။ တူညီသည့် cooling capacity ရရန် အတွက် specific volume နည်းလျှင် လိုအပ်သည့် ဓာတ်ငွေ့ အလေးချိန် နည်းသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် chiller အတွင်းသို့ ထည့်သွင်းရမည့် refrigerant ပမာဏ(အလေးချိန်အားဖြင့်) ပိုနည်းသည်။

(ဇ) Low Leak Tendency and Easy to Detect

ယိုစိမ့်နိုင်စွမ်းနည်းသည့် ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်ရမည်။ ဓာတ်ငွေ့ ယိုစိမ့်မှု ဖြစ်ပေါ်သည့်အခါ အလွယ်တကူ သိနိုင်စွမ်း၊ စစ်ဆေးနိုင်စွမ်း ရှိသည့် ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်ရမည်။

(ဈ) Low Price and Commonly Available

ဈေးနှုန်း ချိုသာပြီး အလွယ်တကူ ဝယ်ယူနိုင်ရမည်။ တစ်ချို့သော နိုင်ငံများတွင် ထုတ်လုပ်၊ ရောင်းချ၊ သယ်ပို့ခွင့် မပြုသည့် ဓာတ်ငွေ့များ ရှိသည်။ နိုင်ငံအလိုက် တားမြစ်(ban)ထားသော ဓာတ်ငွေ့များကို သိထားရန် လိုအပ်သည်။

Refrigerant များကို နှိုင်းယှဉ်သတ်မှတ်ရာတွင် refrigerant များ၏ ဂုဏ်သတ္တိများနှင့် thermodynamic အချက်အလက်များအပေါ် အခြေခံရမည်။

- (၁) Evaporator နှင့် Condenser ဖိအားများ အခြေအနေ
- (၂) Coefficient of Performance And Power Requirements (C.O.P) တန်ဖိုးများ
- (၃) High suction gas density
- (၄) Positive pressure at evaporation and condensing condition
- (၅) Critical temperature and triple point well outside
- (၆) Latent heat တန်ဖိုးများ
- (၇) Specific volume တန်ဖိုးများ
- (၈) working range pressure နှင့် dielectric strength မြင့်မားမှု
- (၉) Refrigerant များဈေးနှုန်း နှင့် လဲလှယ်ရန် ကုန်ကျစရိတ်
- (၁၀) Freezing temperature
- (၁၁) Environmentally friendly
- (၁၂) Critical temperature နှင့် pressure များ စသည့် အခြေအနေများကို နှိုင်းယှဉ်ရမည်ဖြစ်သည်။

(၁) Evaporator နှင့် Condenser Pressure များ

Pressure (၂)ခု၏ တန်ဖိုးခြားနားမှု နည်းရမည်ဖြစ်ပြီး၊ pressure (၂)ခု စလုံးသည် ကမ္ဘာ့လေထုဖိအား အထက်တွင်သာ တည်ရှိရမည်။ သို့မှသာ system အတွင်းသို့ ပြင်ပလေများ မဝင်ရောက်နိုင်ပေ။ ဖိအား (၂)မျိုးစလုံး မြင့်မားပါက compressor နှင့် condenser တို့ကို ခိုင်ခန့်စွာ တည်ဆောက်ရသဖြင့် ကုန်ကျစရိတ်နှင့် power သုံးစွဲမှု ပိုများနိုင်သည်။ ဖိအားကွာခြားမှု 50 psi အထက်တွင် reciprocating compressor ကို သုံးသည်။ ဖိအားကွာခြားမှု 20 psi နှင့် 50 psi ကြားတွင် rotary compressor ကို အသုံးများသည်။

(၂) Coefficient of Performance and Power Requirements

Refrigeration system များတွင် C.O.P ကောင်းခြင်းသည် အရေးကြီးသည့် အချက်ဖြစ်သည်။ Power requirement သည် C.O.P ၏ ပြောင်းပြန် အချိုးပင် ဖြစ်သည်။ R-11 ၏ C.O.P လည်း အမြင့်ဆုံးဖြစ်ပြီး power သုံးစွဲမှုလည်း အနည်းဆုံးဖြစ်သည်။ CO₂ ၏ C.O.P သည် အနည်းဆုံးဖြစ်ပြီး power သုံးစွဲမှုမှာ အများဆုံး ဖြစ်သည်။

(၃) Suction Gas Density တန်ဖိုး မြင့်မားမှု

Suction gas density တန်ဖိုး မြင့်မားခြင်းသည် ကောင်းမွန်သည့် ဂုဏ်သတ္တိတစ်ခု ဖြစ်သည်။

(၄) Positive pressure at evaporation and condensing condition

Evaporation နှင့် condensing ဖိအားသည် လေထုဖိအားထက် ပိုမြင့်နေလျှင် ပြင်ပ လေနှင့် ရေခိုးရေငွေ့ များ မဝင်ရောက်နိုင်ပေ။

(၅) Critical temperature and triple point well outside

Operation condition သည် critical temperature နှင့် triple point ၏ အပြင်ဖက်တွင်တည်ရှိလျှင် တည်ငြိမ်(stable) သည်။

(၆) Latent Heat တန်ဖိုးများ

Refrigerant effect များများ ရရှိစေရန် evaporator pressure တွင် latent heat တန်ဖိုးများများကို ပိုင်ဆိုင်သည့် ဓာတ်ငွေ့များကို အသုံးပြုရသည်။ Standard cycle အတွက် ဓာတ်ငွေ့များ၏ latent heat တန်ဖိုးများကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။

(၇) Specific Volume

Specific volume ကြီးမားနေလျှင် အရွယ်အစား ကြီးမားသည့် compressor ကို အသုံးပြုရမည်။ တန်ဖိုးသေးငယ်လျှင် reciprocating compressor ကို အသုံးပြုနိုင်ပြီး တန်ဖိုးမြင့်မားပါက rotary သို့မဟုတ် centrifugal compressor ကိုသာ အသုံးပြုနိုင်သည်။

(၈) Refrigerant များထွေနှုန်း နှင့် လဲလှယ်ရန် ကုန်ကျစရိတ်

အိမ်သုံးရေခဲသေတ္တာကဲ့သို့ သေးငယ်သည့်စက်များတွင် refrigerant အနည်းငယ်သာ အသုံးပြုရသဖြင့် ကုန်ကျစရိတ်(cost)ကို စဉ်းစားရန် အရေးမကြီးသော်လည်း industrial plant များတွင် တည်ဆောက်မှုတန်ဖိုး၊ ထိန်းသိမ်းမှု တန်ဖိုးများသောကြောင့် refrigerant အတွက် ကုန်ကျစရိတ်ကို အခြေခံ၍ ရွေးချယ်သင့်သည်။

(၉) Freezing Temperature

Freezing temperature နိမ့်သည့် refrigerant များကို အသုံးပြုသင့်သည်။

(၁၀) Environmentally friendly

သဘာဝပတ်ဝန်းကျင်ကို အန္တရာယ် မပြုနိုင်သည့် refrigerant များကို အသုံးပြုသင့်သည်။

(၁၁) Critical Temperature and Pressure

Refrigerant တစ်ခု၏ critical temperature သည် condensing temperature နီးပါးရှိပါက power လိုအပ်မှု များလိမ့်မည်။

၄.၄ Refrigerant များ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ နှိုင်းယှဉ်ချက်

Refrigerant များအား နှိုင်းယှဉ်ရာတွင်

- (က) သဘာဝ ပတ်ဝန်းကျင်အား ထိခိုက်မှုမရှိခြင်း (environmental impact)
- (ခ) စွမ်းဆောင်ရည်ကောင်းခြင်း (performance)
- (ဂ) အန္တရာယ်မရှိခြင်း (hazard) အချက်များသည် အဓိက ကြသည်။

Environmental impact တွင် အိုဇုန်းလွှာ ထိခိုက်ပျက်စီးစေနိုင်မှု(Ozone Depletion Potential-ODP) နှင့် ကမ္ဘာကြီး ပူနွေးစေမှု(Global Warning Potential- GWP) ဟူ၍ နှစ်ပိုင်းရှိသည်။

ODP နှင့် GWP တန်ဖိုးများလေ ထို refrigerant သည် ကမ္ဘာကြီးကို ပို၍ လျှင်မြန်စွာ နှင့် ပို၍ ထိရောက်စွာ ဖျက်စီးစေနိုင်လေ ဖြစ်သည်။

ဇယား(၄.၄)တွင်ရှိသော တန်ဖိုးများအရ R-22 သည် အဆိုးဆုံးသော refrigerant ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် နိုင်ငံ အားလုံးက R-22 ကို အသုံးမပြုရန် တားမြစ်ကြခြင်း ဖြစ်သည်။ ဒုတိယ အဆိုးဆုံးသည် HCFC-123 ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် HCFC-123 ကို ၂၀၃၀ ပြည့်နှစ် ကျော်လွန်ပါက အသုံးပြုခွင့် မရနိုင်တော့ပေ။ ထို HCFC-22 နှင့် HCFC-123 တို့သည် ODP နှင့် GWP တို့အရ ဆိုးဝါးသော်လည်း Coefficient Of Performance(COP) အကောင်းဆုံးသော refrigerant များဖြစ်ကြသည်။

Refrigerant ၏ performance တွင် ရူပဗေဒဆိုင်ရာ ဂုဏ်သတ္တိများ(physical properties) နှင့် သာမိုဒိုင်းနမစ်ဆိုင်ရာ ဂုဏ်သတ္တိများ(thermodynamic properties) ပါဝင်ကြသည်။ Latent heat တန်ဖိုးများခြင်း၊ specific volume နည်းခြင်း၊ ဆူမှတ်(boiling point) နိမ့်ခြင်း စသည်တို့သည် refrigerant ၏ ကောင်းသော ဂုဏ်သတ္တိများ ဖြစ်သည်။

COP တန်ဖိုး 6.52 ဆိုသည်မှာ စွမ်းအား(power) တစ်ယူနစ်ကို အသုံးပြုလျှင် 6.52 ယူနစ် ရှိသော cooling effect သို့မဟုတ် refrigerant effect ရနိုင်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။

TABLE 4-4

Refrigerant	ODP	GWP-100	COP	kW/RT	ASHRAE safety group
HCFC -123	0.0012	93	6.52	0.54	A1
HFC-134a	0.000	1320	6.24	0.56	A1
HCFC-22	0.055	1780	6.18	0.57	A1
HFC- 245ca	0.000	560	6.47	0.54	-
HFC-152a	0.000	140	6.35	0.55	A2
R-407C	0.000	1610	5.56	0.61	A1
R-410a	0.000	1975	5.86	0.60	A1
R-290	0.000	20	6.14	0.57	A3

Table 4-5 compares various performance aspects of three of the most common refrigerants presently used in air conditioning with R22.

Characteristic	R407C	R134a	R410A
Glide	6 K	0 K	<0.5 K
Global warming potential	1610	1300	1890
Pressure at 50 °C	19.6 bar	13.2 bar	30.8 bar
Compressor CoP*	95–101%	101%	92–100%
Heat transfer*	Same	Slightly less	Higher
Tubing size*	Same	Larger	Smaller
System performance*	95–100%	95–100%	98–106%
System cost*	Same	Slightly higher	Slightly lower
Extent of redesign required*	Minor	Significant	Significant

* Compared to R22

CIBSE Knowledge Series: KS13(Refrigeration)

ထို့ကြောင့် COP တန်ဖိုးများသည့် refrigerant သည် performance ကောင်းသည့် refrigerant ဖြစ်သည်။ Direct expansion စက်များ၏ performance ကောင်းခြင်းကို COP ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ kW/RT ဖြင့် chiller များ ၏ performance ကောင်းခြင်းကို ဖော်ပြကြသည်။ R-123 အသုံးပြုသည့် chiller သည် 0.54 kW/RT ရနိုင်သည်။ အဓိပ္ပာယ်မှာ 1 refrigeration ton ရရန်အတွက် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား 0.54 kW လိုအပ်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။ kW/RT နည်းလေ ထို refrigerant သည် performance ကောင်းလေဖြစ်သည်။ COP နှင့် kW/RT သည် ပြောင်းပြန် ဆက်စပ်မှုရှိသည်။ 3.517 ကို COP ဖြင့် စားလျှင် kW/RT ရသည်။ 3.517 kW သည် 1 RT နှင့် ညီမျှသည်။

၄.၅ Nomenclature

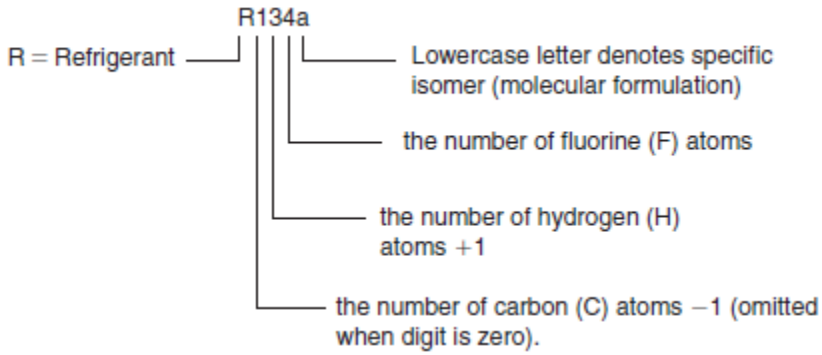
Refrigerant များကို အင်္ဂလိပ်အက္ခရာ "R" ဖြင့် သတ်မှတ်သည်။ ပုံစံမှာ R နောက်တွင် ကာဗွန်အက်တမ် အရေအတွက် ဂဏန်းသုံးလုံး ရှိပြီး အင်္ဂလိပ်အက္ခရာငယ် ပါဝင်သည်။

R 134a တွင် R သည် refrigerant ကို ဆိုလိုသည်။

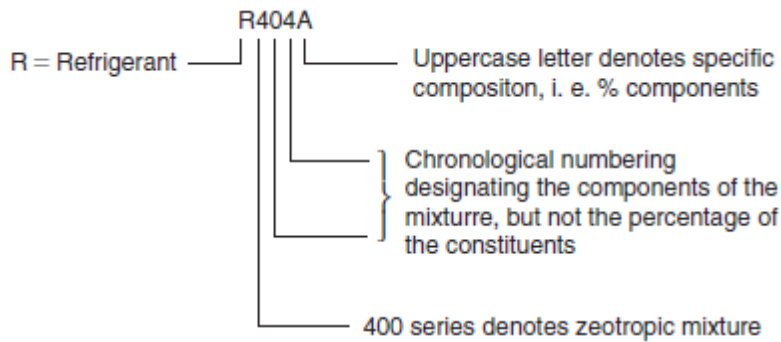
- 1 သည် number of Carbon(c) atom - 1 ဖြစ်သည်။ သုည(၀) ဖြစ်လျှင် ဖော်ပြရန် မလိုပေ။ Refrigerant တွင် ပါဝင်သည့် Carbon(c) atom အရေအတွက်မှ (၁)လျော့၍ ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။
- 3 သည် number of Hydrogen(H) atom + 1 ဖြစ်သည်။ Refrigerant တွင် ပါဝင်သည့် Hydrogen(H) atom အရေအတွက်ကို (၁) တိုး၍ ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။
- 4 သည် Fluorine(F) atom အရေအတွက် ဖြစ်သည်။ Refrigerant တွင် ပါဝင်သည့် Fluorine(F) atom အရေအတွက်ကို ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။
- a သည် specific isomer(molecular formation) ဖြစ်သည်။

R	No. of carbon atom - 1	No. of Hydrogen atom+1	No of Fluorine atom	Isomer
---	---------------------------	---------------------------	------------------------	--------

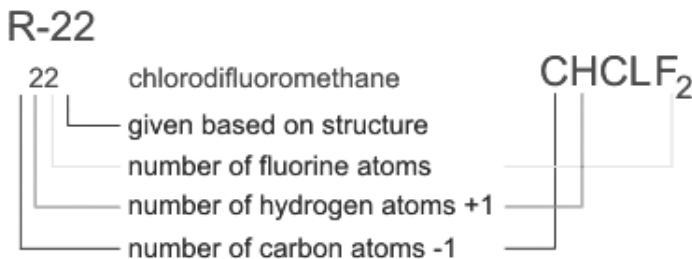
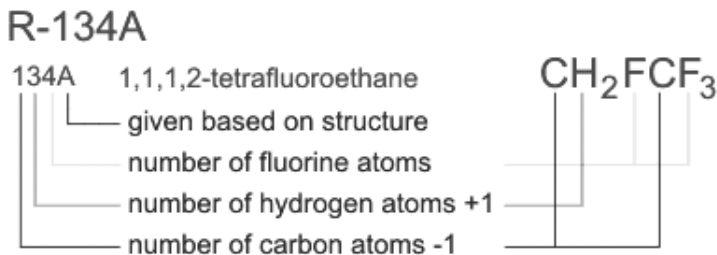
Classification of Halogen refrigerant များဖြစ်သည်။ အောက်တွင် ဥပမာများဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။



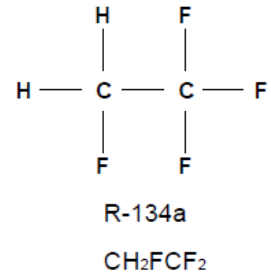
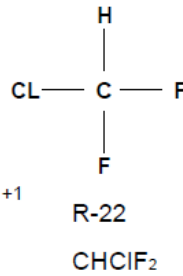
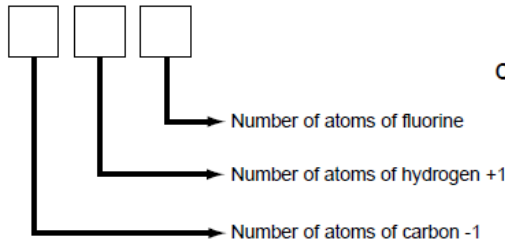
Refrigerant များတွင် halogen refrigerant နှင့် zeotropic mixture refrigerant ဟူ၍ ခွဲထားသည်။ Halogen refrigerant များသည် ဓာတ်ငွေ့(gas) တစ်မျိုးတည်းသာဖြစ်သည်။



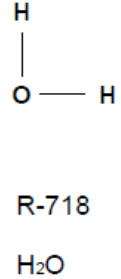
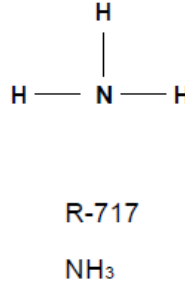
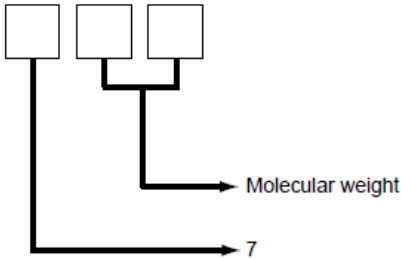
- R404A R သည် refrigerant ကို ဆိုလိုသည်။
- 4 သည် 400 series – zeotropic mixture ကို ဆိုလိုသည်။
- 04 သည် compound of mixture ကို ဆိုလိုသည်။ (ပါဝင်သည့် ရာခိုင်နှုန်းများ ကို မဆိုလိုပါ။)
- A သည် ရာခိုင်နှုန်း (% compound) ကို ဆိုလိုသည်။



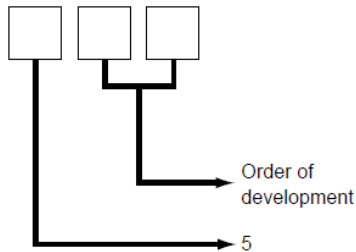
Single organic refrigerant



Single inorganic refrigerant



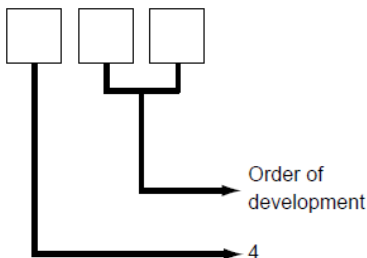
Azeotropic mixture refrigerant



This refrigerant is a mixture of 2 or more types of gases having different boiling point, which has a property with the constant mixing ratio both of liquid phase and gas phase in a given weight ratio just as the single refrigerant. Therefore, even though evaporation and condensation are repeated, the composition of this refrigerant remains unchanged, thus making it possible to provide other thermodynamic characteristics different from respective refrigerants.

R-502:
Mixture of R-22 (48.8%) and R-151(51.2%)
CHClF₂-CH₃CHClF:
Before changing to new refrigerant, most of refrigerators for home use used this refrigerant.

Non-azeotropic mixture refrigerant (including quasi azeotropic mixture refrigerant)



This refrigerant is a mixture of two or more refrigerants having different boiling points. If a gas leak occurs, the mixed refrigerants evaporate from one having lower boiling point, thus causing changes in the composition of residual refrigerant in the air conditioner. Therefore, it is required to be sensitive to the refrigerant leaks in particular. This has low conformability to mineral lubricants. Synthetic oil is to be used because gas, which is discharged once from the compressor, is hard to return.

R-407C
[R-32/125/134a(23/25/52wt%)]
CH₂F₂/C₂HF₅/CH₂FCF₃:
This refrigerant resembles to the R-22 in the properties such as pressure and facilitates the substitution as pollution-free refrigerant, thus enabling the application for the business purpose such as the SkyAir and VRV Series.
R-410A
[R-32/125(50/50wt%)]
CH₂F₂/C₂HF₅:
This refrigerant has a pressure 1.6 times as high as that of the R-22, which requires the pressure-resisting specifications, while has much less changes in composition due to leaks.

၄.၆ အသုံးများသည့် Refrigerant များ

အသုံးများသည့် refrigerant တချို့၏ ဂုဏ်သတ္တိများနှင့် ထူးခြားသည့်အချက်များကို အောက်တွင် အနှစ်ချုပ် ဖော်ပြထားသည်။

၄.၆.၁ R-11 Trichloromonofluoromethane - CCl₃F

Refrigeration လုပ်ငန်းအတွက် အထူးထုတ်လုပ်ထားသော ဓာတ်ငွေ့ဖြစ်ပြီး၎င်း၏ ဓာတ်ငွေ့ဖွဲ့စည်းပုံ တည်ငြိမ်သည်။ မီးလောင်ရန်မလွယ်ကူခြင်းနှင့် အဆိပ်အတောက် မဖြစ်စေခြင်း တို့သည် အားသာချက်များ ဖြစ်သည်။ ကမ္ဘာ့လေထု ဖိအားအောက်တွင် ဆူမှတ်(boiling point)သည် 23.77°C (74.7°F) ဖြစ်သည်။ Specific volume တန်ဖိုးမှာ 12.3 ft³/lb ဖြစ်သည်။ Standard cycle 5°F (-15°C) တွင် ရှိသော ဖိအားမှာ 24 in Hg (609.6 mmHg) နှင့် အပူချိန် 85°F (30°C) တွင် ရှိသော ဖိအားမှာ 18.3 psia (1.28 kg/cm³) ဖြစ်သည်။ Latent heat တန်ဖိုးမှာ 84 Btu/lb ဖြစ်သည်။ စက်ရုံ၊ အလုပ်ရုံကြီးများနှင့် air conditioning လုပ်ငန်းကြီးများတွင် အသုံးပြုပြီး R-11 ဓာတ်ငွေ့ ထည့်ထားသော ဆလင်ဒါများ၏ အရောင်မှာ လိမ္မော်ရောင် ဖြစ်သည်။

၄.၆.၂ R-12 Dichlorodifluoromethane - CCl₂F₂

အရောင် အဆင်းနှင့် အနံ့ အရသာ မရှိပေ။ လေထုဖိအားအောက်တွင် ဆူမှတ်(boiling point) သည် -30°C(-21.6°F) ဖြစ်သည်။ အဆိပ်အတောက်ကင်းပြီး မီးလောင်ရန် မလွယ်ကူသည့် ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်သည်။ သတ္တုများနှင့် ဓာတ်ပြုခြင်းမရှိပေ။ သို့သော် ရေတွင် အနည်းငယ်ပျော်ဝင်ပြီး သတ္တုများကို ပွန်းတီးစေခြင်း အနည်းငယ် ဖြစ်ပေါ်စေနိုင် သည်။ ခြပ်ထုဖွဲ့စည်းပုံ တည်မြဲပြီး specific volume ပမာဏ နည်းသောကြောင့် သေးငယ်သော compressor များတွင် အသုံးပြုသည်။ Standard cycle 5°F နှင့် 85°F အတွက် ဖိအားတန်ဖိုးများမှာ 26.5 psi (1.86 kg/cm²) နှင့် 108 psi (7.58 kg/cm²) တို့ ဖြစ်သည်။ R-12 ဓာတ်ငွေ့များထည့်ထားသော ဆလင်ဒါ(cylinder) များ၏ အရောင်မှာ အဖြူရောင်ဖြစ်သည်။

၄.၆.၃ R-22 Monochlorodifluoromethane - CHClF₂

Refrigeration လုပ်ငန်းများအတွက် ထုတ်လုပ်သော ဓာတ်ငွေ့ဖြစ်သည်။ နေအိမ်သုံး air conditioning လုပ်ငန်းတွင် အများဆုံး အသုံးပြုသည်။ Reciprocating compressor တွင်သာ အသုံးပြုသည်။ အရောင်အဆင်း၊ အနံ့ အရသာ ကင်းမဲ့သော ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်သည်။ လေထုဖိအားအောက်တွင် ဆူမှတ်(boiling point)သည် -41°F (-40.8°C) ဖြစ်သည်။ အဆိပ်အတောက်နှင့် မီးလောင်နိုင်သည့်ဂုဏ်သတ္တိမရှိပေ။ Latent heat တန်ဖိုးမှာ 5°F တွင် 93.21 Btu/lb ဖြစ်ပြီး standard cycle 5°F နှင့် 85°F တွင် ရှိသော ဖိအားများမှာ 43.02 psi(3.03 kg/cm²) နှင့် 174.5 psi (12.26 kg/cm²)တို့ ဖြစ်ကြသည်။ သတ္တုများကို ပွန်းစားခြင်း မရှိ။ ရေခိုးရေငွေ့နှင့် အလွယ်တကူ ပေါင်းစပ်နိုင်သဖြင့် စက်များတွင် filter dryer ကို ကောင်းစွာ တပ်ဆင်ရမည်။ C.O.P သည် 4.6 ခန့်ဖြစ်သည်။ R-22 ဓာတ်ငွေ့များ ထည့်ထားသော ဆလင်ဒါ(cylinder) များ၏ အရောင်မှာ အစိမ်းရောင် ဖြစ်သည်။

၄.၆.၄ R-500 (R - 152 a + R - 12) (CCL₂F₂/CH₃CHF₂)

R-500 ဓာတ်ငွေ့ကို စက်ရုံ၊ အလုပ်ရုံသုံး လေအေးစက်ကြီးများတွင် အသုံးပြုပြီး၊ reciprocating compressor များတွင် အသုံးပြုကြသည်။ Azeotropic အရောအနှောဖြစ်ပြီး R-152 A ဓာတ်ငွေ့ 26.2% နှင့် R-12 ဓာတ်ငွေ့ 73.8% တို့ရောစပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ လေထုဖိအားတွင် ဆူမှတ်မှာ -28°F(-33.3°C) ဖြစ်သည်။ 5°F နှင့် 86°F တွင်ရှိသော ဖိအားများမှာ 19.7 psi(1.4 kg/cm²) နှင့် 127.6 psi(7.94 kg/cm²) တို့ဖြစ်သည်။ R-500 ဓာတ်ငွေ့သည် R-12 ထက် latent heat တန်ဖိုး 20% ပိုမိုများ၍ specific volume 18% ခန့် လျော့နည်းသည်။ Latent heat မှာ 5°F တွင် 82.45 Btu/lb ဖြစ်သည်။ R-500 ဓာတ်ငွေ့သည် ရေတွင် ပျော်ဝင်နိုင်သဖြင့် dryer များတွင် အသုံးပြုနိုင်သည်။ R-500 ဓာတ်ငွေ့ ဆလင်ဒါ အရောင်သည် အဝါရောင် ဖြစ်သည်။

၄.၆.၅ R - 502 (R - 22 + R - 115) (CHClF₂/ CCL₂CF₃)

Azeotropic အရောအနှောဖြစ်၍ R-22 ဓာတ်ငွေ့ 48.8% နှင့် R-115 ဓာတ်ငွေ့ 51.2% တို့ရောစပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ မီးလောင်မလွယ်ခြင်း၊ အဆိပ်အတောက် မဖြစ်ပေါ်ခြင်း၊ သတ္တုများနှင့် ဓာတ်ပြုမှုမရှိခြင်း စသည့်အချက် များနှင့် ပြည့်စုံသည်။ အစားအသောက်နှင့် ရေခဲမုန့် (ice cream) များ သိမ်းဆည်းရာ freezer များတွင် အသုံးပြုသည်။

လေထုဖိအားတွင် ဆူမှတ်(boiling point)မှာ $-50.16^{\circ}\text{F}(-46^{\circ}\text{F})$ ဖြစ်သည်။ 5°F ရှိ evaporating pressure မှာ 50.68 psi(3.56 kg/cm^2) ဖြစ်၍ 86°F ရှိ condensing pressure မှာ 175.1 psi(12.31 kg/cm^2) ဖြစ်သည်။ Specific volume တန်ဖိုးနည်းပါးသဖြင့် compressor အငယ်များတွင် အသုံးပြုနိုင်သည်။ Latent heat တန်ဖိုးမှာ 72.5 Btu/lb ဖြစ်သည်။ ဓာတ်ငွေ့ထည့်သော cylinder များ၏ အရောင်မှာ သစ်ခွ(orchid) အရောင် ဖြစ်သည်။

၄.၆.၆ R-744 (Carbondioxide CO₂)

R-744 ဓာတ်ငွေ့ကို ၁၈၈၁ ခုနှစ်တွင် စတင် အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။ တခြားသော refrigerant များနှင့် များစွာ ကွာခြားသည်။ အရောင်၊ အဆင်း၊ အနံ့အရသာ မရှိပေ။ မီးလောင်ရန် မလွယ်ကူခြင်း၊ မပေါက်ကွဲနိုင်ခြင်းနှင့် အဆိပ် အတောက် မဖြစ်ခြင်းစသည့် အချက်များနှင့် ပြည့်စုံသည်။ လေထုဖိအားတွင် ဆူမှတ်(boiling point) သည် $-28^{\circ}\text{F}(-33^{\circ}\text{C})$ ဖြစ်သည်။ 5°F ရှိ evaporating pressure မှာ $23.34 \text{ Kg/cm}^2(336.45 \text{ psi})$ ဖြစ်ပြီး 85°F ရှိ condensing pressure သည် 1057 psi ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် operating pressure မြင့်မားသည် သင်္ဘောများတွင် အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။ R-744 ဓာတ်ငွေ့ကို dry ice ပြုလုပ်၍ အသုံးပြုသည်။ အခဲဘဝမှ အငွေ့ဘဝသို့ တိုက်ရိုက် ကူး ပြောင်းသည်။

၄.၆.၇ R-717 (Ammonia -NH₃)

R-717 ဓာတ်ငွေ့သည် refrigerant အဖြစ် ပထမဆုံးအသုံးပြုသော ဓာတ်ငွေ့ဖြစ်သည်။ ယခုအချိန်ထိ ကြီးမားသော စက်ရုံ၊ အလုပ်ရုံကြီးများတွင် အသုံးပြုနေဆဲ ဖြစ်သည်။ အရောင်အဆင်းမရှိ။ သို့သော် စူးရှသော ဇဝက်သာအနံ့ ရှိသည်။ လူအတွက် အဆိပ်အတောက် ဖြစ်စေသည်။ ကိုယ်တိုင်မီးလောင်နိုင်ပြီး မီးလောင်မှုကို အားပေးသည်။ ကြေးသတ္တုများနှင့် အလွယ်တကူ ဓာတ်ပြုနိုင်သည်။ သို့သော် ချောဆီများ ပါဝင်ရေစပ်နိုင်မှု နည်းပါးသည်။ လေထု ဖိအားတွင် ဆူမှတ်(boiling point)မှာ $-28^{\circ}\text{F}(-33.3^{\circ}\text{C})$ နှင့် အရည်ပျော်မှတ် မှာ -77.8°C ဖြစ်သည်။ 5°F ရှိ evaporating pressure မှာ 34.27 psi ဖြစ်ပြီး 86°F ရှိ condensing pressure မှာ 154.5 psi(11kg/cm^2) ဖြစ်သည်။ Latent heat မှာ 5°F တွင် 565 Btu/lb ခန့်ဖြစ်သည်။ ရေထဲတွင် အလွယ်တကူ ပျော်ဝင်နိုင်သည်။ R-717 ဓာတ်ငွေ့ထည့်ထားသော ဆလင်ဒါများ၏ အရောင်မှာ ငွေရောင်ဖြစ်သည်။

အမိုးနီးယား(Ammonia) ဓာတ်ငွေ့ကို refrigerant အဖြစ် သို့မဟုတ် စက်မှုလုပ်ငန်းသုံး ဓာတ်ငွေ့ (industrial refrigerant) အဖြစ် နှစ်ပေါင်းများစွာ ကတည်းက စတင် အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။ အဆိပ်သင့်ခြင်း(high toxicity)၊ မီးလောင်နိုင်ခြင်း(low flammability) တို့ကြောင့် safety precaution များစွာ လိုအပ်သည်။ အမိုးနီးယား (Ammonia) ကို ကြေး(copper)၊ ကြေးစပ်သတ္တုများ(copper alloys) ဖြင့် အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်သောကြောင့် refrigerant piping များကို steel များ၊ aluminum များဖြင့် ပြုလုပ်ကြရသည်။ အမိုးနီးယား(Ammonia) ၏ သိပ်သည်းဆ (density)သည် လေထက်နည်းသောကြောင့် ပိုက်များ equipment များ ယိုစိမ့်မှု(leak) ဖြစ်လျှင် ammonia သည် လေထုထဲသို့ ရောက်သွားသည်။ ထို့ကြောင့် အနီးပတ်ဝန်းကျင်ရှိ လူများကို အန္တရာယ်ဖြစ်စေ နိုင်သည်။ Ammonia ၏ အနံ့ဆိုးကြောင့် ယိုစိမ့်မှု(leak) ဖြစ်ခြင်းကို အလွယ်တကူ သိနိုင်သည်။

၄.၆.၈ R134 a နှင့် R407C

R134a နှင့် R407C တို့သည် R22 ကို အစားထိုးလဲလှယ် အသုံးပြုနိုင်သည့် ဓာတ်ငွေ့များ ဖြစ်ကြသည်။ R134a သည် R22 နှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင်ဖိအား(pressure) နိမ့်သောကြောင့် compressor displacement 50% ပိုများရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် ထုထည်ကြီးမားသည့် compressor ကို အသုံးပြုရသောကြောင့် ပိုဈေးကြီးသည်။ ပိုကြီးမားသည့် tube များကို အသုံးပြုရသောကြောင့် ဈေးပိုကြီးသည်။ R134a ကို အိမ်သုံး(domestic)၊ စီးပွားရေး (commercial refrigeration) လုပ်ငန်းများတွင် R12 နှင့် R22 ဓာတ်ငွေ့များအစား အသုံးပြုလာကြသည်။

၄.၆.၉ R407C

R407C သည် R32(23%) ၊ R125(25%) နှင့် R134a(52%) တို့ ပေါင်းစပ်ထားသည့် zeotropic mixture ဖြစ်သည်။ R407C ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ(properties) သည် R-22 နှင့် အတူညီဆုံး ဖြစ်သည်။ R407C ၏ glide နှင့် heat transfer ဂုဏ်သတ္တိ အနည်းငယ်(မဆိုလောက်) မကောင်းသောကြောင့် R22 ၏ system performance ကို မမီနိုင်ပေ။ R407C တွင် 'temperature glide' ဖြစ်ပေါ်သည်။ R22 နေရာတွင် အစားထိုးအသုံးပြုရန် R407C ဓာတ်ငွေ့ကို တီထွင်ခဲ့ကြသည်။ R22 ဓာတ်ငွေ့သည် ၂၀၁၅ ခုနှစ်တွင် လုံးဝ phased out ဖြစ်ရမည်ဟု နိုင်ငံ အားလုံး သဘောတူညီပြီးသား ဖြစ်သည်။

၄.၆.၁၀ R404A

R404A ကို commercial refrigeration များတွင် တစ်ထက်တစ်စ ပိုမိုကျယ်ပြန့်စွာ အသုံးပြုလာကြသည်။ Low temperature application(-40°C to -25°C)များတွင် သာလွန်သော စွမ်းဆောင်ရည်(superior performance) ကို ပေးနိုင်သည်။ Compressor discharge temperature နိမ့်သောကြောင့်လည်း single stage compression ဖြင့် အလုပ်ပြီးမြောက် နိုင်သည်။ Inter-stage cooling ကို အသုံးပြုရန် မလိုအပ်ပေ။

R410A သည် theoretical performance ညံ့ဖျင်းမှု ရှိခြင်း ၊ critical temperature နိမ့်ခြင်း နှင့် high pressure ဖြစ်ခြင်း တို့ကြောင့် refrigerant ကောင်းမဟုတ်ဟု ထင်ရသော်လည်း၊ refrigerant side heat transfer တွင် R22 ထက် 35% ကျော် ပိုကောင်းသည်။ သုတေသန တွေ့ရှိချက်များအရ R410A သည် R22 equipment system ထက် COP 5% ပိုညံ့သည်။

R410A သည် R32 နှင့် R125 တို့ ရောစပ်ထားသည့် ဓာတ်ငွေ့ဖြစ်သည်။ Temperature glide အနည်းဆုံး ဖြစ်ပေါ်သည်။ တခြားဓာတ်ငွေ့များနှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် working pressure မြင့်မားသည်။ Direct expansion (DX) ၊ Variable Refrigerant Flow (VRF) နှင့် water chilling လုပ်ငန်းများတွင် အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။

၄.၆.၁၁ R290 Propane

Hydrocarbon ဖြစ်သည့် R290 propane ကို low-charge system များတွင် အောင်မြင်စွာ အသုံးပြု ကြသည်။ မီးလောင်လွယ်သည့်(flammable)ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်သည်။ အိမ်သုံး ရေခဲသေတ္တာများတွင် အသုံးပြု ကြသည်။

၄.၆.၁၂ R744 (ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်(CO₂))

ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်(CO₂) ဓာတ်ငွေ့သည် latent heat တန်ဖိုးများခြင်း၊ heat transfer coefficient မြင့်ခြင်း၊ high pressure ရှိခြင်းနှင့် သိပ်သည်းဆများခြင်း(high density) တို့ကြောင့် သေးငယ်သည့် compressor displacement နှင့် သေးငယ်သည့်ပိုက်များ(smaller pipe diameter)သာ လိုအပ်ပြီး အလွန်သိပ်သည်းသည့် cooling effect ကို ပေးနိုင်သည်။ CO₂ ၏ အားနည်းချက်မှာ critical temperature နိမ့်ခြင်းဖြစ်သည်။ Condensing temperature သည် critical temperature အနီးသို့ ရောက်သွားချိန်တွင် vapor compression cycle တစ်ခုလုံး၏ လုပ်ဆောင်မှု ညံ့ဖျင်းသွားသည်။

၄.၆.၁၄ Sulfur Dioxide (SO₂)

ဆာလ်ဖာ(sulfur) အက်တမ် နှင့် အောက်ဆီဂျင်(oxygen) အက်တမ်နှစ်ခုတို့ ပေါင်းစပ်ထားသည့် Sulfur Dioxide(SO₂) ကို ရှေးက refrigerant compound အဖြစ် အသုံးပြုသော်လည်း ယခုအခါ အဆိပ်ဓာတ် ပါဝင်မှုများ (higher-toxicity compound) သောကြောင့် အသုံးမပြုရန် တားမြစ်ပိတ်ပင် ထားသည်။

၄.၆.၁၅ R-718

ရေ(H₂O) နှင့် (R-718) ကိုလည်း refrigerant အဖြစ် absorption chiller application များတွင် အသုံးပြုသည်။

၄.၇ Equivalent R-11 ၏ အဓိပ္ပာယ်

ODP ကို တိုင်းတာသည့်အခါ သို့မဟုတ် ODP ၏ တန်ဖိုးများကို ဖော်ပြသည့်အခါ R-11 refrigerant ကို စံအဖြစ်ထား၍ ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ R-11 ၏ ODP တန်ဖိုးသည် အများဆုံးဖြစ်သည့်အတွက် စံအဖြစ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ R-11 သည် အိုဇုန်းလွှာကို အထိခိုက်ဆုံးသော refrigerant ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် R-11 ၏ ODP တန်ဖိုးကို ၁(တစ်)ဟု သတ်မှတ်သည်။ R-22 ၏ ODP တန်ဖိုးမှာ 0.034 ဖြစ်သည်။ R-11 ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် အိုဇုန်းလွှာ ပျက်စီးမှုသည် 100% ဖြစ်လျှင် R-22 ကြောင့် 3.4% သာ ထိခိုက် ပျက်စီးစေနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် R-11 ဓာတ်ငွေ့ အလေးချိန် 1kg ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် အိုဇုန်းလွှာ ပျက်စီးမှုသည် R-22 ဓာတ်ငွေ့ အလေးချိန် 29.4 kg ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည် ထိခိုက်ပျက်စီးမှုနှင့် တူညီသည်။ R-22 29.4 kg ကို equivalent weight of R-11 ဟုခေါ်သည်။ R-123 83.3 kg ထိခိုက်စေမှုသည် R-11 တစ်ကီလိုဂရမ်(1kg)ထိခိုက်စေမှုနှင့် ညီမျှသည်။ တန်ဖိုးမှာ 0.012 ဖြစ်သည်။

	R-11	R141	R22	R123	R-134a
ODP တန်ဖိုး	1.00	0.110	0.034	0.012	0.000015
Equivalent weight of R11	1.00	9.10 kg	0.034kg	0.012kg	

၄.၈ Virgin Refrigerant and Reconditioning Refrigerant

Virgin refrigerant ဆိုသည်မှာ စက်ရုံမှ အသစ်ထုတ်လုပ်လိုက်သည့် တစ်ခါမျှ မသုံးရသေးသည့် ဓာတ်ငွေ့ (refrigerant) အသစ်စက်စက်ဖြစ်သည်။ Reconditioning refrigerant ဆိုသည်မှာ အသုံးပြုပြီး refrigerant ကို ပြန်လည် သန့်စင်ပြုပြင်ထားသော refrigerant ဖြစ်သည်။

၂၀၂၀ ပြည့်နှစ်နောက်ပိုင်းတွင် R22 ထုတ်လုပ်မှု ရပ်ဆိုင်းရန် တစ်ကမ္ဘာလုံး သဘောတူထားပြီး ဖြစ်သည်။ ထုတ်လုပ်မှု ရပ်ဆိုင်းသော်လည်း R22 အသုံးပြုနေသည့် equipment ပေါင်းများစွာ ကမ္ဘာပေါ်တွင် ရှိနေဦးမည် ဖြစ်သည်။ လက်ရှိမောင်းနေသည့် စက်များတွင် ထပ်ဖြည့်ရန်လိုအပ်သော refrigerant များအတွက် အဟောင်းများကို ပြန်လည် ပြုပြင်(re-conditioning)ကာ အသုံးပြုနိုင်သည်။ Virgin R-22 refrigerant ကို ၂၀၂၀ ခုနှစ် နောက်ပိုင်းတွင် ဝယ်ယူရန် မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။

၂၀၃၀ ပြည့်နှစ်နောက်ပိုင်းတွင် HCFC refrigerant အမျိုးအစား ထုတ်လုပ်မှုကို ရပ်ဆိုင်းကြမည်ဖြစ်သည်။ ၂၀၃၀ ကျော်လွန်ပါက virgin HCFC refrigerant ကို မရနိုင်တော့ပေ။ (ဥပမာ R-123) ။ Reconditioning refrigerant ကို recycle refrigerant ဟုလည်းခေါ်ကြသည်။

EU နိုင်ငံများတွင် refrigerant ကို လေထဲသို့ ဖောက်ထုတ်ပစ်ခြင်း၊ စွန့်ထုတ်ပစ်ခြင်းအား ခွင့်မပြုပေ။ ထိုသို့ ဖောက်ထုတ်ပစ်ခြင်း(dispose) တွေ့ရှိပါက ဥပဒေအရ အရေးယူခြင်းခံရမည် ဖြစ်သည်။

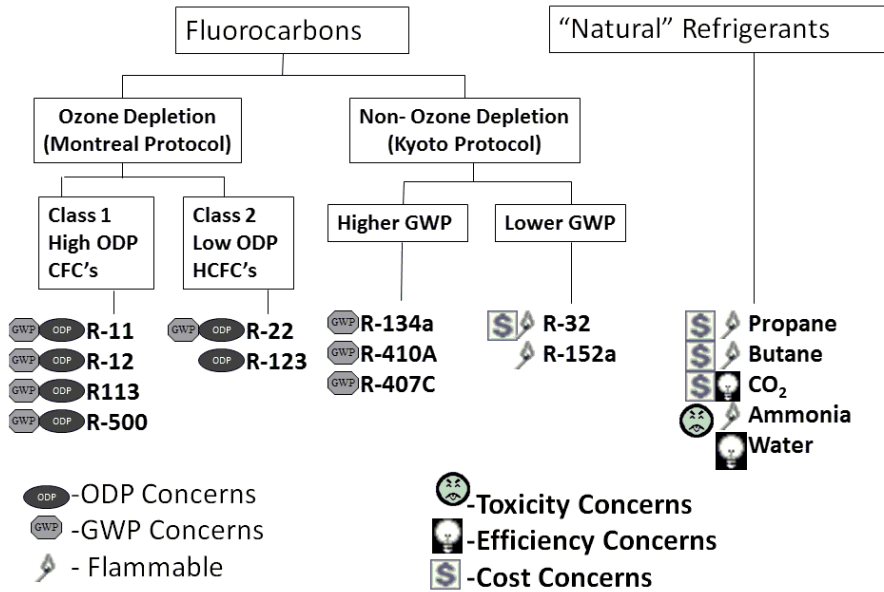
၄.၉ Selection of Refrigerants

မိမိလုပ်ငန်းနှင့် သင့်လျော်သည့် refrigerant ကို မှန်ကန်စွာ ရွေးချယ်နိုင်ရန်အတွက် အောက်ပါ အချက် များစွာကို အလေးပေးစဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။

- (၁) အိုဇုန်းလွှာနှင့် သဘာဝဝန်းကျင်ကို မထိခိုက်စေနိုင်ခြင်း(ozone- and environment friendly)
- (၂) ဆူမှတ်နိမ့်ခြင်း(low boiling temperature)
- (၃) စီးနှုန်းနည်းနည်းသာ လိုအပ်ခြင်း(low volume flow rate per unit capacity)
- (၄) လေထုဖိအားထက် နည်းခြင်း(vaporization pressure lower than atmospheric pressure)
- (၅) High heat of vaporization
- (၆) မီးမလောင်နိုင်ခြင်း နှင့် ပေါက်ကွဲမှု မဖြစ်နိုင်ခြင်း(non-flammable and non-explosive)
- (၇) သံချေးမတက်ခြင်း၊ အဆိပ်မသင့်ခြင်း(non-corrosive and non-toxic)
- (၈) Non-reactive and non-depletive with the lubricating oils of the compressor

- (၉) Refrigerant များသည် လေ သို့မဟုတ် ရေနှင့် ရောသည့်အခါတွင် အက်စစ်ဓာတ် မဖြစ်ပေါ်ခြင်း (nonacidic in case of a mixture with water or air)
- (၁၀) ဓာတုဗေဒနည်းအရ ဖွဲ့စည်းပုံ တည်ငြိမ်ခြင်း(chemically stable)
- (၁၁) တည်ငြိမ်ခြင်း - suitable thermal and physical properties(e.g., thermal conductivity, viscosity)
- (၁၂) ဈေးကွက်တွင် အလွယ်တကူ ဝယ်ယူနိုင်ခြင်း(commercially available)
- (၁၃) ယိုစိမ့်ခဲ့သော် အလွယ်တကူ သိနိုင်ခြင်း(easily detectable in case of leakage) နှင့်
- (၁၄) ဈေးနှုန်းချိုသာခြင်း၊ ကုန်ကျစရိတ် နည်းခြင်း(low cost) တို့ ဖြစ်သည်။

Options For HVAC Refrigerants



ပုံ ၄-၃ Refrigerant အမျိုးအစားများ

Refrigerant ရွေးချယ်ရာတွင် saturation property များကို အလေးပေး စဉ်းစားသင့်သည်။ Refrigerant နှင့် medium အကြားတွင် အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer)ကောင်းစေရန် အပူချိန်ခြားနားချက် 5°C မှ 10°C အတွင်း ထိန်းထားရန် လိုအပ်သည်။ အခန်းတစ်ခု(refrigerated space)ကို 0°C တွင် ထိန်းထားရန်အတွက် refrigerant အပူချိန်သည် အနိမ့်ဆုံး -10°C ဖြစ်ရမည်။ သို့မှသာ refrigerated space မှ အပူများကို refrigerant က စုပ်ယူနိုင်လိမ့်မည်။

Refrigeration cycle တစ်ခု၌ အနိမ့်ဆုံးဖိအားသည် evaporator အတွင်း၌ ဖြစ်ပေါ်သည်။ Refrigerant ၏ အနိမ့်ဆုံးဖိအားသည် လေထုဖိအားထက် ပိုမြင့်သင့်သည်။ သို့မှသာ လေများ refrigeration system အတွင်းသို့ ယိုစိမ့် ဝင်ရောက်ခြင်း ဖြစ်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ထို့ကြောင့် အထက်ပါ ဥပမာအရ အပူချိန် -10°C ၌ refrigerant ၏ saturation pressure သည် 1 atm သို့မဟုတ် 1 atm ထက် ပိုမြင့်ရန် လိုအပ်သည်။ Ammonia နှင့် R-134a တို့၏ evaporation pressure သည် လေထုဖိအားထက် ပိုမြင့်သည်။

Condenser အတွင်းရှိ refrigerant temperature နှင့် pressure သည် အပူစွန့်ထုတ်မည့်(heat rejected) medium အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Condenser အတွင်း၌ အပူချိန်နိမ့်အောင် ထားနိုင်လျှင် COP ပိုကောင်းနိုင်သည်။ Condenser အတွင်း၌ အပူချိန် နိမ့်ကျစေရန်အတွက် အပူချိန်နိမ့်မည့် medium ရရန် လိုအပ်သည်။

၄.၁၀ မှန်ကန်သည့် Refrigerant ကို ရွေးချယ်ခြင်း (Selection of the Right Refrigerant)

၁၈၅၀ ခုနှစ်များ၌ Ethyl ether ကို vapor-compression system များ၌ refrigerant အဖြစ် ပထမဆုံး အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။ ထို့နောက် ammonia ၊ carbon dioxide ၊ methyl chloride ၊ sulphur dioxide ၊ butane ၊ ethane ၊ propane ၊ isobutene ၊ gasoline နှင့် chlorofluorocarbons စသည်တို့ ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြု လာကြသည်။ အမိုးနီးယား(Ammonia) သည် အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်သော်လည်း စက်မှုလုပ်ငန်းများ (industrial) နှင့် စီးပွားရေးလုပ်ငန်းကြီး(heavy-commercial)များတွင် ကြိုက်နှစ်သက်စွာ အသုံးပြုနေကြဆဲ ဖြစ်သည်။

အမိုးနီးယား(Ammonia) ၏ အားသာချက်များမှ ဈေးနှုန်းချိုသာခြင်း၊ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု နည်းခြင်း(COP ကောင်းခြင်း) ၊ သေးငယ်ပြီး ဈေးပေါသည့် heat exchanger များနှင့် တွဲသုံးနိုင်ခြင်း၊ thermodynamic နှင့် transport property များ ကောင်းမွန်ခြင်း၊ ယိုစိမ့်မှုဖြစ်လျှင် အလွယ်တကူ သိနိုင်ခြင်း၊ အိုရန်းလွှာကို မပျက်စီး စေနိုင်ခြင်း တို့ ဖြစ်သည်။ အမိုးနီးယားကို "natural refrigerant" ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုသည်။

အမိုးနီးယား(ammonia)သည် အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်သောကြောင့် အိမ်သုံးကိရိယာများတွင် refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ အမိုးနီးယား(ammonia)ကို စားသောက်ကုန်လုပ်ငန်းများ(food refrigeration facilitie)တွင် အသုံးပြုသည်။ လတ်ဆတ်သည့် သစ်သီးများ(fresh fruits) ၊ ဟင်းသီးဟင်းရွက်များ(vegetables)၊ အသား၊ငါးများ(meat and fish)ကို အအေးခံခြင်း၊ နို့ထွက်ပစ္စည်းများ(dairy products) ဖြစ်သည့် နွားနို့ ၊ ချီးစ် နှင့် ဘီယာ၊ ဝိုင် တို့ကို အေးအောင်ပြုလုပ်ခြင်း၊ ရေခဲမုန့် နှင့် သား၊ငါးများကို အေးခဲအောင် ပြုလုပ်ခြင်း၊ process industry များနှင့် ဆေးဝါးထုတ်လုပ်သည့် လုပ်ငန်းများတွင် အလွန်နိမ့်သည့် အပူချိန် ရရှိရန် အတွက် အမိုးနီးယား(Ammonia)ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုကြသည်။

ရှေးယခင်က လုပ်ငန်းငယ်များနှင့် နေအိမ်များ၌ အသုံးပြုခဲ့ကြသော sulfur dioxide ၊ ethyl chloride နှင့် methyl chloride တို့သည် အလွန်ပြင်းထန်သည့် အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့များ ဖြစ်ကြသည်။ ၁၉၂၀ နှစ်များတွင် ဘေးအန္တရာယ်မျိုးစုံနှင့် ကြုံတွေ့ရပြီးနောက် အဆိပ်သင့်စေနိုင်သည့် refrigerant များကို နေအိမ်များတွင် အသုံးမပြုရန် ပိတ်ပင် ကန့်သတ်ခဲ့သည်။ Frigidaire Corporation ၏ တောင်းဆိုချက်ကြောင့် General Motor ၏ သုတေသန စမ်းသပ်ခန်းမှ R-21 ကို တီထွင်ခဲ့သည်။ R-21 သည် ၁၉၂၈ ခုနှစ်တွင် CFC အုပ်စုမှ ပထမဆုံး အသုံးပြုသည့် refrigerant ဖြစ်လာသည်။ "Freon" အမည်ဖြင့် ကျော်ကြားလာသည်။ ၁၉၃၀ ခုနှစ်တွင် General Motors ကုမ္ပဏီ နှင့် Du Pont ကုမ္ပဏီ တို့မှ ပူးပေါင်း၍ R-11 နှင့် R-12 တို့ကို စီးပွားဖြစ် ထုတ်လုပ်ခဲ့ကြသည်။ ဈေးနှုန်းချိုသာသောကြောင့် လူကြိုက်များသည့် refrigerant ဖြစ်လာသည်။ CFC ဓာတ်ငွေ့များကို aerosols ၊ foam insulations နှင့် အီလက်ထရောနစ်လုပ်ငန်း(electronic industry)များတွင် chip များကို သန့်စင်ရန် အသုံးပြုကြသည်။

ယခင်အချိန်က အဆောက်အဦရှိ air-conditioning system များတွင် အသုံးပြုထားသည့် chiller များတွင် R-11 ကို အဓိကထား၍ အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။ R-12 ကို အိမ်သုံး refrigerator များ၊ freezer များနှင့် ကားအေးယားကွန်း များတွင် အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။ R-22 ကို အဆောက်အဦရှိ air conditioner များ ၊ heat pump များ၊ အိမ်သုံး air conditioner များတွင် အသုံးပြုကြသည်။ အလွန်ကြီးမားသည့် စက်မှုလုပ်ငန်း(industrial refrigeration system) များတွင် R-22 နှင့် ammonia ကို အပြိုင်အဆိုင် အသုံးပြုကြသည်။

R-502 သည် R-115 နှင့် R-22 တို့ ရောနှောပါဝင်နေသည့် refrigerant(a blend of R-115 and R-22) ဖြစ်သည်။ R-502 သည် single-stage compression ဖြင့် အပူချိန်နိမ့်နိမ့်(low temperature) ကို ရရှိနိုင်သောကြောင့် super market များတွင် အသုံးပြုကြသည်။ CFC အုပ်စုဝင် R-11 ၊ R-12 နှင့် R-115 တို့သည် အိုရန်းလွှာ(ozone layer)ကို ဆိုးဝါးစွာ ထိခိုက်စေနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် R-12 ကို R-134a ဓာတ်ငွေ့ဖြင့် အစားထိုး အသုံးပြု လာကြသည်။

၄.၁၁ Refrigerant - HFC-134a အကြောင်း

HFC-134a ကို လွန်ခဲ့သည့် နှစ်ပေါင်း(၆၀) ကျော်ခန့်ကတည်းက စတင် အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။ Chloro-fluorocarbons(CFC) ဓာတ်ငွေ့များကို အစားထိုးအသုံးပြုရန် ရည်ရွယ်၍ စတင်စမ်းသပ်ခဲ့ကြခြင်းဖြစ်သည်။

တခြားသော refrigerant များထက် ထူးခြားကောင်းမွန်သည့် HFC-134a refrigerant ၏ အားသာချက် များမှာ အဆိပ်သင့်မှုနည်းခြင်း(low toxicity) ၊ မီးလောင်မလွယ်ခြင်း(non-flammable) ၊ သံချေး၊ ကြေးချေး မတက်စေခြင်း(non-corrosive) နှင့် တခြားသတ္တုများနှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်ခြင်း(compatible with other materials) စသည်တို့ ဖြစ်သည်။ ထို့အပြင် သာလွန်သည့် thermodynamic နှင့် physical property များကြောင့် ပို၍ အသုံးများသော ဓာတ်ငွေ့(refrigerant) ဖြစ်လာသည်။

HFC-134a ဓာတ်ငွေ့တစ်မျိုးသာလျှင် single compound ပုံစံမျိုးဖြင့် အသုံးပြုနိုင်သည့် refrigerant ဖြစ် သည်။ တခြားသော refrigerant များသည် azeotropes သို့မဟုတ် zeotropes (နှစ်မျိုး သို့မဟုတ် နှစ်မျိုးထက် ပိုသော ဓာတ်ငွေ့များကို ရောစပ်ကာ ပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် HFC-134a သည် chiller အတွက် အကောင်းဆုံးသော refrigerant တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။

HFC-134a ဓာတ်ငွေ့၏ chemical property များမှာ

HFC-134a	
Chemical Name	1,1,1,2-tetrafluoroethane
Molecular Formula	CH ₂ FCF ₃
CAS Registry Number	811-97-2
Molecular Weight	102.0
Chemical Structure	$ \begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ \text{F} - \text{C} - \text{C} - \text{H} \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{H} \end{array} $

HFC-134a ဓာတ်ငွေ့ကို CFC-11၊ CFC-12 ဓာတ်ငွေ့များ နေရာတွင် အစားထိုးအသုံးပြုကြသည်။

Refrigerant များကို polymer foam များအား မှုတ်ထုတ်ခြင်း(blowing) အတွက်လည်းကောင်း၊ aerosol product များ အတွက်လည်းကောင်း အသုံးပြုကြသည်။ သို့ရာတွင် CFC-11၊ CFC-12 မှ HFC-134a ဓာတ်ငွေ့များကို ပြောင်းလဲ အသုံးပြုခြင်းကြောင့် performance ပိုမိုကောင်းရန်အတွက် equipment များ၏ ဒီဇိုင်းများ ပြောင်းလဲရန် တစ်ခါတစ်ရံ လိုအပ်သည်။

CFC ဓာတ်ငွေ့များကို refrigerant အဖြစ်သာမက ဆားကစ်ပြားများ ထုတ်လုပ်ရာတွင် အညစ်ကြေးများ၊ မလိုအပ်သည့်အရာများ သန့်စင်ရန်အတွက် blowing agent အဖြစ်သော်လည်းကောင်း၊ သတ္တုပစ္စည်းများ နှင့် အီလက် ထရောနစ်ပစ္စည်းများ ထုတ်လုပ်ရာတွင် cleaning agent အဖြစ်သော်လည်းကောင်း အသုံးပြုကြသည်။ သို့သော် CFC ဓာတ်ငွေ့များတွင် ကလိုရင်းပါဝင်မှု(Chlorine content)ကြောင့် အိုဇွန်းလွှာပါးခြင်း(Ozone Depletion) ကို ဖြစ်စေ နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် CFCs ဓာတ်ငွေ့များ ထုတ်လုပ်ခြင်း၊ အသုံးပြုခြင်းတို့ကို ရပ်တန့်ပြီး(phased out production of CFCs) သဘာဝပတ်ဝန်းကျင်ကို မထိခိုက်သော Hydrofluorocarbon(HFC) ဓာတ်ငွေ့များ(R134a) ဖြင့် အစားထိုး အသုံးပြုရန် ကြိုးစားလာကြသည်။ HFC-134a ဓာတ်ငွေ့တွင် ကလိုရင်း(Chlorine) မပါဝင်သောကြောင့် Ozone Depletion Potential(ODP)တန်ဖိုးမှာ zero ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် HFC-134a ဓာတ်ငွေ့ အသုံးပြုခြင်း ကြောင့် အိုဇွန်းလွှာကို မထိခိုက်နိုင်ပေ။ HFC-134a ကို Hydrofluorocarbon-134a သို့မဟုတ် R134a ဟုလည်း ခေါ်ဆို ကြသည်။

HFC-134a ဓာတ်ငွေ့သည် အဆိပ်မသင့်(low toxicity) သောကြောင့် refrigeration industry တွင် စိတ်ချ ရသော၊ အန္တရာယ်ကင်းသော(safe) refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုကြသည်။ ရေခဲသေတ္တာနှင့် ကားအဲယားကွန်းများ တွင် လည်းကောင်း၊ supermarket များတွင် အပူချိန် နိမ့်အောင်ထားရမည့် ကုန်ပစ္စည်းများ သိမ်းဆည်းရန်၊ ပြသသည့်

show case သို့မဟုတ် display case များတွင် လည်းကောင်း၊ commercial chiller များတွင်လည်း ကောင်းအသုံးပြုကြသည်။

အောက်ပါဇယားသည် CFC-12 နှင့် HFC-134a တို့၏ medium-temperature conditions အတွက် theoretical performance နှိုင်းယှဉ်ချက်ကို ဖော်ပြထားသည်။

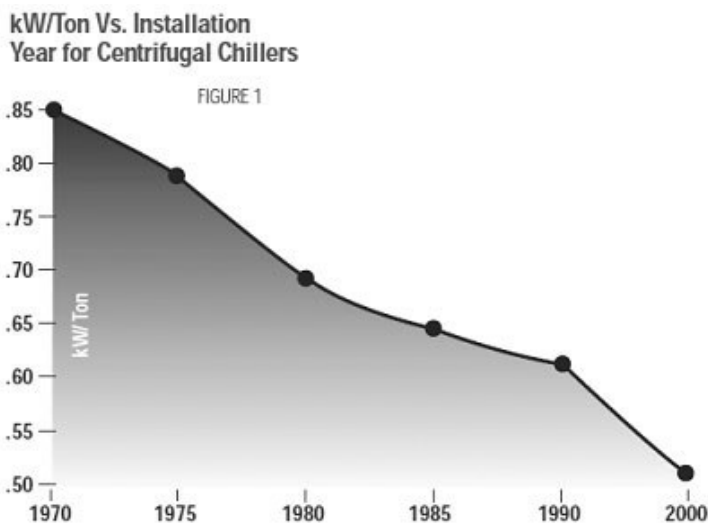
Theoretical Cycle Comparison of CFC-12 and HFC-134a*

	CFC-12	HFC-134a
Capacity(as% CFC-12)	100	99.7
Coefficient of Performance(COP)	3.55	3.43
Compressor		
Exit Temperature, °C (°F)	86.8 (188.2)	83.1 (181.5)
Exit Pressure, kPa (psia)	1349 (195.6)	1473 (213.7)
Compression Ratio	4.1	4.7

* Temperatures were as follows: Condenser, 54.4°C (130.0°F); Evaporator, 1.7°C (35.0°F); Compressor Suction, 26.7°C (80.0°F); Expansion Device, 51.7°C (125.0°F).

HFC-134a သည် CFC-12 ထက် theoretical performance တွင် မပြောပလောက်သည့် ရာခိုင်နှုန်းအနည်းငယ်သာ လျော့နည်းသည်။ HFC-134a ဓာတ်ငွေ့သည် အကောင်းဆုံးသော သာမိုဒိုင်းနမစ်ဂုဏ်သတ္တိ (excellent thermodynamic) ကို ပိုင်ဆိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် HFC-134a ဓာတ်ငွေ့သုံးသော refrigeration စက်သည် efficiency ကောင်းသည့် အမျိုးအစားတွင် ပါဝင်သည်။

ယနေ့ထုတ်လုပ်နေသည့် HFC-134a ဓာတ်ငွေ့ အသုံးပြုထားသည့် centrifugal chiller များသည် လွန်ခဲ့သော ၁၉၇၀ နှစ်များ နှင့် ၁၉၈၀ နှစ်များတွင် ထုတ်လုပ်ခဲ့သော centrifugal chiller များထက် efficiency ၃၅% ခန့် ပိုကောင်းသည်။



ပုံ ၄-၄ Centrifugal chiller များ၏ efficiency တိုးတက်လာပုံ

အထက်ပါပုံသည် kW/Ton(chiller efficiency) တိုးတက်လာပုံကို ဖော်ပြထားသော ဂရပ်ဖြစ်သည်။ Chiller တစ်လုံးအတွက် kW/Ton နည်းလေ ထို chiller သည် ပို၍ efficient ဖြစ်လေဖြစ်သည်။ HFC-134a ဓာတ်ငွေ့သည် ozone depletion ပြဿနာများကို ဖြေရှင်းပေးရုံသာမက ရာသီဥတုပြောင်းလဲမှု(global climate change)များကိုပါ လျော့နည်းစေနိုင်သည်။

၄.၁၂ Positive Pressure Refrigerant

HFC-134a ၏ evaporation pressure နှင့် condensing pressure သည် လေထုဖိအားထက် ပိုများသောကြောင့် “positive pressure refrigerant” ဟုခေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် အပေါင်းဖိအား(positive pressure) ဖြစ်အောင် မောင်းနှင်နိုင်သော refrigeration equipment များတွင်သာ အသုံးပြုနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် positive pressure chiller များကို American Society of Mechanical Engineers(ASME) ၏ national pressure vessel code မှ သတ်မှတ် ညွှန်ကြားထားသည့်အတိုင်း ဆောက်လုပ်ရမည်။ ASME စည်းမျဉ်းစည်းကမ်း(code)အရ chiller များသည် မောင်းနှင် မည့်ဖိအား(normal operating pressure)ထက် (၇)ဆ ပိုများသော ဖိအားကို ခံနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ ထို့ကြောင့် chiller များမှ refrigerant ယိုစိမ့်မှု(leak)ကို ကာကွယ်နိုင်သည်။

လွန်ခဲ့သည့်နှစ်ပေါင်းများစွာက တည်ဆောက်ခဲ့သည့် chiller များ၏ ယိုစိမ့်မှုနှုန်း(leak rates)မှာ နှစ်စဉ် ၁၇% ထက် များသည်။ Chiller များ၏ vessel များကို ခိုင်ခံ့အောင် တည်ဆောက်ထားမှုကြောင့် chiller များအတွင်း၌ refrigerant ကို ထည့်သွင်းပြီး(charged လုပ်ပြီး) တစ်နေရာမှ တစ်နေရာသို့ သယ်ယူပို့ဆောင်နိုင်သည်။

၄.၁၂.၁ Smaller Footprint (တပ်ဆင်ရန် နေရာ အနည်းငယ်သာ လိုအပ်ခြင်း)

HFC-134a ဓာတ်ငွေ့၏ molecular mass သည် CFC နှင့် HCFC refrigerant တို့၏ molecular mass ထက် ပိုသေးငယ်သည်။ ထို့ကြောင့် HFC-134a အတွက် လိုအပ်သော ထုထည်(volume)မှာ CFC နှင့် HCFC refrigerant တို့၏ လိုအပ်သော ထုထည်(volume)ထက် လျော့နည်းသည်။ ထို့ကြောင့် HFC-134a chiller ၏ အရွယ်အစားသည် ၃၅% မှ ၄၀% အထိ သေးငယ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် chiller ထုတ်လုပ်မှု စရိတ်၊ အသုံးပြုသည့် ပစ္စည်းစရိတ် သက်သာသည်။ သယ်ဆောင်ရန်၊ တပ်ဆင်ရာတွင်လည်း လွယ်ကူသည်။ Chiller တပ်ဆင်ထားမည့် နေရာကိုလည်း အလွန်ခိုင်ခံ့အောင် ပြုလုပ်ရန် မလိုအပ်ပေ။ နေရာကျဉ်းကျဉ်းတွင် တပ်ဆင်မောင်းနှင်နိုင်သည်။

၄.၁၂.၂ Less Oil Waste (လေလွင့်သည့် ချောဆီပမာဏ နည်းခြင်း)

Chiller ထဲတွင် အသုံးပြုထားသော ချောဆီ(oil)ကို ပုံမှန်လဲပေးရန် လိုအပ်သည်။ ချောဆီ(oil) အဟောင်းကိုလည်း သဘာဝပတ်ဝန်းကျင် မထိခိုက်အောင် စွန့်ပစ်ရမည်။ HFC-13 ဖြင့် မောင်းသည့် chiller ထဲတွင် အသုံးပြု ထားသော ချောဆီ(oil)၏ သက်တမ်းသည် CFC နှင့် HCFC ဖြင့် မောင်းသည့် chiller များတွင် သုံးသော oil ၏ သက်တမ်းထက် (၄)နှစ် သို့မဟုတ် (၅)နှစ် ပိုကြာကြာခံနိုင်သည်။ HFC refrigerant ထဲတွင် ကလိုရင်း(chlorine) မပါဝင်မှုကြောင့် mineral oil များ ထည့်သွင်းအသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် HFC-134a ဖြင့် မောင်းသည့် chiller ထဲတွင် synthetic lubricant ကိုသာ အသုံးပြုရသည်။ Synthetic lubricant ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် ပိုကောင်းမွန်သည့် စွမ်းဆောင်ရည်(superior performance) ရနိုင်ပြီး chiller သက်တမ်း ပိုရှည်သည်။ နောင်တွင် refrigerant ကို ချောဆီ(lubricant) အဖြစ် chiller များတွင် အသုံးပြုရန်မှာ သုတေသနပြုဆဲ အဆင့်တွင်သာ ရှိသေးသည်။

၄.၁၂.၃ Increased Safety (ဘေးအန္တရာယ် ကင်းဝေးခြင်း)

အဆောက်အဦပိုင်ရှင်များအတွက် မီးဘေးသည် အကြီးမားဆုံးသော အန္တရာယ် ဖြစ်သည်။ HFC-134a သည် ယနေ့ထုတ်လုပ်နေသော chiller များအတွက် ဘေးအကင်းဆုံးသော refrigerant ဖြစ်သည်။ ASHRAE 34 Safety Classification အရ HFC-134a သည် A1 compound အဖြစ် သတ်မှတ်ခြင်း ခံရသည်။

၄.၁၃ Refrigerant Safety Group

အဆိပ်သင့်မှု(toxicity)နှင့် မီးလောင်လွယ်မှု(flammability) နှစ်မျိုးကို အခြေခံ၍ safety အုပ်စုများ ခွဲခြားထားသည်။ Refrigerant များကို national refrigerant safely code အဖွဲ့မှ အုပ်စု(၃)ခု ခွဲ၍ အမျိုးအစားခွဲခြားသတ်မှတ်ထားသည်။ စိတ်ချရဆုံးသော အုပ်စုကို ပထမအစု(Group 1)ဟု သတ်မှတ်သည်။ အနည်းငယ် မီးလောင်ပြီး အဆိပ်အတောက် ဖြစ်စေနိုင်သော အုပ်စုကို ဒုတိယအစု(Group 2)ဟု သတ်မှတ်ပြီး မီးလောင်နိုင်သော အုပ်စုကို တတိယအစု(Group 3)ဟု သတ်မှတ်သည်။

Table 4-7 refrigerant safety group

Group	Refrigerant Name
Group 1	R-113၊ R-11၊ R-21၊ R-114၊ R-12၊ R-22-R-30၊ R-22၊ R-774၊ R-13၊ R-14၊ R-500
Group 2	R-40၊ R-160၊ R-717၊ R-764၊ R-1130
Group 3	R-50၊ R-170၊ R-290၊ R-600၊ R-601၊ R-1150

Table 4-8 ASHRAE safety classification

Classification	Low/No Toxicity A (PEL>400ppm)	High ToxicityB (PEL<400ppm)
No Flammability (Class 1)	A1 (R12, R22, R134a, R407c, R744)	B1 (R123)
Low Flammability (Class 2)	A2(R32, R152a)	B2(R717- NH ₃)
High Flammability (Class 3)	A3(Propane)	B3(Ethylene-R1150)

According to ANSI/ASHRAE Standard 34-1997, safety groups are classified as follows:

- (၁) A1 lower toxicity and no flame propagation
- (၂) A2 lower toxicity and lower flammability
- (၃) A3 lower toxicity and higher flammability
- (၄) B1 higher toxicity and no flame propagation
- (၅) B2 higher toxicity and lower flammability
- (၆) B3 higher toxicity and higher flammability

၄.၁၄ Safety Requirements

တပ်ဆင်နေစဉ်၊ မောင်းနေစဉ် အချိန်တွင် refrigerant များသည် ပိုက်အဆက်များ၊ seal များနှင့် component များမှ ယိုစိမ့်နိုင်သောကြောင့် လူများ၏ အသက်အန္တရာယ် မထိခိုက်စေနိုင်သည့် အဆင့်ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။ မီးမလောင်နိုင်သည့် ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။

ANSI/ASHRAE Standard 34-1997 အရ refrigerant များ၏ အဆိပ်သင့်မှုကို class A နှင့် class B ဟူ၍ အဆင့်များ ခွဲခြားထားသည်။ Class A အဆင့်ရှိ refrigerant သည် အဆိပ်သင့်မှု လျော့နည်းသည်။ Threshold limit value–time-weighted average (TLV-TWA) ကို အခြေခံ၍ 400 ppm ထက် လျော့နည်းသည့် concentration တွင် မသိနိုင်လျှင်(identified) Class A အဆင့်ရှိ refrigerant အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ TLV-TWA concentration ဆိုသည်မှာ တစ်နေ့အလုပ်ချိန် (၈)နာရီနှင့် တစ်ပတ်အလုပ်ချိန် နာရီ(၄၀)ကြာအောင် refrigerant နှင့် ထိတွေ့နေသည့်တိုင်အောင် ဆိုးရွားသည့်ဘေး မဖြစ်နိုင်သည့် ပြင်းအား(concentration)ကို ဆိုလိုသည်။ ပြင်းအားကို တိုင်းသည့် ယူနစ်မှာ parts per million by mass (PPM) ဖြစ်သည်။ ဥပမာ- 400 ppm ဆိုသည်မှာ လေအလေးချိန်

ပေါင် တစ်သန်းတွင် refrigerant အလေးချိန် ပေါင်(၄၀၀) ပါဝင်နေခြင်းဖြစ်သည်။ Class B refrigerant များသည် အဆိပ်သင့်မှုများသည့် ဓာတ်ငွေ့များ ဖြစ်ကြသည်။ TLV-TWA concentration 400 ppm အောက်တွင် အဆိပ် ဓာတ်ငွေ့ များရှိနေကြောင်း သိနိုင်သည်။

မီးလောင်လွယ်သည့်(flammable) refrigerant များ အနားတွင် မီးခြစ်ခြစ်ခြင်း၊ မီးတောက်၊ မီးစတိုးဖြင့် ထိတွေ့ပါက မီးလောင်နိုင်သည်။ ထို flammable refrigerant များအနီးတွင် soldering လုပ်ခြင်းနှင့် welding လုပ်ခြင်းတို့ကို ရှောင်ကြဉ်ရန် လိုအပ်သည်။

ANSI/ASHRAE Standard 34-1997 အရ refrigerant များ၏ မီးလောင်လွယ်မှု(flammability) ကို အဆင့်သုံးဆင့်ဖြင့် ခွဲခြားထားသည်။

Class 1

ဖိအား 14.7 psia (101 kPa) နှင့် အပူချိန် 65°F (18.3°C) အောက်တွင် refrigerant သည် flame propagation ဝုဏ်သတ္တိ မပြုလျှင် "Class 1" အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။

Class 2

Refrigerants ၏ lower flammability limit (LFL) တန်ဖိုးသည် အပူချိန် 70°F (21.1°C) နှင့် ဖိအား 14.7 psia (101 kPa abs.) အောက်တွင် 0.00625 lb/ft³ (0.1 kg/m³) ထက်ပိုများလျှင် Class 2 အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ မီးလောင်သည့်အခါ ထွက်လာသည့် အပူပမာဏ(heat of combustion)သည် 8174 Btu/lb (19,000 kJ/kg) ထက်ပိုများလျှင် "Class 2" အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။

Class 3

Refrigerants ၏ lower flammability limit (LFL) တန်ဖိုးသည် အပူချိန် 70°F (21.1°C) နှင့် ဖိအား 14.7 psia (101 kPa abs.) အောက်တွင် 0.00625 lb/ft³ (0.1 kg/m³) ထက်ပိုနည်းလျှင် Class 2 အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ မီးလောင်သည့်အခါ ထွက်လာသည့် အပူပမာဏ(heat of combustion)သည် 8174 Btu/lb (19,000 kJ/kg) ထက်နည်းလျှင် "Class 3" အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။

Zeotropic blend ဓာတ်ငွေ့များထဲတွင် ပါဝင်နေသည့် အချိုးများ ပြောင်းလဲသွားလျှင် မီးလောင်လွယ်ခြင်း အဆင့်(flammability) နှင့်အဆိပ်သင့်ခြင်း(toxicity) တို့ ပြောင်းလဲသွားလိမ့်မည်။

HFC-134a သည် လူများ ရှူမိသည့်တိုင် မည့်သည့် ဘေးအန္တရာယ်ကိုမျှ မဖြစ်စေနိုင်ဘဲ ကျန်းမာရေးကိုလည်း မထိခိုက်စေနိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းသူများ(maintenance technician) နှင့် မောင်းနှင်သူများ(operator) အတွက် အလွန်အန္တရာယ်ကင်းသည်။

အဆောက်အဦ ပိုင်ရှင်များ သို့မဟုတ် ရွေးချယ်ရန်ဆုံးဖြတ် ချက်ချမည့်သူများသည် refrigerant compound များ၏ အခြေခံ ဓာတုဗေဒ အချက်များကို ကောင်းစွာနားလည်ထားခြင်းဖြင့် chiller သို့မဟုတ် refrigerant ကို ရွေးချယ်ရာတွင် ပိုမိုမှန်ကန်သည့် ဆုံးဖြတ်ချက်များ ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Periodic table အရ ကမ္ဘာပေါ်တွင် ခြပ်စင်(၁၀၀)ကျော် ရှိသော်လည်း အများစုမှာ refrigerant compound အဖြစ် အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။

နိုက်ထရိုဂျင်(nitrogen) အက်တမ် နှင့် ဟိုက်ထရိုဂျင်(hydrogen) အက်တမ်တို့ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသော အမိုးနီးယား(Ammonia) မှာ အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့ဖြစ်ခြင်း(toxicity) နှင့် မီးလောင်လွယ်ခြင်း(flammability) တို့ကြောင့် လူနေအဆောက်အဦများတွင် သုံးခွင့်မပြုပေ။ စက်ရုံများ(industrial process refrigeration) တွင်သာ အသုံးပြု နိုင်သည်။

၄.၁၄.၁ အပူကြောင့် ဓာတ်ပြိုကွဲခြင်း (Thermal Decomposition)

HFC-134a ဓာတ်ငွေ့သည် အပူချိန်မြင့်မားသည့် အခြေအနေတွင် ဓာတ်ပြိုကွဲ(decompose) သွားသည်။ ဓာတ်ပြိုကွဲခြင်း(decomposition)ကြောင့် hydrogen fluoride ကဲ့သို့ ကိုင်တွယ်မိလျှင်၊ ထိမိလျှင် ယားယံ

စေတတ်သော ဓာတ်များ (irritating compounds) ထွက်လာနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် အပူချိန်မြင့်မားသည့် အခြေအနေတွင် ဓာတ်ပြိုကွဲခြင်း (decompose) မဖြစ်အောင် ကာကွယ်တားဆီးရန် လိုအပ်သည်။

Refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်ရန် အောက်ပါ ဂုဏ်သတ္တိများနှင့် ပြည့်စုံရမည်ဖြစ်သည်။

- ၁။ လူရှူရှိုက်မိလျှင် ဘေးဥပါဒ် မဖြစ်စေရ။ (Non poisonous)
- ၂။ ပေါက်ကွဲစေသော ဂုဏ်သတ္တိမရှိစေရ။ (Non explosive)
- ၃။ သတ္တုများနှင့် ဓာတ်ပြု အညှိတက်ခြင်း၊ စားခြင်း မဖြစ်ပေါ်စေရ။ (Non corrosive)
- ၄။ မီးလောင်လွယ်သည့်ဓာတ်ငွေ့ မဖြစ်စေရ။ (Non flammable)
- ၅။ အဆိပ်အတောက်ဖြစ်မှု မရှိစေရ။ (Non toxic)
- ၆။ ဓာတ်ငွေ့၏ဓာတုဖွဲ့စည်းမှု တည်မြဲရမည်။ (Stable)
- ၇။ နိမ့်သောဖိအားနှင့် အပူချိန်တွင် ကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်နိုင်ရမည်။ (Low boiling point)
- ၈။ ချောဆီတွင် ဓာတ်ပြုမှု မရှိစေရ။ (Undilutable)
- ၉။ ဓာတ်ငွေ့တစ်ပေါင်ပိုင်ဆိုင်သော Latent Heat ပမာဏကြီးမားရမည်။ (High latent heat)
- ၁၀။ Condenser နှင့် Evaporator ဖိအားများခြားနားမှုနည်းရမည် (Small pressure difference)
- ၁၁။ Specific Volume တန်ဖိုး ft^3/lb သေးငယ်ရမည်။ (Small specific volume)
- ၁၂။ ယိုစိမ့်နိုင်စွမ်း နည်းပါးရမည် (Low leak tendency)
- ၁၃။ ယိုစိမ့်မှုကို လွယ်ကူစွာသိနိုင်ရမည် (Easy to detection)
- ၁၄။ ဈေးနှုန်းချိုသာရမည်။ (Low price)

Refrigerant စက်ရုံများမှ ထုတ်လုပ်သော ဓာတ်ငွေ့များကို နံပါတ်များနှင့် သတ်မှတ်လေ့ရှိသည်။ ထိုနံပါတ်များအရှေ့ရှိ "R" စာလုံးသည် refrigerant ဟု ဆိုလိုခြင်း ဖြစ်သည်။ အမေရိကန်နိုင်ငံ American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers များအဖွဲ့ (ASHRAE) မှ နံပါတ်များ သတ်မှတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

Standard Evaporator and Condenser Temperature

Refrigeration လုပ်ငန်းများတွင် အင်ဂျင်နီယာများ အနေဖြင့် standard evaporator temperature ကို -15°C(5°F) သတ်မှတ်ပြီး ချိန်ညှိကြသည်။ ထို့နည်းတူ condensing temperature ကို 30°C(86°F) သတ်မှတ်ပြီး ချိန်ညှိ ထိန်းသိမ်းကြသည်။

Table 4-9 natural refrigerants and synthetic refrigerants

Natural Refrigerants	Synthetic Refrigerants		
	CFC's	HCFC's	HFC's
Ammonia	R11	R21	Single substances
Hydrocarbons	R12	R22	R23
Carbon dioxide	...	R123	R134a
Water	R500	R124	Blends
Air			R507
			R404A
			R410A
			R407C

၄.၁၄.၂ Leakage Detection

ယိုစိမ့်နေသည့် refrigerant များကို အလွယ်တကူသိနိုင်ခြင်းသည် ကောင်းမွန်သည့် ဂုဏ်သတ္တိ တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ Refrigerant လျော့နည်းမှု အလွန်များပါ ပျက်စီးနိုင်သည်။ refrigerant များသည် အရောင်မရှိ(colorless)၊ အနံ့မရှိသည့်(odorless) ဓာတ်ငွေ့ဖြစ်သောကြောင့် ယိုစိမ့်မှုကို သိရန်ခက်ခဲသည်။ chiller အတွင်း၌ ရှိသင့် ရှိထိုက် သည့် refrigerant ပမာဏထက် လျော့နည်းနေပါက ထို chiller သည် rate capacity ကို ထုတ်ပေးနိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ Leakage Detection အကြောင်းကို အခန်း(၂၁)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

၄.၁၄.၃ ဘေးန္တရယ်ကင်းဝေးရေး(Safety)

Refrigeration လုပ်ငန်း လုပ်ဆောင်ရာတွင် safety အတွက် သတိပြုလုပ်ဆောင်ရမည့် အချက်များ

- (၁) ဓာတ်ငွေ့များ ကိုင်တွယ်ရာတွင် လည်းကောင်း၊ ရွှေ့ပြောင်းရာတွင်လည်းကောင်း၊ မျက်စိနှင့် ထိတွေ့ခြင်း မဖြစ်အောင် ဂရုပြုရှောင်ရှားရမည်။
- (၂) အမိုးနီးယား နှင့် sulphur dioxide ဓာတ်ငွေ့များသည် လူ၏မျက်လုံးနှင့် အဆုတ်များအား အန္တရာယ်ကြီးစွာ ဖြစ်စေသဖြင့် အထူးဂရုပြု ကိုင်တွယ်ရမည်။
- (၃) Compressor oil များအတွင်း၌ ပျော်ဝင်နေသည့် အက်စစ်ဓာတ်ငွေ့များ ရှိနေနိုင်သောကြောင့် လဲလှယ်သော အခါ အသားနှင့် မထိတွေ့အောင် ဂရုပြုရမည်။
- (၄) အလုပ်လုပ်သောနေရာသည် လေဝင်လေထွက်(ventilation)ကောင်းမွန်ရမည်။ Refrigerant ဓာတ်ငွေ့များ များနေခြင်း သည် လူအတွက် အသက်ရှူခြင်းကို အန္တရာယ် ဖြစ်စေနိုင်သဖြင့် အကယ်၍ ဓာတ်ငွေ့များ ယိုစိမ့်နေပါက လေကောင်း လေသန့် ထည့်ပေး၍ ဓာတ်ငွေ့များ ဖယ်ရှားပစ်ရမည်။
- (၅) Refrigerant ဓာတ်ငွေ့အရည်များကို လူ၏အသားနှင့် တိုက်ရိုက် မထိတွေ့ခြင်းရန် ဂရုပြုရှောင်ရှားရမည်။ ထိုအရည်များသည် လေထုဖိအားတွင် ဆူမှတ်နိမ့်ပြီး အလွယ်တကူ အငွေ့ယုံ သွားသဖြင့် အပူလောင် သကဲ့သို့ပင် အအေးလောင်ခြင်း(freezen burn) ဖြစ်စေနိုင်သည်။
- (၆) System ကို charging လုပ်သောအခါ အမျိုးအစားမှန်သော ဓာတ်ငွေ့များကိုသာ အသုံးပြုရ မည်။ အမျိုးအစား မမှန်သော ဓာတ်ငွေ့များကို သုံးမိပါက ဖိအားမြင့်တက်(high pressure)ပြီး အန္တရာယ် ရှိနိုင်သည်။
- (၇) ဓာတ်ငွေ့များ ယိုစိမ့်နေသည်ဟု သံသယဖြစ်ပါက လျှပ်စစ်ပစ္စည်း အသုံးအဆောင်များ အားလုံးကို ရပ်တန့် ပစ်ရမည်။ အပူရှိန်နှင့် မီးတောက် တို့နှင့် တွေ့ရှိပါက ဓာတ်ပြိုကွဲပြီး အဆိပ်ငွေ့များဖြစ်ပေါ်မှုနှင့် မီးလောင် ပေါက်ကွဲမှု တို့ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။
- (၈) Condensing unit များ အတွင်း၌ အမြဲ ဖိအားမြင့်(high pressure)နေသော ဓာတ်ငွေ့များရှိနေ၍ valve များ ဖွင့်ပေးခြင်း၊ အစိတ်အပိုင်းများ ဖြုတ်ခြင်းတို့ကို သတိပြုဆောင်ရွက်ရမည်။
- (၉) Refrigerant ဆလင်ဒါများအတွင်း ဓာတ်ငွေ့ကို လေးပုံ သုံးပုံခန့်အထိသာ ထည့်သွင်းရမည်။ အပြည့် ထည့်ထား မိလျှင် ပတ်ဝန်းကျင်အပူချိန် မြင့်တက်ချိန်တွင် ကျယ်ပြန့်စရာ နေရာမရှိသောကြောင့် ပေါက်ကွဲ နိုင်သည်။
- (၁၀) Refrigerant ဆလင်ဒါများကို အေးသောနေရာ၌သာ သိမ်းဆည်းရပြီး ခေါက်ကြည့်ခြင်း၊ လှိမ့်ခြင်း မပြုလုပ်ရ။ လွတ်မကျအောင်၊ လဲမသွားအောင် ကြိုးဖြင့် တင်းကြပ်စွာ တုတ်နှောင်ထားရမည်။
- (၁၁) ဆလင်ဒါများအတွင်းသို့ ပြင်ပမှလေနှင့် အညစ်အကြေးများ မဝင်ရောက်နိုင်အောင် refrigerant အနည်းငယ် ချန်ထားရမည်။
- (၁၂) System အတွင်း refrigerant များ ကုန်စင်အောင် မထုတ်ပစ်သေးဘဲ system မှ ပစ္စည်းများ ဖြုတ်ခြင်း၊ ပိုက်များ ဖြတ်တောက်ခြင်း၊ ဖြုတ်ခြင်း မပြုလုပ်ရ။

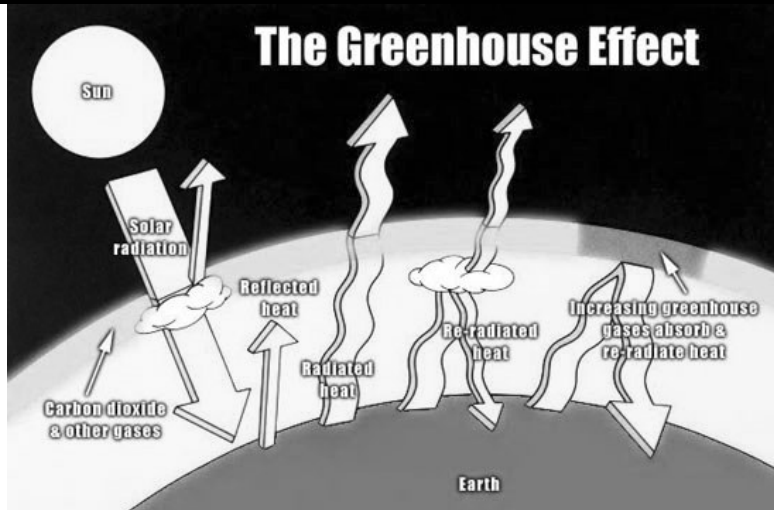
Chiller တစ်လုံးမှ အအေးဓာတ်(cooling)ထုတ်ပေးနိုင်စွမ်းသည် compressor မှ ဒီသိပ်သည့် refrigerant ပမာဏ(cfm) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Table 1 တွင် cooling capacity ရရန်အတွက် လိုအပ်သည့် refrigerant (cfm)ကို ဖော်ပြထားသည်။ HFC-134a သည် 3 cfm/ton ဖြစ်ပြီး HCFC-123 သည် 17 cfm/ton ဖြစ်သည်။ HFC-134a ၏ density ပိုမြင့်သောကြောင့်ဖြစ်သည်။

Centrifugal compressor များ၏ အဓိကကြည့် design parameter သည် impeller အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် refrigerant ၏ inlet velocity ဖြစ်သည်။ Mach နံပါတ်တစ် (Mach 1) ထက် နည်းရန် လိုအပ်သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် inlet velocity ကို 0.9 Mach ထက် မကျော်ရန် ကန့်သတ်ထားသည်။

အောက်တွင် 1000 ton centrifugal chiller တစ်လုံး အတွက် အသုံးများသည့် refrigerant (၃) မျိုးကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။

Table 4-10 refrigerant properties

Refrigerant	HCFC 123	HFC 134a	HCFC 22
Condenser Pressure psig @ 100°F	6.10	124.1	195.9
Evaporator Pressure psig @ 40°F (Inches of Mercury Vacuum)	(18.1)	35.0	68.5
Net Refrigerant Effect(BTU/lb)	66.0	68.0	73
Refrigerant. Circulated lbs/min./ton	3.08	3.00	2.78
Gas Flow cfm/ton	18.15	3.17	1.83
Head(BTU/lb)	7.73	8.34	9.0
Tip Speed ft./sec.	656	682	707
Ozone Depletion Potential(ODP)	0.02	0.00	0.05

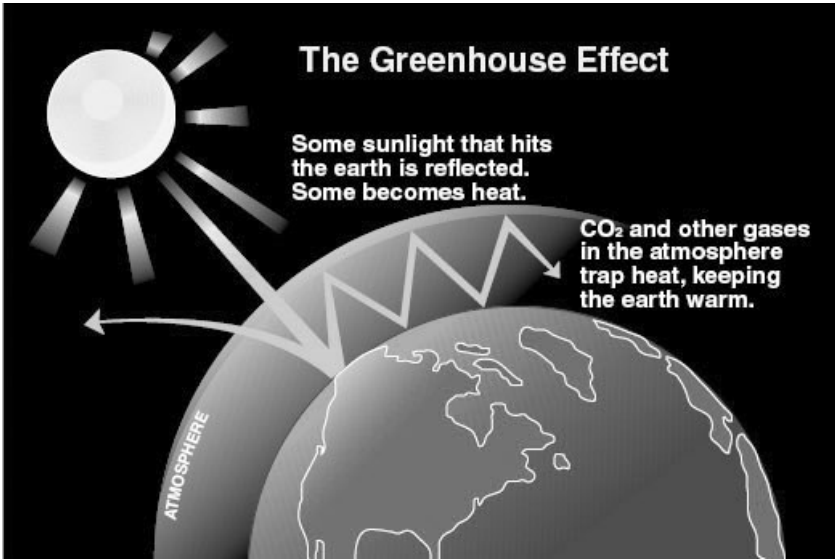


ပုံ ၄-၅ Green house effect

၄.၁၅ မှန်လုံအိမ်အာနိသင် (Green House Effect)

ကမ္ဘာကြီးပူနွေးလာခြင်း၏ အဓိကအကြောင်းရင်းသည် မှန်လုံအိမ်အာနိသင်(Green House Effect) ကြောင့် ဖြစ်သည်။ ကမ္ဘာကြီးကို ဓာတ်ငွေ့များက မှန်လုံအိမ်သဖွယ် ကာရံထားသောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် အကျိုးသက်ရောက်မှုများကို မှန်လုံအိမ်အာနိသင်(Green House Effect)ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ မှန်လုံအိမ်အာနိသင် ဖြစ်ပေါ်စေသော ဓာတ်ငွေ့များကို မှန်လုံအိမ်ဓာတ်ငွေ့များ(Green House Gases)ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ နေရောင်ခြည်မှ အပူဓာတ်များသည် ကမ္ဘာလေထုအတွင်းရှိ မှန်လုံအိမ်ဓာတ်ငွေ့များ၏ ကာရံထားမှုကြောင့် ပြန်ထွက်မသွားနိုင်ဘဲ ကမ္ဘာကြီးကို ပို၍ ပူနွေးစေသည်။ ယနေ့အခါတွင် ကမ္ဘာမြေပေါ်ရှိ လူသားများ၏ တီထွင်ဖန်တီးမှုများမှ ထွက်ရှိသည့်

ဓာတ်ငွေ့မျိုးစုံသည် ရေ၊ မြေ၊ လေထု စသည်တို့ကို ညစ်ညမ်းစေရုံသာမက မှန်လုံအိမ်ဓာတ်ငွေ့များအဖြစ် ရှိသင့်သည်ထက် ပို၍ ထူထပ် သိပ်သည်းလာပြီး ကမ္ဘာ့အပူချိန်ကို တဖြည်းဖြည်း မြင့်မားစေသည်။



ပုံ ၄-၆ Green house effect

၄.၁၆ အိုဇုန်းလွှာ(Ozone Layer)

လူသားများအတွက် အန္တရာယ်ကြီးမားလှသည့် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်အား ကမ္ဘာပေါ်သို့ ရောက်မလာစေရန် အိုဇုန်းလွှာက တားဆီးပေးထားသည်။

ကျွန်ုပ်တို့ နေထိုင်ရာ ကမ္ဘာမြေကြီးကို လေထုက ဝန်းရံထားသည်။ ထိုလေထုသည် ကမ္ဘာမြေကြီး၏ ဆွဲအားကြောင့် ကမ္ဘာနှင့်အတူ လိုက်လည်ပတ်နေသည်။ ကမ္ဘာလေထုကို အလွှာလေးလွှာဖြင့် ဖွဲ့စည်းထားသည်။ လေထုအလွှာ လေးလွှာမှာ-

(၁) ထရိုပိုစဖီးယားအလွှာ (Troposphere Layer)

လေထု၏ အနိမ့်ဆုံး ၊ လူသားတို့နှင့် ထိတွေ့နေသော အလွှာဖြစ်ပြီး မြေပြင်မှ (၁၀) ကီလိုမီတာ အထိ မြင့်သည်။

(၂) စထရာတိုစဖီးယားအလွှာ(Stratosphere Layer)

ထရိုပိုစဖီးယားအလွှာ၏ အထက်တွင်တည်ရှိပြီး အမြင့် (၁၀) ကီလိုမီတာမှ (၅၀) ကီလိုမီတာအထိ ရှိသည်။ ထိုအလွှာ၏ အပေါ်ဘက်ဆုံး နေရာကို အိုဇုန်းလွှာဟု ခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အိုဇုန်းလွှာသည် စတရာတိုစဖီးယားလွှာ နှင့် မီဆိုစဖီးယားလွှာ ကြားတွင် တည်ရှိသည်။

(၃) မီဆိုစဖီးယားအလွှာ(Mesosphere Layer)

လေထု၏ တတိယအလွှာဖြစ်ပြီး အမြင့်(၅၀)ကီလိုမီတာ မှ (၉၀)ကီလိုမီတာ အတွင်း တည်ရှိသည်။ လေထုအလွှာ လေးလွှာအနက် အပူချိန်အနည်းဆုံး (အအေးဆုံး) အလွှာဖြစ်သည်။ ထိုအလွှာမှ လေထုအပူချိန်သည် သူညု အောက် (၈၀) ဒီဂရီအထိ (-80°C)အေးသည်။

(၄) သာမိုစဖီးယားအလွှာ(Thermosphere Layer)

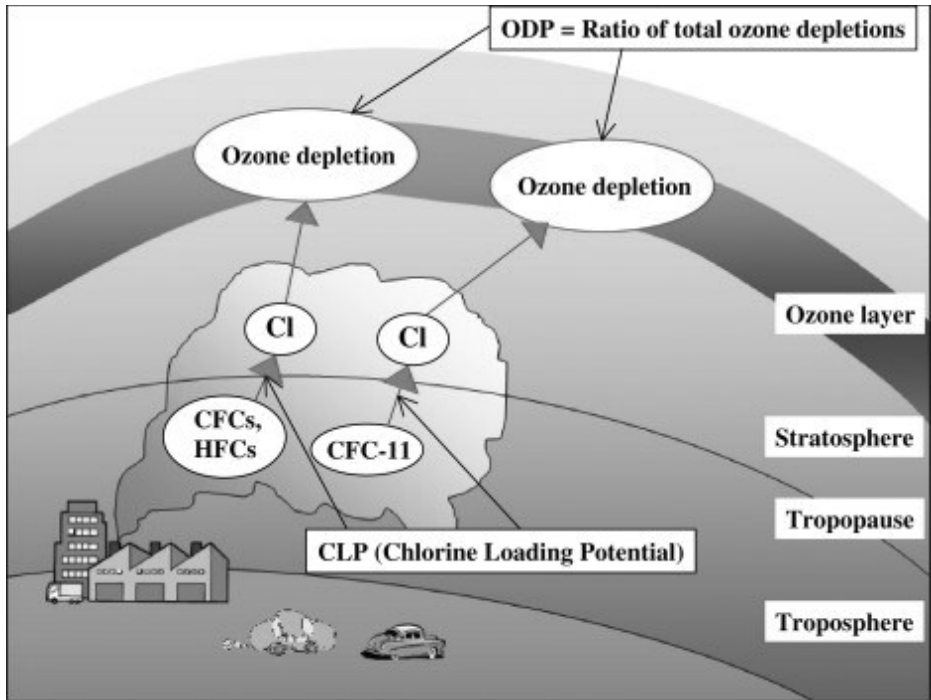
လေထု၏ အပေါ်ဆုံးအလွှာဖြစ်ပြီး အမြင့် ကီလိုမီတာ (၉၀) မှ (၁၂၀) အတွင်း တည်ရှိသည်။ ထိုအလွှာတွင် လေထု သိပ်သည်းမှု အလွန်နည်းပါးသည်။

အိုဇုန်းလွှာသည် စထရာတိုစဖီးယားအလွှာ၏ အပေါ်ဆုံးအပိုင်းတွင် တည်ရှိသည်။ ကမ္ဘာမြေပြင် အထက် (၁၉) မှ (၄၈) ကီလိုမီတာအတွင်း တည်ရှိပြီး ကမ္ဘာ့လေထုကဲ့သို့ပင် ကမ္ဘာမြေလှည့်ပတ်ရာ လမ်းကြောင်းအတိုင်း အတူ လိုက်ပါနေသော အလွှာတစ်ခု ဖြစ်သည်။

အိုဇုန်း ဓာတ်ငွေ့သည် အောက်စီဂျင်အက်တမ်သုံးလုံး ပေါင်းစပ်ထားခြင်း (O₃) ဖြစ်သည်။ အောက်စီဂျင် ဓာတ်ငွေ့တွင် အောက်စီဂျင်အက်တမ် နှစ်လုံးပေါင်းစပ်ထားခြင်းသည်။ ရိုးရိုးအောက်စီဂျင် မော်လီကျူး သုံးခု (3O₂) ပြိုကွဲပါက အိုဇုန်းမော်လီကျူးနှစ်ခု(2O₃) ဖြစ်လာနိုင်သည်။ အိုဇုန်းအလွှာ ဖြစ်ပေါ်လာရပုံမှာ နေရောင်ခြည် ထဲတွင် ပါလာသော ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်သည် ကမ္ဘာ့လေထုအတွင်း ဝင်ရောက်လာသည့်အခါ ထိုလေထုထဲတွင် ရှိနေကြသည့် အောက်ဆီဂျင်မော်လီကျူး(O₂) များနှင့် တိုက်ခတ်မိ ကြသည်။ ထိုအခါ စွမ်းအင်မြင့်ပြီး အရှိန် ပြင်းထန်သည့် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်များ၏ တိုက်ခတ်မှုကြောင့်(O₂) မော်လီကျူးများသည် nascent oxygen မော်လီကျူးများအဖြစ် ကွဲထွက်သွားစေသည်။ ကွဲထွက်သွားသည့် nascent oxygen (O) များသည် မူလ (O₂) မော်လီကျူးများနှင့် ပေါင်းစပ် သွားပြီး (O+O₂=O₃) အိုဇုန်းမော်လီကျူး (O₃) များ ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

ဤသို့ အောက်စီဂျင်မှ အိုဇုန်းအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲရန်အတွက် စထရာတိုစဖီးယားအလွှာမှ အပူချိန်နှင့် လေထုထဲတွင် ပါဝင်သော နိုက်ထရိုဂျင်ဓာတ်ငွေ့များက ဓာတ်ကူပေးသည်။ အိုဇုန်းလွှာ တည်ရှိနေခြင်းသည် လူနှင့် သတ္တဝါတို့အတွက် ကောင်းကျိုးများစွာကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ အိုဇုန်းလွှာသည် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည် များကို စုပ်ယူ ထားသဖြင့် ကမ္ဘာပေါ်သို့ ကျရောက်လာမည့် နေရောင်ခြည်ထဲတွင် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်များ မပါဝင်တော့ပေ။

အကယ်၍ ထိုခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်များ ကမ္ဘာမြေပေါ်သို့ ရောက်ရှိလာပါက လူ့အရေပြားနှင့် ထိလိုက်လျှင် မီးလောင် အဖုများ ထွက်လာခြင်း၊ ရောင်ခြည်အနည်းငယ်သင့်ရုံမျှဖြင့် အရေပြားကင်ဆာရောဂါ ဖြစ်ပွားခြင်း၊ မျက်စိတွင် တိမ်ရွဲခြင်း စသည်တို့ ဖြစ်နိုင်သည်။ ဗီတာမင်များ၊ ဆိုးဆေးများ၊ သတ္တုဓာတ်များ၊ အဆီများသည် ခရမ်းလွန် ရောင်ခြည် သင့်ပါက သိပ္ပံရုပ်ရှင်များတွင် တွေ့မြင်ရသလို အရောင်များ တဖျတ်ဖျတ်လက်လာလိမ့်မည်။ ထိုပစ္စည်းများ အပူချိန်မြင့်မားကာ စားသုံးရန် မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။ ထို့ပြင် သတ္တဝါတို့၏ အရေပြားသည် ရောင်ခြည်သင့်မှုကြောင့် ဓာတ် ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်ကာ ရောဂါအသစ်အဆန်းများ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။



ပုံ ၄-၇ အိုဇုန်းလွှာ ပျက်စီးပုံ(Ozone depletion)ကို ဖော်ပြထားသည်။

အိုဇုန်းလွှာသည် နေမှခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်များ ကမ္ဘာမြေမျက်နှာပြင်ပေါ်သို့ ကျရောက်မှုမရှိစေရန် ကာကွယ်ပေးသည့် ဓာတ်ငွေ့လွှာဖြစ်သည်။ အိုဇုန်းလွှာသည် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်ကို တားဆီးပေးသည်။ ထို့ပြင် ကမ္ဘာကြီး၏ ဂေဟစနစ်များ(ecosystems) ယိုယွင်းပျက်စီးလာနိုင်သည်။ ကမ္ဘာမြေပေါ်မှ သက်ရှိအားလုံးသည် အိုဇုန်းလွှာ၏ ကာကွယ်မှုအောက်၌ နေထိုင်ကြီးပြင်းလာခဲ့ရသည့်အတွက် အိုဇုန်းလွှာ၏ ကာကွယ်မှု ကင်းမဲ့ခဲ့လျှင် အလွန်ပင် အခက်အခဲ တွေ့နိုင်သည်။

၁၉၇၀ ပြည့်နှစ်ဝန်းကျင်တွင် သိပ္ပံပညာရှင်များက အိုဇုန်းလွှာကို အန္တရာယ်ပြုနေသည့် ဓာတ်ငွေ့တစ်ခုကို တွေ့ရှိခဲ့သည်။ ထိုဓာတ်ငွေ့သည် ကလိုရိုဖလိုရိုကာဗွန် ဖြစ်ပြီး ကျွန်ုပ်တို့ အသုံးပြု နေသော ရေခဲသေတ္တာများ၊ ရေမွှေးဘူး၊ ခြင်ဆေးဘူး စသော စပရေးဘူးများ နှင့် တီဗွီ၊ ကွန်ပျူတာများမှ ထွက်ရှိနေသည်။ ထိုစီအက်ဖ်စီ မော်လီကျူးတစ်ခုသည် အိုဇုန်းမော်လီကျူးပေါင်း တစ်သိန်းခန့်ကို အလွယ်တကူ ဖျက်ဆီးပစ်နိုင်သည်။

CFC ဓာတ်ငွေ့ကဲ့သို့ အိုဇုန်းလွှာကို အန္တရာယ်ပေးတတ်သည့် တခြားဓာတ်ငွေ့တစ်ခုမှာ စက်ရုံ၊ အလုပ် ရုံများမှ ထွက်သော မီးခိုး ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်(CO2) ဓာတ်ငွေ့နှင့် ပိုးသတ်ဆေး၊ ဓာတ်မြေဩဇာများတွင် ပါဝင် နေသည့် နိုက်ထရိုဂျင်ဒြပ်ပေါင်းများ ဖြစ်သည်။

ထိုဓာတ်ငွေ့များကြောင့် အိုဇုန်းလွှာသည် တဖြည်းဖြည်း ပါးလွှာလာခဲ့ရာ ၁၉၈၀ ခုနှစ် ပတ်ဝန်းကျင်၌ အန္တာတိကတိုက်ပေါ်ရှိ အိုဇုန်းလွှာတွင် အပေါက်ဖြစ်နေကြောင်း ထိတ်လန့်စွာ တွေ့ရှိခဲ့ရသည်။ အစပထမတွင် အိုဇုန်းလွှာပေါက်မှုကို စိုးရိမ်စရာဟု ကမ္ဘာခေါင်းဆောင်များက မယူဆခဲ့ကြပေ။ နောက်ပိုင်းတွင် ကမ္ဘာ တခြား တစ်ဘက်ဖြစ်သော အာတိတ်စက်ဝိုင်းတွင်ပါ အိုဇုန်းလွှာပေါက်နေကြောင်း ထပ်မံတွေ့ရှိခဲ့ပြန်သည်။ အာတိတ်နှင့် အန္တာတိကဒေသများသည် ရေခဲဖုံးသောဒေသများ ဖြစ်ပြီး ၎င်းတို့အပေါ်ရှိ အိုဇုန်းလွှာပေါက်ခြင်းကြောင့် အလွန် အားပြင်းသော နေရောင်ခြည်များသည် ရေခဲများပေါ်သို့ တိုက်ရိုက်ကျရောက်လာကာ ဧရာမရေခဲတုံးကြီးများ၊ ရေခဲပြင်များ အရည်ပျော်သောကြောင့် ပင်လယ်ရေထု မြင့်တက်လာသည်။ ထို့ကြောင့် ကမ္ဘာနိုင်ငံများတွင် ရေကြီးခြင်း၊ ရာသီဥတု ပြောင်းလဲခြင်း၊ မုန်တိုင်းများ ဖြစ်ပေါ်ခြင်း စသည်တို့ ကြုံတွေ့နိုင်သည်။

ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်၏ အပူဒဏ်ကြောင့် ကမ္ဘာတဝှမ်းလုံး၌ တစ်နှစ်ထက်တစ်နှစ် အပူချိန် ဆက်လက် မြင့်တက်လာခဲ့သည်။ အပူချိန်မြင့်တက်မှုကြောင့် သစ်ပင်များ သေဆုံးခြင်း၊ ကြီးထွားမှုနှေးခြင်းနှင့် သစ်တောပြုန်းတီးခြင်း စသည်တို့ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။ လူသားတို့က သစ်ပင်များကို စည်းမဲ့ကမ်းမဲ့ ခုတ်လှဲခြင်းကြောင့် သစ်တောများ ပိုမိုပြုန်းတီးပြီး အပူချိန် ပိုမိုမြင့်တက်ခြင်း စသည်ဖြင့် သံသရာလည် နေသည်။

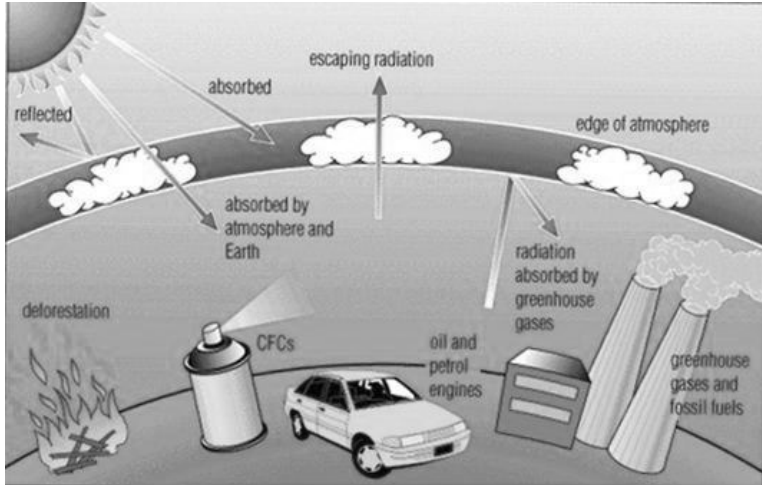
၄.၁၆.၁ အိုဇုန်းလွှာ လျော့ပါးမှု(ODP)

ကမ္ဘာ့အပူချိန် မြင့်တက်စေခြင်း၏ အဓိကအကြောင်းရင်းမှာ အိုဇုန်းလွှာ လျော့ပါးလာမှုပင် ဖြစ်သည်။ ကမ္ဘာမြေပြင် အထက်(၁၀)မိုင် မှ (၃၀)မိုင်အတွင်း အိုဇုန်းလွှာကို တွေ့ရှိရပေသည်။ အိုဇုန်းလွှာသည် နေရောင် ခြည်တွင် ပါဝင်သော ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်(Ultra - Violet Rays) များကို ကမ္ဘာပေါ်သို့ မကျရောက်စေရန် ကာကွယ် ပေးသည်။

ကမ္ဘာမြေပေါ်မှ ထုတ်လွှင့်သော ကလိုရိုဖလိုရိုကာဗွန်(Chlorofluorocarbons - CFSs) ဟေလွန် (Halon) နှင့် မီသိုင်းဘရိုမိုက်(Methy Bromide) စသည့် ဓာတ်ငွေ့များသည် လေထုအထက်ပိုင်းသို့ ရောက်ရှိပြီး ဓာတ်ပြုခြင်း အမျိုးမျိုးဖြစ်ကာ အိုဇုန်းလွှာကို ပျက်စီးစေနိုင်သည်။ တောင်ဝင်ရိုးစွန်းနှင့် အန္တာတိက တိုက်ပေါ်ရှိ အိုဇုန်းလွှာထုသည် ၂၀၀၀ ပြည့်နှစ်နှင့် ၂၀၀၃ ခုနှစ် မှတ်တမ်းများအရ လျော့ကျခဲ့ပြီး ထိုဒေသရှိ အိုဇုန်းလွှာ အပေါက်ကြီးမှာ ၂၀၀၀ ပြည့်နှစ် စက်တင်ဘာလ ၁၉ ရက်နေ့၌ (၂၆.၉) သန်း စတုရန်း ကီလိုမီတာရှိရာမှ ၂၀၀၃ ခုနှစ်တွင် (၂၉)သန်း ရှိလာသည်ဟု သိပ္ပံပညာရှိများက ပြောဆိုခဲ့ကြသည်။

အိုဇုန်းလွှာ လျော့ပါးမှုသည် တတိယအကြီးဆုံးအဆင့်သို့ ရောက်နေပြီဖြစ်ကြောင်း World Mathrology Organization မှ ထိပ်တန်း အိုဇုန်းလွှာပညာရှင် ရှိယာဆရာအာသင်က ပြောကြားခဲ့သည်။ အိုဇုန်းလွှာကို ပျက်စီး

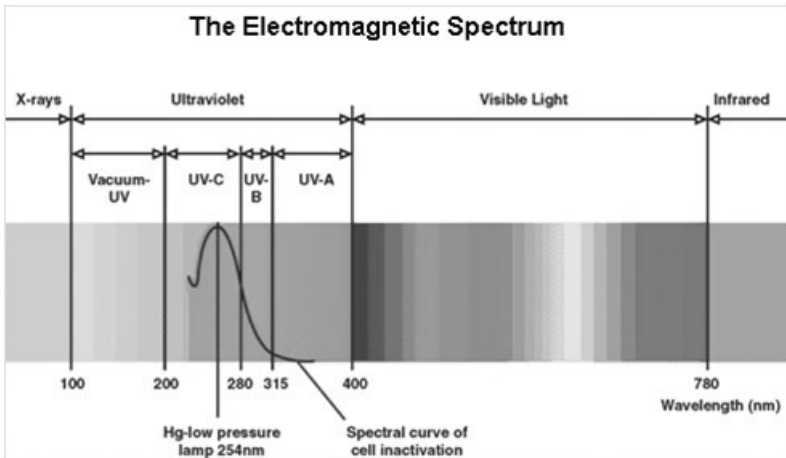
စေနိုင်သော ကလိုရင်းနှင့် ဗရိုမင်ဓာတ်ငွေ့ထုတ်လုပ်မှုကို လျော့ချနိုင်လျှင် အိုဇုန်းလွှာ ပြန်လည် ပြည့်တင်းလာပြီး အပေါက်ကြီးမှ တဖြည်းဖြည်း ပြန်လည် သေးငယ်သွားနိုင်သည်။ အိုဇုန်းလွှာသည် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်ကို စုပ်ယူခြင်းဖြင့် ကမ္ဘာမြေပေါ်သို့ တိုက်ရိုက်မကျအောင် ကာကွယ်ပေးသကဲ့သို့ ရာသီဥတုကိုလည်း ထိန်းသိမ်းပေးသည်။ ကမ္ဘာမြေပေါ်သို့ နေရောင်ခြည်အလွန်အမင်း မကျရောက်စေသဖြင့် သဲကန္တာရများဖြစ်ခြင်း၊ သစ်တောများ ပြုန်းတီးခြင်း၊ ပင်လယ်ရေမျက်နှာပြင် အတက်အကျဖြစ်ခြင်းတို့ကိုလည်း အိုဇုန်းလွှာက အလိုအလျောက် ထိန်းပေးနိုင်သည်။



ပုံ ၄-၈ အိုဇုန်းလွှာ ပျက်စီး ယိုယွင်းရသည့် အကြောင်းများ

၄.၁၇ ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်

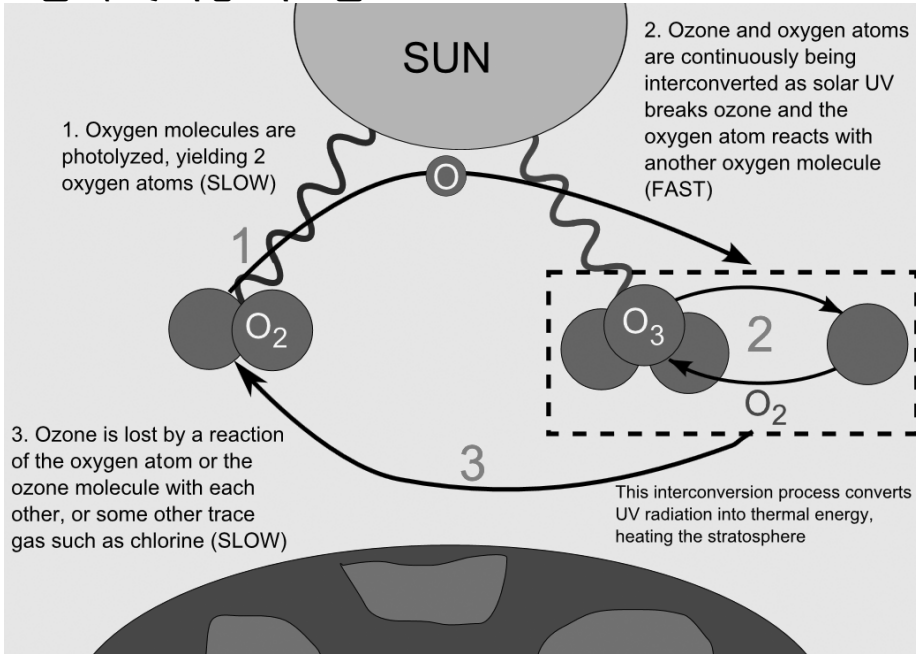
ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်(UVR) ဆိုသည်မှာ နေမှ ထုတ်လွှတ်လိုက်သည့် ရောင်ခြည်များတွင် ရောနှောပါဝင်နေသော စွမ်းအင်မြင့်မားသည့် လျှပ်စစ်သံလိုက်လှိုင်းများ ဖြစ်သည်။ ခရမ်းလွန် UVR (Ultra violet Rays) ရောင်ခြည်တွေထဲတွင် UVA (315-400nm) ၊ UVB (280-315nm) နှင့် UVC (100-280 nm) rays ဟူ၍ လှိုင်းသုံးမျိုးပါရှိသည်။



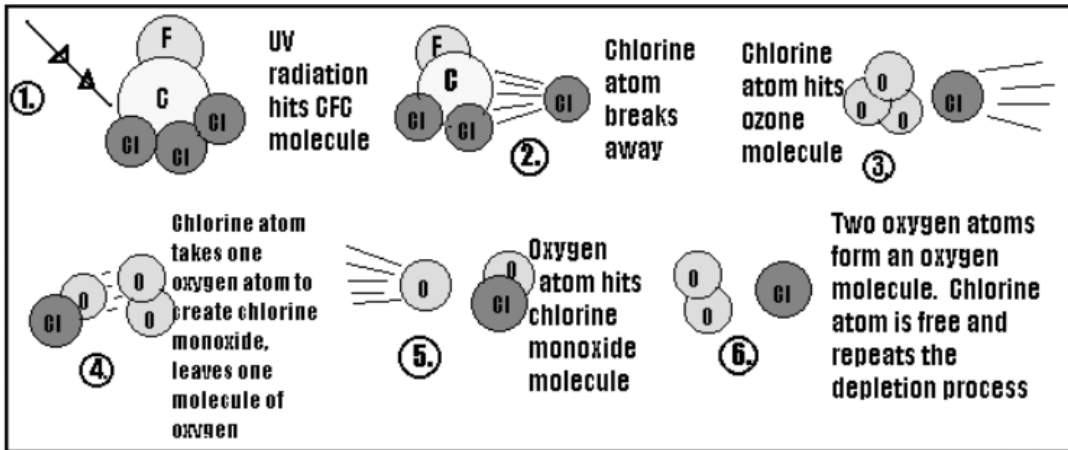
ပုံ ၄- ၉ ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်

လှိုင်းအလျားအတိုဆုံးဖြစ်သည့် UVC ရောင်ခြည်သည် စွမ်းအားအမြင့်ဆုံးဖြစ်သည်။ ထိုနေရောင်ခြည်များ (Rays) အားလုံးကို ကမ္ဘာ့လေထုအတွင်းရှိ အိုဇုန်းအလွှာက ကမ္ဘာမြေဆီသို့ မရောက်အောင် ကာကွယ်တားဆီးပေးသည်။ UVA ရောင်ခြည်အားလုံးနှင့် UVB ရောင်ခြည်များ၏ (၁၀)ရာခိုင်နှုန်းခန့်သည် ကမ္ဘာမြေပြင်ပေါ်သို့ ရောက်ရှိလာနိုင်ကြသည်။ ထို့ကြောင့် လူသားများအားလုံးအတွက် အရေးအကြီးဆုံး UVR အမျိုးအစားများသည် UVA

အုပ်စုနဲ့ UVB အုပ်စုတို့ ဖြစ်ကြသည်။ UVR များသည် လူ့ခန္ဓာကိုယ်အတွက် Vitamin D ကို ထုတ်လုပ်ပေးနိုင်သည့် အာနိသင်အကျိုး ရရှိစေနိုင်သလို လွန်လွန်ကဲကဲ ကျရောက်ခံရပါက ခန္ဓာကိုယ်၌ အရေပြားကင်ဆာနှင့် မျက်စိခုံအား ကျဆင်းမှု စသည့် ရောဂါများကို ဖြစ်စေနိုင်သည်။



ပုံ ၄-၁၀ အိုဇုန်းမော်လီကျူး ဖြစ်ပေါ်လာပုံ



ပုံ ၄-၁၁ မော်လီကျူးများ ပြိုကွဲပုံ

၄.၁၈ ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်ညွှန်းကိန်း (UV Index)

ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်များ၏ လှိုင်းအလျားများသည် ရောင်စဉ်(spectrum) ဇယား၌ လှိုင်းအလျား 295-325 nm အတွင်းမှာ ရှိနေကြသည်။ ထို့ကြောင့် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်ရောင်စဉ် ဘောင်တစ်ခုလုံးအပေါ်မှာ weighted curve တစ်ခုကို တွက်ချက်ယူလိုက်သည့်အခါ အများအားဖြင့် မွန်းတည့်ချိန်တွင် လှိုင်းအလျားအရှည် 250nm (nanometer) ရရှိသည်။ သင့်လျော်သည့် စကေးတစ်ခုရရှိရန် စိတ်ကူးတန်ဖိုးတစ်ခုဖြစ်သော (၂၅) နှင့် စားလိုက်သော အခါ UVI တန်ဖိုး 10 ကို ရသည်။

အိုဇုန်းလွှာပေါက်ပြုလာမှုကြောင့် UVI တန်ဖိုးသည် 10 ထက် ကျော်လွန်လာသည့်အတွက်၊ သင့်လျော်သည့် စကေးတစ်ခုအဖြစ် 11 + အထိ တန်ဖိုးကို ကမ္ဘာမြေပြင်အတွက် သတ်မှတ် အသုံးပြုလာခဲ့ကြသည်။ UVI စကေးများ၏

အချိုးကျ မှုကြောင့် UVI 10 ပြင်းအားတန်ဖိုးရှိသော နေရောင်ခြည်ကိုခံယူခြင်းသည် UVI 5 ပြင်းအားရှိသည့် နေရောင်ခြည်ကို ခံယူရခြင်းထက် အချိန်တူလျှင် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်သင့်မှု နှစ်ဆရှိနိုင်သည်။

၄.၁၈.၁ ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည် ညွှန်းကိန်း(UV Index) ၏ သမိုင်းအစ

UVI စကေးကို ၁၉၉၂ ခုနှစ်တွင် ကနေဒါသို့ပို့ပညာရှင်များက စတင်တီထွင်အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။ ထိုအခါမှ စ၍ ကမ္ဘာပေါ်မှာ ကနေဒါနိုင်ငံသည် UVI စကေးကို အသုံးပြုခဲ့သည့်နိုင်ငံ ဖြစ်လာသည်။ ထို့နောက် တစ်ကမ္ဘာလုံး တစ်ပြေးညီဖြစ်နိုင်သည့် UVI စကေးကို ကမ္ဘာ့ကျန်းမာရေးအဖွဲ့ချုပ်က တီထွင်ခဲ့သည်။ UVI စကေးကို ကျန်းမာရေး ထိခိုက်မှု အတိုင်းအတာပေါ်၌ အခြေပြုသတ်မှတ်ခဲ့သည်။ UVI နှိုးဆော်ချက်များကို အမေရိကန် ပြည်ထောင်စုတွင် ၂၀၀၄ ခုနှစ်မှ စတင်၍ လည်းကောင်း၊ ဩစတြေးလျနိုင်ငံတွင် ၂၀၀၅ ခုနှစ်မှ စတင်၍ လည်းကောင်း လူထု ကျန်းမာရေးအတွက် စတင်ထုတ်ပြန်ပေးခဲ့ကြသည်။



ပုံ ၄-၁၂ UV Index Scale

၄.၁၈.၂ ကျရောက်နိုင်သည့် ဘေးအန္တရာယ်များ

လူ့ခန္ဓာကိုယ်ပေါ်သို့ ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည် ပြင်းအားများသည် UVI အဆင့်(၈)နှင့် အထက် ရောင်ခြည်များကို ကြာမြင့်စွာ ကျရောက်ခြင်းခံရပါက နေလောင်ခြင်း(sunburns)၊ မျက်စိတိမ်စွဲခြင်း(cataracts) ၊ အရေပြားများ အိုမင်းရင့်ရော်ခြင်း(skin aging)၊ သားသမီးမရနိုင်သော ခုခံအားကျဆင်းခြင်း(Immunosuppression) နှင့် အရေပြား ကင်ဆာ(skin cancer) စသည့် ရောဂါဆိုးများ ရရှိနိုင်သည်။

UVI တန်ဖိုးနှင့် ရောင်ခြည်သင့်သည့် အချိန်ကာလ ကြာမြင့်မှုအပေါ် မူတည်ကာ ကျန်းမာရေးနှင့် သက်ဆိုင် သည့် ဘေးအန္တရာယ်များ ဖြစ်စေနိုင်ကြောင်း ကမ္ဘာ့ကျန်းမာရေးအဖွဲ့ချုပ်(WHO)မှ ထုတ်ပြန် သတိပေးထားသည်။

၄.၁၉ ကုလသမဂ္ဂမှအရေးယူဆောင်ရွက်မှု

၁၉၉၂ခုနှစ်တွင် ကျင်းပပြုလုပ်ခဲ့သော United Nation Conference on Environment and Development (UNCED) အစည်းအဝေးကြီးမှ Agenda 21 အရ ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည် ကျရောက်မှုကြောင့် ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် ဘေးအန္တရာယ်များကို လူအများအား နှိုးဆော်သတိပေးရန် ဆုံးဖြတ်ခဲ့ကြသည်။ ထို့နောက် Agenda 21 အရ UNEP WMO IACR CRNT တို့မှ ကမ္ဘာလုံးဆိုင်ရာ ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည် ကာကွယ်ရေး INTERSUN စီမံကိန်းကို အကောင် အထည် ဖော်ဆောင်ရွက်ခဲ့ကြသည်။

၁၉၈၇ ခုနှစ်တွင် မွန်ထရီရယ် စာချုပ်ကို အမေရိကန်အပါအဝင် နိုင်ငံပေါင်း (၃၆)နိုင်ငံက လက်မှတ်ထိုး၍ စီအက်ဖ်စီ(CFC) ထုတ်လုပ်မှုကို လျော့ချရန် သဘောတူခဲ့သည်။ ၁၉၉၅ ခုနှစ်တွင် အဆိုပါ စာချုပ်ကို လက်မှတ် ရေးထိုးသော နိုင်ငံပေါင်း(၁၀၀)အထိ ရှိလာပြီး စီအက်ဖ်စီ(CFC) ဓာတ်ငွေ့များအစား အိုဇုန်းလွှာကို အန္တရာယ် မပေးနိုင်သည့် အိပ်ချ်စီအက်ဖ်စီ (Hydro-chlorofluorocarbon - HFC) ဓာတ်ငွေ့များကို အစားထိုး အသုံးပြုရန် သဘောတူခဲ့ကြသည်။

ဤသို့ ကြိုးစားနေသည့်ကြားမှပင် ၂၀၀၁-ခုနှစ်တွင် အိုဇုန်းလွှာ အပေါက်ကြီးသည် စံချိန်တင် လောက်အောင် ကြီးထွားလာခဲ့ရာ ၂၀၀၆-ခုနှစ် ရောက်သောအခါ အဆိုပါ အပေါက်ကြီးသည် ဂရင်းလင်းကျွန်းမှ ဆိုက်ဘေးရီးယား အနောက်ပိုင်းအထိ ကြီးမားလာခဲ့သည်။

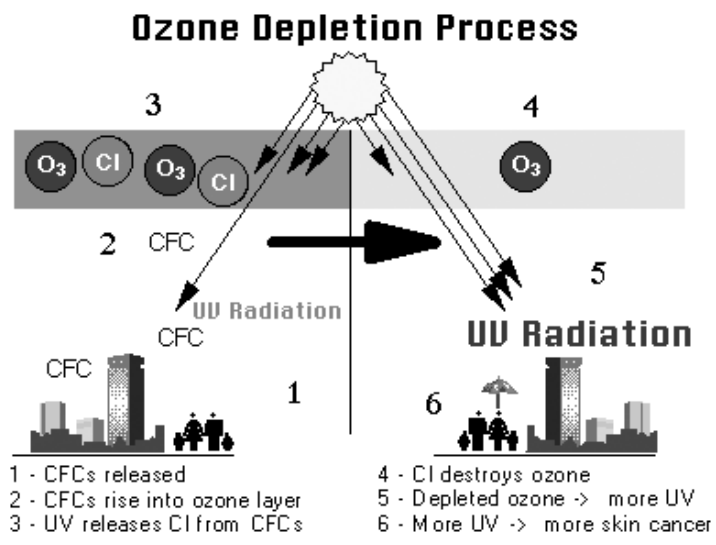
၄.၁၉.၁ လူအများအတွက် သတိပေးချက်များ ထုတ်ပြန်ခြင်း

ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်များ ကမ္ဘာမြေပြင်အပေါ်သို့ ကျရောက်နေပြီး ပြင်းအား တဖြည်းဖြည်း မြင့်တက်နေခဲ့သည်မှာ ဆယ်စုနှစ်တစ်ခုမက ကြာမြင့်ခဲ့ပြီ ဖြစ်သည်။ အိုဇုန်းလွှာအပေါက် ဖြစ်ပေါ်ရာ အန္တာတိကတိုက် ကမ္ဘာ့တောင်ဘက်ခြမ်းဒေသဖြစ်သည့် တောင်အာဖရိကနိုင်ငံတစ်ခုတည်း၌ပင် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်သင့်မှုကြောင့် ရောဂါရရှိသူပေါင်း (၁၀) သန်းကျော်ရှိသည်ဟု လေ့လာမှုတစ်ခုတွင် ဖော်ပြထားသည်။

ယခုအခါ၍ ကမ္ဘာ့တောင်ဘက်ခြမ်း အန္တာတိကတိုက်မှ အစပြုခဲ့သည့် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်ကျရောက်မှုများသည် ကမ္ဘာ့နေရာအနှံ့အပြားကို ပျံ့နှံ့နေပြီ ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ဖွံ့ဖြိုးပြီးနိုင်ငံများတွင် လူထုကျန်းမာရေး ထိန်းသိမ်းစောင့်ရှောက်ရန်အတွက် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်ပြင်းအား အခြေအနေကို မိုးလေဝသသတင်းများ၌ ထည့်သွင်းကြေညာပြီး သတိပေးချက်များ ထုတ်ပြန်ပေးကြသည်။

မြန်မာနိုင်ငံသည် အပူပိုင်းဒေသဖြစ်သည့်အတွက် နွေရာသီကာလ မွန်းတည့်ချိန်တွင် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည် အညွှန်းကိန်းအဆင့် မြင့်မားနေသည်ကို ပြီးခဲ့သည့် ၂၀၁၁ ခုနှစ်ခန့်က စတင်သတိပြုမိခဲ့သည်။ ခြောက်သွေ့ရာသီဖြစ်သည့် ဆောင်းကာလရောက်လာသည့်အခါ အင်ဒိုနီးရှားနိုင်ငံတစ်ဝိုက်၌ မွန်းတည့်ချိန်တွင် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည် ကျရောက်မှု အမြင့်မားဆုံးဖြစ်သည်။ မွန်းတည့်ချိန်တွင် အများဆုံးပေါ်ပေါက်နေသည်။

တဖြည်းဖြည်း နွေရာသီရောက်ချိန်တွင် နေလမ်းကြောင်းသည် မြောက်ဘက်သို့ ရွေ့သွားသောကြောင့် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်သင့်မှု မြင့်မားသည့်ဒေသသည် မြန်မာနိုင်ငံအထက်ဘက်ဖြစ်သည်။ မတ်လဆန်းရောက်သည့်အခါ မြန်မာနိုင်ငံတောင်ပိုင်းမှ အစပြုပြီး မြန်မာနိုင်ငံအလယ်ပိုင်းအထိ ပျံ့နှံ့ရောက်ရှိ လာသည်။ မတ်လဆန်းတွင် မြန်မာနိုင်ငံမြို့ကြီးအတော်များများ၌ ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည် အညွှန်းကိန်း လွန်ကဲပြင်းထန် သည့် အဆင့် (UVI 14) အထိ မြင့်မားနေသည်ကို တွေ့ရှိခဲ့သည်။ မြန်မာနိုင်ငံတောင်ပိုင်းဒေသများမှ အစပြုကာ မြစ်ဝကျွန်းပေါ်ဒေသများအထိ ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်သင့်မှု မြင့်မားလာသည်။



ပုံ ၄-၁၃ အိုဇုန်းလွှာ ပျက်စီးယိုယွင်းပုံ

အိုဇုန်းလွှာသည် ဘေးအန္တရာယ်ရှိသည့် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်လှိုင်းများကို ကမ္ဘာမြေပြင်ပေါ်သို့ မကျရောက်အောင် ကာကွယ်ပေးပြီး ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည် (၉၉) ရာခိုင်နှုန်းကို စုပ်ယူပေးသည့် သဘာဝလက်ဆောင် တစ်ခုဖြစ်သောကြောင့် ကမ္ဘာပေါ်ရှိ သက်ရှိများအတွက် မရှိမဖြစ် လိုအပ်သည်။

အိုဇုန်းလွှာပျက်စီးမှုကြောင့် အရေပြား ကင်ဆာရောဂါ၊ မျက်စိတိမ်စွဲမှု၊ ခုခံအားကျဆင်းမှု၊ သီးနှံအထွက်နှုန်း ကျဆင်းမှုနှင့် အဏ္ဏဝါဂေဟစနစ်ပျက်စီးမှု တို့ကို ဖြစ်ပေါ်စေလျက်ရှိသောကြောင့် ကုလသမဂ္ဂကဦးဆောင်၍ အိုဇုန်းလွှာ

ကာကွယ်ရေးအတွက် ၁၉၈၅ ခုနှစ်မှ ယနေ့အထိ အပြည်ပြည်ဆိုင်ရာ သဘောတူစာချုပ်များ ချုပ်ဆို၍ အိုဇုန်းလွှာ ကာကွယ်ရေး လုပ်ငန်းများ ဆောင်ရွက်ခဲ့သည်။

ကမ္ဘာတစ်လွှား ၌ အိုဇုန်းလွှာ ပျက်စီးစေနိုင်သည့် ဓာတုပစ္စည်းအသုံးပြုမှု လျော့ချရန်ကြိုးစားခဲ့ကြပြီး ၁၉၈၇ ခုနှစ်တွင် Montreal Protocol ကို လက်မှတ်ရေးထိုးနိုင်ခဲ့ကြသည်။

၄.၂၀ မြန်မာနိုင်ငံ၏ ဆောင်ရွက်မှုများ

မြန်မာနိုင်ငံသည်

- (က) အိုဇုန်းလွှာကာကွယ်ရေးဆိုင်ရာ ဗီယင်နာကွန်ဗင်းရှင်း
 - Vienna Convention in 1985
 - framework agreement
- (ခ) အိုဇုန်းလွှာပျက်စီးစေသော ဒြပ်ပစ္စည်းများဆိုင်ရာ မွန်တရီယယ် နောက်ဆက်တွဲစာချုပ်
 - Montreal Protocol in 1987
 - Phase-out schedules for CFCs and halons နှင့်
- (ဂ) လန်ဒန် ပြင်ဆင်ချက်စာချုပ်များ၌ ၁၉၉၃ခုနှစ်နိုဝင်ဘာ(၂၄)ရက်တွင် လည်းကောင်း
 - London Amendment in 1990
 - accelerated phase outs; additional CFC's, CCl4, CH3CCl3
- (ဃ) ကိုပင်ဟေဂင် ပြင်ဆင်ချက်၌ ၂၀၀၉ခုနှစ် မေ(၂၂)ရက်တွင် လည်းကောင်း
 - Copenhagen Amendment in 1992
 - added methyl bromide, HBFCs, HCFCs
- (င) မွန်တရီယယ် ပြင်ဆင်ချက်နှင့် ဟေကျင်း ပြင်ဆင်ချက်များ၌ ၂၀၁၂ခုနှစ် ဇန်နဝါရီ(၃၀)ရက်တွင် လည်းကောင်း
 - Montreal Amendment in 1997
 - finalized phase-out schedules for methyl bromide

အဖွဲ့ဝင်အဖြစ်ဝင်ရောက်ခဲ့သည်။

အထက်ပါ သဘောတူစာချုပ်များအရ စီအက်စ်စီ(CFC) ထုတ်လုပ်မှုကို ၂၀၁၀ ပြည့်နှစ်တွင် နောက်ဆုံး ထားရပ်ဆိုင်းရန် သတ်မှတ်ခဲ့ရာ မြန်မာနိုင်ငံသည် ၂၀၀၇ ခုနှစ်မှစတင်၍ တင်သွင်းမှု ရပ်ဆိုင်းခဲ့ပြီး အိပ်ချ်စီ အက်စ် စီသုံးစွဲမှု(HCFC consumption) ကိုလည်း မွန်တရီယယ် နောက်ဆက်တွဲစာချုပ်အရ ၂၀၁၃ ခုနှစ်မှစ၍ ၂၀၀၉-၂၀၁၀ ပျမ်းမျှသုံးစွဲမှု အခြေခံသတ်မှတ်ချက်မှ မကျော်လွန်စေရန် ကန့်သတ်မည် ဖြစ်ကြောင်း၊ အိပ်ချ်စီအက်စ်စီသုံးစွဲမှု(HCFC consumption) ကို ၂၀၃၀ ပြည့်နှစ်တွင် ရပ်ဆိုင်းနိုင်ရန်အတွက် အဆင့်ဆင့် လျော့ချသွားနိုင်အောင် ဆောင်ရွက် သွားမည် ဖြစ်သည်။

၄.၂၁ အိုဇုန်းလွှာ မူလအတိုင်း ပြန်လည်ဖြစ်လာနိုင်မည်ဟု ကုလသမဂ္ဂအတည်ပြု

အိုဇုန်းလွှာ ယိုယွင်းမှုကို ကာကွယ်ရန် နိုင်ငံပေါင်းများစွာက အားထုတ်ကြိုးပမ်းမှုများ ပြုလုပ်လာခဲ့ကြ ပြီးနောက် ၂၀၄၈ ခုနှစ်တွင် အိုဇုန်းလွှာသည် မူလအခြေအနေမျိုး ပြန်လည် ရောက်ရှိလာနိုင်ကြောင်း ကုလသမဂ္ဂက အတည်ပြုခဲ့သည်။

အိုဇုန်းလွှာ တဖြည်းဖြည်း ပါးလျလာပြီး လုံးဝပျောက်ကွယ်သွားသဖြင့် အပေါက်ကြီးဖြစ်နေသော အိုဇုန်းလွှာ နေရာသည် တဖြည်းဖြည်း ပြန်လည်ပြည့်ဝ ကောင်းမွန်လာနေကြောင်း ကုလသမဂ္ဂကအတည်ပြု ပြောကြား သွားသည်။ အိုဇုန်းလွှာယိုယွင်းမှုကို ကာကွယ်ရန် နိုင်ငံပေါင်းများစွာက အားထုတ်ကြိုးပမ်းမှုများ ပြုလုပ်လာပြီးနောက် ၂၀၄၈ ခုနှစ်တွင် အိုဇုန်းလွှာသည် မူလအခြေအနေမျိုး ပြန်လည်ရောက်ရှိလာနိုင်ကြောင်း ကုလသမဂ္ဂက ကပြော ဆိုသည်။ အိုဇုန်းလွှာပါးလျားပေါက်ပြီဟုဆိုသည် နေရောင်ခြည်တိုက်ရိုက်ကျရောက်မှုကို ဖြစ်ပေါ်စေပြီး ခရမ်းလွန် ရောင်ခြည်ကို စစ်ယူနိုင်စွမ်း လျော့နည်းလာရာ ကမ္ဘာပေါ်တွင် အရေပြားကင်ဆာ ဖြစ်ပွားမှု သန်းနှင့်ချီသည့် ပမာဏနှင့်

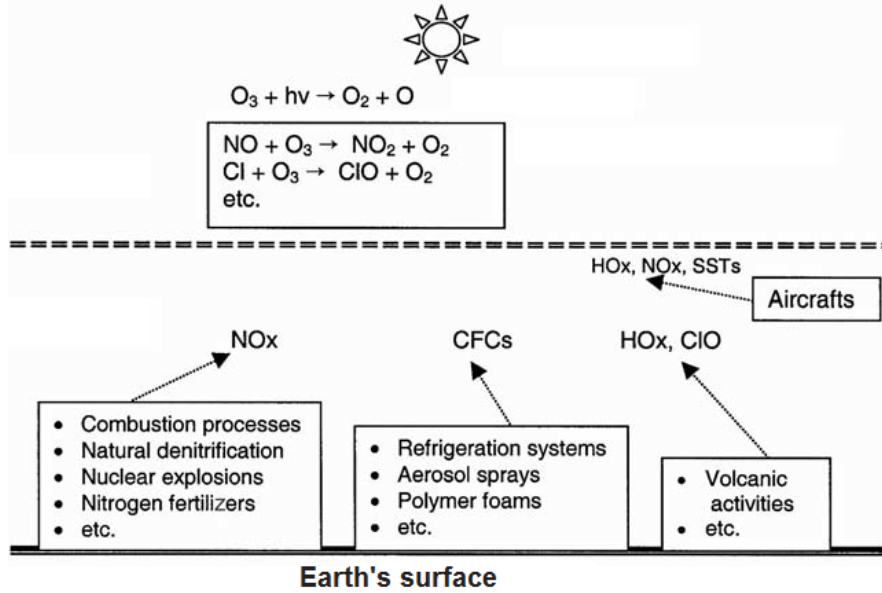
ဆက်စပ် နေကြောင်း ကုလသမဂ္ဂက ပြောကြားထားသည်။ ကုလသမဂ္ဂကဦးဆောင်ပြီး ၁၉၈၀ ပြည့်နှစ် ဝန်းကျင် ကတည်းက ဝင်ရိုးစွန်း ဒေသများရှိ အိုဇုန်းလွှာအပေါက်ကို ပြန်လည်ကောင်းမွန်အောင် စီမံကိန်းချ ဆောင်ရွက် ခဲ့သော်လည်း ၂၀၇၃ ခုနှစ်ထိ မူလအနေအထား ပြန်လည်မရနိုင်ဟု ယခင်က ခန့်မှန်းခဲ့ကြသည်။

ကုလသမဂ္ဂလက်အောက်ခံ အဖွဲ့အစည်းနှစ်ခုဖြစ်သည့် ကုလသမဂ္ဂသဘာဝပတ်ဝန်းကျင် ကာကွယ် ထိန်းသိမ်းရေးအဖွဲ့(UNEP) နှင့် ကုလသမဂ္ဂမိုးလေဝသအဖွဲ့(WMO) တို့သည် (၄)နှစ် ကြာသုတေသန ပြုလုပ်မှုများ၏ ရလဒ်ကို အခြေခံကာ ယခုရာစုနှစ်လယ်တွင် အိုဇုန်းလွှာအနေအထား သဘာဝအတိုင်း ပြန်ဖြစ်လာမည်ဟု ဗီယက်နာတွင် ကျင်းပသော ရာသီဥတုဆိုင်ရာ ညီလာခံတွင် ခန့်မှန်းကြေညာခဲ့ခြင်း ဖြစ်သည်။

ယင်းကြေညာချက်အတွက် ကုလသမဂ္ဂ၏ ပန်ကြားမှုဖြင့် သိပ္ပံပညာရှင်(၃၀၀)တို့က ၎င်းတို့၏ လေ့လာမှု များကို ထည့်သွင်း ဖော်ပြပေးခဲ့ကြသည်။ ကုလသမဂ္ဂသည် စက်တင်ဘာ (၁၆)ရက်နေ့ကို နိုင်ငံတကာ အိုဇုန်းလွှာ ထိန်းသိမ်းရေးနေ့ အဖြစ် သတ်မှတ်ပေးထားကြောင်း သိရသည်။

Table 4-11 refrigerant များ၏ ODP နှင့် GWP တန်ဖိုးများ

Refrigerant	Ozone Depletion Potential (ODP)	Global Warming Potential (GWP)
R-11 Trichlorofluoromethane	1.0	4000
R-12 Dichlorodifluoromethane	1.0	2400
R-13 B1 Bromotrifluoromethane	10	
R-22 Chlorodifluoromethane	0.05	1700
R-32 Difluoromethane	0	650
R-113 Trichlorotrifluoroethane	0.8	4800
R-114 Dichlorotetrafluoroethane	1.0	3.9
R-123 Dichlorotrifluoroethane	0.02	0.02
R-124 Chlorotetrafluoroethane	0.02	620
R-125 Pentafluoroethane	0	3400
R-134a Tetrafluoroethane	0	1300
R-143a Trifluoroethane	0	4300
R-152a Difluoroethane	0	120
R-245a Pentafluoropropane	0	
R-401A(53% R-22, 34% R-124, 13% R-152a)	0.37	1100
R-401B(61% R-22, 28% R-124, 11% R-152a)	0.04	1200
R-402A(38% R-22, 60% R-125, 2% R-290)	0.02	2600
R-404A(44% R-125, 52% R-143a, R-134a)	0	3300
R-407A(20% R-32, 40% R-125, 40% R-134a)	0	2000
R-407C(23% R-32, 25% R-125, 52% R-134a)	0	1600
R-502(48.8% R-22, 51.2% R-115)	0.283	4.1
R-507(45% R-125, 55% R-143)	0	3300
R-717 Ammonia - NH ₃	0	0
R-718 Water - H ₂ O	0	
R-729 Air	0	
R-744 Carbon Dioxide - CO ₂		1*



ပုံ ၄-၁၄ A schematic representation of stratospheric ozone depletion.

ဥပမာ - R-134a ကို အသုံးပြုထားသည့် refrigerator တစ်လုံးသည် အခန်းတစ်ခန်းကို အပူချိန် -10°C တွင် ထိန်းထားနိုင်ပြီး ပြင်ပအပူချိန် 20°C ရှိသည့်နေရာသို့ အပူများကို စွန့်ထုတ်သည်။ အပူချိန်ခြားနားချက် (temperature difference) evaporating pressure နှင့် condensing pressure တို့ကို ရှာပါ။

အဖြေ- evaporating temperature သည် $(-10) - (10) = -20^{\circ}\text{C}$ ဖြစ်သည်။ Condensing temperature သည် $20 + 10 = 30^{\circ}\text{C}$. (Table A11, A12 and A13)

$$P_{\text{sat}@ } -20^{\circ}\text{C} = 132.8 \text{ kPa (evaporator pressure)}$$

$$P_{\text{sat}@ } 30^{\circ}\text{C} = 770.6 \text{ kPa (condenser pressure)}$$

အိမ်သုံး(domestic)၊ စီးပွားရေးလုပ်ငန်းသုံး(commercial) refrigeration system များတွင် R12 နှင့် R22 တို့ကို R134a ဖြင့် အစားထိုး လဲလှယ်သည်။

R22 သည် ၂၀၁၅ ခုနှစ် နောက်ပိုင်းတွင် လုံးဝ ရပ်ဆိုင်း(phased out) ရမည် ဖြစ်သောကြောင့် R22 နေရာတွင် အသုံးပြုရန်အတွက် R407C ကို တီထွင် ခဲ့ကြသည်။

R407C(HFC-407C) သည် R32 ၊ R125၊ R134a တို့ ပေါင်းစပ်(blend)ထားသည့် refrigerant ဖြစ်သောကြောင့် ဖိအားတန်ဖိုး တစ်ခုအောက်တွင် evaporation temperature နှင့် condensation temperature တို့ မတူညီကြပေ။ ထို့သို့ဖြစ်ခြင်းကို 'temperature glide' ဟု ခေါ်သည်။ Temperature glide ကြောင့် water chilling ပြုလုပ်ရာတွင် refrigerant control ပြဿနာများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Centrifugal chiller များတွင် အသုံးပြုလေ့ရှိသည့် flooded evaporator များတွင် HFC-407C ကို အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။

R410A သည် R32 နှင့် R125 တို့ ပေါင်းစပ်(blend) ထားသည့် Azeotropic HFC blend refrigerant ဖြစ်သည်။ အသုံးများသည့်(common) refrigerant များထက် ပို၍ working pressure မြင့်မားသည်။ R410A ကို direct expansion(DX) unit များတွင် တွင်တွင်ကျယ်ကျယ် အသုံးပြုကြသည်။

R134a/ R407C နှင့် R410A တို့သည် HFC fluid များ ဖြစ်သောကြောင့် global warming potential (GWP) ဖြစ်နိုင်သည်။ ထိုထက်ပိုကောင်းသည့်(zero-GWP) refrigerant များ မပေါ်သေးခင် ယာယီ(transitional) refrigerant များအဖြစ် လက်ခံ အသုံးပြုနေကြဆဲဖြစ်သည်။ လက်ရှိ zero-GWP refrigerant များမှာ ammonia ၊

propane နှင့် butane တို့ဖြစ်သည်။ Ammonia ၊ propane နှင့် butane များသည် အဆိပ်ဓာတ်ပါဝင်ခြင်း(toxicity) နှင့် မီးလောင်လွယ်ခြင်း(flammability) တို့ကြောင့် အန္တရာယ်များသော်လည်း လွန်ခဲ့သည့်နှစ်ပေါင်းများစွာက စတင် အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။ Ammonia ကို packaged water chiller များတွင် အသုံးပြုသည်။ Propane နှင့် butane ကို DX ယူနစ်များနှင့် water chiller များတွင် အသုံးပြုကြသည်။ Carbon dioxide ကို refrigerant အဖြစ် computer hardware အေးအောင်ပြုလုပ်ရာတွင် အသုံးပြုကြသည်။

Refrigerant များသည် refrigeration cycle များတွင် compressor က လည်ပတ်ပေးနေသည့် working fluid များ ဖြစ်ကြသည်။ ၁၉၈၀ ခုနှစ်နှောင်းပိုင်းမှ စတင်၍ refrigerant အသစ်များကို ရှာဖွေခဲ့ကြသည်။ ၁၉၈၇ ခုနှစ်တွင် ပြဌာန်းခဲ့သည့် Montreal Protocol နှင့် EC Regulation 2037/2000(9) တို့အရ ၂၀၀၀ ပြည့်နှစ် ဇန်နဝါရီ (၁) ရက်နေ့တွင် ဈေးကွက်တွင် CFCs များ တင်သွင်းခြင်း၊ ရောင်းချခြင်း တို့ လုံးဝ မပြုလုပ်ရန် ပိတ်ပင်ထားသည်။ လက်ရှိအသုံးပြုနေသည့် စက်များနှင့် system များအတွက် CFCs များကို သိုလှောင် သိမ်းဆည်း ထားနိုင်သည်။ အသစ်တပ်ဆင်မည့် refrigeration system များအားလုံးတွင် HCFCs များကိုသာ အသုံးပြုရမည်။ ၂၀၁၅ ခုနှစ်အထိ ပြန်လည်ပြုပြင်မွန်းမံထားသည့်(recycled) HCFCs များကို လက်ရှိအသုံးပြုနေသည့် စက်များနှင့် system များအတွက် အသုံးပြုနိုင်သည်။

CFC ၊ HCFC နှင့် HFC refrigerant များကို လေထု(atmosphere)ထဲသို့ လွှတ်ထုတ်ခြင်းကြောင့် global warming ဖြစ်နိုင်သည်။ Refrigeration equipment များ မောင်းရန် အသုံးပြုသည့် စွမ်းအင်မှ ထုတ်လွှတ်သည့် CO2 ကြောင့် global warming ဖြစ်နိုင်သည်။ တိုးတက်ဖွံ့ဖြိုးနိုင်ငံများ(developed countries)တွင် အောက်ပါ အချိန်ဇယား(Phase-out schedules) အတိုင်း ထိန်းချုပ်သွားရန် သဘောတူထားကြသည်။

CFC phase-out by 1996

HCFC reduction schedule

- 2004 HCFC refrigerant များကို 35% လျော့ချရန်
- 2010 HCFC refrigerant များကို 65% လျော့ချရန်
- 2015 HCFC refrigerant များကို 90% လျော့ချရန်
- 2020 HCFC refrigerant များကို 99.5% လျော့ချရန် ၂၀၂၀ ခုနှစ်တွင် HCFC အသုံးပြုသည့် equipment များ ထုတ်လုပ်ခြင်းကို ရပ်ဆိုင်းရန်နှင့် ကျန်ရှိသည့် HCFC များကို ၂၀၃၀ ခုနှစ် အထိသာ အသုံးပြုရန် တိုးတက်ဖွံ့ဖြိုးဆဲနိုင်ငံများ(developing countries) တွင် အောက်ပါ အချိန် ဇယား(phase-out schedules) အတိုင်း ထိန်းချုပ်သွားရန် သဘောတူထားကြသည်။

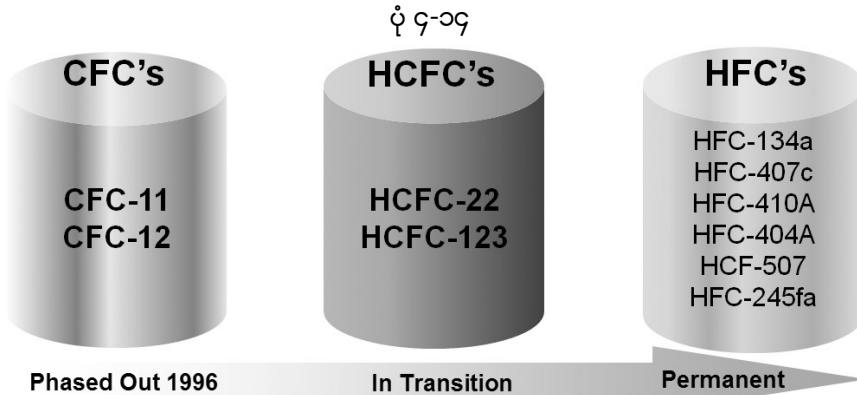
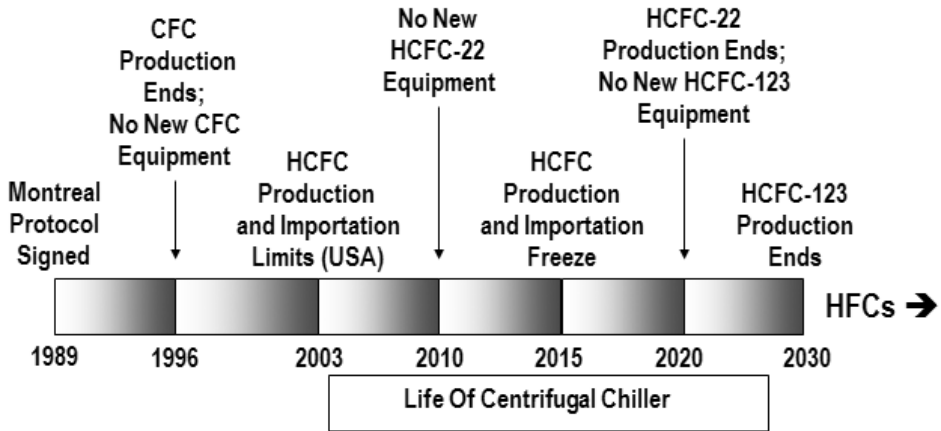
CFC freeze 1999; phase-out by 2010

HCFC freeze 2015; phase-out by 2040

1987 Montreal Protocol ပြဌာန်းပြီးနောက်ပိုင်း chlorinated fluorocarbons (CFC) နှင့် hydrochlorinated fluorocarbons (HCFC) တို့၏ phase-out ကို ထပ်မံ ပြဌာန်းခဲ့သည်။

Table 4-12

Refrigerant	Year	Restrictions
CFC-11	1996	Ban on Production
CFC-12	1996	Ban on Production
HCFC-22	2010	Production Freeze and ban on use in new equipment
	2020	Ban on Production
HCFC-123	2015	Production Freeze
	2020	Ban on use in new equipment
	2030	Ban on Production
HFC-134a	-	No restrictions



ပုံ ၄-၁၅ International Phased Out Schedule -

လျှပ်စစ် ဓာတ်အား တစ်ကီလိုဝပ်ကို တစ်နာရီကြာအောင်(kWh) သုံးစွဲတိုင်း လေထဲသို့ ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ် (CO₂) (၁.၄၈)ပေါင် ထုတ်လွှတ်သည်။

AHRI အဖွဲ့၏ သုသေသနပြုချက်အရ chiller များမှ refrigerant ယိုစိမ့်နှုန်း (leak rate) များမှာ

- (၁) Positive pressure hermetic (R134a machine) 0.1%
- (၂) Negative pressure hermetic (R123 machine) 0.5%
- (၃) Positive or negative pressure open-drive 1-2%

	CFC-11	CFC-12	HCFC-123	HFC-134a	HCFC-22
GWP	4000	8100	76	1320	1700
ODP	1	1	0.02	0	0.05

ကလိုရင်းဓာတ်ငွေ့ မပါဝင်သည့် refrigerant များသည် ဖန်လုံအိမ် အာနိသင်ဓာတ်ငွေ့များ ထုတ်လွှတ်မှု (green house gas emissions) ကို ထိန်းချုပ်ရန် နှင့် ရာသီဥတု ပြောင်းလဲခြင်းများ လျော့နည်းစေရန် အတွက် အကောင်းဆုံး refrigerant ဖြစ်သည်။

-End-

Chapter-5 Heat Exchangers

Heat exchanger များသည် ပြင်ပမှ မည်သည့် work input မျှထည့်ပေးရန် မလိုအပ်ဘဲ အပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature difference)ကြောင့် အပူချိန်မြင့်သည့် fluid မှ အပူချိန်နိမ့်သည့် fluid သို့ သဘာဝအတိုင်း အပူ စီးကူးခြင်း(heat transfer) ဖြစ်စေနိုင်သည့် ကိရိယာ(device)များ ဖြစ်သည်။ Heat exchanger များကို အပူချိန် မြင့်သည့် fluid တစ်မျိုးမှ အပူများ(heat)ကို တခြား အပူချိန်နိမ့်သော fluid တစ်မျိုးသို့ တစ်ခုနှင့် တစ်ခု ထိတွေ့ခြင်း မရှိ သို့မဟုတ် fluid နှစ်မျိုး ရောနှောခြင်းမရှိဘဲ အပူကူးပြောင်း(transfer)ရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။

အပူချိန်မြင့်မားသည့် fluid ကို "hot fluid" သို့မဟုတ် "hot medium" ဟုခေါ်ပြီး အပူချိန်နိမ့်သည့် fluid ကို "cold fluid" သို့မဟုတ် "cold medium" ဟုခေါ်သည်။

Heat exchanger အတွင်း၌ တချို့သော fluid များသည် အပူကို စုပ်ယူရင်း(heat gain) အရည်အဖြစ်မှ အငွေ့အဖြစ်သို့ အသွင်ပြောင်းလဲခြင်း(phase change) ဖြစ်ပေါ်သည်။ ဥပမာ - refrigerant သည် evaporator အတွင်း၌ chilled water မှ အပူကို စုပ်ယူကာ(heat gain ဖြစ်ကာ) အရည်(liquid)အဖြစ်မှ အငွေ့(vapor) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။

တချို့သော fluid များသည် အပူကို စွန့်ထုတ်ရင်း(heat loss) အငွေ့အဖြစ်မှ အရည်အဖြစ်သို့ အသွင် ပြောင်းလဲခြင်း (phase change) ဖြစ်ပေါ်သည်။ ဥပမာ - condenser အတွင်း၌ refrigerant သည် condenser water အတွင်းသို့ အပူကိုစွန့်ထုတ်(heat loss)ကာ အငွေ့(vapor)အဖြစ်မှ အရည်(liquid) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲ သွားသည်။

ဤကဲ့သို့ fluid တစ်ခုမှ တခြား fluid တစ်ခုသို့ အပူစွမ်းအင်(heat energy) များ ကူးပြောင်း(transfer)သွား ခြင်းသည် fluid နှစ်ခု၏ အပူချိန်ကွာခြားမှုကြောင့် ဖြစ်သည်။ Heat exchanger များသည် sensible heat နှင့် latent heat နှစ်မျိုးလုံးကို ကူးပြောင်းအောင်(transfer)လုပ်နိုင်ကြသည်။ Sensible heat များ ကူးပြောင်း(transfer)သွားရန် အတွက် အသွင်ပြောင်းလဲခြင်း(phase change) ဖြစ်ပေါ်ရန် မလိုအပ်ပေ။ Latent heat များ ကူးပြောင်း(transfer) သွားရန် heat exchanger အတွင်း၌ အသွင်ပြောင်းလဲခြင်း(phase change) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Saturated steam အဖြစ် မှ condensing ဖြစ်ကာ latent heat များ ကူးပြောင်းခြင်း(transfer) ဖြစ်ပေါ်သည်။

ဤအခန်းတွင် heat exchanger များ၏ အခြေခံ သဘောတရားများ(fundamentals)၊ အမျိုးအစားများ (types)၊ အစိတ်အပိုင်းများ(components)၊ အသုံးပြုပုံများ(applications)၊ ရွေးချယ်ရန် အချက်အလက်များ(selection criteria) နှင့် တပ်ဆင်နည်း(installation)ကို ဖော်ပြထားသည်။

၅.၁ အခြေခံသဘောတရားများ (Fundamentals)

Hot fluid မှ cold fluid သို့ အပူစွမ်းအင်များ ကူးပြောင်းသွားသည့်နှုန်း(rate of heat transfer)ကို အောက်ပါ ဖော်မြူလာအတိုင်း တွက်ချက်နိုင်ပါသည်။

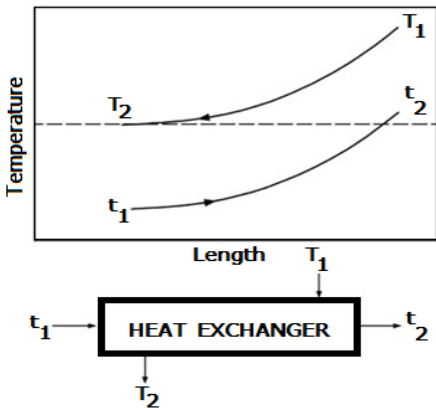
$$Q = U \times A \times \Delta t_m$$

- Where Q = Rate of heat transfer
- U = Overall coefficient of heat transfer from hot fluid to cold fluid
- A = Heat transfer area of the heat exchanger associated with U
- Δt_m = Log Mean Temperature Difference (LMTD)

Overall coefficient of heat transfer မပြောင်းလဲသည့် fluid များ သို့မဟုတ် fluid ၏ overall coefficient of heat transfer ကို မပြောင်းလဲဟု ယူဆလျှင် Δt_m ကို အောက်ပါ ပုံသေနည်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\Delta t_m = C_f \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln(T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)}$$

Q သည် ကူးပြောင်းသွားသည့် အပူပမာဏ ဖြစ်သည်။ A သည် heat transfer ဖြစ်ရန် အတွက် လိုအပ်သော ဧရိယာ အကျယ်ဖြစ်သည်။ U သည် heat exchanger တစ်ခုလုံး၏ overall coefficient of heat transfer ဖြစ်သည်။ LMTD သည် Log Mean Temperature Difference ဖြစ်သည်။ Logarithmic mean temperature difference method ကို အခြေခံ၍ တွက်ခြင်းဖြစ်သည်။ LMTD တွင် C_f သည် correction factor ဖြစ်သည်။ C_f သည် counter flow design မဟုတ်သည့် heat exchanger များ အတွက် အမြဲတမ်း (၁)ထက် ငယ်လေ့ရှိသည်။



- T_1 = Hot fluid (in)
- T_2 = Hot fluid (out)
- t_1 = Cold fluid (in)
- t_2 = Cold fluid (out)

ပုံ ၅-၁ Temperature distribution in conunter flow heat exchanger

အထက်ပါ ပုံ(၅-၁)တွင် အပူချိန် ကွာခြားချက် (temperature cross သို့မဟုတ် temperature differential) ကို ဖော်ပြထားသည်။ Hot fluid ကို "heating fluid" ဟုခေါ်သည်။ Hot fluid ၏ အထွက် အပူချိန်(t_2)သည် cold fluid ၏ အထွက် အပူချိန်(T_2)ထက် နည်းရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် $T_2 < t_2$ ဖြစ်သည်။ 100% true counter flow arrangement ရှိသည့် heat exchanger များသာ temperature cross ရရှိနိုင်သည်။ Overall coefficient U သည် heat exchanger surface area (A) ၏ physical arrangement ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

သတ်မှတ်ထားသော load တစ်ခုအတွက် တူညီသော မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area) ရှိသည့် heat exchanger များ အားလုံးသည် တူညီသည့် စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို ပေးနိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် physical arrangement မတူသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့် heat exchanger ကို ရွေးချယ်သည့်အခါတွင် မိမိလိုအပ်သည့် လုပ်ငန်း(application) နှင့် သက်ဆိုင်သည့် load condition များကို ဖော်ပြပေးရန် လိုအပ်သည်။ Fluid နှစ်ခုလုံး၏ load ကို အောက်ပါ ပုံသေနည်း(formula)ဖြင့် တွက်ယူ နိုင်သည်။

$$Q = m C_p (t_{in} - t_{out})$$

LMTD ၏ တန်ဖိုးသည် heat exchanger ရွေးချယ်ရာတွင် အလွန်အရေးကြီးသည်။ သတ်မှတ်ထားသော load အတွက် LMTD ၏ တန်ဖိုးများလျှင် သေးငယ်သော မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area)ရှိသည့် heat exchange သာ လိုအပ်သည်။ Approach temperature သည် T_2 နှင့် t_1 တို့၏ ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် approach temperature (difference between T_2 and t_1) အလွန်နည်းလျှင် LMTD ၏ တန်ဖိုးလည်း နိမ့်သည်။ ထို့ကြောင့် အပူစီးကူးနိုင်သည့်မျက်နှာပြင်(heat transfer surface)ဧရိယာ (A) ကျယ်ကျယ်ရှိရန် လိုအပ်သည်။

၅.၂ Heat Exchanger အမျိုးအစားများ

Air con သို့မဟုတ် refrigeration လုပ်ငန်းများတွင် အသုံးပြုသော heat exchanger များမှာ

- (က) Counter flow shell and tube heat exchanger အမျိုးအစားများ နှင့်
- (ခ) Counter flow plate heat exchanger အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။ ထိုနှစ်မျိုးစလုံးတွင် fluid များ တစ်ခုနှင့် တစ်ခု မထိအောင် သီးခြား ခွဲထားကြသည်။

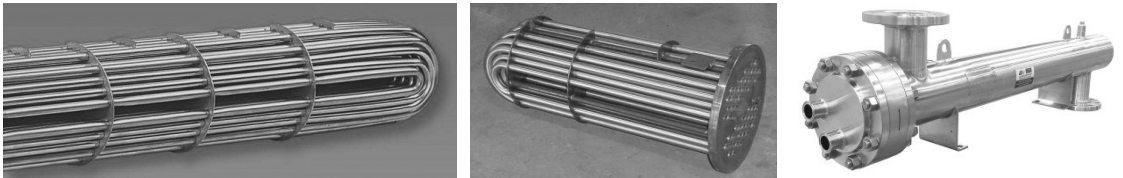
၅.၂.၁ Shell and Tube Heat Exchangers

Shell and tube heat exchanger အမျိုးအစားတွင် tube bundle assembly ကို ပိုက်ပုံသဏ္ဍန် (tubular) shell အတွင်း၌ ဂဟေဆော်(welded)၍ သော်လည်းကောင်း၊ ဘိုလ်(bolts)နှင့် တွဲ၍ သော်လည်းကောင်း တပ်ဆင်ထားသည်။ Tube bundle များသည် rolled သို့မဟုတ် ဂဟေဆော်(welded) ထားသည့် U tube များသော်လည်းကောင်း၊ ထိပ်နှစ်ဘက်ကို ပိတ်ထားသည့် ဖြောင့်တန်းသည့်ပိုက်(both ends straight tube)များ သော်လည်းကောင်း၊ tube sheet(s) များသော်လည်းကောင်း ဖြစ်နိုင်သည်။

Shell ဆိုသည်မှာ ပိုက်အကြီးစားကို ဖြတ်ထားပြီး longitudinal center line များတွင် inlet နှင့် outlet connection များ ပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Shell များ၏ ပုံစံ၊ အမျိုးအစား များစွာ မကွာခြားပေ။

Tube ပုံစံများတွင်

(၁) U Tube Heat Exchangers



ပုံ ၅-၂ U-Tube ပုံသဏ္ဍန် shell and tube heat exchangers

(၂) Straight Tube Exchangers



ပုံ ၅-၃(က) Straight Tube Exchangers

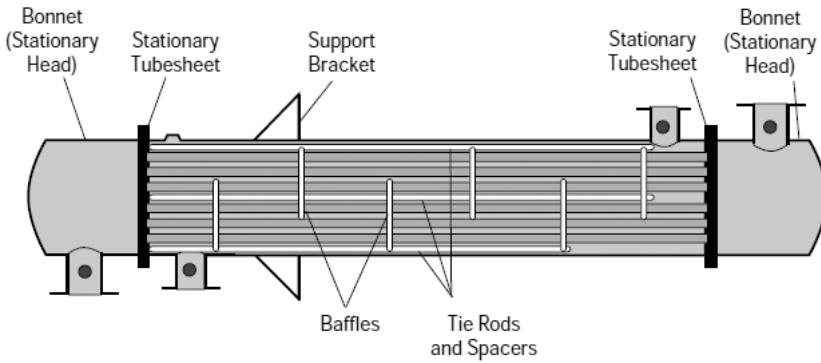
ပုံ ၅-၃(ခ) Straight Tube Exchangers

(၃) Shell and Coil Exchangers

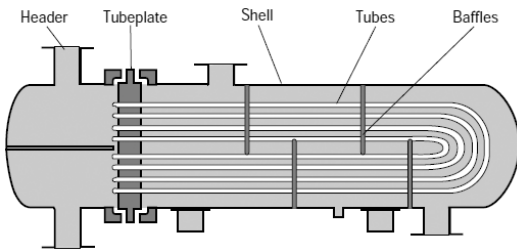


ပုံ ၅-၄ Shell and coil exchangers

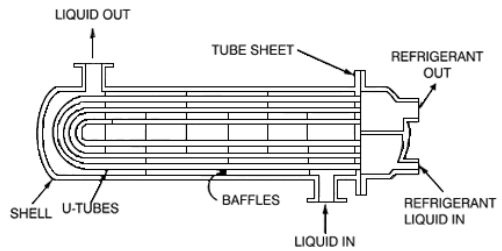
ပုံ ၅-၅ Shell and coil exchangers



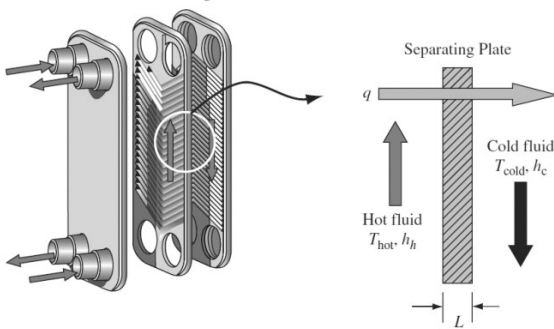
ပုံ ၅-၆ Fixed tube sheet heat exchanger



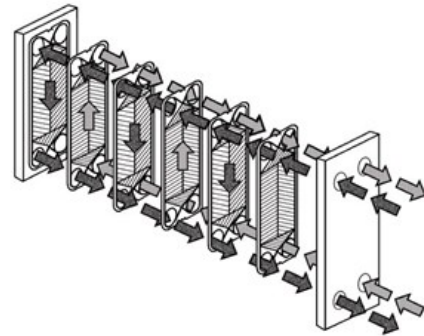
ပုံ ၅-၇(က) U tube heat exchanger
Plate Heat Exchanger



ပုံ ၅-၇(ခ) Heat exchanger baffles



ပုံ ၅-၈ Flow path of gasketed plat heat exchanger



ပုံ ၅-၉ Flow path of welded plate heat exchanger

၅.၂.၂ Plate Heat Exchangers

Plate heat exchanger ဆိုသည်မှာ သတ္တုပြား(metal plate)များကို အထပ်လိုက်တွဲထားသည့် heat exchanger ဖြစ်သည်။ Plate များကို အသုံးပြုထားသောကြောင့် plate heat exchanger ဟုခေါ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Hot fluid နှင့် cold fluid သည် အတွဲလိုက်ထပ်ထားသည် metal plate များအကြားမှ သီးသန့် လမ်းကြောင်း အတိုင်း စီးဆင်းနေပြီး အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer) ဖြစ်ပေါ်သည်။ အပူသည် plate နံရံများ(plate walls) မှတစ်ဆင့် ဖြတ်သန်း စီးကူးသွားသည်။

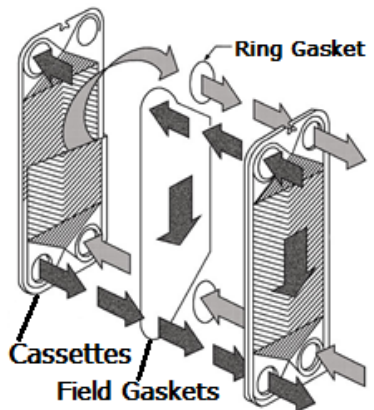
Exchanger တွင် channel များကို တစ်ခုပြီးတစ်ခု frame ဖြင့် ချိတ်တွဲထားသည်။ Plate များ၏ ထောင့်တွင် အပေါက်(opening or port)များ ပြုလုပ်ထားသည်။ Plate များအားလုံးကို အတူတကွ ထပ်၍ တစ်ဆင့် လိုက်လျှင် ထိုအပေါက်(opening or port)များသည် fluid များ စီးဝင်ရန်အတွက် manifold များအဖြစ်သို့ ရောက်ရှိသွားသည်။ စီးဆင်းရာလမ်းကြောင်း(flow path)ကို ဖြစ်စေသည်။

Plate များစွာ ချိတ်တွဲထားခြင်းကို "plate pack" ဟုခေါ်သည်။ Plate pack များကို ထိန်းထားပေးရန် ဘား(bar)တစ်ခု လိုအပ်သည်။ ထိုသို့ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ထားခြင်းကြောင့် plate pack ကိုဖွင့်ပြီး plate များဖြုတ်၍ တစ်ခုချင်းစီ ဆေးကြောနိုင်သည်။ Capacity များများ လိုအပ်ပါက plate ထပ်ထည့်ခြင်းဖြင့် ပိုများသည့် capacity ရရှိနိုင်သည်။ ထို့အတူ မလိုအပ်သည့်အခါ plate များကို ဖြုတ်ခြင်းဖြင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို လျော့နည်းစေနိုင်သည်။

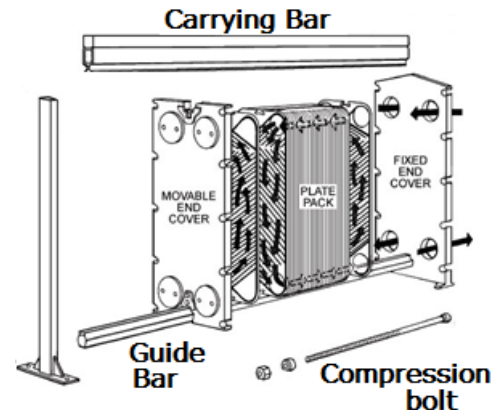
Plate ကို gasket များဖြင့် သော်လည်းကောင်း၊ ဂဟေဆော်(welding) ခြင်းဖြင့် သော်လည်းကောင်း၊ brazing လုပ်ခြင်းဖြင့် သော်လည်းကောင်း ချိတ်တွဲ တပ်ဆင်နိုင်သည်။

Gasket များဖြင့် တပ်ဆင်ထားသော plate heat exchanger များသည် အများဆုံး 2 MPa ဖိအားအထိသာ ခံနိုင်သည်။ Brazed လုပ်ထားသည့် plate များသည် ဖိအား 3 MPa နှင့် အပူချိန် (temperatures) 260°C အထိ ခံနိုင်ကြသည်။

အသုံးပြုသည့် gasket material အမျိုးအစား (ရာဘာ၊ပလတ်စတစ် စသည်တို့)ကိုလိုက်၍ ခံနိုင်သည့် အပူချိန် ကွာခြားသည်။ Gasket plate heat exchanger များကို အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။ Nitrile butyl rubber (NBR)ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသော gasket များသည် အပူချိန် 110°C အထိသာ ခံနိုင်ရည်ရှိသည်။ Ethylene-propylene terpolymer (EPDM) gasket များသည် အပူချိန် 160°C အထိ ခံနိုင်ရည်ရှိသည်။ Gasket ကို plate ပေါ်တွင် ကော်ဖြင့်ကပ်၍ သော်လည်းကောင်း၊ ကလစ်များဖြင့်ညှပ်၍ သော်လည်းကောင်း အသုံးပြုကြသည်။ Gasket ပုံစံများကို counter flow လမ်းကြောင်းအတိုင်း စီးဆင်းသွားအောင် ပြုလုပ်ထားကြသည်။



ပုံ ၅-၁၀ Flow Path of Heat Exchanger



ပုံ ၅-၁၁ Components of a gasketed plate heat exchanger

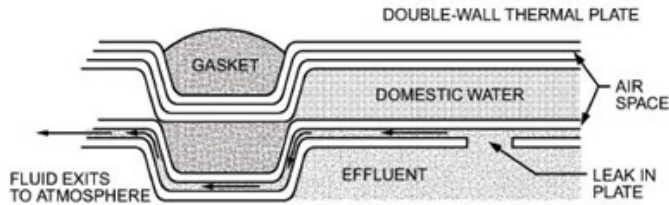
ဂဟေဆော်နည်းဖြင့် Plate များကို တပ်ဆင်ခြင်း

Plate နှစ်ခု၏အစွန်းကို ဂဟေ(welding)ဖြင့် တွဲထားလျှင် "cassette" ဟုခေါ်သည်။ အက်စစ်များ၊ သံချေးတက်လွယ်သော fluid များအတွက် သင့်လျော်သော gasket material အမျိုးအစား မရနိုင်လျှင် ဂဟေဆော်သည့်နည်းကို အသုံးပြုသည်။ Non-aggressive fluid များအတွက် standard gasket များကို အသုံးပြုကြသည်။ Refrigeration လုပ်ငန်းများအတွက် ဂဟေဆော်နည်းဖြင့် plate များကို တွဲထားသည့် heat exchanger များကို အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။

Brazing လုပ်နည်းဖြင့် Plate များကို တပ်ဆင်ခြင်း

Gasket နှင့် frame များကို အသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင်သည့် အခါ brazed-plate heat exchanger များကို ပြုလုပ်ကြသည်။ Copper သို့မဟုတ် nickel အတုံးထဲတွင် ပလိတ်ပြား(plate)များကို ထည့်ကာ ကြေးဂဟေဆော်ခြင်း (brazing) ဖြစ်သည်။ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းရန် မလိုသည့် closed system application များအတွက် အလွန် ကုန်ကျစရိတ် သက်သာသည့် နည်းလမ်းကောင်း ဖြစ်သည်။ သို့သော် heat exchanger ၏ ပလိတ်ပြား(plate) များ ပေါက်သွားသည့် အခါ fluid နှစ်မျိုး ရောနှောသွားနိုင်သည်။ တချို့သော fluid များမှာ ရောနှောမိပါက အလွန် အန္တရာယ်များသည်။ ပေါက်ကွဲတတ်သည်။ ထို့ကြောင့် heat exchanger နံရံများကို နှစ်ထပ် ပြုလုပ်ထားကြသည်။ Double wall heat exchanger ဟု ခေါ်သည်။ Double wall heat exchanger ကို shell and tube နှင့် plate heat exchanger နှစ်မျိုးလုံးတွင် ရနိုင်သည်။

Double wall heat exchanger ၏ overall thermal performance သည် single wall လောက် မကောင်းပေ။ ဈေးလည်း ပိုများသည်။ သို့သော် ဘေးအန္တရာယ်ကင်းဝေးရန် အတွက် အသုံးပြုကြသည်။

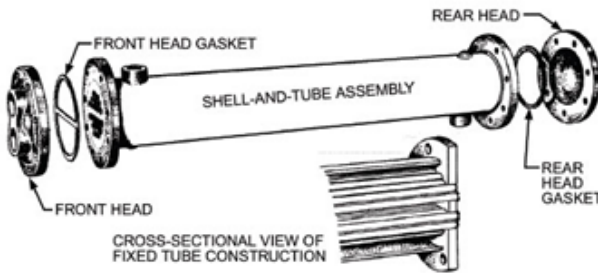


ပုံ ၅-၁၂ Double wall plate heat exchanger

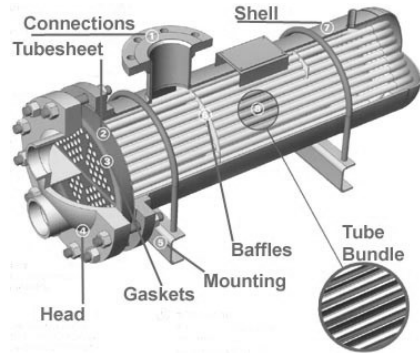
အထက်ပါ ပုံ(၅-၁၂)တွင် double wall plate heat exchanger တစ်ခု၏ ဂဟေ(welding)ဖြင့် ဆက်ထားသော plate နှစ်ခု နှင့် gasket ကို ဖော်ပြထားသည်။

၅.၃ Heat Exchanger များ၏ အစိတ်အပိုင်းများ (Components)

HVAC လုပ်ငန်းများအတွက် ထုတ်လုပ်ထားသော သို့မဟုတ် တည်ဆောက်ထားသော heat exchanger များတွင် ASME Boiler and Pressure Vessel Code ဝါသည့် တံဆိပ်ပြားများကို ဖော်ပြထားရမည် ဖြစ်ပြီး အပူချိန် 190°C အောက်တွင် ဖိအား 1000 kPa အထိ ခံနိုင်ရည် ရှိရမည်။



ပုံ ၅-၁၃ Exploded view of straight tube heat exchanger



ပုံ ၅-၁၄

၅.၃.၁ Shell and Tube Components

အထက်ပါပုံ(၅-၁၄)တွင် ပြထားသည့် shell and tube exchanger တွင် အောက်ပါ component များ ပါဝင်ကြသည်။

- (က) Shells
- (ခ) Baffles ၊ tube supports ၊ tie rods နှင့် spacers
- (ဂ) Tubes
- (ဃ) Tube sheets နှင့်
- (င) Heads တို့ ပါဝင်သည်။

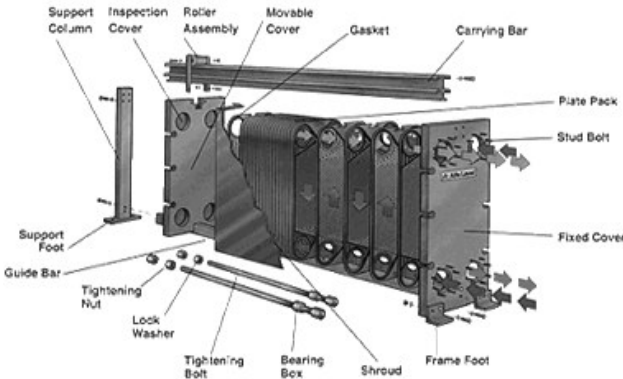
Shell များ ကို steel pipe များ၊ ကြေး(copper) နှင့် stainless steel များဖြင့် ပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။ အဝင်နော်ဇယ်(inlet nozzle) နှင့် အထွက်နော်ဇယ်(outlet nozzle) များကို တပ်ဆင်မှု လွယ်ကူစေရန် အသုံးများသည့် flange များဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ နော်ဇယ်(nozzle)များ၏ အဝအကျယ်ကို fluid velocity များစေရန် နှင့် tube များ အပေါ်တွင် impingement မဖြစ်စေရန် ပြုလုပ်ထားသည်။

Baffles ၊ tube supports ၊ tie rods နှင့် spacers တို့ကို ကြေး နှင့် စတီး(stainless steel) များဖြင့် ပြုလုပ်လေ့ ရှိသည်။ Velocity နည်းခြင်း၊ များခြင်းသည် baffle အရေတွက်နှင့် baffle တစ်ခုနှင့် တစ်ခုအကြား အကွာအဝေး အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Velocity များခြင်းကြောင့် shell side heat transfer coefficient ကျဆင်းပြီး၊ ဖိအား ကျဆင်းမှု(pressure drop) ပိုများလာနိုင်သည်။

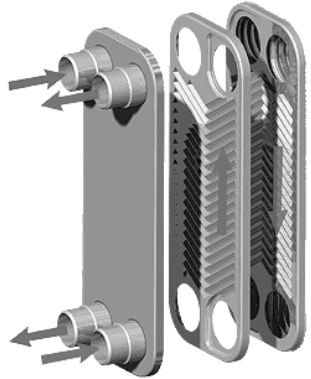
Tube များကို စတီးပိုက်(steel pipe)များ၊ ကြေးသတ္တု၊ အထူးအရည်အသွေးကောင်းသော brass များ နှင့် stainless steel များဖြင့် ပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။ Tube diameter ၊ အထူ(gauge)နှင့် material အမျိုးအစားများသည် heat transfer coefficient နှင့် exchanger ၏ စွမ်းဆောင်မှု(performance)ကို ပြောင်းလဲစေသည်။

Tube sheet များသည် baffle ပြုလုပ်သည့် သတ္တုအမျိုးအစားများနှင့် တူညီလေ့ရှိသည်။ Tube sheet များကို လိုအပ်သည့် tube layout များအတိုင်း ရအောင် အပေါက်များ ဖောက်လေ့ရှိသည်။ ထိုအပေါက်များပါသော tube layout ကို “pitch” ဟုခေါ်လေ့ရှိသည်။

Head များကို အများအားဖြင့် cast iron သို့မဟုတ် fabricated steel ဖြင့် ပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။ သေးငယ်သော exchanger များအတွက် cast brass နှင့် cast stainless steel တို့ဖြင့်လည်း ပြုလုပ်ကြသည်။ Head များသည် လိုအပ်သည့်နေရာ သို့မဟုတ် တပ်ဆင်မည့်နေရာ အလွယ်တကူထည့်နိုင်၊ ထုတ်နိုင်အောင် (အံဝင်အောင်) ပြုလုပ်ထားကြသည်။



ပုံ ၅-၁၅ Plate heat exchanger



ပုံ ၅-၁၆ Plate heat exchanger

အထက်ပါပုံ(၅-၁၆)တွင် plate heat exchanger ၏ gasketed plate နှင့် frame တို့ကို ခွဲပြထားသည်။

၅.၃.၂ Plate Heat Exchanger Component များ

အောက်တွင် component များ၏ လုပ်ဆောင်ချက်များနှင့် ပြုလုပ်သည့် သတ္တုအမျိုးအစားများကို ဖော်ပြထားသည်။

(က) Fixed Frame Plates

Fixed frame plate များကို carbon steel ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ Single-pass plate heat exchanger တွင် hot fluid နှင့် cold fluid နှစ်မျိုးလုံး၏ inlet နှင့် outlet တို့သည် fixed frame plate ဘက်တွင်သာ ရှိကြသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် fixed frame plate ဘက်တွင် ပိုက် connection (၄)ခု စလုံးရှိလျှင် single-pass plate heat exchanger ဖြစ်သည်။ ANSI အမျိုးအစား flange များ အတွက် connection များသည် NPT သို့မဟုတ် stud port ဒီဇိုင်းများ ကြုံဖြစ်သည်။ NPT connection များသည် carbon steel သို့မဟုတ် stainless steel သတ္တုများ ဖြစ်သည်။ Stud port connection များကို သံချေးတက်ခြင်း(corrosion) ဖြစ်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန် အထဲတွင် မြှုပ်ထားလေ့ရှိသည်။

(ခ) Movable Pressure Plate

ရွှေ့ပြောင်းနိုင်သည့်(movable) pressure plate များ ကို capacity များ ရရန်အတွက် plate အသစ်များ ထပ်ထည့်ရန်၊ plate အဟောင်းများ ဖြုတ်ထုတ်ရန် နှင့် plate များ အသစ်လဲလှယ်ရန်အတွက် ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသည်။ Movable pressure plate ကို carrying bar ၏ တစ်လျှောက်တွင် ရွှေ့နိုင်ရန် ပြုလုပ် ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Carbon steel ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။

(ဂ) Plate Pack

Plate pack များကို channel plate များ နှင့် gasket များဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ Plate များသည် stainless steel 316 အမျိုးအစား၊ stainless steel 304 အမျိုးအစား သို့မဟုတ် titanium သတ္တုများ ဖြစ်ကြသည်။ Herringbone ပုံစံမျိုး သို့မဟုတ် chevron ပုံစံမျိုး ပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။ Herringbone သို့မဟုတ် chevron pattern များ၏ ထောင့်များသည် thermal performance ကောင်းခြင်း၊ ဆိုးခြင်းနှင့် ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) များခြင်း၊ နည်းခြင်း တို့ကို ဖြစ်စေနိုင်သည်။

(ဃ) Compression Bolt

Compression bolt များသည် plate များကို movable pressure plate များ နှင့် fixed frame plate များ အတွင်း၌ ရှိအောင် ဖိထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် fluid များ ယိုစီးခြင်း မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။

(င) Carrying and Guide Bar

Carrying and guide bar များသည် channel plate များအား ထိန်းပေးထားခြင်း ဖြစ်သည်။ အပေါ်တန်းကို "carrying bar" ဟုခေါ်သည်။ အောက်တန်းကို "guide bar" ဟုခေါ်သည်။ စတီး(stainless steel) ၊ အလူမီနီယံ(aluminum) သို့မဟုတ် ကာဗွန်စတီး(carbon steel) များဖြင့် ပြုလုပ်ပြီး ဇင့်ခရိုမိတ်(zinc chromate)ဖြင့် အပေါ်ဆုံး အချောသတ်အလွှာအဖြစ် သုတ်လိမ်းကြသည်။ ပုံ(၅-၁၁)တွင် "carrying bar" နှင့် "guide bar" ကို ဖော်ပြထားသည်။

(စ) Support Column

Support column သည် plate heat exchanger များတွင် carrying bar နှင့် guide bar ထိန်းပေးထားသည်။ Carrying bar သည် plate များကို ထိန်းပေးထားသည်။

(ဆ) Splash guard

Splash guard များကို အလူမီနီယံ(aluminum) ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။

(ဇ) Drip pan

Drip pan ကို စတီး(stainless steel) ဖြင့် ပြုလုပ်သည်။ စတင်အသုံးပြုသည့်အခါ ၊ ရပ်နား(shut down) သည့်အခါ ၊ ယိုစီးခြင်းဖြစ်သည့်အခါ ၊ gasket များ ပေါက်ပြဲသည့်အခါ နှင့် condensation ဖြစ်သည့် အခါတို့တွင် ရေများကို ဘေးသို့မရောက်အောင် အောက်မှ ခံထားပေးသည်။ ရေများကို စုထားပေးသည်။

၅.၄ အသုံးပြုပုံ(Application)

စွမ်းအင်(primary energy source) တစ်ခုတည်းမှ အပူချိန် မတူညီသော fluid များ ၊ မတူညီသော အသုံးပြုမှုများနှင့် မတူညီသော စွမ်းအင်ပမာဏများ အတွက် လိုအပ်သည့်နေရာတွင် လိုအပ်သလောက်သာ ရရှိရန် heat exchanger များကို အသုံးပြုကြသည်။

ASHRAE handbook တွင် ဖော်ပြထားသော heat exchanger အသုံးပြုပုံများမှာ

- (က) ဘိုင်းလာ(boiler)မှ ထွက်လာသည့် ရေနွေးငွေ့(steam) ကို central water system များ အတွက် hot water အဖြစ် condense လုပ်ရန်
- (ခ) ဟိုတယ်နှင့်ဆေးရုံများရှိ hot water system များတွင် အသုံးပြုရန်
- (ဂ) ထူးခြားသည့် အပူချိန်လိုအပ်ချက်(special temperature requirement)များ ရှိသည့်အခါ နှင့် hot fluid နှင့် cold fluid တို့ မရောနှောလိုသည့်အခါ တို့၌ isolation လုပ်ရန်
- (ဃ) စွမ်းအင်ချွေတာရေးလုပ်ငန်း(energy saving application) များအတွက်
- (င) Refrigeration application များအတွက် (evaporators ၊ condensers နှင့် liquid coolers) အသုံးပြုသည်။

၅.၅ ရွေးချယ်ရန် အချက်အလက်များ (Selection Criteria)

Heat exchanger များကို ကွန်ပျူတာ ပရိုဂရမ်များ အသုံးပြု၍ ရွေးချယ်ကြသည်။ ထုတ်လုပ်သူများနှင့် တိုင်ပင်ကာ ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။

၅.၅-၁ Thermal/Mechanical Design

Shell and tube heat exchanger များကို ဖိအားလိုအပ်ချက်အရ ဦးစားပေး ရွေးချယ်ကြသည်။ အပူစီးကူးမှု ကောင်း၊ မကောင်းကို အခြေခံ၍ ရွေးချယ်ကြသည်။ Plate heat exchanger များကို ဖိအား လိုအပ်ချက် အဓိက မကျသည့် အခါမျိုးတွင် အကောင်းဆုံးသော အပူစီးကူးမှု ရရှိရန်အတွက် ရွေးချယ်ကြသည်။

၅.၅-၂ Thermal Performance

Heat exchanger ၏ thermal performance သည် အရွယ်အစား(size) နှင့် အပူစီးကူးမည့် မျက်နှာပြင် ဧရိယာ(heat transfer surface area) ၏ geometry အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အပူစီးကူးမည့် မျက်နှာပြင်(heat transfer surface)၏ ပစ္စည်း(material)အမျိုးအစားသည်လည်း performance ကို ပြောင်းလဲစေနိုင်သည်။ ကြေးနီ သည် စတီး(stainless steel)ထက် အပူစီးကူးမှု ပိုကောင်းသည်။ Fluid စီးနှုန်း(flow rate)၊ မြန်နှုန်း(velocity)၊ စေးပျစ်မှု(viscosity) နှင့် အပူလျှောက်ကူးမှု(thermal conductivity) တို့သည် overall heat transfer coefficient (U) ၏ တန်ဖိုးကို ဆုံးဖြတ် ပေးသည်။

Shell and tube အမျိုးအစား heat exchanger ၌ cold fluid သည် tube အတွင်း၌ စီးဆင်းလေ့ရှိသည်။ အကယ်၍ cold fluid ကို shell ဘက်တွင် စီးဆင်းပါက overall U တန်ဖိုး ကျဆင်း သွားလိမ့်မည်။

၅.၅-၃ Thermal Stress ဖြစ်ပေါ်ခြင်း

အပူချိန်ကွာခြားချက်(temperature differences) မြင့်သည့် heat exchanger များသည် ကြီးမားသော thermal stresses ကို ခံရသည်။ Fixed tube sheet များဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် heat exchanger များသည် အပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature differences)များသည့် ကြီးမားသော thermal stresses ကို ခံနိုင်ရည်မရှိပေ။ ထို့အတူပင် gasketed plate unit များသည် ကြီးမားသော thermal stresses ကို ခံနိုင်ရည် မရှိပေ။

၅.၅-၄ ဖိအားကျဆင်းမှု (Pressure Drop)

Shell and tube heat exchanger များတွင် fluid velocity နှင့် tube length ကို လိုသလောက် ရှည်အောင် ပြုလုပ်နိုင်သောကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) နည်းလေ့ရှိသည်။ သို့သော် plate heat exchanger များတွင် fluid velocity ကို ကန့်သတ်မထားလျှင် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) များလေ့ရှိသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ plate heat exchanger များ၏ မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area)ပမာဏကို thermal performance လိုအပ်ချက် အရ မဟုတ်ဘဲ ဖိအားကျဆင်းမှု ကန့်သတ်ချက်(pressure drop limitation)ကြောင့်သာ နည်းအောင်၊ များအောင် ပြုလုပ်ကြသည်။

၅.၅-၅ Fouling ဖြစ်ပေါ်ခြင်း

Heat transfer မျက်နှာပြင်(surface)ပေါ်တွင် ကြေးညှို့များတက်လာခြင်း(scale accumulation)ကြောင့် စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကျဆင်းသွားလေ့ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် heat transfer မျက်နှာပြင်(surface) ဧရိယာ အကျယ်ကို လိုအပ်သည်ထက် အနည်းငယ် ပိုများအောင် ပြုလုပ်ထားလေ့ရှိသည်။ အရွယ်အစား ရွေးချယ်စဉ်က အပို ဆောင်းထားခြင်း (allowance) ဖြစ်သည်။ Fouling factor ဟုခေါ်သည်။

Fouling allowance ကို ရာခိုင်နှုန်းဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ သေချာစွာ အရွယ်အစားရွေးချယ်ထားသည့် shell and tube exchanger များသည် အပိုင်အခဲငယ်ကလေး(suspended solid) များကို plate unit များထက် ကောင်းစွာ လက်ခံနိုင်သည်။ Plate unit များတွင် ပါရှိသည့် စီးကြောင်း(flow channel)များသည် ကျဉ်းမြောင်းသည်။ Plate exchanger များတွင် fluid velocity များပြီး turbulence ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် fouling ဖြစ်ခြင်းကို ခံနိုင်ရည်မရှိပေ။ Shell and tube exchanger tube ကို ရှည်အောင်ပြုလုပ်ထားပြီး မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area)များအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် fluid velocity အပေါ်တွင် အကျိုးသက်ရောက်မှု မရှိပေ။ ထို့ကြောင့် thermal performance အနည်းငယ်သာ ပြောင်းလဲသည်။

Plate unit များတွင် velocity သည် စီးကြောင်း(flow channel)များ၏ အရေအတွက် အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အပူစီးကူးနိုင်သည့် မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(heat transfer surface area) ပိုများစေရန်အတွက် plate ပြားများ ထပ်ထည့်ရသောကြောင့် channel များလာပြီး velocity လျော့နည်းသွားသည်။ Velocity လျော့နည်းသွားသောကြောင့် performance ကျဆင်းသွားသည်။ ထို့ကြောင့် plate ပြားများ ထပ်ထည့်ရန် လိုအပ်သည်။

၅.၅.၆ ကုန်ကျစရိတ်(Cost)

Approach temperature အနည်းငယ်သာလိုအပ်သည့် လုပ်ငန်းများတွင် plate heat exchanger များကို အသုံးပြုလျှင် အစဦးကုန်ကျစရိတ်(initial cost) အနည်းဆုံးဖြစ်သည်။ Approach temperature များများ လိုအပ်သည့် လုပ်ငန်းများတွင် shell and tube unit များကို သုံးလျှင် ကုန်ကျစရိတ် သက်သာသည်။ Stainless steel သတ္တုကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်လျှင် plate unit သည် ပို၍ စီးပွားရေးအရ တွက်ခြေကိုက်သည်။

၅.၅.၇ Serviceability

Shell-and-tube heat exchanger များအတွက် service လုပ်နိုင်မှု ကွဲပြားကြသည်။ Tube များ အရွယ်အစားနှင့် configuration အပေါ်မူတည်၍ သန့်ရှင်းရေးလုပ်နိုင်မှု မတူညီကြပေ။ Plate heat exchanger များတွင် plate ပြားများကို တစ်ချပ်ချင်း ဖြတ်၍ သန့်ရှင်းရေး ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Gasket လဲခြင်း၊ plate ပြားများ လဲလှယ်ခြင်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Capacity ပိုများအောင် plate ပြားများ ထပ်ဖြည့် နိုင်သည်။

၅.၅.၈ တပ်ဆင်ရန် နေရာ လိုအပ်ချက် (Space Requirements)

ရှည်လျားပြီး ၊ အချင်းသေးငယ်(small-diameter) tube များဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် shell and tube heat exchanger များသည် ကုန်ကျစရိတ်သက်သာ(cost effective)ပြီး ပို၍ efficient ဖြစ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ ရှည်လျားသည့် ဒီဇိုင်းကြောင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ရန် နေရာကျယ်ကျယ် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် လက်တွေ့တွင် တိုပြီး၊ အချင်းကြီးမား(large diameters)သည့် heat exchanger များကိုသာ ရွေးချယ်ကြသည်။ Plate heat exchanger များ၏ အရွယ်အစား ပိုကျစ်လျစ်သည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။

၅.၅.၉ Steam

HVAC application များတွင် ရေခွေးငွေ့(steam)ကို shell and tube unit များနှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုကြသည်။ စက်မှုလုပ်ငန်းများ(industrial)နှင့် စားသောက်ကုန်ထုတ်လုပ်သည့်လုပ်ငန်း(food process)များတွင် ရေခွေးငွေ့(steam)ကို plate heat exchanger များနှင့် တွဲ၍ အသုံးပြု ကြသည်။

၅.၆ တပ်ဆင်ခြင်း(Installation)

၅.၆.၁ Control လုပ်ခြင်း

Temperature sensor နှင့် valve များကို အသုံးပြု၍ heat exchanger များကို control လုပ်နိုင်သည်။ Temperature sensor ကို အအေးခံစေမည့် flow stream သို့မဟုတ် ပူစေမည့် flow stream များတွင် ထားလေ့ ရှိသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် secondary flow stream ဟုလည်းပြော ဆိုလေ့ရှိသည်။ Valve သည် secondary flow stream ၏ set point temperature သို့ရောက်အောင် primary flow ပမာဏကို ထိန်း(regulate)ပေးသည်။

၅.၆.၂ Piping

Heat exchanger များအတွင်း၌ လေခိုခြင်း မဖြစ်အောင် လေချုပ်ပိုက်များ တပ်ဆင်ထားရမည်။ ပိုက်အတွင်း ဝင်ရောက်နေသည့် လေများကို ဖောက်ထုတ်ရန်အတွက် လေချုပ်ပေါက်(air vent)များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုသည်။ လိုအပ်လျှင် ရေများ အလွယ်တကူ ဖောက်ထုတ်နိုင်အောင် ပိုက်များကို တပ်ဆင်ထားရမည်။

၅.၆.၃ Pressure Relief

Thermal expansion ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ထိခိုက်ပျက်စီးမှုများ နှင့် ဖိအားအလွန်မြင့်တက်ခြင်းကြောင့်

ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ထိခိုက်ပျက်စီးမှုများကို ကာကွယ်ရန်အတွက် heat exchanger ၏ အဝင်နှင့်အထွက် နှစ်ဘက် စလုံးတွင် safety pressure relief valve များ နှင့် shutoff valve များကို တပ်ဆင်ထားရမည်။

၅.၆.၄ Flow Path

Hot fluid နှင့် cooled fluid နှစ်ဘက်စလုံး၏ အဝင်နှင့်အထွက်ပိုက်များကို မှန်ကန်စွာ တပ်ဆင်ထားရမည်။ မှန်ကန်စွာ မတပ်ဆင်ပါက heat exchanger ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ကျဆင်းနိုင်သည်။

၅.၆.၅ Condensate Removal

ရေခွေးငွေ့များ(steam)ကို condense ဖြစ်စေသည့် heat exchanger များကို အထူးသတိပြု၍ တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။ ရေခွေးငွေ့များ(steam)မှ အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည့် condensate များကို စနစ်တကျ စွန့်ပစ်ရန် အလွန်အရေးကြီးသည်။ Condensate များ ဖောက်ထုတ်ရန်(drain) လုံလောက်အောင် မပြုလုပ်ထားလျှင် စွမ်းရည်(capacity)ကျဆင်းမှုများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ပျက်စီးခြင်း၊ ကောင်းစွာအလုပ်မလုပ်ခြင်းတို့ ကြုံတွေ့နိုင်သည်။ အထူးသဖြင့် modulating steam control valve များ တပ်ဆင်ထားသည့် system များတွင် vacuum breaker များနှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုခြင်းဖြင့် condensate ဖောက်ထုတ်ခြင်း(drain)ကို အထောက်အကူပြုနိုင်သည်။ သင့်လျော်သည့် steam trap အရွယ်အစားကို ရွေးချယ်ပြီး မှန်ကန်စွာ တပ်ဆင်ထားရန် အလွန်အရေးကြီးသည်။ Steam trap နှင့် condensate removal အကြောင်းကို ASHRAE စာအုပ်မှ chapter 10 တွင် ဆက်လက် လေ့လာနိုင်သည်။

၅.၆.၆ Insulation

အခန်းအပူချိန်နှင့် fluid အပူချိန်တို့ ကွာခြားမှုများသည့်အခါ heat exchanger များ ကို insulate လုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ 2005 ASHRAE handbook မှ Fundamentals ရှိ chapter 23 တွင် insulation အကြောင်းကို အသေးစိတ် လေ့လာ ဖတ်ရှုနိုင်ပါသည်။

၅.၇ မဝယ်ယူမီ ကြိုတင် စဉ်းစားရမည့် အချက်(၇)ချက်

Shell and tube heat exchanger မဝယ်ယူမီ ကြိုတင်၍ အောက်ပါအချက် (၇)ချက်ကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားသင့်သည်။

၅.၇.၁ Heat Exchanger Tube Diameter

Heat exchanger ထုတ်လုပ်သူများကသာ tube diameter ကို သတ်မှတ် ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။ ပိုက် diameter သေးငယ်လျှင် velocity များသောကြောင့် fouling ဖြစ်ပေါ်မှု နည်းသည်။ သို့သော် ဖိအား ကျဆင်းမှု (pressure drop) များသည်။ Tube diameter သေးငယ်သောကြောင့် အရွယ်အစား သေးငယ်ကာ တပ်ဆင်ရန် အတွက် နေရာကျယ်ကျယ် မလိုအပ်ပေ။

၅.၇.၂ Thickness of the Tube

Heat exchanger ၏ ပိုက် အထူသည် သံချေးတက်ခြင်း(corrosion) ၊ ခုခံအား(flow resistance) ၊ ဝင်ရိုး အတိုင်းဖြစ်ပေါ်သည့်အား(axial force) ၊ ဖိအား(pressure)နှင့် ရရှိနိုင်သော အပိုပစ္စည်းများနှင့် သက်ဆိုင်သည်။

၅.၇.၃ Heat Exchanger Shell Diameter and Tube Length

Shell အချင်း(diameter)နှင့် tube အရှည်တို့ အပေါ်တွင် မူတည်၍ heat exchanger ၏ ဈေးနှုန်း ကွဲပြားသည်။ Tube အရှည်ကို အကန့်အသတ်ဖြင့်သာ ပြုလုပ်နိုင်သည်။

၅.၇.၄ Tube Corrugation

Tube များ ၏ corrugation သည် shell and tube heat exchanger ၏ performance အပေါ်တွင် အကျိုး သက်ရောက်သည်။ Corrugated cardboard tube များသည် fluid များကို turbulence ပုံစံမျိုးဖြင့် စီးဆင်း စေသောကြောင့် ပိုမိုကောင်းမွန်သည့် ရလဒ်များ ပေးနိုင်သည်။

၅.၇.၅ Tube Layout

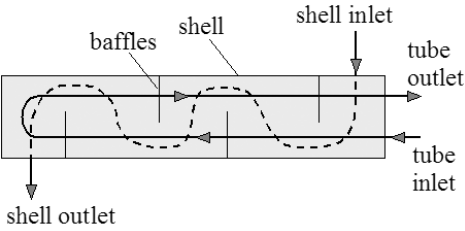
Tube layout ဆိုသည်မှာ heat exchanger အတွင်း၌ tube များကို မည်ကဲ့သို့ ထည့်ထားသည်ကို ဆိုလိုသည်။ အဓိကအားဖြင့် layout ပုံစံလေးမျိုးကို တွေ့မြင်နိုင်သည်။ Triangular ၊ twisted triangular ၊ square နှင့် rotated square တို့ဖြစ်သည်။ Triangular tube ၏ အပူစီးကူးမှု(heat transfer) ပိုကောင်းသည်။ Square tubing များသည် ကြာရှည်စွာ သန့်ရှင်းနေလေ့ရှိသည်။

၅.၇.၆ Tube Pitch

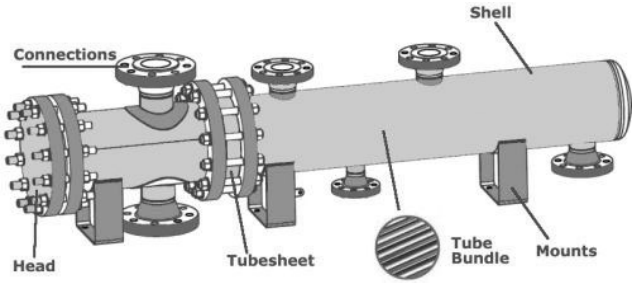
“Tube pitch” ဆိုသည်မှာ ဆက်ထားသည့် ပိုက်ငယ်(interconnected tube) နှစ်ခု၏ အကွာအဝေး(center to center)ဖြစ်သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် pitch အကွာအဝေးသည် ပြင်ပအချင်း(outside diameter)၏ (၁.၂၅) အဆထက် ပိုမများသင့်ပေ။

၅.၇.၇ Heat Exchanger Baffles

“Baffle” များကို shell and tube heat exchanger များတွင် အသုံးပြုသည်။ Baffle များသည် tube များ ချောင်ခြင်း သို့မဟုတ် လျော့ရဲရဲဖြစ်ခြင်း(sagging) နှင့် တုန်ခါခြင်း(vibrating) တို့မှ ကာကွယ်ပေးသည်။ ယေဘုယျ အားဖြင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) နှင့် အပူစီးကူးမှု(heat transfer)တို့သည် baffle တစ်ခုနှင့် တစ်ခုအကြား အကွာအဝေး(spacing) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။



ပုံ ၅-၁၇ Heat exchanger baffles



ပုံ ၅-၁၈ Heat exchanger baffles

-End-

Chapter-6 Overview of Chillers

၆.၁ Chiller အမျိုးအစားများ

HVAC နှင့် ACMV လုပ်ငန်းခွင်များတွင် chilled water ထုတ်ပေးနိုင်သည့် refrigeration machine များကို "chiller"ဟု ခေါ်သည်။ အဆောက်အဦများတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် chiller များသည် စွမ်းအင်ကို အများဆုံး အသုံးပြုသည့် equipment များ ဖြစ်ကြသောကြောင့် အားသာချက်များ(advantages)၊ အားနည်းချက်များ(disadvantages) နှင့် ကန့်သတ်ချက်များ(limitations)ကို မှန်ကန်စွာ နားလည်သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်သည်။ ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်း ၊ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း(sizing) ၊ တပ်ဆင်ခြင်း(installation) ၊ မောင်းနှင်ခြင်း(operation) နှင့် ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းခြင်း(maintenance) တို့ကို မှန်ကန်စွာ ပြုလုပ်ရန် အလွန်အရေးကြီးသည်။ အဓိက အသုံးများသည့် chiller သုံးမျိုးကို table 6-1 တွင် နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။

Table 6-1 chiller အမျိုးအစားများကို နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားပုံ

	Reciprocating	Screw	Centrifugal
Volume	Constant	Variable	Variable
Head	Variable	Variable	Constant
Capacity control	Cylinder Unloading	Slide valve	Pre-rotation vanes
Capacity range	Small	Medium	Large
Moving parts	Many	Two	One
Efficiency	Low	Medium / High	High
Technology	Old	New	New

Compressor များသည် vapor compression chiller များ၏ အရေးအကြီးဆုံး အစိတ်အပိုင်း ဖြစ်သည်။

Compressor များကို (က) Positive displacement အမျိုးအစား နှင့်

(ခ) Dynamic အမျိုးအစား ဟူ၍ နှစ်မျိုး ခွဲခြားထားသည်။

Positive displacement compressor များသည် vapor refrigerant များကို အခန်းငယ်(chamber) တစ်ခုအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်စေပြီးနောက် ထိုအခန်း၏ ထုထည်ကို သေးငယ်အောင်ပြုလုပ်ကာ ဖိအားမြင့်တက်စေခြင်း ဖြစ်သည်။ Reciprocating ၊ rotary နှင့် scroll compressor တို့သည် positive displacement compressor များ ဖြစ်ကြသည်။ ထို compressor များကို မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed)ဖြင့် မောင်းလျှင် ထုထည်စီးနှုန်း ပုံသေ

(constant volume flow rate) ရရှိနိုင်သည်။ Positive displacement compressor များသည် constant displacement machine များ ဖြစ်ကြသည်။ Centrifugal compressor များသည် dynamic compressor များ ဖြစ်ကြသည်။ Constant displacement machine များ မဟုတ်ကြပါ။

Table 6-2 compressor အမျိုးမျိုးနှင့် သက်ဆိုင်သည့်အချက်များ

Compressor Type	Cooling Range (kW)	Refrigerant Type	Capacity Control*
Hermetic and Semi-Hermetic Drive			
— Reciprocating	20–1000	HCFC/HFC/HC	Cylinder unloading
— Single screw	200–2000	HCFC/HFC/HC	Sliding valve
— Twin screw	200–3000	HCFC/HFC/HC	Sliding valve
— Scroll	5–250	HCFC/HFC/HC	—
— Centrifugal	300–15000	HFC	Inlet guide vanes
Open Drive			
— Reciprocating	100–1000	HCFC/HFC/Ammonia	Cylinder unloading
— Screw	200–3000	HCFC/HFC/Ammonia	Sliding valve

Expansion valves may be either thermostatic or electronic; electronic valves have greater potential for close control and data collection for system management.

* For most types of compressor, variable speed capacity control is increasingly an option.

၆.၁.၁ Vapor Compression Chiller Versus Absorption Chiller

Chiller များတွင် လျှပ်စစ်ဖြင့်မောင်းသည့်(electric driven) chiller နှင့် အပူစွမ်းအင်ဖြင့်မောင်းသည့်(heat driven) chiller ဟူ၍ (၂)မျိုး ရှိသည်။ လျှပ်စစ်မော်တာဖြင့် မောင်းသည့်(electric driven)chiller များ သို့မဟုတ် အင်ဂျင်ဖြင့် မောင်းသည့် chiller များသည် vapor compression chiller များဖြစ်ပြီး အပူစွမ်းအင်ဖြင့်မောင်းသည့်(heat driven) chiller များသည် absorption chiller များ ဖြစ်ကြသည်။ Vapor compression chiller သည် လျှပ်စစ် မော်တာ(electric motor) သို့မဟုတ် အင်ဂျင်မှ ရရှိသည့် စက်မှု စွမ်းအင်(mechanical energy)ကို အသုံးပြု၍ vapor compression cycle ကို မောင်းခြင်းဖြစ်သည်။ Absorption chiller သည် အပူ(heat)ကို အသုံးပြု၍ မောင်းသည့် process ဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦများတွင် vapor compression chiller များကို အလွန် အသုံးများသည်။

Vapor compression chiller များတွင် အသုံးပြုထားသည့် compressor အမျိုးအစားကို အခြေခံ၍ အဆင့်အတန်း ခွဲခြားထားသည်။ Centrifugal chiller ၊ reciprocating chiller နှင့် screw chiller တို့သည် အဓိက ကျသည့် chiller အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။

၆.၁.၂ Electric Chillers Vs Non-electric Chillers

Electric Chillers

- Reciprocating chillers
- Rotary screw chillers
- Centrifugal chillers
- Air-cooled chiller

Non Electric Chillers

- Absorption chillers
 - Single effect absorption chiller
 - Low pressure steam
 - Hot water
 - Use in CHP applications
 - Double effect absorption chillers
 - Medium pressure steam
 - Direct-fired
 - Heat recovery

Centrifugal နှင့် screw chiller တို့ကို အောက်ပါ စွမ်းအင်များဖြင့် မောင်းနှင်သည်။

- (က) လျှပ်စစ်မော်တာ(electric motor)
- (ခ) သဘာဝဓာတ်ငွေ့သုံးအင်ဂျင် သို့မဟုတ် လောင်စာဆီသုံးအင်ဂျင် (Natural gas or fuel engine)
- (ဂ) ရေနွေးငွေ့ တာဘိုင် (steam turbine)
- (ဃ) မော်တာနှင့် အင်ဂျင်နှစ်မျိုးလုံးဖြင့်မောင်းနှင်သည်။(dual drive – engine and electric motor)

၆.၁.၃ Engine Drive Chillers

Rotary compressor များကို သဘာဝဓာတ်ငွေ့(natural gas)၊ ပရိုပိန်း(propane) လောင်စာ စသည်တို့ဖြင့် မောင်းသည့် အင်ဂျင်များနှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။ Reciprocating compressor များ၏ full load COP သည် 1.0 ခန့် ဖြစ်သည်။ Screw compressor များ ၏ full-load COP သည် 1.3 မှ 1.9 အတွင်းဖြစ်သည်။ Centrifugal compressor များ၏ COP သည် 1.9 ခန့် ဖြစ်သည်။

Engine-drive chiller များကို လွန်ခဲ့သည့် နှစ်ပေါင်းများစွာက စတင် အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။ အားနည်းချက်များမှာ

- (၁) ကုန်ကျစရိတ်များခြင်း(higher first cost)
- (၂) လေထုညစ်ညမ်းခြင်း(poor air quality)
- (၃) ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု များစွာ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်ခြင်း(much higher maintenance requirements)
- (၄) သက်တမ်းတိုခြင်း(short engine life)
- (၅) အသံဆူညံခြင်း(noise)
- (၆) အရွယ်အစားကြီးမားခြင်း(larger physical size) နှင့်
- (၇) အင်ဂျင်(engine) နှင့် refrigeration subsystem တို့ အကြားတွင် integration လုပ်ရန် ခက်ခဲခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

Gas engine drive chiller များသည် electric-drive chiller များထက် ပိုဈေးကြီးသည်။ မောင်းရန် ကုန်ကျ စရိတ် (operating cost)ပိုများသည်။

၆.၁.၄ Steam Turbine Driven Chillers

ရေနွေးငွေ့တာဘိုင်(steam turbine)ဖြင့် မောင်းသည့် chiller များလည်း ရှိသည်။

၆.၁.၅ Air Cooled Versus Water Cooled

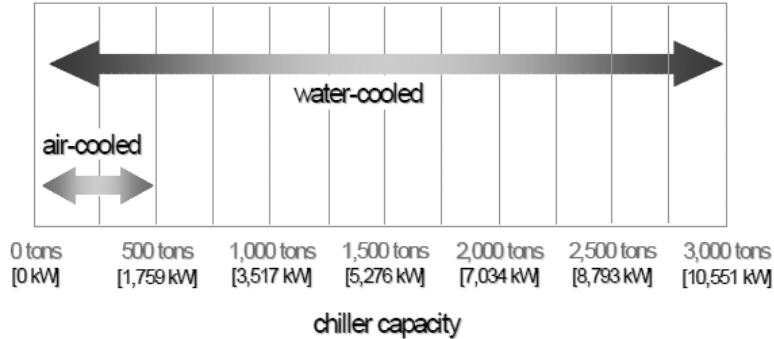
Air Cooled Efficiency and Water Cooled Efficiency

Water cooled chiller များသည် air cooled chiller များထက် ပို၍ energy efficient ဖြစ်သည်။ Air cooled chiller ၏ refrigerant condensing temperature သည် လေထုအပူချိန်(ambient Dry Bulb temperature) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Water cooled chiller ၏ condensing temperature သည် condenser water temperature အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Condenser water temperature သည် ambient Wet Bulb temperature အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

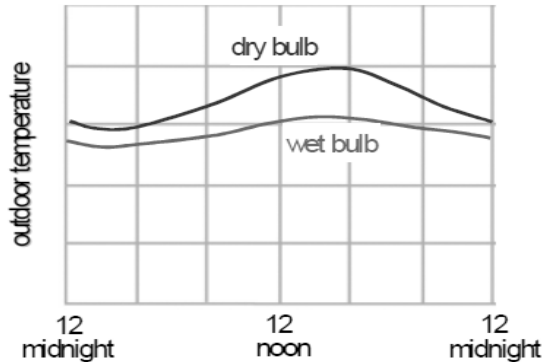
ထို့ကြောင့် water cooled chiller ၏ condensing temperature သည် ambient wet bulb temperature အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Wet bulb temperature သည် dry bulb temperature ထက် ပို၍ နိမ့်သောကြောင့် water cooled chiller ၏ refrigerant condensing temperature (and pressure) သည် air cooled chiller ထက် ပိုနိမ့်သောကြောင့် water cooled chiller များ၏ efficiency သည် air cooled chiller များ၏ efficiency ထက် ပိုကောင်းခြင်း ဖြစ်သည်။

ဥပမာ - ပြင်ပ ဒီဇိုင်း (outdoor design) အပူချိန်သည် 95°F (35°C) dry-bulb temperature နှင့် 78°F(25.6°C) wet-bulb temperature ဖြစ်လျှင် water cooled condenser အတွက် cooling tower မှ condenser water ကို အပူချိန် 85°F(29.4°C)ဖြင့် ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် refrigerant condensing

temperature သည် 100°F(37.8°C) ခန့် ဖြစ်သည်။ ထိုအခိုက်တွင် တူညီသည့် ပြင်ပအခြေအနေ(outdoor conditions)တွင် air cooled condenser ၏ refrigerant condensing temperature သည် 125°F(51.7°C)ခန့် ဖြစ်သည်။ Water cooled chiller သည် အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာသို့ အပူစွန့်ထုတ်ခြင်းကြောင့် condensing pressure ပိုနိမ့်သည်။ Condensing pressure နိမ့်သောကြောင့် compressor ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု နည်းသည်။ Part load condition ၌ efficiency အားသာချက် အနည်းငယ်သာ ရနိုင်သည်။



ပုံ 6-၁ Water cooled chiller များ နှင့် air cooled chiller များ၏ ရရှိနိုင်သည့်စွမ်းရည်(capacity)ကို နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားပုံ



ပုံ 6-၂ တစ်နေ့တာ (၂၄)နာရီအတွင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် dry bulb နှင့် wet bulb တို့ကို နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားပုံ

Water cooled chiller ၏ system efficiency ကို တွက်ရာတွင် chilled water pump ၊ cooling tower နှင့် condenser pump တို့၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုကိုပါ ထည့်တွက်ရသည်။ Air cooled chiller ၏ system efficiency တွက်ရာတွင် chilled water pump ၏ စွမ်းအင် သုံးစွဲမှုကိုသာ ထည့်တွက်ရန် လိုသည်။

Table 6-3 air cooled chiller နှင့် water cooled chiller တို့၏ အားသာချက်များ

Air cooled chiller များ၏ အားသာချက်များ	Water cooled chiller များ၏ အားသာချက်များ
-Lower maintenance	-Greater energy efficiency
-Packaged system	-Longer equipment life
-Better low-ambient	
-Simple operation	

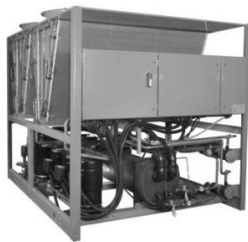
Air cooled chiller များကို “packaged system” အဖြစ် ဝယ်ယူရရှိနိုင်သည်။ ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် အချိန် တိုတောင်း သည်။ တပ်ဆင်ရန် ရိုးရှင်းလွယ်ကူ(simplified installation)သည်။ စိတ်ချရမှု(reliability)မြင့်မားသည်။ စက်ရုံမှ ထုတ်လုပ် တပ်ဆင်လိုက်သောကြောင့် ထုတ်လုပ်သူက အာမခံသည်။ Water cooled chiller များတွင် condenser water ပိုက်၊ ပန့်(pump)၊ cooling tower နှင့် control လုပ်ငန်းများကို အပိုအဖြစ် လုပ်ဆောင်ရသည်။ အဆောက်အဦအတွင်း တပ်ဆင်ပြီးမှ နောက်တစ်ဆင့် တပ်ဆင်ခွင့်ရသည်။ စက်ရုံက equipment တစ်ခုချင်းစီကိုသာ အာမခံချက်ပေးသည်။

Water cooled chiller များ၏ သက်တမ်းသည် air cooled chiller များထက် ပိုရှည်သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် air cooled chiller များ၏ သက်တမ်းသည် (၁၅)နှစ်မှ (၂၀) နှစ်အတွင်းဖြစ်ပြီး water cooled chiller များ၏ သက်တမ်းသည် နှစ်(၂၀) မှ နှစ်(၃၀)အတွင်း ဖြစ်သည်။ အဓိက အကြောင်းမှာ air cooled chiller များကို ပြင်ပ(outdoor)တွင် တပ်ဆင်ပြီး water cooled chiller များကို အဆောက်အအုံ အတွင်း၌ တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Water cooled chiller များတွင် ရေကို condensing fluid အဖြစ် အသုံးပြုသောကြောင့် operating pressure နိမ့်သည်။

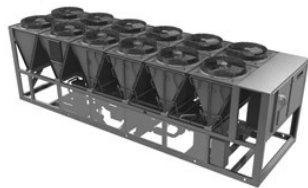
Air cooled chiller များ၏ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု စရိတ်သည် water cooled chiller များထက် ပိုနည်းသည်။ Water cooled chiller များသည် energy efficiency ပိုကောင်းပြီး သက်တမ်း ကြာရှည်ခံသည်။

Table 6-4 air cooled chiller နှင့် water cooled chiller တို့၏ အဓိက အချက်များကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားပုံ

Air Cooled Chiller	Water Cooled Chiller
<ul style="list-style-type: none"> • Heat removed by refrigerant cycle is rejected to the ambient air • Lower first cost • Limited by efficiency & capacity of installation • Less or no sheltered building space required for chiller • No threat of Legionella outbreak • Don't need make up water • Higher kW/ton than water cooled. Typically 1.0 to 1.5 kW/ton 	<ul style="list-style-type: none"> • Heat removed by refrigerant cycle is rejected to circulating condenser water • Higher first cost • Favorable when efficiency is important & individual chiller operating capacity > 200 RT • More complicated to service and maintain • More building space • Longer life • Water treatment of condenser water circuit • More energy efficient as condensing pressure is lower than air cooled chiller. Generally 0.5 to 0.63 kW/ton.



ပုံ ၆-၃ Air cooled VSD scroll chiller



ပုံ ၆-၄ Air cooled chiller



ပုံ ၆-၅ Air cooled rotary screw chiller(Trane)



ပုံ ၆-၆ Air cooled reciprocating chiller(York)

- R410A refrigerant
- Standard high ambient design (52°C)
- Low ambient (-18°C) option
- Ultra Quiet Fan option
- Cooling Capacity: 55-148 TR
- All models COP>3.0

၆.၁.၆ Gear Drive Versus Direct Drive

Direct drive chiller (turbochiller မှ လွဲ၍)များသည် ဝင်ရိုး အပတ်ရည်(shaft speed) 3,600 rpm ဖြင့် မောင်းကြသည်။ ဝိယာကို အသုံးပြု၍ impeller ၏ လည်ပတ်နှုန်းသည် 35,000 rpm အထိ မြှင့်တင်နိုင်သည်။ လည်ပတ်နှုန်းများများ ရနိုင်သောကြောင့် သေးငယ်သည့် impeller ကို အသုံးပြုနိုင်ပြီး စက်၏ ဈေးနှုန်း ချိုသာသည်။ ဝိယာဖြင့် မောင်းသောကြောင့် efficiency loss 1.5% မှ 2% အထိ ဖြစ်ပေါ်နိုင်ပြီး ဘယ်ရင်(bearing) အရေအတွက် များများ လိုအပ်သည်။ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများစွာ ပြုလုပ်ရန် ပိုလိုအပ်သည်။

Impeller အရွယ်အစား(diameter)နှင့် gear ratio ကို အကိုက်ညီဆုံးဖြစ်အောင် ရွေးချယ်နိုင်လျှင် အကောင်းဆုံး စွမ်းဆောင်ရည်(highest performance) ရရှိနိုင်သည်။ Direct drive machine များတွင် impeller အရွယ်အစား(diameter)ကို အကန့်အသတ်ဖြင့်သာ ကြီးအောင်ပြုလုပ်ခွင့် ရသောကြောင့် အကောင်းဆုံး စွမ်းဆောင်ရည်(highest performance) ရရှိရန် အခက်အခဲ ဖြစ်နိုင်သည်။ Direct drive machine များတွင် အဆင့် များစွာ(multiple stages)ပါဝင်သည့် ဒီဇိုင်းမျိုး ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် energy performance ပိုသည်။

York ကုမ္ပဏီမှ YK မော်ဒယ် gear drive centrifugal chiller နှင့် Carrier ကုမ္ပဏီမှ 19XR မော်ဒယ် gear drive centrifugal chiller များကို ထုတ်လုပ်ကြသည်။ Trane ကုမ္ပဏီမှ direct drive chiller များကို ထုတ်လုပ်သည်။

၆.၁.၇ Open Drive Versus Hermetic

Hermetic centrifugal chiller များတွင် မော်တာကို chiller casing အတွင်း၌ ထည့်သွင်း တပ်ဆင်ထားသည်။ မော်တာကို refrigerant ဖြင့် အေးစေသောကြောင့် သန့်ရှင်းနေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် မော်တာမှ စွန့်ထုတ်လိုက်သည့် အပူများကို refrigerant သို့ ရောက်သွားစေသည်။ Hermetic machine များတွင် ယိုစိမ့်မှု ဖြစ်နိုင်ခြေရှိသော်လည်း open machine များထက် ပိုနည်းသည်။ သို့သော် hermetic machine များတွင် မော်တာ ပျက်စီးခဲ့လျှင် ခက်ခဲစွာ လဲလှယ်ရပြီး အချိန် အလွန်ကြာသည်။

Open drive refrigeration machine များတွင် မော်တာသည် compressor casing ၏ အပြင်ဘက်တွင် တည်ရှိသောကြောင့် မော်တာကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သည့် ဆုံးရှုံးမှုများ(motor losses)သည် efficiency rating တွင် မပါဝင်ပေ။ ကြီးမားသည့် refrigeration machine တွင် မော်တာကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဆုံးရှုံးမှုများ(motor losses) သည် 4% မှ 5% အထိ ဖြစ်နိုင်သည်။ Open drive motor မှ စွန့်ထုတ်လိုက်သည့် အပူများသည် စက်ခန်းအတွင်းသို့ ရောက်ရှိသွားသောကြောင့် စက်ခန်း(plant room) အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။ Hermetic နှင့် semi hermetic refrigeration machine များတွင် မော်တာမှ စွန့်ထုတ်လိုက်သည့် အပူများကို refrigerant က သယ်ဆောင် သွားသည်။

အကြောင်းတစ်စုံတစ်ရာကြောင့် open drive refrigeration machine များ၏ မော်တာ ပျက်စီးသည့်အခါ အလွယ်တကူ လဲလှယ်နိုင်သည်။ Refrigeration machine များတွင် မော်တာ ပျက်စီးမှု အလွန်ဖြစ်ခဲသော်လည်း hermetic machine များ၏ မော်တာ ပျက်စီးသည့်အခါ အလွန်ခက်ခဲစွာ ပြုပြင်ရသည်။

Open drive machine များတွင် seal ပါရှိရန် လိုအပ်သောကြောင့် ယိုစိမ့်ခြင်း(leakage) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ High pressure machine များတွင် refrigerant များသည် ပြင်ပသို့ ယိုစိမ့်ခြင်း(leakage) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Low pressure machine များတွင် ယိုစိမ့်ခြင်း(leakage) ဖြစ်ပေါ်လျှင် လေ၊ ရေခိုးရေငွေနှင့် အမှုန်များ စက်အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာလိမ့်မည်။ High pressure open machine များကို အသုံးပြုလျှင် စက်အပိုပစ္စည်းကုန်ကျစရိတ်၊ လက်ခံသောမက refrigerant အတွက် ကုန်ကျစရိတ်ကိုပါ ထည့်သွင်းတွက်ချက်ရန် လိုအပ်သည်။

၆.၁.၈ Fixed Orifice Versus Float Valve

Fixed orifice ကို thermal expansion device အဖြစ် အသုံးပြုသည့်အခါ refrigerant စီးဆင်းမှု ပုံမှန် ဖြစ်စေရန်အတွက် condenser နှင့် evaporator အကြားတွင် အနိမ့်ဆုံး ဖိအားကွာခြားချက်(minimum differential

pressure)ထက် မနည်းအောင် ထိန်းထားရန် လိုအပ်သည်။ ထိုသို့ ပြုလုပ်ထားခြင်းကြောင့် part load performance ညံ့ဖျင်းနိုင်သည်။ Fixed orifice နှင့် float valve များအကြောင်းကို အခန်း(၈)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

၆.၁.၉ Falling Film Evaporator Versus Flooded Evaporator

Falling film evaporator ၊ DX evaporator နှင့် flooded evaporator များအကြောင်းကို အခန်း(၇) [chapter-7]တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

Efficiency	HIGH	Falling Film	Flooded
	LOW	DX	
		LOW	HIGH
		Refrigerant Qty	

ပုံ ၆-၇ Falling film evaporator ၊ DX evaporator နှင့် flooded evaporator

Hybrid falling film evaporator

Hybrid falling film evaporator သည် falling film evaporator နှင့် flooded evaporator တို့၏ အားသာချက်များကို ပေါင်းစပ်ထားသည့် အမျိုးအစားဖြစ်သည်။

Tube များအတွင်း၌ ရေစီးဆင်းနေသည်။ Refrigerant သည် tube များ ၏ အပြင်ဘက် shell အတွင်း၌ ရှိနေသည်။ Tube bundle (၂)မျိုး ပါရှိသည်။ အပေါ်ပိုင်း၌ရှိနေသည့် tube bundle ကို refrigerant film ကဖုံးအုပ်ထားသည်။ အောက်ပိုင်း၌ရှိနေသည့် tube bundle သည် refrigerant အရည်များအတွင်း၌ နစ်မြုပ်နေသည်။

၆.၂ Factors Affecting Performance of Refrigeration Systems

Refrigeration system များ၏ performance သည် အောက်ပါအချက်များ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

- (၁) Evaporating ဖြစ်သည့် အပူချိန်(temperature)
- (၂) အသုံးပြုသည့် refrigerant အမျိုးအစား
- (၃) ပါဝင်သည့် equipment နှင့် component အမျိုးအစားများ (compressor, evaporator etc)
- (၄) Control system နှင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ(maintenance)

၆.၂.၁ Evaporating and Condensing Temperatures

Refrigeration system တစ်ခု၏ Coefficient Of Performance (COP) နှင့် မောင်းရန် ကုန်ကျစရိတ်သည် evaporating နှင့် condensing temperature တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Evaporating temperature ကို 1 K မြှင့်တင်လိုက်ခြင်း သို့မဟုတ် condensing temperature ကို 1 K လျော့ချနိုင်ခြင်းကြောင့် စွမ်းဆောင်ရည် (performance) 2% မှ 4% အထိ ပိုကောင်းလာနိုင်သည်။

အလိုရှိသည့် cooling temperature အပေါ်မူတည်၍ evaporating temperature ကို သတ်မှတ်သည်။ Heat rejection (cooling) medium ၏ အပူချိန်ကို မူတည်၍ condensing temperature ကို သတ်မှတ်သည်။

Water chilling application တွင် chilled water temperature 6°C အလိုရှိပြီး အမြင့်ဆုံး ပြင်ပ ဒီဂရီ (maximum design)အပူချိန် 30°C dry bulb ဖြစ်လျှင် evaporating temperature 1°C နှင့် condensing temperature 45°C သတ်မှတ်လျှင် COP 3.1 ရနိုင်သည်။ အကယ်၍ evaporating temperature 1°C မြှင့်တင်ပြီး condensing temperature ကို 1°C လျော့ချနိုင်လျှင် system performance သည် 4% မှ 8% အထိ ပိုကောင်းလာနိုင်သည်။

Refrigerant များအားလုံးတွင် အမြင့်ဆုံး(maximum) efficiency ရရှိနိုင်သည့် optimum operation range ကိုယ်စီ ရှိကြသည်။ တချို့ refrigerant များသည် အစားအသောက်များ ရေခဲရိုက်ခြင်း(frozen food processing) နှင့်

သိုလှောင်ခြင်း(storage) စသည့် အပူချိန်နိမ့်နိမ့် ရရန်လိုအပ်သည့် လုပ်ငန်းများ(low temperature application) အတွက် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ တချို့ refrigerant များသည် air conditioning လုပ်ငန်းများ(application)အတွက် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ Refrigerant များ တစ်မျိုးနှင့် တစ်မျိုး စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကွာခြားချက်သည် ၅% ခန့်သာဖြစ်သည်။ မိမိလုပ်ငန်းနှင့် ကိုက်ညီသည့် refrigerant ကို ရွေးချယ်ရန် အလွန်အရေးကြီးသည်။ Compressor ၊ evaporator ၊ condenser နှင့် expansion valve တို့၏ အမျိုးအစား အပေါ်မူတည်၍ refrigeration system စွမ်းဆောင်ရည် (performance) ကွဲပြားသည်။

၆.၂.၂ Effect of Condenser and Evaporator on System Efficiency

Evaporator နှင့် condenser တို့ ၏ ဒီဇိုင်းရွေးချယ်မှုသည် refrigeration system ၏ performance အပေါ်တွင် များစွာ အကျိုးသက်ရောက်စေနိုင်သည်။

Heat exchanger ၏ capacity ကို အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$\Phi = U \times A \times LMTD$$

Φ သည် heat transfer rate (kW) ဖြစ်သည်။

U သည် heat exchanger ၏ thermal transmittance (W/m² K) ဖြစ်သည်။

A သည် heat transfer surface area (m²) ဖြစ်သည်။

LMTD သည် log mean temperature difference (K) ဖြစ်သည်။

ဥပမာ - water chiller များတွင် evaporating temperature 1°C သည် chilled water 6°C သို့ ရောက်စေနိုင်သည်။ Evaporating temperature ကို -1°C သို့ ရောက်အောင် လျှော့ချလိုက်လျှင် evaporator ၏ အဝင်နှင့် အထွက်အကြားတွင် အပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature difference) ပိုများလာနိုင်သည်။ အပူချိန်ကွာဟချက် (temperature difference) ပိုများလာသောကြောင့် heat transfer surface area ကို လျှော့ချနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ဈေးနှုန်း ပိုသက်သာနိုင်သည်။ သို့သော် efficiency 6% ခန့် ညံ့ဖျင်းလိမ့်မည်။ ရေခဲသတ္တု ပြဿနာ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။

Efficiency ပိုကောင်းစေရန်အတွက် evaporating temperature ကို မြှင့်တင်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Evaporating temperature မြင့်သောကြောင့် အပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature difference) လျော့နည်းလာလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် အပူစီးကူးနိုင်သည့် မျက်နှာပြင် ဧရိယာ(heat transfer surface) ပိုများပေးရန် လိုအပ်သည်။ နေရာကျယ်ကျယ် လိုအပ်ပြီး၊ ဈေးနှုန်း ပိုများ လာလိမ့်မည်။

ထို့အတူ efficiency ပိုကောင်းစေရန်အတွက် condenser ၏ မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area) ပိုများအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် အပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature difference)ကို 15 K မှ 10 K သို့ ရောက်အောင် လျှော့ချနိုင်သည်။ Condensing temperature ကို 40°C ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်နိုင်လျှင် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု 10% မှ 20% အထိ သက်သာအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

ရွေးချယ်လိုက်သည့် evaporator နှင့် condenser အပေါ်တွင် မူတည်၍ system တစ်ခု၏ performance ပြောင်းလဲ နိုင်သည်။ သို့သော် water cooled packaged unit နှင့် air cooled package unit ကဲ့သို့သော 'packaged' system များအတွက် ရွေးချယ်စရာ evaporator နှင့် condenser မျိုးစုံ မရှိနိုင်ပေ။

၆.၂.၃ Operating Speeds

Reciprocating compressor များ၏ operating speed

(၁) Hermetic compressor များသည် ဝင်ရိုးအပတ်ရည်(shaft speed) 3,600 rpm ဖြင့် မောင်းကြသည်။

(၂) Semi hermetic compressor များသည် ဝင်ရိုးအပတ်ရည်(shaft speed) 3600 rpm ဖြင့် မောင်းကြသည်။

(၃) Open drive compressor များသည် ဝင်ရိုးအပတ်ရည် 500 rpm မှ 1500 rpm အတွင်း မောင်းကြသည်။

Screw compressor များ၏ operating speed

Screw compressor များ၏ ပုံမှန် operating speed သည် 3,600 rpm ဖြစ်သည်။

Centrifugal compressor များ၏ operating speed

R 134A ကို အသုံးပြုထားသည့် positive pressure machine များတွင် gearbox ကို အသုံးပြုထားသည်။ မြန်နှုန်းသည် 30,000 rpm ခန့် ဖြစ်သည်။

R 123 ကို အသုံးပြုထားသည့် negative pressure machine များတွင် မော်တာဝင်ရိုးနှင့် compressor ဝင်ရိုးကို တိုက်ရိုက် ချိတ်ဆက်ထားသည်။ မြန်နှုန်းသည် 3,600 rpm ခန့် ဖြစ်သည်။

၆.၂.၄ Chiller အမျိုးမျိုးတို့၏ Coefficient of Performance (COP)

Table 6-5 chiller များ နှင့် ရရှိနိုင်သည့် Coefficient of Performance (COP) နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားပုံ

Thermal chillers	
Absorption chillers	Coefficient of Performance (COP)
-Single stage	0.70
-Two stage direct fired	1.00
-Two stage steam fired	1.20
Steam turbine driven centrifugal chiller	1.20
Gas engine driven centrifugal chiller	2.10
Electric centrifugal chiller	
Electric motor driven centrifugal	6.10

၆.၂.၅ Surge ဖြစ်ခြင်း

- (၁) Reciprocating compressor များသည် surge ဖြစ်လေ့မရှိပေ။
- (၂) Screw compressor များသည် surge ဖြစ်လေ့မရှိပေ။
- (၃) Centrifugal compressor များသည် အလွယ်တကူ surge ဖြစ်လေ့မရှိပေ။ သို့သော် surge ဖြစ်နိုင်သည်။

Centrifugal compressor များ တည်ငြိမ်စွာ မောင်းနှင်ရန်အတွက် သတ်မှတ်ထားသည့် အနိမ့်ဆုံး volumetric rate ထက် မနည်းအောင် သတိပြုရန် လိုအပ်သည်။ Centrifugal machine များ၌ သတ်မှတ်ထားသည့် အနိမ့်ဆုံး volumetric rate ထက် ပိုနည်းပါ surge ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။ High discharge pressure ကြောင့်လည်း surge ဖြစ်နိုင်သည်။ Centrifugal compressor များ surge ဖြစ်ပေါ်ခြင်းနှင့် သက်ဆိုင်သည့် အကြောင်းများကို အခန်း(၁၅)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

၆.၂.၆ ယုံကြည်စိတ်ချရမှု(Reliability) နှင့် ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းမှု (Maintenance)

- (၁) Reciprocating compressor များတွင် လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်း အများဆုံး ပါရှိသောကြောင့် ပွန်းတီးလွယ်သည်။ တိုက်စားလွယ်သည်။ ပွန်းတီးခြင်းကြောင့် ပင်စတင်(piston) မှ ယိုစိမ့်ခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Capacity လျော့နည်း သွားနိုင်သည်။ COP ညံ့ဖျင်းသွားနိုင်သည်။ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ အထူးလိုအပ်သည်။ အားများ မညီမျှခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Reciprocating compressor တပ်ဆင်ထားရန်အတွက် အုပ်ဖိနပ်(foundation) ကောင်းကောင်း လိုသည်။
- (၂) Screw compressor များအတွက် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု အနည်းငယ်သာ လိုအပ်သည်။ Centrifugal compressor လောက် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုလုပ်ရန် မလိုအပ်ပေ။ နာရီပေါင်း(၅၀,၀၀၀)ခန့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု မပြုလုပ်ဘဲ မရပ်မနား အဆက်မပြတ် မောင်းနိုင်သည်။ Screw compressor တွင် first critical speed ၏ တစ်ဝက်ထက် နည်းသည့် speed ဖြင့် မောင်းသောကြောင့် အားသက်ရောက်မှု မညီမျှခြင်း (unbalance) မဖြစ်ပေါ်ပေ။

(၃) Centrifugal compressor များတွင် လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်း အနည်းဆုံးပါဝင်သည်။ Centrifugal machine များ မြန်နှုန်း အလွန်မြင့်သောကြောင့် အားသက်ရောက်မှု မညီမျှခြင်း(unbalance) နှင့် တုန်ခါမှု (vibration) များသည်။ Centrifugal machine များတွင် ပါရှိနေသည့် အစိတ်အပိုင်းများကို ပုံမှန် စစ်ဆေးမှု ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

၆.၂.၇ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ကုန်ကျစရိတ် နှင့် သက်ဆိုင်သည့်အချက်များ

(၁) Gear drive machine များသည် direct drive machine များထက် ပိုများသည့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

(၂) Open drive machine များအတွက် ထိန်းသိမ်းခ ကုန်ကျစရိတ်(maintenance cost)သည် hermetic machine များထက် ပိုများသော်လည်း ပြုပြင်ခ(repair cost) သက်သာသည်။

(၃) Air cooled နှင့် water cooled တို့ ကွဲပြားသောကြောင့် ထိန်းသိမ်းခ(maintenance) နှင့် ပြုပြင်ခ(repair) ကွဲပြားသည်။ Water cooled system များတွင် water treatment နှင့် tube cleaning ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သောကြောင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ကုန်ကျစရိတ် ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် water cooled chiller များ၏ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ကုန်ကျစရိတ်သည် air cooled chiller များထက်ပိုများသည်။ Water cooled chiller များ၏ သက်တမ်း ပိုရှည်သည်။

၆.၂.၈ တပ်ဆင်ထားသည့်နေရာတွင် ပြုပြင်နိုင်မှု(Field Serviceability)

(၁) Reciprocating chiller အများစုကို တပ်ဆင်ထားသည့် နေရာတွင် ပြုပြင်နိုင်သည်။

(၂) Screw chiller များသည် တည်ဆောက်ပုံ ရိုးရှင်းသောကြောင့် တပ်ဆင်ထားသည့်နေရာတွင် ပြုပြင် နိုင်သည်။ အစိတ်အပိုင်းများ လဲလှယ်ခြင်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။

(၃) Centrifugal chiller များ ၏ impeller ကြောင့် အလွန် ပြဿနာများသည်။ Centrifugal impeller များသည် အလွယ်တကူ ရရှိနိုင်သည့် ပစ္စည်းမဟုတ်သလို အလွယ်တကူ တပ်ဆင်နိုင်သည့် ပစ္စည်းလည်းမဟုတ်ပေ။

၆.၂.၉ အပိုပစ္စည်း ရရှိနိုင်မှု(Stock Availability of Spares)

(၁) Reciprocating compressor များ၏ အပိုပစ္စည်းများကို အလွယ်တကူ ရရှိနိုင်သည်။

(၂) Screw compressor ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturers)သည် rotor များ၊ bearing များ စသည် အပိုပစ္စည်း များကို အလွယ်တကူ ရရှိနိုင်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။

(၃) Centrifugal compressor များ၏ impeller များကို အပိုပစ္စည်းများအဖြစ် မရရှိနိုင်ပေ။ လိုအပ်၍ မှာယူလျှင် အနည်းဆုံး ရက်သတ္တပတ် (၁၀)ပတ် မှ (၁၂)ပတ် အချိန်ကြာမြင့်စွာ စောင့်ဆိုင်းရသည်။

(၄) Screw compressor များတွင် sealing လုပ်ရန် နှင့် lubrication လုပ်ရန် ရည်ရွယ်ချက်ဖြင့် rotor chamber အတွင်းသို့ ချောဆီများ ထည့်ပေးသည်။ ထို့နောက် oil separator မှ ချောဆီများကို ပြန်ခွဲထုတ်ပေးသည်။ Screw compressor များတွင် ချောဆီများ လည်ပတ်ရန် oil pump များဖြင့် မောင်းပေးရသည်။

(၅) Reciprocating compressor များတွင် ချောဆီများသည် refrigerant အတူ လည်ပတ်နေနိုင်သောကြောင့် oil separator တပ်ဆင်ထားရန် မလိုအပ်ပေ။

(၆) Centrifugal machine များသည် ချောဆီ ကင်းမဲ့သည့် စက်များဖြစ်သည်။

၆.၂.၁၀ Performance Specifications:

Chiller တစ်လုံး၏ capacity နှင့် performance ကို သတ်မှတ်ရန်အတွက် အောက်ပါ parameter များ၏ တန်ဖိုးများကို သတ်မှတ် ပေးရန် လိုအပ်သည်။

- (၁) Maximum cooling capacity (tons)
- (၂) Chilled water supply temperature (°F)
- (၃) Chilled water return temperature (°F)
- (၄) Chilled water flow rate (gpm)
- (၅) Maximum evaporator pressure drop (ft wg)
- (၆) Evaporator fouling factor (usually 0.0001)
- (၇) Condenser water return temperature (°F)
- (၈) Condenser water supply temperature (°F)
- (၉) Condenser water flow rate (°F)
- (၁၀) Maximum condenser pressure drop (ft wg)
- (၁၁) Condenser fouling factor (usually 0.00025)
- (၁၂) Electrical service: V/ph/Hz
- (၁၃) Maximum sound power level (dBA)
- (၁၄) Allowable motor type (hermetic and/or open)
- (၁၅) Motor FLA
- (၁၆) Maximum kW/ton at full load and Maximum IPLV (kW/ton)

၆.၃ Refrigeration Chiller လေးမျိုးကို နှိုင်းယှဉ်ခြင်း

Table 6-6 အသုံးများသည့် refrigeration compressor လေးမျိုးကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြခြင်း

အားသာချက်များ(Advantages)	အားနည်းချက်များ(Disadvantages)
Rotary Vane	
<ul style="list-style-type: none"> -Good efficiency as booster:equal to screw and better than piston type -Handles low pressure conditions -Mechanically reliable 	<ul style="list-style-type: none"> -Discharge pressure limitation -Overall pressure ratio limited to about 7:1 -Poor part load power characteristics
Reciprocating Piston	
<ul style="list-style-type: none"> -Basic industry work horse -Full range of sizes & capacities -Efficient part load operation -Relatively inexpensive -Requires minimum amount of support infra-structure 	<ul style="list-style-type: none"> -Volumetric efficiency drops at high overall pressure ratios -Requires frequent maintenance -Not tolerant of liquid -Water cooling necessary for ammonia systems
Rotary Screw	
<ul style="list-style-type: none"> -Good efficiency at full load -Large capacity units available -Low maintenance costs -Reliable -Tolerant to liquid -Liquid injection cooling option -Infinitely variable capacity control -High operating flexibility 	<ul style="list-style-type: none"> -Poor power performance at low part load conditions -Small sizes expensive -Repairs expensive in remote locations

Centrifugal	
-Efficient at full load -Large capacity units require small space	-Very high speed precision equipment -Useable only with freon type refrigerants -Inefficient at part load -Severe operating restrictions

Table 6-7 refrigerant များ၏ ဒီဇိုင်းအခြေအနေများ(design conditions)

Application	Source Fluid Type and Temperature	Source Refrigerant Temperature	Sink Fluid Type and Temperature	Sink Refrigerant Temperature	Fluid Carnot COP	Refrigerant Carnot COP
Water cooled chillers	44°F water	38°F	85°F water	91°F	12.3	9.4
Air cooled chillers	44°F water	38°F	95°F air	105 °F	9.9	7.4
Air cooled unitary equipment	55°F air	45°F	95°F air	105°F	12.9	8.4
Refrigerator	38°F air	28°F	90°F air	100°F	9.6	6.8
Freezer	5°F air	5°F	90°F air	100°F	5.5	4.3

၆.၄ Positive Pressure Machine (R134a) နှင့် Negative Pressure Machine (R 123 Chiller)

Centrifugal compressor များသည် refrigerant ၏ kinetic energy ကို များအောင် ပြုလုပ်ပေးခြင်းဖြင့် refrigerant ၏ ဖိအား(pressure) မြင့်တက်စေသည်။ Refrigerant သည် compressor မှ အထွက်တွင် expansion ဖြစ်စေပြီး kinetic energy မှ static pressure အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားကာ ဖိအားမြင့်တက်လာသည်။ Compressor နှင့် motor ကို casing တစ်ခုအတွင်း ထည့်ထားပြီး refrigerant gas ဖြင့် မော်တာတွင်(motor winding)ကို အေးစေသည်။ ဤကဲ့သို့ အမျိုးအစားကို **"Hermetic motor"** ဟုခေါ်သည်။ Compressor ၏ winding ကို လေ(ambient air) ဖြင့် အေးစေလျှင် **"Open type"** ဟု ခေါ်သည်။

Evaporator မှ low pressure gas သည် compressor သို့ ရောက်ရှိလာသည်။ လိုအပ်သည့် cooling capacity ရရှိရန် chiller ၏ cooling capacity ကို inlet guide vane ဖြင့် refrigerant ၏ စီးဆင်းနှုန်း(flow rate) ကို ထိန်းချုပ်(regulate) ပေးသည်။ Chiller loading ၏ 15% မှ 100% နှင့် ကိုက်ညီသည့် cooling capacity ရအောင် မောင်းနှင်နိုင်သည်။ High pressure gas များသည် condenser ထဲသို့ ရောက်ရှိ သွားပြီး condenser မှ refrigerant gas က အပူ(heat)များကို စွန့်ထုတ်ပစ်လိုက်သောကြောင့် ဖိအားမြင့်သည့်အငွေ့(gas)အဖြစ်မှ အရည်(liquid) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ ထို liquid refrigerant များသည် evaporator ဆီသို့ ရောက်ရှိကာ chilled water မှ အပူများကို စုပ်ယူပြန်သည်။

R134A နှင့် R22 refrigerant ကို အသုံးပြုသည့် chiller များကို "positive pressure machine" များဟု ခေါ်သည်။ R123 ကို အသုံးပြုသည့် chiller များကို "negative pressure machine" ဟုခေါ်သည်။ Evaporator pressure အပေါ်တွင် အခြေခံ၍ positive pressure machine သို့မဟုတ် negative pressure machine ဟူ၍ ခွဲခြားခြင်း ဖြစ်သည်။ Evaporator pressure သည် လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ထက် ပိုများလျှင် positive pressure machine ဟုသတ်မှတ်၍ လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ထက် နည်းလျှင် negative pressure machine ဟု သတ်မှတ်သည်။

Standard AHRI (ယခင် ARI) rating condition အရ R134a ၏ evaporating pressure သည် 36.6 psig ဖြစ်သည်။ Condensing pressure သည် 118.3 psig ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် မြင့်တက်သွားအောင် ပြုလုပ်ပေးရသည့် ဖိအား(total pressure increased)သည် 81.7 (118.3 - 36.6) psig ဖြစ်သည်။ Chiller compressor က မြင့်တက် သွားအောင် ပြုလုပ်ပေးရသည့် ဖိအား(total pressure increased)ကို "Lift" ဟု ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ ထို lift မှာ compressor က ဆောင်ရွက်(perform) ပေးရသည့် work done ဖြစ်သည်။

R123 chiller ၏ evaporating pressure သည် -5.81 psig ဖြစ်သည်။ Condensing pressure မှာ 6.10 psig ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် lift မှာ 11.91 psig ဖြစ်သည်။ Positive pressure machine(R134a chiller) နှင့် negative pressure machine(R123 chiller) နှစ်မျိုးစလုံး၏ refrigerant စီးဆင်းနှုန်း(flow rate)သည် အနည်းငယ်မျှသာ ကွာခြားသည်။ နှစ်မျိုးစလုံး အတွက် 3 lb/min per ton ခန့် ဖြစ်သည်။ Cooling effect 1 refrigeration ton ရရန်အတွက် chiller ၏ refrigerant စီးနှုန်း(flow) 3 lb/min လိုအပ်သည်။

R134a ၏ သိပ်သည်းဆ(density)သည် R123 ၏ သိပ်သည်းဆ(density)ထက် ပိုများသောကြောင့် R134a ၏ volumetric သည် R123 chiller ၏ volumetric flow rate ထက် (၅)ဆခန့် ပိုနည်းသည်။ Impeller အရွယ် အစားသည် volumetric flow rate ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ထို့ကြောင့် R134a chiller ၏ အရွယ်အစားသည် cooling capacity တူညီသည့် R123 chiller ထက် ပိုသေးငယ်သည်။

R123 chiller compressor ၏ impeller အရွယ်အစား(diameter)သည် လက်မ(၄၀)ခန့် ရှိသည်။ 60 Hz လျှပ်စစ် ဓာတ်အားဖြင့် မောင်းလျှင် impeller speed သည် 3,600 rpm ဖြစ်သည်။ R134a chiller compressor ၏ impeller သည် (၅)လက်မခန့်သာ ဖြစ်သည်။ Operating speed မှာ 30,000 rpm ခန့် ဖြစ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ မြန်နှုန်း မြင့်မြင့်(high speed) ရရန်အတွက် gear box ကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

Positive pressure machine (R134a chiller)များတွင် refrigerant ယိုစိမ့်မှု(leakage) ဖြစ်သည့်အခါ condenser နှင့် evaporator pressure နှစ်ခုလုံးအတွင်းရှိ ဖိအားသည် လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ထက် ပိုမြင့်သောကြောင့် chiller အတွင်းမှ refrigerant များ အပြင်သို့ ယိုစိမ့်ထွက်သွား(leakage)နိုင်သည်။ သို့သော် negative pressure machine များတွင် ယိုစိမ့်မှု(leakage) ဖြစ်သည့်အခါ chiller အတွင်းသို့ လေထု (atmospheric)ထဲမှ လေ(air)နှင့် ရေခိုးရေငွေ့များ ဝင်ရောက်လာသည်။ လေ(air)နှင့်အတူ ရေငွေ့(water vapor)များ နှင့် non condensable gas များ chiller အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာလိမ့်မည်။ Chiller အတွင်းရှိ non condensable gas များကြောင့် chiller ၏ cooling capacity လျော့နည်းလိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် compressor သည် non condensable gas များကို ဖိသိပ်(compress)ရသော်လည်း မည်သည့် refrigeration effectiveness ကိုမျှ မရရှိနိုင်သောကြောင့် cooling capacity ကျဆင်းခြင်း ဖြစ်သည်။

Non condensable gas များကြောင့် full load condition ၌ chiller ၏ efficiency 14% အထိ ကျဆင်း လာနိုင်သည်။ လေထဲမှ ရေခိုးရေငွေ့များနှင့် အညစ်အကြေး(contaminant)များကြောင့် chiller အတွင်း၌ အက်စစ် ဓာတ်များဖြစ်ပေါ်(acid formation)ကာ compressor နှင့် motor winding တို့ မောင်းမရအောင် ပျက်စီးစေနိုင်သည်။ အထူးသဖြင့် hermetic ဖော်တာ များတွင် ပိုဆိုးဝါးသည့် အခြေအနေကို ဖြစ်ပေါ်စေနိုင်သည်။

ထိုပြဿနာများကို ဖြေရှင်းရန်အတွက် negative pressure machine များတွင် purge unit များကို တပ်ဆင်ထားကြသည်။ Purge unit သည် chiller အတွင်းမှ ရေခိုးရေငွေ့(moisture)များနှင့် non condensable gas များကို ဖယ်ရှားပေးနိုင် သော်လည်း ရာနှုန်းပြည့် ဖယ်ရှားပေးရန် မဖြစ်နိုင်။ Purge unit သည် ရေခိုးရေငွေ့(moisture) များနှင့် non condensable gas များနှင့် အတူ တချို့သော refrigerant များကိုပါ chiller အတွင်းမှ လေထု (atmospheric) ထဲသို့ ထုတ်ပစ်လေ့ရှိသည်။

တခြားသောနည်းတစ်ခုမှာ negative pressure chiller များကို အချိန်ကြာမြင့်စွာ ရပ်နားထားရန် လိုအပ် ခဲ့လျှင် ယိုစိမ့်မှု(leakage)ကို ကာကွယ်ရန်အတွက် evaporator ကို heater ဖြင့် အပူပေးပြီး evaporator pressure

ကို လေထု(atmospheric pressure)ထက် ပိုမြင့်အောင် ပြုလုပ်ထားနိုင်သည်။

Table 6-8 low pressure chiller နှင့် high pressure chiller နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားခြင်း

	Low Pressure Chiller	High Pressure Chiller
Evaporator	Always at negative pressure	Always at positive pressure
	Air leaks inward at low rate	Refrigerant leaks outward at moderate rate
	No refrigerant loss into the equipment room	Refrigerant loss is into equipment room
Condenser	At slightly positive pressure during operation	Always at high positive pressure
	Refrigerant leaks outward at very low rate during operation	Refrigerant leaks outward at very high rate
Monitoring of leak rate	Trane EarthWise purge is able to continuously monitor in-leakage with the run meter	Only ways to monitor leak rate on high pressure chiller are - Periodic leak checks - Purchase refrigerant monitor
	Purge can be connected to a building automation system for notification of increased purge operation (in-leak). Refrigerant monitor can be connected to the building automation system.	Normally the only time that a leak is detected on a high pressure chiller is during spring startup. This means that a chiller which develops a leak in the summer may leak continuously until the following spring.
Typical pressure	HCFC-123	HFC-134a
	Evaporator: 18.7 inches of Mercury	Evaporator: 33.1 psig
	Condenser: 6.1 psig	Condenser: 124.1 psig

Positive pressure chiller များတွင် purge unit မလိုအပ်ပေ။ ယိုစိမ့်ခြင်း(leakage)ဖြစ်လျှင် လွယ်ကူစွာ သိ(detect)နိုင်သည်။ Negative pressure chiller များတွင် လေ(air)များ နှင့် ရေငွေ့(moisture) များ chiller ၏ ချောဆီ(lubricant oil)အတွင်း ဝင်ရောက်သွားသောကြောင့် အချိန်မှန် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance) လုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

၆.၅ Chiller ဝယ်ယူခြင်း

Chiller အရွယ်အစား ပိုကြီးလေ ဈေးနှုန်း ပိုချိုသာလေ ဖြစ်သည်။

၆.၅.၁ Defining Chiller Performance Requirement

Chiller အသစ်ဝယ်ယူရန် အတွက် ပထမဦးစွာ လက်ခံနိုင်သည့် performance ၊ အလိုရှိသည့် capacity နှင့် သင့်လျော်သည့် chiller အမျိုးအစားကို ရွေးချယ်ရန် လိုအပ်သည်။ Chiller အမျိုးအစား(type)များကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Vapor compression cycle ၊ reciprocating compressor ၊ engine drive vapor compression cycle ၊ rotary compressor ၊ absorption cycle 2 stage ၊ indirect fired absorption cycle ၊ 2 stage direct fired စသည်တို့ ဖြစ်ကြသည်။

Chiller တစ်လုံး၏ capacity နှင့် performance ကို သတ်မှတ်ရန်အတွက် အောက်ပါ parameter များကို သတ်မှတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Chiller performance နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်အလက်များကို အခန်း(၁၈)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

လျှပ်စစ်ဖြင့်မောင်းသည့်(electric drive) chiller များအတွက် ဖော်တာနှင့် သက်ဆိုင်သည့်အချက်များနှင့် လိုအပ်သည့် စွမ်းအင်(input energy)ကို သတ်မှတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

- (၁) Allowable motor type (hermetic and/or open)
- (၂) Motor FLA
- (၃) Maximum kW/ton at full load.
- (၄) Maximum IPLV (kW/ton)

အင်ဂျင်ဖြင့်မောင်းသည့်(engine drive) chiller များအတွက် အင်ဂျင်အမျိုးအစား၊ အသုံးပြုသည့် လောင်စာဆီ(fuel)စသည့် အင်ဂျင်နှင့် သက်ဆိုင်သည့် parameter များကို သတ်မှတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Indirect fired absorption chiller များအတွက် ရေနွေးငွေ့(steam) သို့မဟုတ် ရေပူ(hot water)နှင့် သက်ဆိုင်သည့် parameter များကို သတ်မှတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

- (၁) Steam operating pressure (psig)
- (၂) Maximum steam flow rate (lb/hr)
- (၃) High temperature hot water temperature (8°F)
- (၄) High temperature hot water flow rate (gpm)

၆.၅.၂ Economic Evaluation of Chiller Systems

ဒီဇိုင်းနာ၊ ပိုင်ရှင်(owner)၊ အင်ဂျင်နီယာ တို့သည် မိမိရွေးချယ်သည့် chiller system ၏ စမောင်းသည့်နေ့မှ ပျက်သည့်နေ့အထိ ကုန်ကျမည့်စရိတ်စုစုပေါင်း(total ownership cost or life cycle cost)ကို နှိုင်းယှဉ် ရွေးချယ်သင့်သည်။

Chiller များသည် maximum capacity ဖြင့် မောင်းနေသည့်အချိန်သည် အလွန် အလွန်နည်းသည်။ ထို့ကြောင့် chiller ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုကို နှိုင်းယှဉ်ရာတွင် peak load သာမက part load ကိုလည်း နှိုင်းယှဉ်ရန် လိုအပ်သည်။ AHRI 550/590-98 ၏ ညွှန်ကြားချက်အရ electric drive chiller များအတွက် ဖော်ပြထားသည့် IPLV part load value ကို အသုံးပြု၍ နှိုင်းယှဉ်ကြသည်။ တခြားအချက်များ အားလုံးတူညီလျှင် IPLV part load တန်ဖိုးနည်းလျှင် မောင်းသည့် အခါ စွမ်းအင်အတွက် ကုန်ကျစရိတ် သက်သာသည်။ ထို့အပြင် IPLV part load တန်ဖိုးကို chiller တစ်လုံးချင်းစီ၏ performance ကောင်း၊ မကောင်း နှိုင်းယှဉ်ရန်အတွက် အသုံးပြုနိုင်သည်။ IPLV part load တန်ဖိုးသည် ရာသီဥတု အေးသောကြောင့် ပြင်ပအပူချိန် ကျဆင်းကာ နိမ့်သည့် condenser water supply temperature အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

တစ်လုံးထက်ပိုများသည့်(multiple) chiller များ မောင်းနေသည့်အခါ chiller တစ်လုံးချင်းစီသည် rated capacity ၏ 40% မှ 80% တွင် မောင်းနေလေ့ ရှိသည်။ ထိုအခါ chilled water system တစ်ခုလုံး၏ optimum efficiency ပိုကောင်းအောင် အလေးထား၍ ဒီဇိုင်းလုပ်သင့်သည်။ IPLV part load တန်ဖိုးထက် chilled water system efficiency သည် ပို၍ အဓိက ကြသည်။

သတ်မှတ်ထားသည့် load profile နှင့်သင့်လျော်သည့် chiller တစ်လုံးကို ရွေးချယ်ရန်အတွက် chiller ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturer)သည် အမျိုးမျိုးသော chiller components (tube quantity, shell length, compressor size/quantity) များကို ရွေးချယ် တည်ဆောက်နိုင်သည်။

Life cycle cost တွက်ချက်ရာတွင် အောက်ပါ အခြေခံအချက်များ(basic elements)ပါဝင်ကြသည်။

၆.၅.၃ စဦးကုန်ကျစရိတ် (First Cost)

First cost သည် စဦးကုန်ကျစရိတ် ဖြစ်သည်။ စဦးကုန်ကျစရိတ်တွင် ဒီဇိုင်းကုန်ကျစရိတ်၊ တပ်ဆင်ခ၊ စက်တန်ဖိုး၊ ပိုက်များ၊ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားကြိုးနှင့် တခြားသော အထွေထွေ စရိတ်များ စသည် တစ်ကြိမ်တစ်ခါသာ အသုံးပြုရမည့် ကုန်ကျစရိတ်များ ပါဝင်သည်။ Table 6-9 chiller ဈေးနှုန်းများကို ဖော်ပြထားသည်။

Table 6-9 chiller အရွယ်အစား၊ COP နှင့် ခန့်မှန်းခြေ ဈေးနှုန်းများ

Chiller Type	Capacity (*) Range (tons)	First Cost (**) Range (\$/ton)	COP Range	IPLV Range (COP)
Reciprocating/Scroll	50 - 230 (400)	\$200 - \$250	4.2 - 5.5	4.6 - 5.8
Screw	70 - 400 (1250)	\$225 - \$275	4.9 - 5.8	5.4 - 6.1
Centrifugal	200-2000 (10,000)	\$180 - \$300	5.8 - 7.1	6.5 - 7.9
Engine Driven	100 - 3000 (10,000)	\$450 - \$600	1.5 - 1.9	1.8 - 2.3

(*) ကွင်းအတွင်း၌ ရနိုင်သည့် အကြီးဆုံးအရွယ်အစား(maximum size)ကို ဖော်ပြထားသည်။

(**) စဦးကုန်ကျစရိတ်(first cost)တွင် ကန်ထရိုက်တာအမြတ်ငွေ(contractor mark-ups)ကိုပါ ထည့်တွက်ထားသည်။

Vapor compression cycle chiller အတွက် ကုန်ကျစရိတ်(ancillary cost)များ

- (၁) Refrigeration room safety requirements (ASHRAE Standard 15)
- (၂) Additional ventilation required for open motor
- (၃) Noise and vibration control နှင့်
- (၄) Fuel piping ၊ exhaust venting နှင့် noise control for engine drive chiller တို့ ဖြစ်သည်။

အထွေထွေ ကုန်ကျစရိတ်များမှာ

- (၁) Concrete housekeeping pad
- (၂) Rigging
- (၃) Demolition
- (၄) Electrical power
- (၅) Controls
- (၆) Contractor overhead (insurance ၊ bonds, taxes and general office operations ၊ special conditions) (ပုံမှန်အားဖြင့် 15% မှ 20%)
- (၇) Contractor profit (ပုံမှန်အားဖြင့် 5% မှ 20%)

၆.၅.၄ နှစ်စဉ် ကုန်ကျစရိတ် (Annual Recurring Costs)

Chiller များ တပ်ဆင်ပြီးနောက် စတင် မောင်းနှင်လည်ပတ်သည့်နောက်ပိုင်းတွင် စွမ်းအင်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်(energy costs) နှင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ကုန်စရိတ်(maintenance cost)ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ ထိုနှစ်မျိုးသည် chiller မောင်းနှင်သမျှ ကာလပတ်လုံး နှစ်စဉ် ကုန်ကျမည့် စရိတ်ဖြစ်သည်။

Chiller များ စတင် မောင်းနှင်လည်ပတ်သည့်နေ့မှ ပျက်စီးသည့်နေ့ကို "economic life" သို့မဟုတ် "service life" ဟုခေါ်သည်။ Reciprocating compressor chiller ၏ service life သည် (၁၅)နှစ်ခန့် ဖြစ်သည်။ Rotary compressor နှင့် absorption chiller များ၏ သက်တမ်း(service life)သည် (၂၃)နှစ်ခန့် ဖြစ်သည်။ စွမ်းအင်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်(energy cost)ကို တွက်ရန်အတွက် အောက်ပါ အချက်နှစ်ချက်ကို သိရန် လိုအပ်သည်။

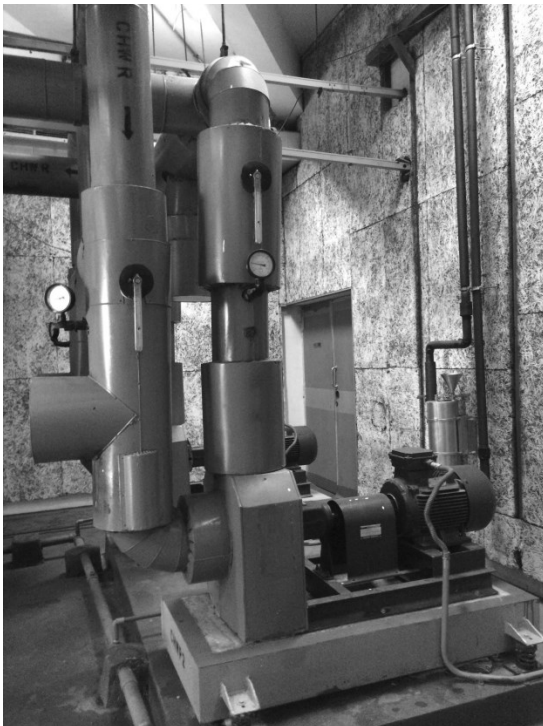
- (၁) Chiller မှ သုံးစွဲသည့် လျှပ်စစ်စွမ်းအင် ပမာဏ(amount of electrical energy)နှင့်
- (၂) လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခ ကောက်ခံနှုန်း တို့ဖြစ်သည်။

စွမ်းအင်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်(energy costs)သည် သုံးစွဲလိုက်သည့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပမာဏ(electrical energy consumption-kWh) နှင့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားနှုန်း(cost for electricity -\$/kWh) တို့၏ မြှောက်လဒ်ဖြစ်သည်။ နှစ်စဉ်ကုန်ကျမည့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ကုန်စရိတ်(maintenance costs)ကို တွက်ယူရန် အနည်းငယ် ခက်ခဲသည်။ တချို့နှစ်များတွင် ပုံမှန် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုသာလိုအပ်ပြီး တချို့နှစ်များတွင် အသေးစားပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု သို့မဟုတ် အကြီးစား အသေးစား ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ လိုအပ်သည်။ နှစ်စဉ် ပုံမှန် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု ကုန်ကျစရိတ်သည် အစဦး ကုန်ကျစရိတ်(initial equipment cost)၏ ၁% မှ ၃% အတွင်း ဖြစ်သည်။

၆.၅.၅ Procurement Strategies

- (၁) Calculate or estimate the required plant total tonnage;
- (၂) Pick a short list of chiller vendors based on past experience, local representation, etc;
- (၃) Request chiller bids based on a performance specification;
- (၄) Adjust bids for other first-cost impacts;
- (၅) Estimate energy usage of options with a detailed computer model of the building/plant;
- (၆) Estimate maintenance cost differences between options;
- (၇) Calculate life-cycle costs;
- (၈) Select the chiller option with the lowest life cycle cost.

Equipment Pipe Connection



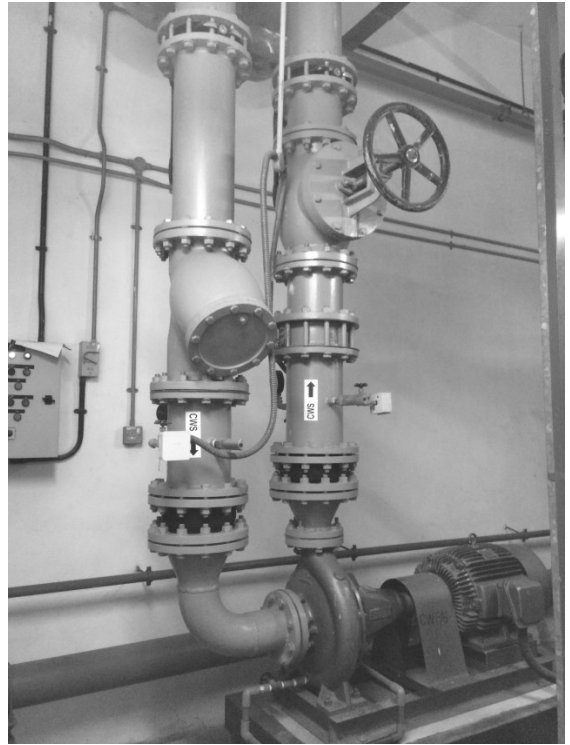
ပုံ ၆-၈ Chilled water pump pipe connection



ပုံ ၆-၉ Condenser water pump pipe connection



ပုံ ၆-၁၀ Chiller pipe connection



ပုံ ၆-၁၁ Condenser water pump pipe connection

-End -

Chapter-7 Condensers and Evaporators

Refrigeration system တစ်ခုအတွင်း၌ ပါဝင်သည့် component များကို ရွေးချယ်သည့်အခါ အောက်ပါ အချက်များကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။

- (က) Cooling load အမျိုးမျိုး ပြောင်းလဲနေစဉ်အတွင်း refrigeration effect အမြဲရရှိနေစေခြင်း
- (ခ) အဆက်မပြတ်မောင်းနှင်မည့်လုပ်ငန်းများ(continuous performance applications)အတွက် frost control လုပ်နိုင်ခြင်း
- (ဂ) Refrigerant နှင့် သင့်လျော်သည့် ချောဆီကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်ခြင်း
- (ဃ) Cooling medium ရွေးချယ်ခြင်း
 - ၁။ Direct expansion refrigerant unit
 - ၂။ Gravity ၊ pump recirculated ၊ flooded refrigerant စသည့် စီးဆင်းသည့်ပုံစံ နှင့်
 - ၃။ Secondary coolant (brine, e.g., salt and glycol) တို့ကို အခြေခံ၍ ရွေးချယ်ကြသည်။
- (င) System efficiency ကို ရေရှည် ကောင်းစွာ ထိန်းသိမ်းထားနိုင်ခြင်း
- (စ) Air cooled၊ water cooled စသည့် condenser အမျိုးအစား
- (ဆ) Compressor ဒီဇိုင်း (open ၊ hermetic ၊ semi-hermetic motor drive ၊ reciprocating ၊ screw or rotary)
- (ဇ) System type (single stage ၊ single economized ၊ compound or cascade arrangement) နှင့်
- (ဈ) လုပ်ငန်းနှင့် ကိုက်ညီသည့် refrigerant ကို မှန်ကန်စွာ ရွေးချယ်ခြင်း
(ယေဘုယျအားဖြင့် operating temperature နှင့် pressure ကိုသာ အခြေခံ၍ ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။)

၇.၁ Heat Rejection

Condenser မှ စွန့်ထုတ်ပစ်ရမည့် အပူများကို ပုံ (၇-၁) တွင် p-h diagram ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

$$Evaporator Load (Q_L) + Compressor Input Power (W_{in}) = Condenser Load(Q_H)$$

Condenser load ကို အပူစွန့်ထုတ်နှုန်း(rate of heat rejection) အဖြစ် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။

$$Evaporator Load (Q_L) \times Factor = Condenser Load (Q_H)$$



ပုံ ၇-၁ Carnot cycle for refrigeration

Oil cooler မှ စွန့်ထုတ်လိုက်သည့် အပူများကိုလည်း ထည့်တွက်ရန် လိုအပ်သည်။ ချောဆီ ပက်ဖြန်းပေးသည့်(oil-injected) screw compressor များတွင် စွမ်းအင်(energy) တချို့ကို ချောဆီမှ သယ်ဆောင်သွားသည်။ ချောဆီမှ သယ်ဆောင်သွားသည့် အပူပမာဏ အတိအကျကို compressor ထုတ်လုပ်သူများထံမှ ရယူနိုင်သည်။

၇.၂ Condenser

Condenser များသည် heat exchanger များ ဖြစ်ကြသည်။ Refrigerant ဓာတ်ငွေ့မှ အပူများသည် condenser နံရံများကို ဖြတ်သန်းသွားချိန်တွင်(အပူများကိုစွန့်ထုတ်ပြီး) အပူချိန် ကျဆင်းလာပြီး အရည်အခြေအနေသို့ ပြောင်းလဲ သွားသည်။ ထိုကဲ့သို့ အပူများ စွန့်ထုတ်ပစ်ရန် လေ၊ ရေ သို့မဟုတ် နှစ်မျိုးစလုံးရော၍ အသုံးပြုသည်။

Condenser များကို အကြမ်းအားဖြင့် သုံးမျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။ (၁) air cooled ၊ (၂) water cooled နှင့် (၃) evaporative condenser ဟူ၍ ခွဲခြားသည်။ Air cooled condenser သည် လေကို အသုံးပြု၍ အပူကိုစွန့်ထုတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့အတူ water cooled condenser သည် ရေကို အသုံးပြုသည်။ Evaporative condenser သည် လေနှင့် ရေနှစ်မျိုးစလုံးကို အသုံးပြု၍ အပူများကို စွန့်ထုတ်ကြသည်။

Chiller များတွင် condenser အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်သည့် heat exchanger များကို ပုံစံအမျိုးမျိုး နှင့် အရွယ်အစား အမျိုးမျိုး ရရှိနိုင်သည်။ Shell and tube ၊ shell and coil ၊ tube within a tube နှင့် evaporative condenser များ ဖြစ်ကြသည်။ Condenser တစ်မျိုးချင်းစီတွင် ထူးခြားချက်များ ကိုယ်စီရှိကြသည်။

Condenser တိုင်း၌ ထူးခြားချက်များ ရှိသည်။ Condenser နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်အလက်များမှာ အရွယ်အစား(size)နှင့် အလေးချိန်(weight)၊ ရာသီဥတုအခြေအနေ(weather conditions)၊ တည်ရှိရာ နေရာ(location)၊ လျှပ်စစ်ဓာတ်အား ရရှိနိုင်မှု(availability of electricity) နှင့် ရေရရှိနိုင်မှု(availability of water) တို့ ဖြစ်သည်။

စက်မှုလုပ်ငန်းများ(process industry)တွင် condenser များကို configuration အမျိုးမျိုးဖြင့် အသုံးပြု ကြသည်။ မှန်ကန် သင့်လျော်သည့် condenser အမျိုးအစား ရွေးချယ်ခြင်းသည် လွယ်ကူသည့်ကိစ္စ မဟုတ်ပေ။ အောက်ပါ အချက်များ(criteria) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

- (၁) Condenser heat capacity
- (၂) Condensing temperature and pressure
- (၃) Refrigerant နှင့် coolant တို့၏ စီးနှုန်း(flow rate)
- (၄) ရေနှင့် လေတို့၏ ဒီဇိုင်းအပူချိန်(design temperature for water and/or air)
- (၅) မောင်းသည့် အချိန်ကာလ(operation period) နှင့်
- (၆) ရာသီဥတု အခြေအနေ(climatic conditions)တို့ ဖြစ်သည်။

Air conditioning နှင့် refrigeration နှင့်သက်ဆိုင်သည့် စက်မှုလုပ်ငန်းများတွင် အသုံးပြုသည့် condenser များသည် နည်းသုံးနည်းဖြင့် အပူစွန့်ထုတ်ခြင်း(heat rejecting) ပြုလုပ်ကြသည်။

- (၁) Water cooled condenser

- (၂) Air cooled condenser နှင့်
- (၃) Evaporative condenser တို့ဖြစ်သည်။

Commercial refrigeration တွင် အများဆုံး အသုံးပြုသည့် water cooled နှင့် air cooled refrigerant condenser အမျိုးအစားများမှာ

- (၁) Shell and tube ၊ blow-through ၊ horizontal air flow
- (၂) Shell and coil ၊ draw-through ၊ vertical air flow နှင့်
- (၃) Tube in tube ၊ static or forced air flow တို့ ဖြစ်သည်။

Water cooled condenser အမျိုးအစားရွေးချယ်ရာတွင် အဓိကကြသော အချက်များမှာ

- (၁) Cooling load ပမာဏ
- (၂) အသုံးပြုသည့် refrigeration အမျိုးအစား
- (၃) ရရှိနိုင်သည့် cooling water ၏ အပူချိန်(temperature)နှင့် အရည်အသွေး(quality)နှင့်
- (၄) ရရှိနိုင်သည့် ရေပမာဏ(amount of water) တို့ ဖြစ်သည်။

Shell and tube အမျိုးအစား heat exchanger များကို condenser အဖြစ် အသုံးပြုကြသည်။ Shell အတွင်း၌ refrigerant စီးဆင်းနေပြီး tube များ အတွင်း၌ chilled water ၊ glycol စသည့် coolant တစ်မျိုးမျိုး စီးဆင်းနေသည်။ Condenser shell ၏ အောက်ပိုင်း(lower portion)သည် liquid receiver အဖြစ် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Tube section အောက်ပိုင်းသည် refrigerant အရည်ထဲတွင် နှစ်မြုပ်နေသည်။ Throttling process ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် flash gas များ လျော့နည်းအောင် subcooler အဖြစ်ဆောင်ရွက်ပေးသည်။

Air cooled coil နှင့် evaporative condenser များအပေါ်သို့ ရေများကို ပက်ဖြန်းပေးသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ auxiliary receiver များနှင့် cooler များနှင့် တွဲသုံးရန် လိုအပ်သည်။ Fan များက လေလည်ပတ်နှုန်းကောင်းအောင် ပြုလုပ်ပေးသောကြောင့် အပူကူးပြောင်းနှုန်း(heat transfer rate) ပိုကောင်းလာသည်။

၇.၂.၁ Condenser အမျိုးအစားများ

အဆောက်အဦ အတွင်းရှိ building service များမှ အပူများကို chilled water စုပ်ယူပြီး အပြင်သို့ စွန့်ထုတ်ရန်အတွက် အောက်ပါ heat rejection equipment ကို အသုံးပြုကြသည်။

- (၁) Air cooled condenser
- (၂) Water cooled with dry cooler
- (၃) Water cooled with open cooling tower
- (၄) Water cooled with closed cooling tower နှင့်
- (၅) Evaporative condenser တို့ ဖြစ်သည်။

Refrigeration industry တွင် အသုံးများသည့် condenser အမျိုးအစားများမှာ

- (၁) Shell & tube condenser
- (၂) Evaporative condenser
- (၃) Air cooled condenser
- (၄) Plate heat exchanger condenser နှင့်
- (၅) Open-type condenser တို့ ဖြစ်သည်။



Tube in tube Shell and tube Shell and coil Ammonia application Coaxial

ပုံ ၇-၂ Water cooled condenser အမျိုးမျိုး

၇.၃ Water Cooled Condensers

Water cooled condenser အမျိုးမျိုးကို ပုံ(၇-၂)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Water cooled condenser များကို အလွန်ကြီးမားသည့် refrigerating machine များ နှင့် chiller များတွင် အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ Water cooled condenser များကို cooling tower သို့မဟုတ် မြစ်ရေ၊ ပင်လယ်ရေ စသည်တို့ဖြင့် တွဲ၍ အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။

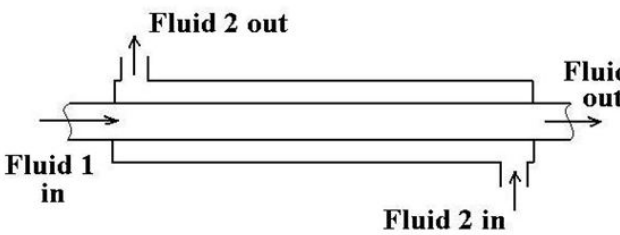
Water cooled condenser များကို အသုံးပြုရန် သင့်လျော်မှု ရှိ၊ မရှိကို အောက်ပါ အချက်များကို အခြေခံ၍ ဆုံးဖြတ်ကြသည်။

- (၁) အပူစွန့်ထုတ်(heat rejection)ရန်အတွက် ရေလိုအပ်သည်။ ဈေးနှုန်းချိုသာသည့်ရေ ပေါပေါ များများ ရရှိရန် လိုအပ်သည်။
- (၂) ရေလည်ပတ်ရန်အတွက် ပန့်(pump)နှင့် ပိုက်(pipe)များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။
- (၃) ရေများကို ပြန်လည်အသုံးပြုလျှင်(recirculation system ဖြစ်လျှင်) water treatment system လိုအပ်သည်။
- (၄) Cooling tower နှင့် condenser water pump များကို တပ်ဆင်ထားရန် နေရာလိုအပ်သည်။
- (၅) Cooling tower နှင့် condenser water pump များကို ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။
- (၆) ဆောင်းရာသီ အလွန်အေးသည့် ဒေသများတွင် freeze protection ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် water cooled condenser များသည် cooling tower သို့မဟုတ် ရေကန်၊ မြစ်ချောင်း၊ ပင်လယ်ရေများ နှင့် တွင်းရေ(ground water)တို့ကို အသုံးပြု၍ အပူများကို စွန့်ထုတ်နိုင်သည်။

ကြီးမားသော refrigerating system များတွင် water cooled condenser များကို အသုံးပြုကြသည်။ Refrigerant အငွေ့မှ အပူများကို ဖယ်ရှားရန်အတွက် ရေကို အအေးခံပစ္စည်း(condenser water)အဖြစ် အသုံးပြုသည်။ ရေသည် လေထက် အပူစီးမှု ပိုကောင်းသည်။ ရေအသုံးပြုပုံကို လိုက်၍ စွန့်ပစ်သည့်ရေနှင့် အအေးခံသည့် (waste water)စနစ်နှင့် ရေများကို ထပ်ခါထပ်ခါအသုံးပြုသည့်(recirculating wate)စနစ် ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရှိသည်။

Waste water စနစ်သည် condenser ကို အအေးခံရာတွင် ရေကို တစ်ကြိမ်သာ အသုံးပြုပြီး စွန့်ပစ်သောကြောင့် ရေပေါများသည့် နေရာများတွင် အသုံးပြုသည်။ Recirculating စနစ်သည် condenser ကို အအေးခံရာတွင် တစ်ကြိမ် သုံးပြီးသောရေကို cooling tower တွင် အအေးခံပြီး ပြန်လည်အသုံးပြုသော စနစ်ဖြစ်သည်။



Condenser များကို ပုံစံ (၃)မျိုး ထုတ်လုပ် ကြသည်။
 (၁) Double type
 (၂) Shell and tube နှင့်
 (၃) Shell and coil တို့ဖြစ်ကြသည်။

ပုံ ၇-၃ Double pipe condensers

Double tube type တွင် ပိုက် နှစ်ထပ် ပါရှိသည်။ ပိုက်အကြီးထဲတွင် ပိုက်အသေးထည့်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ အပြင်ဘက်ပိုက် အတွင်း refrigerant ကို ဖြတ်သန်းစေပြီး အတွင်းဘက်ပိုက်အတွင်း ရေကို ဖြတ်သန်းစေသည်။ ပုံ(၇-၃) တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း refrigerant ကို အပေါ်ပိုင်းမှ ဝင်ရောက်စေပြီး ရေကို အောက်ဘက်မှ ဝင်ရောက်စေသည်။ ဓာတ်ငွေ့သွားရာ လမ်းကြောင်းနှင့် ရေသွားရာ လမ်းကြောင်းမှာ ဆန့်ကျင်ဘက်(counter flow)ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် အအေးခံပြီးသော refrigerant များသည် စတင်ဝင်ရောက်လာသော အပူချိန်နိမ့်သည့် ရေအသစ်နှင့် အပူဖလှယ်နိုင်ခြင်းကြောင့် subcooling effect ကောင်းစွာ ရရှိစေနိုင်သည်။ အပြင်ပိုက်အတွင်းရှိ refrigerant သည် အတွင်းပိုက်မှရေနှင့်သာမက အပြင်ဘက်ရှိ လေနှင့်ပါ ကောင်းစွာ အပူဖလှယ်နိုင်ကြသည်။

Shell and tube အမျိုးအစားသည် အသုံးအများဆုံးသော အမျိုးအစားဖြစ်သည်။ ဆလင်ဒါပုံ steel shell ထဲတွင် စတီး(steel) သို့မဟုတ် ကြေးပိုက်အဖြောင့်များကို တပ်ဆင်ထားသည်။ ထိပ်နှစ်ဘက်ကို အဖုံးများဖြင့် အုပ်ထားသည်။ ဆလင်ဒါပုံ shell အတွင်း refrigerant များကို ဖြတ်သန်းစေပြီး tube များ အတွင်း၌ ရေကို ဖြတ်သန်း

စေသည်။ ရေသည် tube များအတွင်းသို့ တစ်ဖက်ထိပ်မှ ဝင်ရောက်ပြီး တခြားတစ်ဖက်ထိပ်သို့ စီးဆင်းသွားချိန်တွင် ဖြတ်သန်းရင်း အပူစီးကူးမှု ဖြစ်ပေါ်စေသည်။

ရေကို tube များအတွင်းသို့ ပန်ဖြင့် မောင်းသွင်း၍ velocity များအောင် လုပ်ပေးသောကြောင့် အပူစီးနှုန်း ပိုကောင်းစေသည်။ Condenser များကို capacity 2 tons မှ 100 tons ကျော်အထိ အသုံးပြုနိုင်သည်။ Shell ၏ အချင်းသည် (၄)ပေ မှ ပေ(၆၀) အထိ ရှိနိုင်သည်။ အလျားသည် (၃)ပေ မှ ပေ(၂၀)အထိ ရှိသည်။ Tube များ၏ အချင်းသည် 5/8" မှ 2" အထိ ရှိသည်။ Shell ၏ ထိပ်နှစ်ဘက်ကို ဖွင့်၍ tube များအတွင်း သန့်ရှင်းခြင်း၊ ရေသွား လမ်းကြောင်းများ ရှင်းလင်းခြင်း စသည့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခြင်း(maintenance)လုပ်ငန်းများကို အလွယ်တကူ ဆောင်ရွက်နိုင်သည်။ Shell and tube condenser သည် liquid receiver အဖြစ် ဆောင်ရွက်ပေးနိုင်သည်။



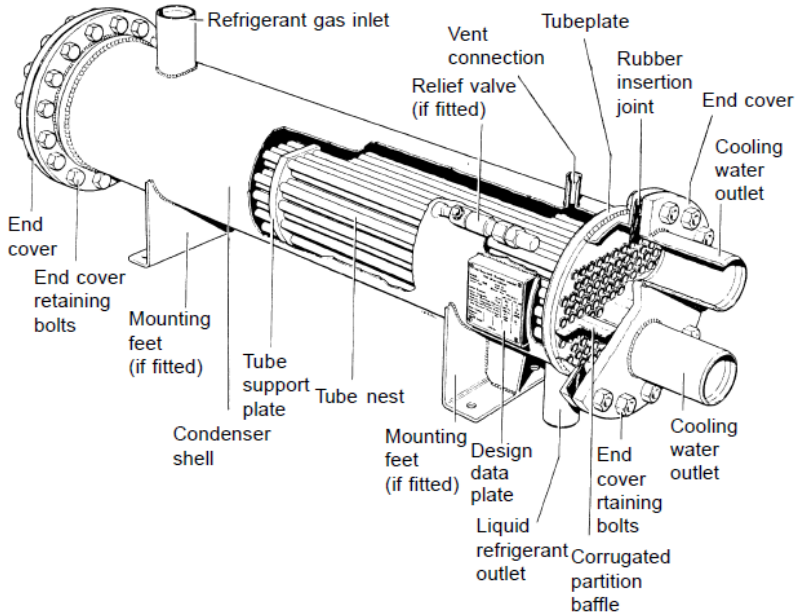
ပုံ ၇-၄(က) Air cooled condenser



ပုံ ၇- ၄(ခ) Open type condenser



ပုံ ၇-၄(ဂ) Evaporative condenser



ပုံ ၇-၅ Shell and tube condenser

Shell and coil အမျိုးအစားတွင် steel ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသော shell နှင့် စတီး(steel) သို့မဟုတ် ကြေးဖြင့် ပြုလုပ်ထားသော coil များ ပါဝင်သည်။ Finned tube coil များကို shell အတွင်း ဂဟေဆော်၍ အသေပိတ်ထားသည်။ ရေကို coil အတွင်း၌ စီးဆင်းစေ၍ refrigerant ကို coil ပတ်ဝန်းကျင် shell အတွင်း၌ လည်ပတ်စေသည်။

ဓာတ်ငွေ့ များသည် အရည်အဖြစ် ပြောင်းလဲကာ shell ၏ အောက်ခြေပိုင်းသို့ စီးဆင်းသွားသဖြင့် shell သည် receiver tank ကဲ့သို့ ဖြစ်နေသည်။ သို့သော် refrigerant များ over charge ဖြစ်နေပါက refrigerant အရည် များသည် shell ထဲတွင် ပြည့်နေပြီး coil များကို ဖုံးအုပ်ထားသဖြင့် coil အတွင်းရှိ ရေနှင့် hot gas တို့၏ အပူဖလှယ် နိုင်မှု ဧရိယာ လျော့နည်း သွားသောကြောင့် compressor ကို over load ဖြစ်စေနိုင်သည်။ ထိုကဲ့သို့မျိုး condenser ကို သေးငယ်သော စီးပွားရေးလုပ်ငန်း(commercial application)များတွင် 10 ton capacity ထိ အသုံးပြုနိုင်သည်။ ဓာတုဗေဒနည်းဖြင့်သာ သန့်ရှင်းခြင်း၊ ဆေးကြောခြင်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။

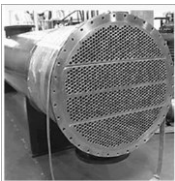
၇.၄ Air Cooled Condensers

Air cooled condenser များကို အိမ်သုံး(domestic) ၊ စီးပွားရေးလုပ်ငန်းသုံး(commercial) နှင့် စက်မှု လုပ်ငန်းသုံး(industrial) refrigerating machine များ၊ chilling ၊ freezing နှင့် air-conditioning system များဖြင့် တွဲ၍ အသုံးပြုကြသည်။ အသုံးများသည့် air cooled condenser အရွယ်အစားများမှာ 20 RT မှ 120 RT အတွင်း ဖြစ်သည်။ Heat recovery နှင့် auxiliary ventilation application များအတွက် capacity 3 RT မှ 100 RT အထိ ထုတ်ပေးနိုင်သော centrifugal fan ကို အသုံးပြုထားသည့် air cooled condenser များကို အသုံးပြုကြသည်။

Air cooled condenser များသည် ပြင်ပလေ(outside air)ကို cooling medium အဖြစ် အသုံးပြု၍ အပူများကို စွန့်ထုတ်ကြသည်။ ပြင်ပလေကို refrigerant အပေါ်သို့ ဖြတ်သန်း စီးဆင်းနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထား သောကြောင့် refrigerant များတွင် latent heat ဆုံးရှုံးမှု(loss) ဖြစ်ပေါ်ပြီး ပြင်ပလေ(outside air)တွင် sensible heat တိုးခြင်း(gain) ဖြစ်ပေါ်သည်။

Air cooled condenser များ၏ အဓိကအချက်များမှာ

- (၁) တပ်ဆင်ခ ကုန်ကျစရိတ်နည်းသည်။ (low installation costs)
- (၂) ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းမှု နည်းသည်။ (low maintenance requirements)
- (၃) ရေအသုံးပြုရန် မလိုအပ်သောကြောင့် ရေခဲခြင်း(freezing)၊ ကြေးညှိတက်ခြင်း(scaling)၊ သံချေးတက်ခြင်း (corrosion) မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။ Water piping၊ circulating pump နှင့် water treatment စသည်တို့ မလိုအပ်ပေ။
- (၄) တပ်ဆင်သည့် နေရာ၏ ရာသီဥတု(weather)အပေါ်တွင် မူတည်၍ အပူစွန့်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) ဖြစ်ပေါ် နိုင်သည့် ပမာဏ ကွဲပြားသည်။
- (၅) Water cooled condenser များနှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် air cooled condenser များကို အသုံးပြုထားသည့် chiller ၏ စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု ပိုများသည်။
- (၆) Refrigerant line ရှည်လျားသည့် system များကို ဂရုတစိုက် ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် နှင့် တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။
- (၇) တစ်ခါတစ်ရံ refrigerant ပိုက် ရှည်လျားသောကြောင့် refrigerant အတွက် ကုန်ကျစရိတ် ပိုများနိုင်သည်။
- (၈) ပြင်ပအပူချိန် (low ambient temperatures) နိမ့်သွားလျှင် condenser load လျော့နည်းသွားသည်။
- (၉) Air cooled condenser မှ အပူစွန့်ထုတ်ရန်အတွက် လေထုထည်စီးနှုန်း များစွာ လိုအပ်သောကြောင့် အသံ ဆူညံလေ့ရှိသည်။
- (၁၀) ကြီးမားသည့် refrigeration system များတွင် air cooled condenser များစွာ ပါရှိရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၇-၆(က) Water cooled condenser



ပုံ ၇-၆(ခ) Air cooled condenser

Air cooled condenser များ တပ်ဆင်ထားသည့် chiller plant များကိုလည်း တွေ့မြင်နိုင်သည်။ Remote air cooled condenser များသည် အဆောက်အဦ ပြင်ပတစ်နေရာတွင် တည်ရှိပြီး propeller fans နှင့် finned refrigerant coil တို့ ပါဝင်သည်။ တချို့သော remote air cooled condenser များတွင် centrifugal fan များ နှင့် finned refrigerant coil တို့ပါဝင်ပြီး အဆောက်အဦ အတွင်းဘက်၌ တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။

Air cooled refrigerant condenser များ၏ အကြီးဆုံး အရွယ်အစားသည် 500 RT ဖြစ်ပြီး အသုံးနည်း သည်။ 250 RT များကို အများဆုံး တွေ့မြင်နိုင်သည်။ ဈေးကွက်တွင် ရရှိနိုင်သည့် air cooled chiller များ၏ အရွယ် အစားသည် 400 RT အထိ ဖြစ်သည်။

Air cooled chiller များကို အသုံးပြုရသည့် အကြောင်းများမှာ

- (၁) ရေပေါ့ပေါများများ မရရှိနိုင်ခြင်း(water shortage) သို့မဟုတ် ရေအရည်အသွေး(water quality) ညံ့ဖျင်းခြင်း
- (၂) Water cooled equipment များထက် ပို၍ ဈေးနှုန်းချိုသာခြင်း
- (၃) Packaged air cooled chiller များအတွက် စက်ခန်း(machine room) သီးသန့် မလိုအပ်ခြင်း၊
ဘေးအန္တရာယ် နည်းခြင်း၊ monitoring နှင့် venting လုပ်ရန် မလိုအပ်ခြင်း
- (၄) Cooling tower များကဲ့သို့ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု များစွာ ပြုလုပ်ရန် မလိုအပ်ခြင်း နှင့်
- (၅) Water treatment လုပ်ရန် မလိုအပ်ခြင်း တို့ ဖြစ်သည်။

Air cooled chiller များသည် water cooled chiller များလောက် energy efficient မဖြစ်နိုင်ပေ။ Air cooled chiller များနှင့် water cooled chiller တို့၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုကို နှိုင်းယှဉ်သည့်အခါ chiller တစ်မျိုး တည်း၏ efficiency ကိုသာ မနှိုင်းယှဉ်ဘဲ system တစ်ခုလုံးနေဖြင့် နှိုင်းယှဉ်သင့်သည်။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် water cooled chiller အတွက် condenser water pump နှင့် cooling tower တို့ ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု ကိုပါ ထည့်တွက်ရန် လိုအပ်သည်။

Air cooled chiller များသည် အလွန်ကောင်းသည့် part-load performance ကို ပေးနိုင်သည်။ ပြင်ပလေ၏ အပူချိန် ကျဆင်းလာချိန်တွင် COP ပိုကောင်းလာသည်။ 200 tons ထက်သေးငယ်သည့် chiller plant များတွင် air cooled chiller များကို အသုံးပြုကြသည်။

၇.၄.၁ Air Cooled Condenser များ၏ အားသာချက်များ(Advantages)

- (၁) မည်သည့် ရေကိုမျှ အသုံးပြုရန် မလိုအပ်ပေ။ (No water requirement)
- (၂) သာမန် ပြင်ပ တစ်နေရာတွင် တပ်ဆင်နိုင်သည်။ (Standard outdoor installation)
- (၃) ရေခဲခြင်း(freezing)၊ scaling ဖြစ်ပေါ်ခြင်းနှင့် သံချေးတက်ခြင်းပြဿနာများ(corrosion problems) မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။
- (၄) ရေပိုက်(water piping) ၊ circulation pump များ နှင့် water treatment system တို့ကို တပ်ဆင်ရန် မလိုအပ်ပေ။
- (၅) တပ်ဆင်ရန် ကုန်ကျစရိတ် နည်းသည်။ (Low installation cost)
- (၆) ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု အနည်းငယ်သာ လုပ်ရန်လိုအပ်သည်။ (Low maintenance and service requirement)

၇.၄.၂ Air Cooled Condenser များ၏ အားနည်းချက်များ(Disadvantages)

- (၁) Condensing temperature အလွန်မြင့်မားသောကြောင့် compressor ပို၍ အလုပ် လုပ်ရသည်။
- (၂) ရှည်လျားသည့်(long piping)ပိုက်ကို အသုံးပြုရသောကြောင့် refrigerant အတွက် ကုန်ကျစရိတ် ပိုများသည်။
- (၃) တူညီသည့် cooling capacity ရရှိရန်အတွက် air cooled condenser အသုံးပြုထားသည့် chiller များ၏ စွမ်းအင်(power)သုံးစွဲမှု ပိုများသည်။
- (၄) အသံ အလွန် ဆူညံသည်။(High noise intensity)
- (၅) Air cooled condenser များမှ ရနိုင်သည့် heat rejection capacity နည်းသည်။ ကြီးမားသည့်(large cooling capacity) system များတွင် ယူနစ်များ(units)ကို အသုံးပြုရန် လိုသည်။

၇.၄.၃ Application ၊ Selection and Maintenance of Remote Air Cooled Condensers

Remote air cooled condenser များကို ရွေးချယ်သည့်အခါ total heat rejection ပမာဏ ကိုက်ညီရန် အရေးကြီးသည်။

Condenser အရွယ်အစားသေးငယ်လေ အပူစွန့်ထုတ်မှု(heat rejection) ပမာဏနည်းလေ condensing pressure ပိုမြင့်လေ ဖြစ်ပြီး စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု ပိုများလေ ဖြစ်သည်။

Air cooled condenser ကို အဝေးတစ်နေရာ(remote)တွင် တပ်ဆင်ထားသည့်အခါမျိုး၌ ပိုက်များကို ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ရာတွင် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ပိုမများအောင် သင့်လျော်သည့် ပိုက်အရွယ်အစား ရွေးချယ်ရန် လိုအပ်သည်။ ချောဆီများ ပိုက်အတွင်း စုဝေးမနေစေရန် ဂရုစိုက်သင့်သည်။ Cooling load နည်းနည်းဖြင့် မောင်းနှင်ချိန်တွင် လိုအပ်သည့် ချောဆီလည်ပတ်မှု ရှိစေရန် လိုအပ်သည်။

Condenser သည် evaporator ၏ အောက်ဘက်တွင် တည်ရှိနေပါက ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ကြောင့် flashing မဖြစ်အောင် liquid line အရွယ်အစားကို စနစ်တကျ ရွေးချယ်ရန် လိုအပ်သည်။ ပိုက် friction ကြောင့် သာမက fluid elevation ကြောင့်လည်း ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ထိုပြဿနာကို ကျော်လွှားရန် subcooling ပမာဏ ပိုများအောင် ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

Condenser ကို compressor ထက်ပိုမြင့်သည့်နေရာတွင် တပ်ဆင်ထားလျှင် ကမ္ဘာမြေဆွဲအား(gravity) ကြောင့် refrigerant အရည်များ နှင့် ချောဆီများ compressor အတွင်းသို့ ပြန်လည် ဝင်ရောက်လာခြင်း မဖြစ်ပေါ် စေရန် ကာကွယ်တားဆီးရမည်။ Hot gas line ကို ကြမ်းပြင်အနီးသို့ ရောက်စေပြီးမှ အထက်သို့ ပြန်တက်သည့် ပုံစံမျိုး (U ပုံစံမျိုး) ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ Condenser ၏ upstream အနားတွင် check valve တပ်ဆင်ထားရမည်။

Air cooled chiller များအတွက် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance) အနည်းငယ်သာ လိုအပ်သည်။ Coil များကို ပုံမှန် သန့်ရှင်းရေးပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ချောဆီထည့်ပေးရန်နှင့် refrigerant ပမာဏ ကို ပုံမှန် စစ်ဆေး ပေးရန် လိုအပ်သည်။ သစ်ရွက်ခြောက်များ၊ အမှိုက်များကို ဂရုစိုက် ရှင်းလင်းပေးရန် လိုအပ်သည်။ Air cooled condenser များစွာကို တစ်နေရာအတွင်း၌ စုပုံတပ်ဆင်ထားသည့်အခါ လေပူများကြောင့် efficiency ညံ့ဖျင်း နိုင်သည်။ ထိုပြဿနာကို ဖြေရှင်းရန် ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)၏ ညွှန်ကြားချက်(guideline)များကို အတိအကျ လိုက်နာသင့်သည်။

၇.၄.၄ Air Cooled Condenser Controls

Air cooled condenser များကို မောင်းသည့်အခါ compressor များ၊ fan များကို အဆက်မပြတ် မောင်းထား လေ့ရှိသည်။ ပြင်ပအပူချိန် နိမ့်ဆင်းသွားချိန်တွင် refrigerant အရည်၏ ဖိအား ကျဆင်းလာလိမ့်မည်။ Expansion Valve(TXV)၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ထက် ပို၍လျော့နည်းလာနိုင်သောကြောင့် air cooled condenser များကို control လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

Air cooled condenser များကို control လုပ်ရာတွင် အောက်ပါနည်းလမ်းများကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

(၁) Flooded Coil

Condenser အတွင်း၌ အပူကူးပြောင်းမည့် မျက်နှာပြင်(heat transfer surface)ဧရိယာ နည်းအောင် refrigerant အရည်ပမာဏကို control valve များအသုံးပြု၍ ထိန်းချုပ်ထားနိုင်သည်။ Receiver တပ်ဆင် ထားရန် လိုအပ်ပြီး refrigerant များစွာ ထည့်သွင်း(charge)ထားရန် လိုအပ်သည်။

(၂) Fan Cycling

တစ်လုံးထက် ပိုများသည့် fan များ တပ်ဆင်ထားသည့်အခါ fan တစ်လုံးချင်းစီကို မောင်းခြင်း၊ ရပ်တန့်ခြင်း ပြုလုပ်၍ အနိမ့်ဆုံးဖိအား(minimum head pressure) ရအောင် ထိန်းထားနိုင်သည်။

(၃) Dampers

Discharge damper များကို အသုံးပြု၍ condenser fan ၏ လေစီးနှုန်း(air flow)ကို control လုပ်နိုင်သည်။

(၄) Variable Speed Fans

Fan speed ကို လိုသလို ပြောင်းလဲ၍ လေစီးနှုန်း(air flow)ကို control လုပ်နိုင်သည်။

အပူချိန် 40°F ထက် နည်းသည့် ရာသီဥတုတွင် မောင်းရန် မလိုအပ်သည့် system များ၌ fan cycling လုပ်ခြင်းသည် အသင့်လျော်ဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ အပူချိန် 0°F ခန့် ရာသီဥတုတွင် မောင်းရန်လိုအပ်သည့် system များ အတွက် fan speed control သို့မဟုတ် damper နည်းများကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

Air cooled condenser များကို စီးပွားရေး လုပ်ငန်းသုံး(commercial application) စနစ်များတွင် အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။ ရေအတွက် ကုန်ကျစရိတ် များလွန်းခြင်း သို့မဟုတ် သံချေးတက်လွယ်ခြင်း တို့သည် အားနည်းချက် များ ဖြစ်ကြသည်။ သေးငယ်သော စနစ်များတွင် air cooled condenser ကိုသာ အသုံးပြုကြသည်။

Air cooled condenser တွင် သဘာဝအတိုင်း လေလည်ပတ်ခြင်း သို့မဟုတ် ပန်ကာ၊ blower စသော ကိရိယာများ လေဖြင့် လည်ပတ်ခြင်း ဟူ၍ နှစ်မျိုးကွဲပြားသည်။ သဘာဝအတိုင်း လေလည်ပတ် ခြင်းနည်း(natural ventilation)ကို အသုံးပြုသည့်အခါ အပူဖလှယ်မှု လွယ်ကူကောင်းမွန်စေရန် condensing ဧရိယာ များများ လိုအပ်သည်။ Plate type condenser ကို refrigerator ၏ အနောက်ဘက် အပေါ်တွင် တပ်ဆင်ထားသဖြင့် လေလည်ပတ်မှု ပိုကောင်းစေသည်။ Finned tube condenser ကို refrigerator ၏ အနောက်ဘက် သို့မဟုတ် အောက်ပိုင်းတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။

Compressor မော်တာနှင့် liquid receiver တို့ကို အဆောက်အဦအတွင်း တပ်ဆင်ထားပြီး condenser တစ်ခု တည်းကိုသာ အဆောက်အဦ အပြင်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Condenser အဝင်နှင့် အထွက်ကို ပိုက်များနှင့် ဆက်သွယ်ထားသည်။

Compressor head နှင့် valve များ အေးစေရန်အတွက် တချို့သောစနစ်များတွင် condenser (၂)ခု တပ်ဆင် ထားသည်။ Refrigerant သည် ဒုတိယ condenser ကို ဖြတ်သန်းပြီးနောက် အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသည်။

Air cooled condenser ပေါ်သို့ ဖြတ်သန်းသွားသော လေ၏ အလျင်(velocity)သည် 500 မှ 1000 fpm ကြားတွင် ရှိရမည်။ သို့သော် အပူစီးကူးမှုညံ့ဖျင်းသောကြောင့် capacity ကြီးမားသော plant များအတွက် air cooled condenser ကို အသုံးမပြုသင့်ချေ။ သို့သော် 100 Ton အထိ အသုံးပြုကြသည်။

၇.၅ Evaporative condenser

၇.၅.၁ Basic Operating Principles

Evaporative condenser များသည် package တစ်ခုအတွင်း heat transfer နှင့် mass transfer နှစ်မျိုး ပေါင်းထားသည့် condenser များ ဖြစ်ကြသည်။ ပုံ(၇-၈)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း compressor မှ ထွက်လာသည့် refrigerant များသည် tube bundle အပေါ်ဘက်အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သည်။ Tube bundle အပေါ်သို့ ရေများကို ပက်ဖြန်း ပေးသည်။ Tube အတွင်းရှိ refrigerant များသည် ရေကြောင့် အပူချိန်ကျဆင်းသွားပြီး အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားကာ tube bundle အောက်ဘက်သို့ စီးဆင်းလာသည်။ ထို့နောက် receiver vessel အတွင်းသို့ ရောက်သွားသည်။ ပက်ဖြန်းသည့်ရေများကို ပြန်စုပ်ယူရန် အောက်တွင် ကန်ငယ်(basin)တစ်ခု ပြုလုပ်ထားသည်။ ထိုကန်ထဲမှ ရေများကို ပန်ဖြင့် စုပ်ယူရန်၍ ပက်ဖြန်းပြန်သည်။

Tube bundle အပေါ်သို့ ရေများကို ပက်ဖြန်းနေစဉ် အပူစီးကူးမှု(heat transfer) ပိုကောင်းစေရန် လေများကို မှုတ်ထည့် နိုင်သည်။ သို့မဟုတ် စုပ်ထုတ်နိုင်သည်။ လည်ပတ်နေသည့် လေနှင့် ရေများသည် refrigerant မှ အပူများကို စုပ်ယူပြီး ရေငွေ့ အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရေငွေ့ပျံသွားသည်။

၇.၅.၂ Common Configurations of Condenser

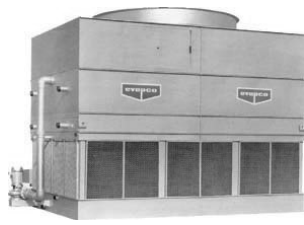
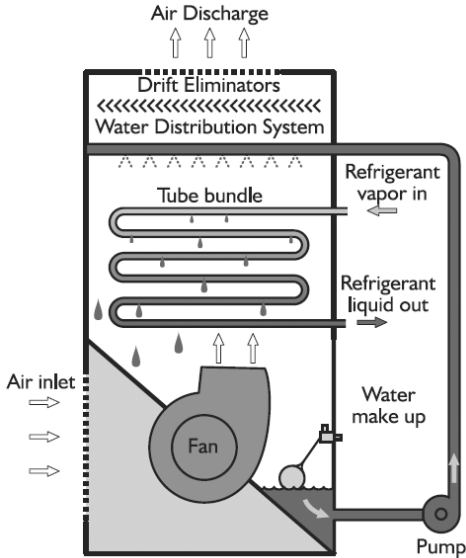
အများဆုံးအသုံးပြုသည့် evaporative condenser သုံးမျိုးမှာ

- (က) Forced-draft with axial fans
- (ခ) Induced-draft with axial fans နှင့်
- (ဂ) Forced-draft with centrifugal fans တို့ ဖြစ်သည်။

၇.၅.၃ Forced-Draft, Axial Fan Condensers

ပုံ ၇-၈(a)တွင် forced-draft axial fan condenser တစ်လုံးကို ဖော်ပြထားသည်။ Fan များသည် အစွန်ဘက် (end) သို့မဟုတ် ဘေးဘက် (side)တွင် တည်ရှိပြီး tube bundle ဆီသို့ လေများကို မှုတ်ထည့် ပေးသည်။

လေးထောင့် ပုံသဏ္ဍာန် ဖြစ်ပြီး fan (၆)လုံး အထိ ပါဝင်နိုင်သည်။ Fan များသည် ဘဲလ်ကြိုး ဖြင့် မောင်းသည့်(belt-driven) fan များ ဖြစ်ကြသည်။ Efficiency ကောင်းခြင်း နှင့် fan နှင့် မော်တာကို အလွယ်တကူ ကြည့်ရှု စစ်ဆေးနိုင်ခြင်း တို့သည် အားသာ ချက်များ ဖြစ်ကြသည်။



(a) Forced-draft, axial fan condenser



(b) Induced-draft, axial fan condenser

ပုံ ၇-၇ Evaporative condenser တစ်လုံး၏ ရိုးရှင်းသည့် diagram

၇.၅.၄ Induced Draft, Axial Fan Condensers

Forced draft axial fan unit နောက်တစ်မျိုးမှာ induced draft condenser ဖြစ်သည်။ Fan များကို အပေါ်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားပြီး အတွင်းဘက်မှ လေများကို စုပ်ယူသည်။ အတွင်းဘက်၌ လေဖိအား ကျဆင်းသောကြောင့် ဘေးဘက်အပေါက်မှ လေများ အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည်။ Fan (၄)လုံး အထိ ပါဝင်နိုင်သည်။ Fan များသည် ဘဲလ်ကြိုးဖြင့် မောင်းသည့် သေးငယ်သည့် fan များ ဖြစ်ကြသည်။ ကြီးမားသည့် fan များကို gear box ဖြင့် မောင်းသည်။ အသံဆူညံမှု နည်းသည်။

၇.၅.၅ Forced Draft, Centrifugal Fan Condensers

Forced draft centrifugal fan condenser များတွင် fan များသည် tube bundle ၏ အောက်ဘက်တွင် တည်ရှိသည်။ လေများကို အတွင်းဘက်သို့စုတ်ထုတ်သည်။ Fan (၈)လုံး အထိ ပါဝင်နိုင်သည်။ Fan များသည် ဘဲလ်ကြိုးဖြင့် မောင်းသည့်(belt-driven) fan များ ဖြစ်ကြသည်။ အသံဆူညံမှုနည်းသည်။ ဖိအားမြင့်သည့်(high-pressure) air flow ရရှိနိုင်သည်။ Efficiency အနည်းငယ် ညံ့သည်။ Evaporative cooling နည်းတွင် refrigeration system အတွင်းမှ အပူများကို စွန့်ထုတ်ရန်အတွက် cooled fluid သည် chiller ၏ shell and tube condenser အတွင်း၌ လည်ပတ်နေသည်။

၇.၆ Evaporative Cooling

Evaporative cooling ၏ effectiveness သည် ဝင်လာသည့်လေ(air entering)၏ wet bulb အပူချိန်၊ လေထုထည် စီးနှုန်း:(volume of airflow) နှင့် air/water တို့ ထိစပ်နေသည့်နေရာ အပေါ်တွင် မူတည်။

Evaporative condenser များ၏ အဓိက အချက်များ(characteristics)မှာ

- (၁) Circulating water လျော့ချနိုင်သည်။
- (၂) Water treatment system မရှိမဖြစ် လိုအပ်သည်။
- (၃) တပ်ဆင်ရမည့် နေရာအကျယ် လျော့ချနိုင်သည်။ (Reduced space requirement)

- (၄) အရွယ်အစား သေးငယ်ပြီး၊ တိုသည့် ပိုက်များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။
- (၅) သေးငယ်သည့် ပန်းများကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ (Small system pumps) နှင့်
- (၆) Capacity များသည့် စက်များ ရနိုင်ပြီး indoor configuration အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်သည်။

(က) တူညီသည့် capacity ရရှိရန်အတွက် cooling tower နှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုသည့် water cooled condenser များတွင် လိုအပ်သည့် circulating water ထက် ပိုနည်းသည့် ပမာဏသာ လိုအပ်သည်။

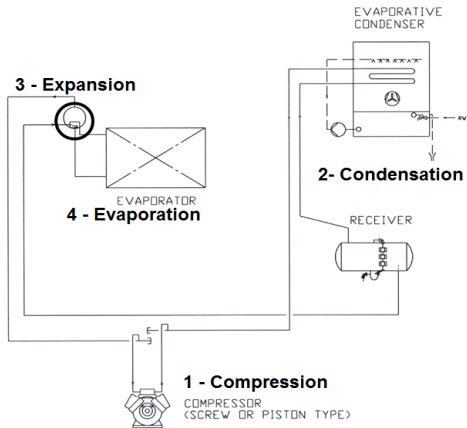
- (ခ) အရွယ်အစားသေးငယ်ပြီး၊ တိုသည့် ပိုက်များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။
- (ဂ) သေးငယ်သည့် ပန်းများကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ (Small system pumps)
- (ဃ) အဆောက်အဦအတွင်း တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ (Indoor locations are possible)
- (င) Water treatment လုပ်ရန် မရှိမဖြစ် လိုအပ်သည်။
- (စ) Capacity များသည့် စက်များ ရနိုင်သည်။

(ဆ) Cooling tower နှင့် တွဲ၍ သုံးသည့် shell and tube condenser များကို air cooled condenser များတွင် လိုအပ်သည့်နေရာ အကျယ်ထက် နည်းသည့် နေရာတွင် တပ်ဆင်နိုင်သည်။

Evaporative condenser များတွင် အသုံးပြုသည့် ရေပမာဏ အလွန်များသည်။ ရေငွေ့ပျံခြင်းကြောင့် ရေဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်နိုင်သလို၊ ရေထဲတွင် သတ္တုဓာတ်ပါဝင်မှုများလာသည့်အခါ ဖောက်ထုတ်ရန် လိုအပ်သည်။ Evaporative condenser များ၏ အလုပ်လုပ်ပုံသည် closed circuit fluid cooler များ၏ အလုပ်လုပ်ပုံနှင့် မတူညီကြပေ။

၇.၆.၁ Evaporative Condensers

Evaporative condenser များသည် water cooled chiller များ၏ အစိတ်အပိုင်းတစ်ခု ဖြစ်သည်။ ရေ(water)ကို ရေငွေ့ပျံ(evaporation)စေပြီး ဝင်လာ သည့် လေ(air stream)အတွင်းသို့ ရောက်သွားခြင်း ဖြင့် အပူချိန် ကျဆင်းသွားစေခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၇-၈ Evaporative condenser

Evaporative condenser များတွင် ရေကို refrigerant coil အပေါ်သို့ တိုက်ရိုက် ပက်ဖြန်း ပေးသည်။ Coil အတွင်းရှိ refrigerant vapor မှ အပူများကို ရေက စုပ်ယူ သွားသည်။ ထို့ကြောင့် refrigerant vapor များသည် အရည် အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ ရေငွေ့ပျံခြင်း၊ drift နှင့် blowdown တို့ကြောင့် ရေဆုံးရှုံးမှုများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

ဆောင်းရာသီတွင် ရေများပက်ဖြန်းခြင်း မပြုလုပ်ပဲ evaporative condenser မှ အပူများ စွန့် ထုတ်နိုင်သည်။ Evaporative condenser များတွင် air cooled နှင့် water cooled condenser နှစ်မျိုးစလုံးမှ အချက်များ ပေါင်းစပ် ပါဝင်သည်။

Evaporative cooling process ၏ effectiveness သည် ဝင်လာသည့်လေ၏ Wet Bulb temperature နှင့် လေထုထည်စီးနှုန်း အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Evaporative condenser သည် water cooled condenser နှင့် cooling tower ကို ပေါင်းစပ်တည်ဆောက်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ အအေးခံရာတွင် လေနှင့်ရေ နှစ်မျိုးစလုံးကို အသုံးပြု၍ အအေးခံသည့် တည်ဆောက်ပုံ ဖြစ်သည်။

Spray header များရှိပြီး ရေကို ပန်းဖြင့် မောင်း၍ condenser ပေါ်သို့ ဖြန်းချပေးသည်။ ထိုရေများသည် အောက်ခြေရှိ ကန်(tank)အတွင်းသို့ စုစည်း၍ ပြန်ကျသည်။ ပြင်ပလေကို blower သို့မဟုတ် ပန်ကာကို အသုံးပြု၍ condenser အောက်ခြေမှ အထက်သို့ ဖြတ်သန်းစေသည်။ Condenser အတွင်း၌ sensible heat နှင့် latent heat အပူဖလှယ်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။

Condenser ပိုက်အတွင်းရှိ refrigerant သည် လေနှင့် ရေတို့ တွေ့ထိ၍ အပူချိန်ကျသွားသည်။ ထိုအချိန်တွင် ရေတချို့တို့သည် အငွေ့ပျံ၍ လေထဲသို့ရောက်သွားသည်။ ရေတစ်ပေါင် အငွေ့ပျံသွားတိုင်း အပူ 1000 Btu ခန့် သယ်ဆောင်သွားသည်။ ရေအငွေ့ပျံ၍ ရေများဆုံးရှုံးမှု မဖြစ်ပေါ်စေရန် ထိပ်ပိုင်းတွင် drift eliminatorတပ်ဆင်ထားပြီး ရေငွေ့များကို အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲစေကာ ကန်(tank)အတွင်းသို့ ပြန်ကျစေသည်။ အကယ်၍ အငွေ့ပျံမှုများ၍ ရေများ လျော့နည်း ပါက ရေအစား ပြန်ဖြည့်ပေးရန် လိုသည်။

Condenser ၏ စွမ်းဆောင်ရည်သည် ဖြတ်သန်းသွားသော ရေနှင့်လေတို့၏ ပမာဏပေါ်တွင် များစွာ မူတည်သည်။ Capacity ကြီးမားသော plant များတွင် evaporative condenser များကို အများဆုံး အသုံးပြု ကြသည်။ Evaporative condenser များ၏ ရေဆုံးရှုံးမှုသည် refrigeration တစ်တန်(RT)အတွက် တစ်နာရီလျှင် ရေ (၃)ဂါလန်မှ (၄)ဂါလန်ခန့် ဖြစ်သည်။



ပုံ ၇-၉ Cooling tower အမျိုးမျိုး

၇.၆.၂ Cooling Towers

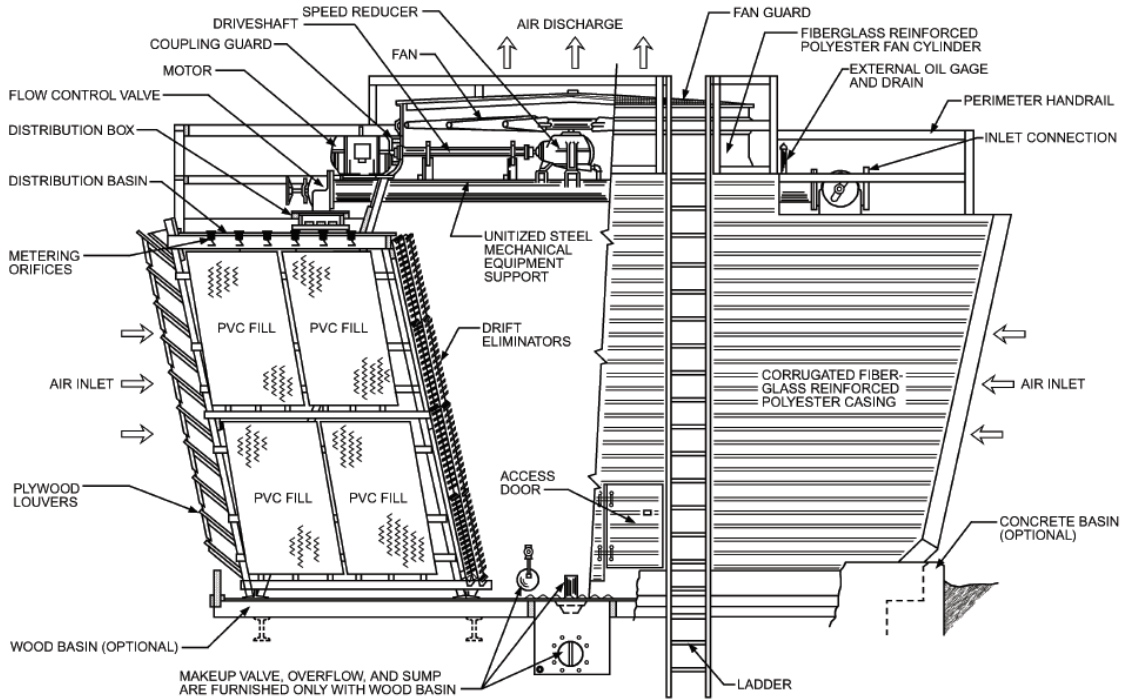
Cooling tower များကို evaporative condenser များဟု ဆိုနိုင်သည်။ ရေကို လေထဲသို့ ပက်ဖြန်းခြင်း သို့မဟုတ် စီးဆင်းစေခြင်းဖြင့် အပူကို စွန့်ထုတ်သည့် နည်းဖြစ်သည်။ Evaporative cooling ၏ effectiveness သည် လေထု၏ wet bulb အပူချိန်၊ လေစီးနှုန်း နှင့် cooling tower အရွယ်အစား အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Cooling tower များသည် ကြီးမားသည့် evaporative cooler များဖြစ်ကြသည်။ Condenser water သည် condenser နှင့် cooling tower အကြားတွင် လည်ပတ်နေသည်။ Cooling tower အတွက် အသုံးပြုရသည့် ရေပမာဏ အလွန်များသည်။ အောက်ပါ အဓိကအကြောင်း သုံးမျိုးကြောင့် condenser water ဆုံးရှုံးခြင်း(loss) ဖြစ်သည်။

- (၁) Condenser water များ ရေငွေ့ပျံသွားခြင်း(evaporation loss)
- (၂) ပန်ကာမှုတ်အား သို့မဟုတ် စုပ်အားကြောင့် ရေစက်များ cooling tower အပြင်ဘက်သို့ လွင့်စင် ထွက်သွားခြင်း (drift loss)နှင့်
- (၃) ရေများကို ဖောက်ချခြင်း၊ "Blow Down"လုပ်ခြင်း သို့မဟုတ် "Drain" လုပ်ခြင်းတို့ ဖြစ်သည်။ (blow down loss)

တချို့သော အရပ်ဒေသများ၏ ရေထဲ၌ သတ္တုဓာတ်များ ပါဝင်နေသဖြင့် condenser water အဖြစ် အသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ထို့အပြင် ရေရှားပါးမှု၊ ထိန်းသိမ်းမှုနှင့် ဈေးကြီးမှုတို့ကြောင့် ရေကို ပြန်လည်အသုံးပြုနိုင်သည့် water-cooling tower များကို အသုံးပြုကြသည်။

Cooling tower များသည် အသံ ဆူညံသဖြင့် ရုံး၊ ကျောင်း၊ စားသောက်ဆိုင်နှင့် လူနေအိမ်များမှ ဝေးသည့် နေရာများတွင် တပ်ဆင်ရမည်။ တည်ဆောက်ပုံများကို ပုံ(၇-၁၀)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Tower ၏ အောက်ပိုင်းကို ကန်တစ်ခုအဖြစ် တည်ဆောက်ထားသည်။ ရေထွက်ပေါက်ကို float valve ဖြင့် ထိန်းထားသည်။ Float valve သည် refrigerant low side float ကဲ့သို့ အလုပ်လုပ်သည်။ Cooling tower များကို သွပ်ရည် သုတ်လိမ်းထားသည့် သံ(galvanized iron)၊ ကြေး၊ stainless steel၊ ပလတ်စတစ် သို့မဟုတ် သစ်သားများဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။

Cooling tower များ အကြောင်းကို Air Conditioning and Mechanical Ventilation (Volume One) စာအုပ်တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၇-၁၀ Cooling tower တစ်ခုရှိ အစိတ်အပိုင်းများကို ဖော်ပြထားပုံ

၇.၆.၃ Water Cooling

Water cooled systemများအတွက် အရည်အသွေးကောင်းမွန်ပြီး ဈေးနှုန်းချိုသာသည့်ရေ ပေးများစွာ ရရှိရန် လိုအပ်သည်။ ရေကန်နှင့် မြစ်၊ချောင်း၊ အင်းအိုင်များမှ ရေများကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ သို့သော် water treatment လုပ်ရန်နှင့် filtration ကောင်းစွာ လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ မြူနီစပယ်ရေ ရရှိရန် မဖြစ်နိုင်သည့်အခါ cooling tower နှင့် closed circuit evaporative cooler များကို အသုံးပြုကြသည်။

၇.၆.၄ Capacity Control

Water flow ၊ air flow သို့မဟုတ် နှစ်မျိုးစလုံး၏ စီးနှုန်းကို လိုသလို ပြောင်းလဲ၍ capacity control လုပ်နိုင်သည်။

Fan and Pump Cycling

ရိုးရှင်းသည့် configuration ဖြစ်သည်။ Pressure switch ကို အသုံးပြု၍ pump များ နှင့် fan များကို မောင်းခြင်း၊ ရပ်တန့်ခြင်း ပြုလုပ်၍ capacity control လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Capacity အမျိုးမျိုး(different stages)ရရှိရန်အတွက် set point များကို အဆင့်ဆင့် သတ်မှတ်ထားသည်။

Air Flow Control

ယနေ့ခေတ်တွင် fan များ၏ မြန်နှုန်းကို control လုပ်ရန်အတွက် VSD များ တပ်ဆင်ထားသည်။ Fan များ၏ မြန်နှုန်းကို 0% မှ 100% အတွင်း လိုသလို ပြောင်းလဲနိုင်သည်။ Resonant frequencies မဖြစ်ပေါ်စေရန် ထုတ်လုပ်သူများနှင့် တိုင်ပင်သင့်သည်။ VSD များကို အသုံးမပြုခင် အချိန်က မြန်နှုန်း နှစ်မျိုးဖြင့် မောင်းနိုင်သည့် ဖော်တာ(two-speed motor)ကို အသုံးပြုကြသည်။

Water Flow Control

ရေစီးနှုန်းကို ပြောင်းလဲခြင်း(varying water flow) ဖြင့်လည်း condenser ၏ capacity ကို control လုပ်နိုင်သည်။ ကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်သည့်နည်း ဖြစ်သော်လည်း ရေစီးနှုန်းကို လျော့ချလိုက်ခြင်းကြောင့် tube အတွင်းမျက်နှာပြင်တွင် ကြေးညှို့များတက်နိုင်(fouling)သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် tube အတွင်းရှိ velocity နည်းလျှင် fouling ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

၇.၆.၅ Capacity Ratings

Full Load

Evaporative condenser များအားလုံး၏ capacity rating ကို သတ်မှတ်ထားသည့် အခြေအနေများ (nominal conditions)တွင် ဖော်ပြကြသည်။ Condensing temperature နှင့် ဝင်လာသည့်လေ၏ Wet Bulb temperature ကို အခြေခံသည်။ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် အခြေအနေ မဟုတ်သည့် အခါမျိုးတွင် correction factor ကို အသုံးပြုကြသည်။ ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturer) အားလုံးနှင့် မော်ဒယ် အမျိုးမျိုးအတွက် correction factor ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

Part Load

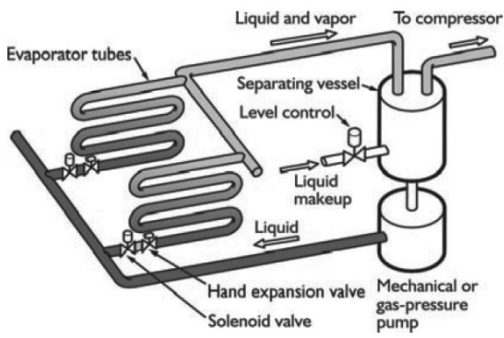
Condenser manufacturer များသည် part load performance data များကို ဖော်ပြလေ့မရှိပေ။ Air flow သို့မဟုတ် water flow လျော့နည်းသွားခြင်းကြောင့် ရရှိနိုင်မည့် condenser capacity ပမာဏကို ပုံသေနည်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။ Air flow လျော့နည်းခြင်း နှင့် capacity လျော့နည်းခြင်းတို့သည် တိုက်ရိုက် အချိုးကြာသည်။ လက်တွေ့အခြေအနေတွင် heat transfer ပိုကောင်းသောကြောင့် performance အနည်းငယ် ပိုကောင်းနိုင်သည်။

၇.၇ Methods of Refrigerant Feed

Refrigerant feed အမျိုးအစားကွဲပြားလျှင် အစဦးကုန်ကျစရိတ်(set-up cost) ၊ operational efficiency နှင့် အပူချိန်တည်ငြိမ်မှု(temperature stability) စသည်တို့ ကွဲပြားသည်။

Refrigerant feed လုပ်နိုင်သည့်နည်းလမ်းများမှာ

- (၁) Gravity feed operation သို့မဟုတ် surge drum operation
- (၂) Pump recirculation operation (flooded operation) နှင့်
- (၃) Dry expansion operation (cheapest solution) တို့ ဖြစ်သည်။



Evaporator အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သည့် refrigerant liquid များ၏စီးနှုန်း သို့မဟုတ် evaporator အတွင်းရှိ refrigerant ၏ ဖိအားဖြင့် capacity control လုပ်သည်။ Evaporator အတွင်းသို့ refrigerant များကို ပို့ပေးသည့် အဓိကနည်း သုံးမျိုး ရှိသည်။

- (၁) Recirculated သို့မဟုတ် overfeed
- (၂) Flooded နှင့်
- (၃) Direct expansion(DX) တို့ ဖြစ်သည်။

ပုံ ၇-၁၁ Recirculated (overfeed) refrigerant transport

Refrigerant feed နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အဓိကအချက်များမှာ

- (၁) ရိုးရှင်းခြင်း (simple)
- (၂) သေးငယ်ခြင်း (smaller systems)
- (၃) Thermostatic valve များကို အသုံးပြုထားခြင်း
- (၄) Feron ကို အသုံးပြုသည့် system များတွင် အများဆုံးအသုံးပြုကြခြင်း
- (၅) အပူချိန် မတည်ငြိမ်ခြင်း (unstable temperature)
- (၆) Compressor အတွင်းသို့ refrigerant အရည်များ ရောက်ရှိခြင်း (risk of liquid carry over)

၇.၇.၁ Gravity Feed Operation

Gravity feed operation သို့မဟုတ် surge drum operation ၏ အဓိကအချက်များမှာ

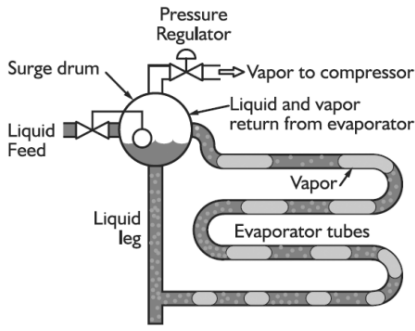
- (၁) Surge drum နှင့် low pressure float valve များကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

- (၂) အပူချိန် အတော်အသင့် တည်ငြိမ်သည်။ (Relatively stable temperature)
- (၃) ချောဆီများကို ပုံမှန်ဖောက်ချပေးရန် လိုအပ်သည်။ (Requires routine oil draining)

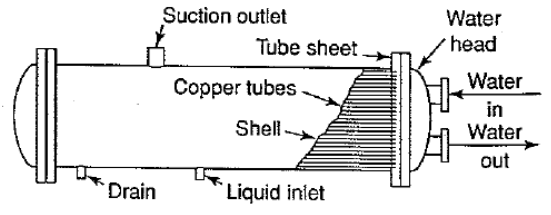
၇.၇.၂ Recirculated သို့မဟုတ် Overfeed

Recirculated သို့မဟုတ် overfeed system တွင် liquid refrigerant များကို low pressure receiver (LPR)ဟု ခေါ်သည့် vessel အတွင်း၌ သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားသည်။ Low pressure receiver မှ refrigerant များကို mechanical pump သို့မဟုတ် gas-pressure system ဖြင့် evaporator coil ဆီသို့ တွန်းပို့သည်။ ပုံ(၇-၁၁)တွင် recirculated (overfeed)နည်း အလုပ်လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Refrigerant များ ဆူပွက်(boil)နိုင်သည့် ပမာဏထက်(၃)ဆ သို့မဟုတ် (၄)ဆခန့် ပိုများအောင် ထည့်ပေးခြင်းကြောင့် "over feed" ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

Coil မှ ပြန်လာသည့် refrigerant အလေးချိန်(weight)၏ လေးပုံ သုံးပုံသည် အရည်အခြေအနေ ဖြစ်ပြီး ကျန်လေးပုံ တစ်ပုံသည် အငွေ့အနေဖြင့် LPR အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သည်။ အငွေ့များသည် ပေါ့ပါးသောကြောင့် အပေါ်ဘက်သို့ မြင့်တက်လာပြီး compressor ၏ စုပ်ယူခြင်း ခံရသည်။ Recirculated system တွင် evaporator coil ၏ capacity ကို solenoid valve ဖြင့် control လုပ်သည်။ Solenoid valve ကို ပိတ်ခြင်း၊ ဖွင့်ခြင်းဖြင့် refrigerant စီးဆင်းနှုန်းကို control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

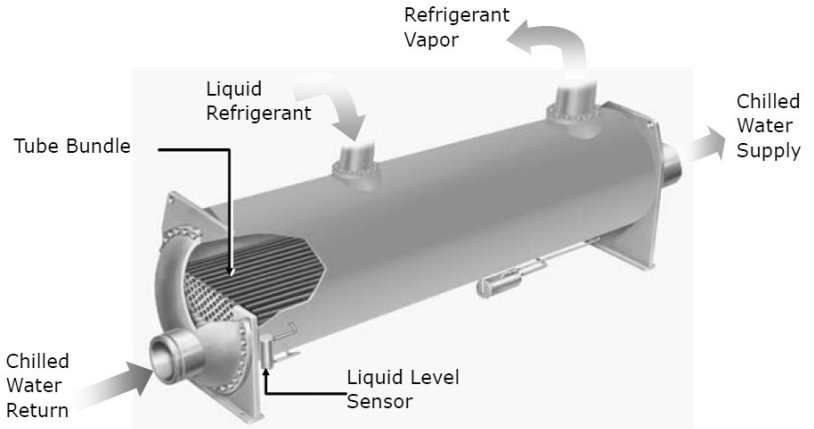


ပုံ ၇-၁၂(က) Flooded evaporator



Refrigerant flow through Shell with liquid storage. Used for cooling water only

ပုံ ၇-၁၂(ခ) Flooded evaporator

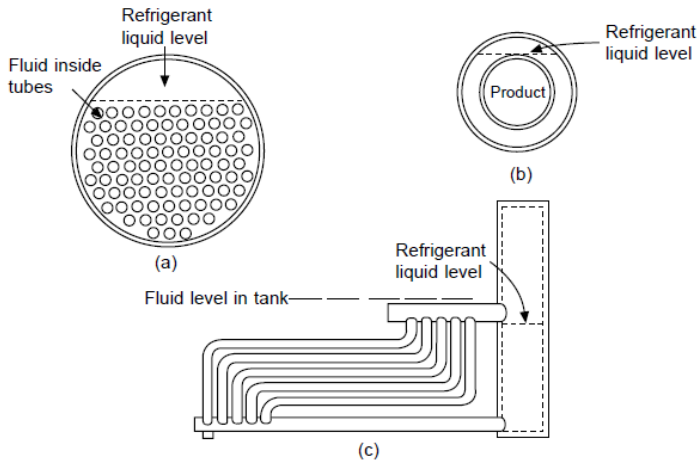


ပုံ ၇-၁၃ Flooded evaporator cut-away

၇.၇.၃ Flooded Evaporator

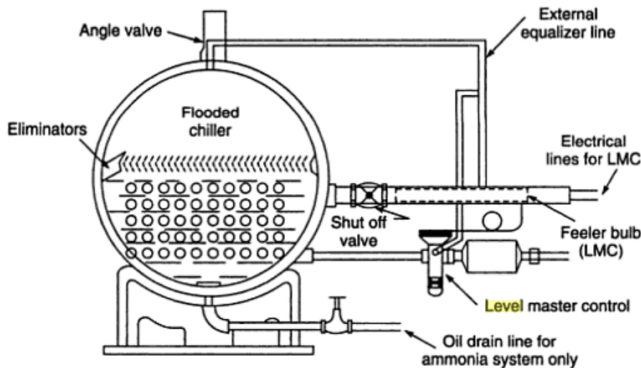
Flooded system တွင် ဖိအားနှင့် အပူချိန်နိမ့်သည့် refrigerant အရည်များကို accumulator ဟု ခေါ်သည့် vessel တွင်း၌ သိမ်းဆည်းထားသည်။ Accumulator သည် evaporator coil ၏ အပေါ်ဘက်တွင် တည်ရှိသောကြောင့် refrigerant များသည် ကမ္ဘာမြေဆွဲအား(gravity)ကြောင့် evaporator coil အတွင်းသို့ စီးဝင်သည်။ Evaporator အတွင်း၌ refrigerant များဆူပွက်သည့်အခါ vapor bubble များသည် coil မှ တစ်ဆင့် accumulator ဆီသို့ မြင့်တက်လာသောကြောင့် compressor အတွင်းသို့ vapor များသာ ရောက်ရှိနိုင်သည်။

Flooded system တွင် pressure regulator သည် accumulator နေရာတွင် ရှိရမည်။ Accumulator အတွင်းရှိ refrigerant ဖိအား ပြောင်းလဲနေသည်။ Compressor ၏ suction လိုင်းမှ ပြန်လာသည့် gas ပမာဏ ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် refrigerant ဖိအားပြောင်းလဲသည်။ Refrigerant ဖိအားပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် refrigerant အပူချိန် (temperature) ပြောင်းလဲသည်။

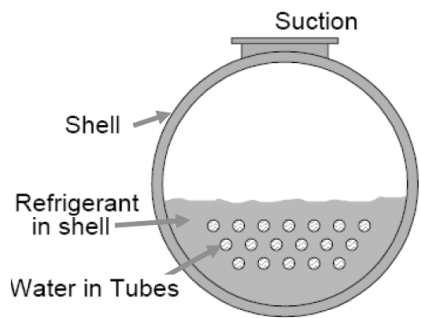


ပုံ ၇-၁၄ Flooded evaporator (a) Shell-and-tube. (b) Jacketted. (c) Raceway.

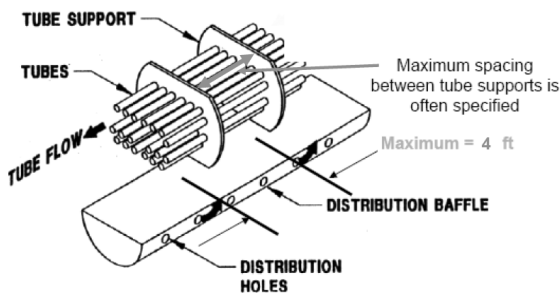
Regulator အကျယ်ဆုံး အနေအထား ပွင့်နေချိန်တွင် compressor ၌ အနိမ့်ဆုံး suction pressure ဖြစ်ပေါ်ပြီး refrigerant အပူချိန်သည် အနိမ့်ဆုံး ဖြစ်သောကြောင့် capacity အများဆုံး ရရှိနိုင်သည်။
 Regulator ပိတ်နေချိန်တွင် coil အတွင်း၌ ဖိအားမြင့်တက်လာပြီး လိုက်ဖက်သည့် အပူချိန် (corresponding temperature)လည်း မြင့်တက်လာသည်။ ထို့ကြောင့် refrigerant နှင့် coolant အကြား အပူချိန်ကွာခြားချက် (temperature difference) နည်းသွားသည်။



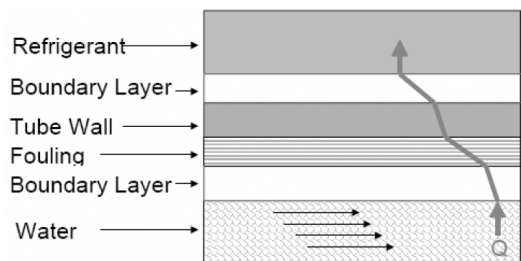
ပုံ ၇-၁၅(က) Level master control for flooded chiller



ပုံ ၇-၁၅(ခ) Flooded shell and tube evaporator

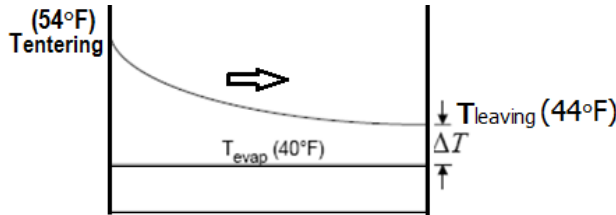


ပုံ ၇-၁၆(က) Flooded evaporator construction detail



ပုံ ၇-၁၆(ခ) Heat transfer on tube wall

Flooded evaporator ၏ effectiveness ကို chiller မှ ထွက်သွားသည့် ရေအပူချိန် (leaving water temperature) နှင့် refrigerant အပူချိန် (temperature) တို့၏ ခြားနားချက် (difference) ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ ထို ခြားနားချက် (temperature difference) ကို "small temperature difference" သို့မဟုတ် "approach temperature" ဟူ၍ ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ ပုံ (၇-၁၇) တွင် flood evaporator တစ်လုံး၏ small temperature difference သို့မဟုတ် approach temperature သည် 4°F ဖြစ်ပုံ ဥပမာအဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။ (44°F - 40°F = 4°F)



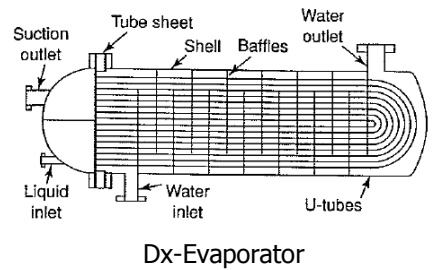
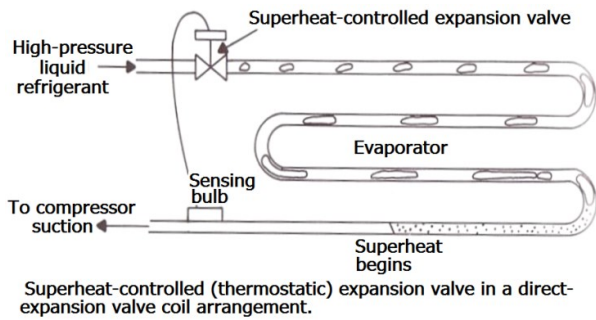
ပုံ ၇-၁၇ Flood evaporator တစ်လုံး၏ small temperature difference သို့မဟုတ် approach temperature

ယေဘုယျအားဖြင့် ခံနိုင်သည့်ဖိအားကို အခြေခံ၍ evaporator အဖြစ်သုံးသည့် pressure vessel နှစ်မျိုးရှိသည်။

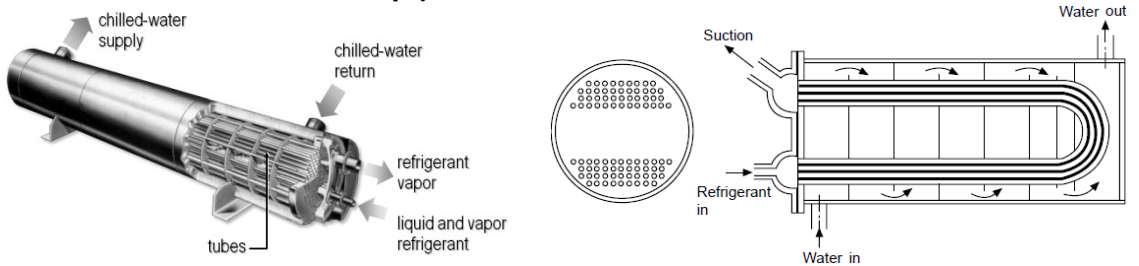
Class	Certifying Agent	Design Pressure	Refrigerant
High Pressure	ASME	> 15 psig	R-12, 22, 134a, 407C, 410A, 717 (ammonia)
Low Pressure	Manufacturer	< 15 psig	Water, R-11, 123

၇.၇.၄ Direct Expansion (DX)

Direct expansion (DX) system တွင် high pressure receiver မှ ဖိအားမြှင့်သည့် refrigerant အရည်များကို evaporator coil ဆီသို့ ပိုက်များဖြင့် ပို့ပေးသည်။ အလိုရှိသည့် superheat temperature ရရှိရန် အတွက် evaporator coil မှ ထွက်သွားမည့် refrigerant flow ကို thermal expansion valve ဖြင့် ထိန်းချုပ်သည်။



ပုံ ၇-၁၈ Dry expansion operation



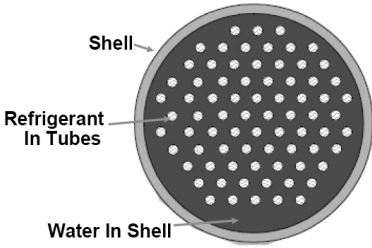
ပုံ ၇-၁၉ Direct-expansion evaporator cut-away (shell-and-tube evaporator)

Direct expansion evaporator အတွင်း၌ refrigerant အရည်များအားလုံး အငွေ့ပျံ (evaporate) သွားအောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည်။ ကောင်းစွာအလုပ်လုပ်နေသည့် DX coil အတွင်း၌ refrigerant 70% ခန့် အငွေ့ပျံ (evaporate) သွားလိမ့်မည်။ ကျန် ၃၀% သည် superheated temperature အပိုင်းတွင် အငွေ့ပျံသည်။ ထို့ကြောင့်

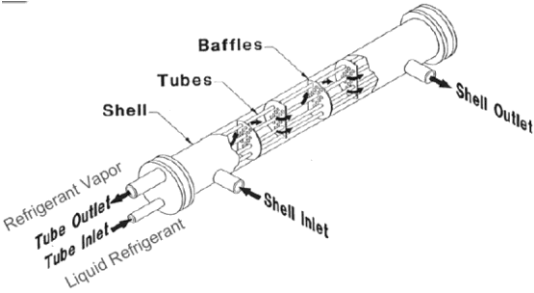
DX coil များသည် liquid overfeed နှင့် flooded coil များနှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် fan power သုံးစွဲမှု ပိုများသည်။ DX coil များတွင် refrigerant flow control လုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။ Refrigerant စီးနှုန်း(flow) များခြင်းကြောင့် suction line အတွင်းသို့ refrigerant အရည်များ ဝင်ရောက်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Compressor အတွင်းသို့ refrigerant အရည်များ ဝင်ရောက်လာခြင်းကြောင့် ပြဿနာများစွာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Refrigerant စီးနှုန်း (flow) နည်းခြင်းကြောင့် refrigeration capacity လျော့နည်းနိုင်ပြီး evaporator efficiency ကျဆင်းနိုင်သည်။

ပုံ(၇-၁၉) တွင် ဖော်ပြထားသည့် direct-expansion (DX) shell-and-tube evaporator တွင် shell အတွင်း၌ warmer water ဖြင့် ပြည့်နေစေပြီး ဖိအားနှင့် အပူချိန်နည်းသည့် refrigerant အရည်များသည် tube များ အတွင်း၌ ဖြတ်သန်းစီးဆင်းသည်။

Approach temperature သည် refrigerant အပူချိန်နှင့် chilled water အပူချိန်တို့ ကွာခြားချက် (temperature difference)ဖြစ်သည်။ Evaporator ၏ heat transfer efficiency ကောင်း၊ မကောင်းကို သိနိုင်ရန် အတွက် approach temperature ဖြင့် စစ်ဆေးနိုင်သည်။

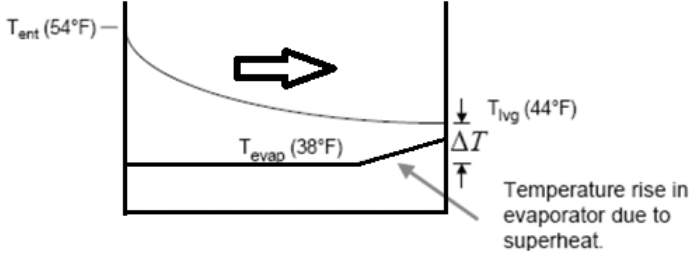


ပုံ ၇-၂၀ DX Evaporator tube detail



ပုံ ၇-၂၁ DX Evaporator

DX evaporator များ၏ small temperature difference သို့မဟုတ် approach temperature သည် flooded evaporator များထက် ပိုများလေ့ရှိသည်။ DX evaporator များတွင် leaving water အပူချိန်သည် saturated evaporator temperature အနီးသို့ မရောက်နိုင်ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် heat exchanger၏ နေရာတချို့သည် superheating ဖြစ်နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Flooded evaporator များနှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် အပူချိန် အနည်းငယ် ပိုမြင့်မားသည်။



ပုံ ၇-၂၂ DX evaporator တစ်လုံး၏ small temperature difference သို့မဟုတ် approach temperature

၇.၈ Evaporator

Evaporator အတွင်းသို့ refrigerant များသည် အရည်အသွင်းဖြင့် ဝင်ရောက်သွားပြီး အပူများကို စုပ်ယူကာ ဆူပွက်ခြင်း(boiling) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Refrigerant သည် chilled water မှ အပူများကို စုပ်ယူလိုက်သောကြောင့် အရည်အဖြစ်မှ အငွေ့ အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ Evaporator အတွင်း၌ refrigerant များသည် အငွေ့နှင့် အရည် အသွင်းသဏ္ဍာန် နှစ်မျိုးဖြင့် ရှိနေနိုင်သည်။

အပူချိန်မြင့်သည့် chilled water များသည် ကြေးပိုက်(copper tube) အတွင်း၌ အပူဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ် သောကြောင့် evaporator အတွက်တွင် အပူချိန် ကျဆင်းသွားသည်။

Water chiller များ၏ evaporator သည် shell-and-tube အမျိုးအစား ဖြစ်ပြီး refrigerant-to-water heat exchanger ဖြစ်သည်။ Chiller ဒီဇိုင်းပေါ်တွင် မူတည်၍ tube များ အတွင်း၌ refrigerant သို့မဟုတ် chilled water ရှိနေသည်။

Evaporator အတွင်း၌ ဆူပွက်ခြင်း(boiling) ဖြစ်နိုင်သည့် အပူချိန်သည် refrigerant ဖိအားပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Chilled water leaving temperature နိမ့်နိမ့် ရရှိရန် refrigerant boiling temperature နိမ့်ရန် လိုအပ်သည်။ Refrigerant boiling temperature နိမ့်ရန် အတွက် လိုက်ဖက်သည့်ဖိအား(corresponding pressure) မြင့်ရန် လိုအပ်သည်။

Air conditioning လုပ်ငန်းများအတွက် expansion (DX) evaporator နှင့် flooded evaporator ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ Dry expansion အမျိုးအစားတွင် refrigerant သည် tube များအတွင်း၌ စီးဆင်းနေပြီး evaporator အတွင်း၌ refrigerant အရည်များ စုဝေးနေခြင်း မရှိပေ။ Flooded evaporator တွင် refrigerant သည် shell အတွင်း၌ စီးဆင်းနေပြီး evaporator အတွင်း၌ refrigerant အရည်များ စုဝေးနေအောင် ပြုလုပ်ထားသည်။

Dry expansion (DX) evaporator များတွင် DX cooling coil နှင့် DX chiller ဟူ၍ နှစ်မျိုး နှစ်စားရှိသည်။ လေကိုအေးအောင်ပြုလုပ်ရန်အတွက် cooling coil များကို အသုံးပြုသည်။ Cooling water သို့မဟုတ် တခြားသော coolant တစ်မျိုးမျိုးကို အေးအောင်ပြုလုပ်ရန်အတွက် chiller များကို အသုံးပြုသည်။ Evaporator တစ်ခုတွင် ပါဝင်သော အစိတ်အပိုင်းများမှာ

- (၁) Shell
- (၂) Distribution plate
- (၃) Tubes
- (၄) Tube support
- (၅) Water boxes နှင့်
- (၆) End sheets တို့ ဖြစ်သည်။

Evaporator များကို rolled carbon steel plate များဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။

Evaporator များ၏ အရွယ်အစားသည် chiller capacity နှင့် design efficiency အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Chiller capacity များများရရန် evaporator အရွယ်အစား ကြီးကြီး လိုအပ်သည်။ ဒီဇိုင်း efficiency ကောင်းရန် evaporator အရွယ်အစား ကြီးကြီး လိုအပ်သည်။

၇.၈.၁ Evaporator အမျိုးအစားများ

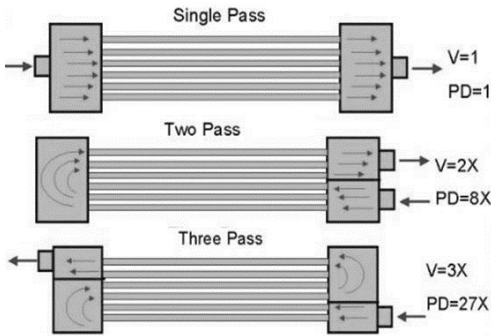
- (၁) Air Coolers
- (၂) Shell & Tube Coolers
- (၃) Plate Heat Exchangers
- (၄) Chilling Plates
- (၅) Evaporator Coils
- (၆) Freezing Drums
- (၇) Contact Freezing Plates
- (၈) Many others.....

Single Pass Arrangement

Single pass arrangement တွင် chilled water များသည် evaporator တစ်ဘက်မှ ဝင်ရောက်သွားပြီး တခြားတစ်ဘက်မှ ထွက်သွားသည်။ Baffle သို့မဟုတ် partition မပါရှိပေ။

Two Pass Arrangement

Two pass arrangement များတွင် နော်ဇယ်(nozzle)များ အားလုံးသည် evaporator ၏ ထိပ်တစ်ဘက် တွင် တည်ရှိသည်။ Pass baffle သည် tube bundle ကို နှစ်ပိုင်း ဖြစ်အောင် ခွဲခြားထားသည်။ Chilled water များသည် evaporator အတွင်းရှိ tube အရေအတွက် တစ်ဝက် အတွင်းသို့သာ စီးဝင်သည်။



ပုံ ၇-၂၃ Pass arrangement သုံးမျိုးရှိနိုင်သည်။

Three Pass Arrangement

Three pass arrangement များတွင် အဝင်နှင့် အထွက် nozzle များသည် evaporator ၏ တစ်ဘက်စီတွင် တည်ရှိသည်။ Pass baffle သည် tube bundle ကို သုံးပိုင်း ဖြစ်အောင် ခွဲခြားထားသည်။ Chilled water များသည် evaporator အတွင်းရှိ tube အရေအတွက် သုံးပုံ တစ်ပုံ အတွင်းသို့သာ စီးဝင်သည်။

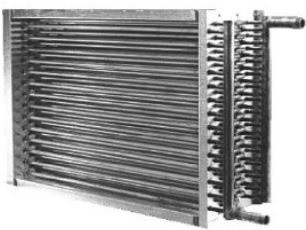
Evaporator အဝင်နှင့် အထွက် နော်ဇယ်(nozzle)များ အကြားတွင် တည်ရှိသည့် box ကို "water box"ဟု ခေါ်သည်။ ပုံ(၇-၃၈)တွင် Marine Waterbox (MWB) ပိုကို ဖော်ပြထားသည်။ ရေယိုစိမ့်ခြင်း(leakage)မဖြစ်စေရန် water box နှင့် evaporator ၏ shell အကြားတွင် rubber gasket ထည့်ထားရန် လိုအပ်သည်။

ကြေးပိုက်(copper tube)အတွင်း၌ chilled water velocity များလျှင် turbulence flow ဖြစ်ပေါ် သောကြောင့် အပူစီးကူးမှု(heat transfer) ပိုကောင်းသည်။ သို့သော် velocity များသောကြောင့် ဖိအား ကျဆင်းမှု(pressure drop) ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် chilled water pump စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု ပိုများသည်။ တိုက်စားမှု(erosion) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Velocity နည်းလျှင် laminar flow ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် အပူစီးကူးမှု (heat transfer) ညံ့ဖျင်းပြီး ကြေးညှိတက်ခြင်း(fouling) လျင်မြန်စွာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

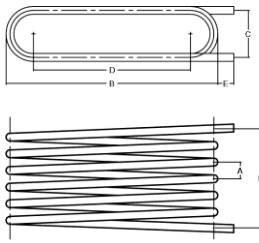
Evaporator တည်ဆောက်ပုံ

ထုတ်လုပ်သူများက evaporator များကို ပုံစံ၊ ပုံသဏ္ဍာန်၊ အရွယ်အစား နှင့် ဒီဇိုင်းအမျိုးမျိုး ထုတ်လုပ်ကြသည်။ ထို့ပြင် တည်ဆောက်မှုပုံစံများ၊ အလုပ်လုပ်ပုံ၊ ရေ သို့မဟုတ် လေလှည့်ပတ်ပုံ၊ refrigerant control စနစ်၊ အရည် ဖိအားပေးပုံနှင့် အသုံးပြုသော လုပ်ငန်းများ အပေါ်မူတည်၍ အမျိုးမျိုး တည်ဆောက်ထားကြသည်။

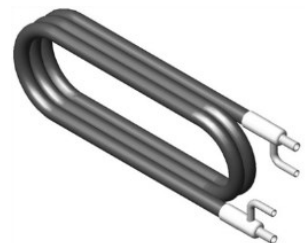
Evaporator တည်ဆောက်ပုံ သုံးမျိုးရှိသည်။ (၁) bare tube (၂) plate surface နှင့် (၃) finned ဟူ၍ ဖြစ်သည်။



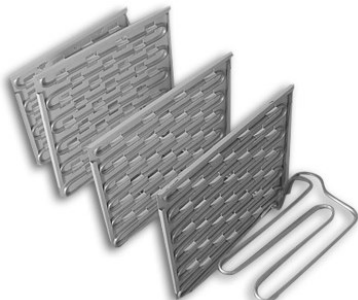
ပုံ ၇-၂၄ (က) Bare-tube coils.



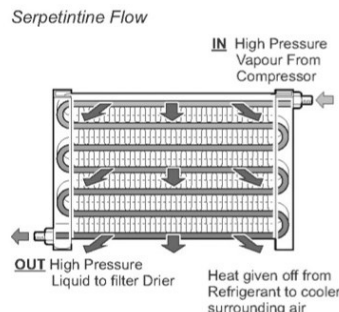
(ခ) Flat zigzag coil



(ဂ) Oval trombone coil.



ပုံ ၇-၂၅ Plate type evaporator.



ပုံ ၇-၂၆ Standard serpentine plate evaporator.

သုံးစွဲသူ တစ်ဦးချင်းစီ၏ လိုအပ်ချက်အပေါ် မူတည်၍ bare tube coil များကို အရွယ် အစားမျိုးစုံ၊ ပုံသဏ္ဍာန် မျိုးစုံနှင့် ဒီဇိုင်းမျိုးစုံ တည်ဆောက်ကြသည်။ အများဆုံး အသုံးပြုသော ပုံသဏ္ဍာန်သည် flat zigzag ပုံသဏ္ဍာန် နှင့် oval trombone ပုံသဏ္ဍာန် တို့ဖြစ်သည်။ ပုံ(၇-၂၄-ဂ)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ ခွေထားသော bare tube coil များသည် liquid chilling အတွက် ဖြစ်သည်။

မျက်နှာကြက်တွင် ချိတ်ဆွဲ၍ တပ်ဆင်ထားနိုင်သည့်(ceiling-hurg) ကြီးမားသော bare coil များကို ရေခဲခန်းများ နှင့် storage cooler အခန်းများတွင် အသုံးပြုသည်။ ရေခဲလုပ်ငန်း တချို့တွင် centrifugal blower ကို အသုံးပြုကြသည်။

Evaporator တွင် လေအေးဖြင့် အပူ ဖလှယ်သည့်နည်း သုံးနည်းမှာ (၁) dry expansion type (၂) forced through type နှင့် (၃) pump circulation type တို့ ဖြစ်ကြသည်။

၇.၈.၂ Dry Expansion Type

ပိုက်များကို အပြိုင်ထားရှိပြီး ပိုက်များအချင်းချင်း ဗွီပုံသဏ္ဍာန်(V-shape bend) များနှင့် ဆောက်ထား၍ coil တစ်ခု ကဲ့သို့ ဖြစ်စေသည်။ Coil ကို ဒေါင်လိုက် အသုံးပြုပါက refrigerant အရည်များကို coil အောက်ဘက်မှ ဝင်ရောက် စေသည်။ Capacity လိုအပ်ချက်အရ expansion valve သည် refrigerant အရည်၏ ပမာဏကို evaporator အတွင်း၌ ထိန်းထားပေးသဖြင့် coil အပေါ်ပိုင်းတွင် အငွေ့အဖြစ်သာ ရှိနေလိမ့်မည်။

တည်ဆောက်ပုံ ရှင်းလင်းပြီး ကုန်ကျစရိတ် သက်သာသည်။ အပူစီးကူးမှုအတွက် လေကိုသာ အသုံးပြုသဖြင့် အပူစီးကူးမှုကောင်းမွန်စေရန် ပိုက်အရွယ်အစား(diameter) ကြီးခြင်း၊ ရှည်ခြင်းနှင့် fin များ တပ်ဆင်ခြင်းတို့ ပြုလုပ် ရသည်။ ဧရိယာကျယ်သောကြောင့် လေထဲမှ ရေခိုးရေငွေ့များ အလွယ်တကူ ထိတွေ့နိုင်ပြီး ရေခဲခြင်း ဖြစ်နိုင်သဖြင့် ရေခဲများကို ဖယ်ရှားရန် defrosting system လိုအပ်သည်။

၇.၈.၃ Forced Through Type Evaporators

တည်ဆောက်ပုံမှာ dry expansion အတိုင်း ဖြစ်သည်။ သို့သော် fan အသုံးပြု၍ လေကို evaporator မျက်နှာပြင်ပေါ် ဖြတ်သန်းပြီး cool room ထဲရှိ ပစ္စည်းများ မှ အပူကို စုပ်ယူသည်။

ပန်ကာအသုံးပြုထားသောကြောင့် အပူဖလှယ်နှုန်း ပိုကောင်းသဖြင့် ဧရိယာကျယ်ကျယ် မလိုအပ်ပေ။ Evaporator ကို အနိမ့်အမြင့် မရွေး ကြိုက်သည့်နေရာတွင် တပ်ဆင်နိုင်သည်။ Refrigeration plant ရပ်ထားချိန်တွင် ပန်ကာကို ဆက်လက်ဖွင့်ထားခြင်းဖြင့် defrosting effect ကို ရရှိစေသဖြင့် သီးခြား defrosting system မလိုအပ်ပေ။

၇.၈.၄ Pump Circulation Type Evaporators

Capacity ကြီးမားသော စနစ်များတွင် ရှည်လျားသည့် evaporator ပိုက်များကို အသုံးပြုလေ့ရှိသောကြောင့် refrigerant ကောင်းစွာလည်ပတ်နိုင်စေရန် ပန်ဖြင့် တွန်းပေးရသည်။ Evaporator အတွင်း အရည်အဖြစ် အမြဲရှိနေသဖြင့် အပူစီးကူးနှုန်း ပိုမြင့်မားစေသည်။ ထို့ပြင် refrigerant အတွင်း ရောနှောပါလာသည့် ချောဆီ များကို အလွယ်တကူ ခွဲထုတ်ပစ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် cold room နှင့် refrigerant plant တို့မှ ဝေးကွာသည့် နေရာများတွင် တပ်ဆင်အသုံးပြုကြသည်။

၇.၉ Evaporator Fan Liquid Cooling

သောက်ရေသန့်များ၊ အချိုရည်များ၊ ဘီယာများ၊ အဖျော်ယမကာများနှင့် ဆားရည်များကို အအေးခံခြင်း တို့သည် refrigeration လုပ်ငန်းဖြစ်သည်။ Evaporator ကို အသုံးပြုသည့် အရည်အအေးပေးစနစ် သုံးမျိုးမှာ (၁) bottle liquids ၊ (၂) liquid under atmospheric pressure နှင့် (၃) liquids under pressure တို့ဖြစ်ကြသည်။ Liquid cooled ပါရှိသည့် evaporator ကို 'immersed' evaporator ဟုခေါ်သည်။

အအေးခံသော လုပ်ငန်းအမျိုးအစားကို လိုက်၍ flooded shell and tube liquid cooler နှင့် dry expansion shell and tube cooler ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ Flooded shell and tube cooler ၏ တည်ဆောက်ပုံမှာ

shell and tube condenser တည်ဆောက်ပုံကဲ့သို့ ဖြစ်သည်။ အအေးခံလိုသော အရည်(coolant)ကို tube များ အတွင်းသို့ ပန်ကို အသုံးပြု၍ ဖြတ်သန်း စေသည်။ အရည်၏အလျင် ပိုမြန်ပြီး အပူစီးကူးနှုန်း ပိုကောင်းသည်။

shell အတွင်း၌ မှန်ကန်သည့် refrigerant အရည် ပမာဏ(level) ရှိနေစေရန် expansion valve မှတစ်ဆင့် control လုပ်ပေးသည်။ အပူစီးနှုန်း မြန်စွာရရှိနိုင်သည်။ Refrigerant အရည်များသည် အအေးခံ လိုသောအရည် (coolant)နှင့် အမြဲထိတွေ့ နေသောကြောင့် အလွယ်တကူ အပူဖလှယ်နိုင်သည်။ သို့သော် အပူဖလှယ်နှုန်း မြန်ဆန် သဖြင့် အအေးခံလိုသော အရည်(coolant)သည် tube များအတွင်း အေးခဲပိတ်ဆို့ပြီး ပျက်စီးနိုင်သည်။ ထို့အပြင် refrigerant အငွေ့များသည် တစ်ဝက်တစ်ပျက်သာ အငွေ့ယုံသော အခြေအနေမျိုး ဖြစ်ပေါ်နိုင်သဖြင့် tolerance ထားပေးရန် လိုအပ်ခြင်းကြောင့် operating efficiency ကျဆင်းစေနိုင်သည်။ ထို့အပြင် refrigerant နှင့် ရောနှော ပါလာသည့် ချောဆီများအတွက် oil rectifier တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

Dry expansion shell and tube cooler အမျိုးအစား၏ တည်ဆောက်ပုံမှာ tube များအတွင်း refrigerant အရည်များ ဖြတ်သန်းစေပြီး အအေးခံလိုသော အရည်ကို shell အတွင်းမှ ဖြတ်သန်းစေပြီး အပူဖလှယ်စေသည်။ Refrigerant အရည်များသည် တစ်ဘက်(end cover)မှ evaporator အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ပြီး ကျန်တစ်ဖက်မှ ခြောက်သွေ့သော အငွေ့အဖြစ်ထွက် compressor အတွင်းသို့ ဝင်သွားသည်။ Flooded type ထက် အပူစီးနှုန်း ညံ့သည်။ သို့သော် compressor အတွင်းသို့ ခြောက်သွေ့သည့် အငွေ့များသာ ရောက်ရှိစေခြင်း၊ ချောဆီ မပါဝင်ခြင်း၊ tube များအတွင်း အေးခဲ ပိတ်ဆို့မှု မဖြစ်ပေါ်နိုင်ခြင်း စသည့် အားသာချက်များကြောင့် အလွန်အသုံးများသည်။

၇.၁၀ Types of Refrigeration Evaporators

- (၁) Air coolers
- (၂) Shell & tube coolers
- (၃) Plate heat exchangers
- (၄) Chilling plates
- (၅) Evaporator coils
- (၆) Freezing drums နှင့်
- (၇) Contact freezing plates တို့ဖြစ်သည်။

အမျိုးမျိုးသော refrigeration လုပ်ငန်းများအတွက် အမျိုးမျိုးသော evaporator များကို အသုံးပြုကြသည်။ Evaporator များကို တည်ဆောက်ပုံ(construction)၊ refrigerant ဝင်ရောက်ပုံ(method of feeding) နှင့် evaporator တွင် လေလည်ပတ်ပုံ(direction of circulation of the air) တို့ကို မူတည်၍ အမျိုးအစား ခွဲခြား (classified) ထားသည်။



ပုံ ၇-၂၇ Air cooler



Shell & tube evaporator



Rotary freezer

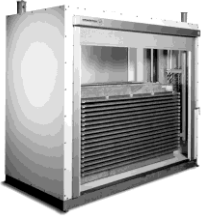


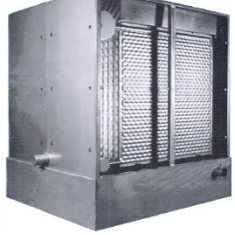
Plate freezer



Evaporator coil



Flake ice unit



Welded plate evaporator

၇.၁၀.၁ Evaporator များ တည်ဆောက်ထားပုံကို အခြေခံ၍ အမျိုးအစားခွဲခြားခြင်း

Refrigeration နှင့် air conditioning လုပ်ငန်းများတွင် တည်ဆောက်ပုံ(construction)ကို အခြေခံ၍ အမျိုးအစား ခွဲခြားထားပုံကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

၇.၁၀.၂ Bare Tube Evaporators

Bare tube evaporator များကို copper tube သို့မဟုတ် စတီးပိုက် များဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ အမိုးနီးယား (ammonia)ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုထားသည့် ကြီးမားသည့် evaporator များတွင် စတီးပိုက်များကို အသုံးပြုသည်။ Ammonia မဟုတ်သည့် refrigerant များကို အသုံးပြုထားသည့် သေးငယ်သည့် evaporator များတွင် ကြေးပိုက်(copper tube)များ ကို အသုံးပြုသည်။

Bare tube evaporator များတွင် ပိုက်ငယ်ကလေးများကို ဇစ်ပုံစံ အပြန်အလှန် ခေါက်ထားသည်။ Bare tube evaporator များကို liquid chilling အတွက် အသုံးပြုကြသည်။ Bare tube evaporator များကို အသုံးနည်း သောကြောင့် တွေ့မြင်ရန် ခဲယဉ်းသည်။ Bare tube evaporator တွင် fin များ တပ်ဆင်ထားသည့် finned evaporator များကိုသာ အသုံးများသည်။

၇.၁၀.၃ Plate Type Evaporators

Evaporator coil များ မြှုပ်ထားသည့် copper သို့မဟုတ် aluminum အပြား(plate)များကို "plate type evaporator"ဟု ခေါ်သည်။ အပြင်မှ ကြည့်လျှင် သတ္တုပြားတစ်ချပ်ကဲ့သို့သာ မြင်ရသော်လည်း အထဲတွင် refrigerant စီးဆင်းရန် သတ္တုပိုက်ငယ်ကလေးများစွာပါဝင်သည်။ Plate type evaporator များ၏ အားသာချက်မှာ အထူးခိုင်ခံ့ခြင်း ဖြစ်သည်။ သတ္တုပြားကြောင့် heat transfer ပိုကောင်းသည်။ Plate type evaporator များကို အလွယ်တကူ သန့်ရှင်းရေး ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ဈေးနှုန်းချိုသာစွာ ထုတ်လုပ်နိုင်သည်။

အလိုရှိသည့် ပုံသဏ္ဍာန်တိုင်း ရရှိအောင် ထုတ်လုပ်နိုင်သည်။ အိမ်သုံး ရေခဲသေတ္တာ (household refrigerator) နှင့် deep freezer များတွင် အလွန်အသုံးများသည်။ သေတ္တာပုံသဏ္ဍာန် ပြုလုပ်နိုင်သောကြောင့် အစား အသောက်များ သိမ်းဆည်းရန် သင့်လျော်သည်။

Plate surface evaporator များကို ပုံစံမျိုးစုံ ပြုလုပ်နိုင်သည်။ သတ္တုပြား(metal) နှစ်ချပ်ကို ထပ်ပြီး ဂဟေ ဆော်ထားသည့် အပြားနှစ်ခုအကြားတွင် refrigerant သွားရန် လမ်းကြောင်းများ ပြုလုပ်ထားသည်။ ပုံ(၇-၂၇)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ အိမ်သုံး ရေခဲသေတ္တာများနှင့် freezer များတွင် အသုံးပြုသည်။ ထုတ်လုပ်သူများသည် စီးပွားရေး အရ တွက်ချေကိုက်သည့် ပုံသဏ္ဍာန်မျိုးစုံ ထုတ်လုပ်ကြသည်။

တခြားအမျိုးအစားမှာ သတ္တု(metal)ပြား နှစ်ခုကြားတွင် ပိုက်များခံ၍ အစွန်များကို ဂဟေဆက်ထားသော ပုံစံ ဖြစ်သည်။ Thermal contact ကောင်းပြီး ပိုက်များအတွင်း refrigerant များ စီးဆင်းစေသည်။ ထို plate များကို ဒေါင်လိုက်(အလျားလိုက်) အားဖြင့် နံရံများ၊ အမိုးများတွင် တပ်ဆင်အသုံးပြုနိုင်သည်။ ပုံ(၇-၂၇)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း စင်များဖြင့်တင်၍လည်းကောင်း၊ အုပ်စုလိုက်တွဲ၍ လည်းကောင်း၊ freezer များ၊ food display case များ၊ ice cream cabinet များ နှင့်တွဲ၍ လည်းကောင်း၊ တခြားသော လုပ်ငန်းမျိုးစုံတွင်လည်းကောင်း အသုံးပြုကြသည်။

၇.၁၀.၄ Finned Evaporators

Bare tube evaporator တွင် fin များ တပ်ဆင်လိုက်သည့်အခါ finned evaporator ဖြစ်လာသည်။ Finned evaporator ဆိုသည်မှာ bare tube coil များကို သတ္တုပြား(metal plate)များ သို့မဟုတ် fin များ တပ်ဆင်ထားသော evaporator ဖြစ်သည်။ Fin များသည် coil မျက်နှာပြင်မှ အပြင်သို့ ချွန်ထွက်နေသည်။ Fin များ၏ မျက်နှာပြင်ကြောင့် အပူစီးကူး(heat transfer)နိုင်သည့် ဧရိယာ ပိုများလာသည်။ Fin များသည် အပူစုပ်ယူသည့် မျက်နှာပြင်ကဲ့သို့ ဖြစ်သည်။ Evaporator ၏ အပြင်ဘက်မျက်နှာပြင် ဧရိယာကို ပိုများပြားစေပြီး အပူစုပ်ယူနိုင်သည့် စွမ်းရည် ပိုကောင်းနိုင်သည်။

Air conditioner များတွင် finned evaporator များကို အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။ Finned evaporator များကို cooling coil ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုသည်။ အခန်းအတွင်းမှ အပူချိန်မြင့်သည့်လေများသည် cooling coil အတွင်းသို့ ဝင်ရောက် လာပြီးနောက် အေးနေသည့် fin များနှင့် ထိတွေ့ကာ အပူချိန်နိမ့်ကျသွားသည်။ အခန်းအတွင်းရှိ လေထဲမှ အပူများကို finned evaporator က စုပ်ယူသွားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် finned evaporator မှ

အအေးဓာတ် ထုတ်ပေးသည်။ Evaporator ၏ အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer) ပိုကောင်းမွန်စေရန် tube များ၏ အတွင်း မျက်နှာပြင်ဘက်တွင် လိုင်းများ ဖော်ထားသည်။

တပ်ဆင်ထားသည့် fin များ ကို coil နှင့် ထိနေအောင် ပြုလုပ်ထားရန် အရေးကြီးသည်။ တချို့သော fin များကို coil ၏ မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် တိုက်ရိုက် ဂဟေဆော်(soldered)ထားသည်။

၇.၁၀.၅ Shell and Tube Evaporators

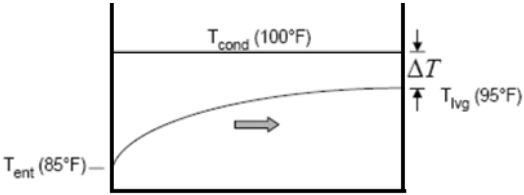
ကြီးမားသည့် refrigeration system နှင့် central air conditioning system များတွင် shell and tube အမျိုးအစား heat exchanger များကို evaporator အဖြစ်အသုံးပြုကြသည်။ Chiller များတွင် အသုံးပြုထားသည့် evaporator များသည် shell and tube အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။

Chiller များတွင် refrigerant စီးဆင်းသည့် ဦးတည်ရာဘက်(direction of the flow of the refrigerant) အပေါ်တွင် မူတည်၍ dry expansion chiller နှင့် flooded type chiller ဟူ၍ နှစ်မျိုးခွဲခြားနိုင်သည်။ Dry expansion chiller များတွင် tube များအတွင်း၌ refrigerant စီးဆင်းပြီး shell အတွင်း၌ chilled water စီးဆင်းသည်။ Refrigerant စီးဆင်းနှုန်းကို expansion valve ဖြင့် ထိန်းချုပ်ထားသည်။ Flooded type evaporator များတွင် refrigerant သည် shell အတွင်း၌ စီးဆင်းပြီး tube အတွင်း၌ chilled water စီးဆင်းသည်။ Flooded type evaporator တပ်ဆင်ထားသည့် chiller အတွင်း၌ refrigerant အရည်၏ အမြင့်(level)ကို float valve ဖြင့် ထိန်းထားခြင်းဖြင့် refrigerant စီးဆင်းမှုကို ထိန်းချုပ်သည်။

Table 7-1 tube အဖြစ်အသုံးပြုမည့် material များ၏ အပူခုခံအား(thermal resistance)ကို ဖော်ပြထားသည်။

Material	Thermal Resistance Relative to Copper
Copper	1
Red Brass (85% Cu/ 15% Zn)	2.4
Admiralty Brass (70%Cu / 28.9%Zn / 1% Sn /0.3 As)	3.1
(90/10) Copper / Nickel (Copper Nickel)	7.3
(70/30) Copper Nickel (Copper Nickel)	10.9
Tatanium	18.8

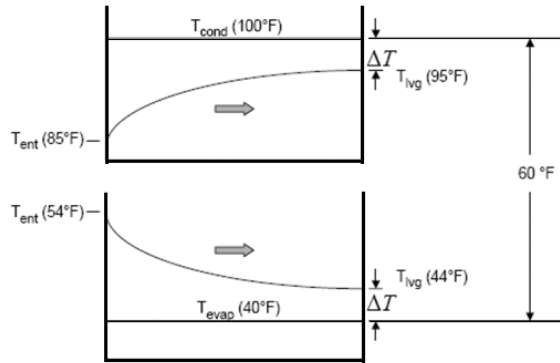
၇.၁၁ Condenser Small Temperature Difference



ပုံ ၇-၂၈ Condenser small temperature difference သို့မဟုတ် approach temperature difference

Leaving condenser water temperature နှင့် refrigerant temperature နှစ်ခုအကြား အပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature) ကို small temperature difference သို့မဟုတ် approach temperature ဟုခေါ်သည်။ ပုံ(၇-၂၈)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း အပူချိန်များအရ small temperature difference သို့မဟုတ် approach temperature သည် 5°F ဖြစ်သည်။ (100°F-95°F=5°F)

Thermal expansion valve ကို အသုံးပြုလျှင် ဖိအားကွာခြားချက်မြင့်(high pressure differential)ရန် လိုအပ်သည်။ ဖိအားကွာခြားချက်(pressure differential) မလုံလောက်ပါက evaporator coil တွင် under-feeding ပြဿနာ နှင့် over-feeding ပြဿနာများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။



ပုံ ၇-၂၉ Limit of vapor compression cycle

Approach Temperature

ACMV အင်ဂျင်နီယာတစ်ယောက်သည် air con ဘာသာရပ်ဆိုင်ရာ အခေါ်အဝေါ်များကို နားလည်သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်သည်။ Approach temperature သုံးမျိုး ရှိသည်။

- (၁) Condenser approach temperature
- (၂) Evaporator approach temperature နှင့်
- (၃) Cooling tower approach temperature တို့ ဖြစ်သည်။

Approach temperature ဆိုသည်မှာ

Approach temperature ဆိုသည်မှာ heat transfer ဖြစ်မည့် medium သို့မဟုတ် fluid နှစ်ခုတို့၏ အပူချိန်ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။ အပူ(heat)သည် အပူချိန်မြင့်သည့်(high temperature) fluid မှ အပူချိန်နိမ့်သည့်(low temperature) fluid သို့သာ အလိုလျောက် စီးဆင်းနိုင်သည်။ ထိုသို့အပူစီးဆင်းမှု(heat transfer)ဖြစ်ပေါ်နိုင်ရန်အတွက် အပူချိန်ကွာခြားမှု ရှိရန်လိုအပ်သည်။ Approach Temperature Difference (ATD) ဟု၍လည်းခေါ်ဆိုသည်။

Approach Temperature Difference (ATD) ဆိုသည်မှာ ပူသည့် fluid ၏ အပူချိန်မှ အေးသည့် fluid ၏ အပူချိန်ကို နှုတ်၍ ရသည့်တန်ဖိုးဖြစ်သည်။

၇.၁၁.၁ Condenser Approach Temperature

Chiller ၏ condenser အတွင်း၌ ပူသည့် refrigerant မှ အေးသည့် condenser water သို့ အပူစီးဆင်းမှု (heat transfer)ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် Condenser approach temperature ဆိုသည်မှာ chiller ၏ condenser အတွင်းရှိ refrigerant ၏ အပူချိန် မှ condenser ထွက်သွားသည် condenser water ၏ အပူချိန်ဖြစ်သည်။ Table 7-2 အရ condenser approach temperature ဆိုသည်မှာ condenser refrigerant temperature (31.7°C @ 681.2Kpa) မှ leaving condenser water (30.7°C) အပူချိန်ကို နှုတ်၍ရသည့် တန်ဖိုးဖြစ်သည်။ 1°C ဖြစ်သည်။ ဥပမာ- Trane chiller အမျိုးအစား ECV6E 56 (HFC 134a) မှ နံနက် 9:45AM တွင် မောင်းနေသည့် data များကို ဖော်ပြထားသည်။

Table 7-2

Chilled Water Set Point	6.7°C
Leaving Chilled Water	6.7°C
Entering Chilled Water	10.1
Entering Condenser Water	28.4°C
Laving Condenser Water	30.7°C
Active Control Set Point	100%
Evaporator Ref Pressure	254.2Kpa

Condenser Ref Pressure	681.2Kpa
Saturated Ref Temp	5.0°C
Condenser Ref Temp	31.7°C
Evaporator Approach Temp	1.7°C
Condenser Approach Temp	1°C

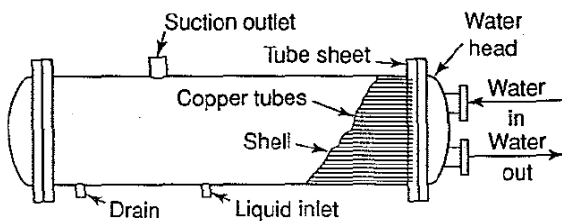
၇.၁၁.၂ Evaporator Approach Temperature

Chiller ၏ evaporatorအတွင်း၌ ပူသည့် chiller water မှ အေးသည့်refrigerant သို့ အပူစီးဆင်းမှု(heat transfer)ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် Evaporator approach temperature ဆိုသည်မှာ chiller ၏ evaporator အတွင်းမှထွက်သွားသော(leaving) chilled water ၏ အပူချိန် မှ chiller ၏ evaporator အတွင်းရှိ refrigerant ၏ အပူချိန်ကို နှုတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Table 7-2 အရ evaporator approach temperature leaving chilled water (6.7°C) မှ evaporator refrigerant temperature (5.0°C @ 254.2Kpa) နှုတ်၍ ရသည့်တန်ဖိုးဖြစ်သည်။ 1.7°C ဖြစ်သည်။

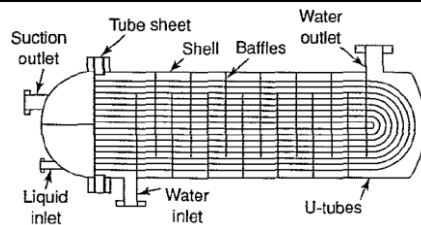
Chiller များတွင် evaporator နှင့် condenser တို့၏ approach temperature သည် 2°C ထက် ပိုမများသင့်ပေ။ 2°C ထက် ပိုများပါက chiller များသည် စွမ်းအင်(energy)သုံးစွဲမှု လိုအပ်သည်ထက် ပိုများ လိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် leaving chilled water (6.7°C) ရရှိရန်အတွက် evaporator refrigerant temperature သည် လိုအပ်သည်ထက် ပိုနိမ့်ရန် လိုအပ်သည်။ နိမ့်သည့် evaporator refrigerant temperature ရရန်အတွက် chiller compressor သည့် ပို၍ အလုပ်လုပ်ရသည်။

Table 7-3 evaporator သုံးမျိုး နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားပုံ

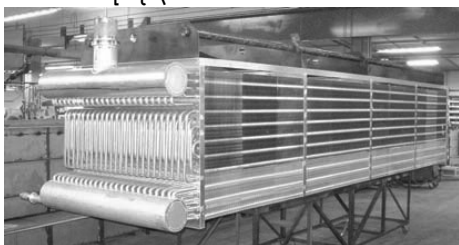
DX Evaporator	Flooded Evaporator	Hybrid Falling Film Evaporator
Water outside the tubes	Water inside the tubes	Water inside the tubes
Refrigerant inside the tubes	Refrigerant outside the tubes	Refrigerant outside the tubes
Water connection at side	Water connection at ends	Two bundles of water tubes
		Upper bundle is covered in a film of refrigerant
		Upper bundle is flooded in the refrigerant



ပုံ ၇-၃၀ Flooded chiller



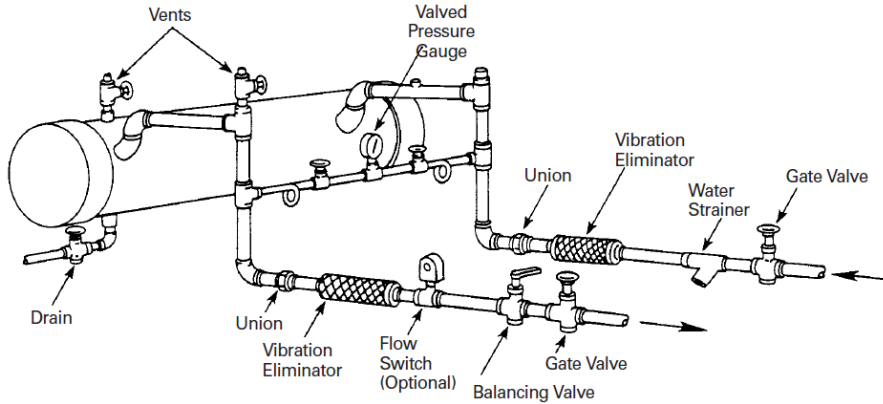
ပုံ ၇-၃၁ Dry expansion chiller



ပုံ ၇-၃၂ Evaporator tube bundle



ပုံ ၇-၃၃ Evaporator coil with four fans



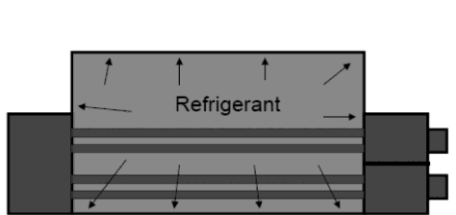
ပုံ ၇-၃၄ Recommended piping components for typical evaporator installation

၇.၁၂ Water Box Design Pressure

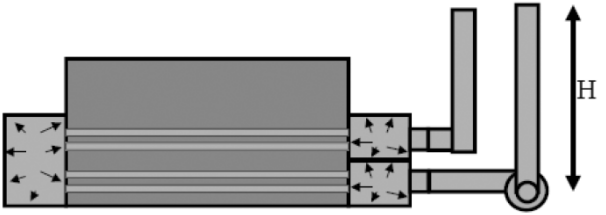
Vessel များ၏ ဒီဇိုင်းဖိအား(design pressure)သည် chiller ၏ duty နှင့် refrigerant တို့၏ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Water box design pressure သည် chiller water system မှ chiller ပေါ်သို့ သက်ရောက်နေသည့် ဖိအား(static pressure နှင့် dynamic pressure) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Dynamic head ကို တည့်မတွက်ဘဲ static head တန်ဖိုးမှ တစ်ဆင့်အလွယ်တကူ ခန့်မှန်းတွက်ချက်နိုင်သည်။ Chiller များတွင် ဖိအား 150 psig ခံနိုင်သည့် water box design နှင့် ဖိအား 300 psig ခံနိုင်သည့် water box design ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရရှိနိုင်သည်။

$$\text{Approximate minimum water box design pressure (psig)} = \frac{\text{Head (ft)}}{2.31}$$



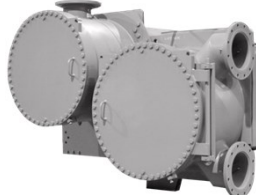
ပုံ ၇-၃၅ Vessel အတွင်း ဖိအားသက်ရောက်ပုံ



ပုံ ၇-၃၆ Water box အတွင်း ဖိအားသက်ရောက်ပုံ



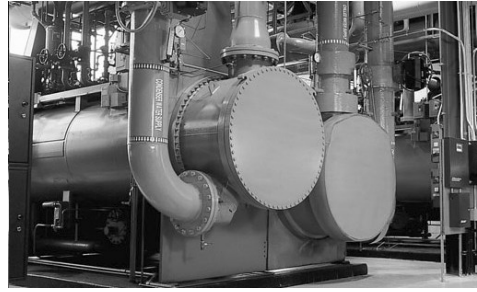
ပုံ ၇-၃၇ Nozzle In Head (NIH)



ပုံ ၇-၃၈ Marine Water Box (MWB)



ပုံ ၇-၃၇ Nozzle In Head (NIH)



ပုံ ၇-၃၈ Marine Water Box တပ်ဆင်ထားပုံ

Table 7-4 condenser types

Condenser Type	Energy Consumption	Advantages	Disadvantages
Air-cooled	Fan power, higher compressor power input for a given refrigerant load	No risk of legionella No water consumption No pumping No spray drift Appropriate in humid environments	Higher head pressures lead to lower COP
Water cooled	Circulating pump plus cooling tower components	More efficient Lower condensing pressures (higher COP) Higher summer capacity	Water pumping and maintenance Water consumption Higher maintenance costs Legislative compliance on legionella and other bacteria
Evaporative	Fan and pump power	Most effective in dry environments Highest efficiency due to lowest head pressure	Water consumption Water pumping and maintenance Legislative compliance on legionella and other bacteria More refrigerant required

-End-

Chapter-8 Capacity Control of Refrigeration Systems

8.1 Compressor Control ၊ Chiller Control and Chilled Water Plant Control

Refrigeration system များတွင် control လုပ်နည်း သုံးမျိုးရှိသည်။

- (၁) Compressor တစ်လုံးချင်းကို control လုပ်ခြင်း (individual compressor control)
- (၂) Chiller တစ်လုံးချင်းကို control လုပ်ခြင်း (individual chiller control) နှင့်
- (၃) Chilled water plant ကို control လုပ်ခြင်း တို့ ဖြစ်သည်။

8.1.1 Individual Compressor Capacity Control

Compressor capacity ကို control လုပ်နိုင်သည့် နည်းများစွာရှိသည်။ Capacity control လုပ်ခြင်းကြောင့် overall system COP ကျဆင်းသည်။ Control လုပ်နည်း အပေါ်မူတည်၍ ကျဆင်းသွားသည့် COP ပမာဏ ကွာခြားသည်။

(၁) On/off operation နည်း

On/off operation နည်းသည် ရိုးရှင်းပြီး ယုံကြည်စိတ်ချရသည်။ သို့သော် အချိန်တိုအတွင်း မကြာခဏ on/off cycling ဖြစ်ခြင်းကြောင့် အပူချိန်မြင့်မားကာ အပူလွန်ကဲခြင်း(over heating) ဖြစ်ပေါ်ပြီး compressor မော်တာ ထိခိုက်ပျက်စီးနိုင်သည်။

(၂) Multi-cylinder reciprocating များတွင် cylinder unloading နည်း

Compressor ၏ capacity လျော့နည်းခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု နည်းသည်။ သို့သော် capacity များစွာ လျော့ကျသွားချိန်တွင် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု အနည်းငယ်သာ လျော့နည်းသည်။

(၃) Variable speed drive နည်း

Variable speed drive နည်းသည် reciprocating compressor screw compressor နှင့် scroll compressor များအတွက် အလွန် efficient ဖြစ်သည့် capacity control နည်းဖြစ်သည်။ မြန်နှုန်း နည်းချိန်တွင် ဖြစ်ပေါ်မည့် ချောဆီ ပြဿနာများနှင့် critical resonant frequencies သို့မရောက်အောင် တာကွယ်ရမည့် ပြဿနာ များကို သတိပြုသင့်သည်။

(၄) Slide valve နည်း

Slide valve နည်းသည် screw compressor များတွင်သာ အသုံးပြုသည့် capacity control နည်း

ဖြစ်သည်။ Slide valve နည်းသည် design capacity ၏ 10% အထိ smooth step-less ဖြစ်စွာ capacity control လုပ်နိုင်သည်။ Screw compressor များသည် part-load အခြေအနေ၌ မောင်းနှင်စဉ် full load power နီးပါးသုံးစွဲသည်။

(၅) Centrifugal compressor များအတွက် variable inlet guide vane နည်း

Variable inlet guide vane နည်းသည် centrifugal compressor များအတွက်သာ ဖြစ်သည်။ Refrigerant များ impeller အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့်လမ်းကြောင်း(direction of flow)ကို ပြောင်းလဲခြင်းဖြင့် capacity လျော့ချခြင်း ဖြစ်သည်။ ဤနည်းသည် capacity control လုပ်ရာတွင် efficient မဖြစ်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။ Compressor ၏ isentropic efficiency ကျဆင်းသည်။ ထို့ကြောင့် system ၏ COP ကျဆင်းသည်။

(၆) Speed control

အဆက်မပြတ်(continuous) speed control လုပ်ခြင်းနှင့် အဆင့်ဆင့်(stepwise) speed control လုပ်ခြင်းဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ အဆက်မပြတ် (continuous) speed control လုပ်ခြင်းသည် capacity control လုပ်ရာတွင် efficient အဖြစ်ဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ ချောဆီအသုံးပြုသည့် compressor များတွင် ပုံမှန်မောင်းနှင်သည့် မြန်နှုန်း၏ 50% အထိသာ လျော့ချနိုင်သည်။ ဈေးကြီးသည့်နည်း ဖြစ်သည်။

Electric motor များတွင် ရှိနေသည့် active pole များ၏ အရေအတွက်ကို ပြောင်းလဲပေးခြင်းဖြင့် အဆင့်ဆင့်(stepwise) speed control လုပ်နိုင်သည်။ ဈေးသက်သာသည့်နည်း ဖြစ်သည်။ ပုံမှန် မောင်းနှင်သည့် မြန်နှုန်း၏ 50% အထိသာ လျော့ချနိုင်သည်။ မြန်နှုန်းများ အဆင့်(step)ဖြင့် ပြောင်းလဲ သောကြောင့် compressor component များအပေါ်တွင် အားသက်ရောက်မှု(stress)များသည်။

(၇) Clearance volume control

Clearance volume ၏ ပမာဏကို လိုသလိုပြောင်းလဲခြင်းဖြင့် compressor ၏ capacity ကို control လုပ်နိုင်သည်။ ဥပမာ - mass flow 50% လျော့ကျစေရန်အတွက် clearance volume သည် displacement volume ၏ တစ်ဝက်ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။ ဆလင်ဒါအတွင်း၌ residual gas များ ကျန်ခဲ့သောကြောင့် discharge temperature မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် clearance volume control နည်းကို လူကြိုက်နည်းခြင်း ဖြစ်သည်။

(၈) Suction valve unloading နည်း

Suction valve unloading နည်းသည် ကြီးမားသည့် air conditioning and refrigeration system များတွင် အသုံးပြုသည့် compressor capacity control လုပ်နည်းဖြစ်သည်။ အဆောက်အအုံ၏ cooling load လျော့နည်း သွားချိန်တွင် compressor ၏ suction valve ကို ပင့်တင်၍ ဖိသိပ်မှု မဖြစ်စေ တော့ဘဲ capacity လျော့ချပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy savings) ဖြစ်နိုင်သော်လည်း အားနည်းချက်များရှိသည်။

Reciprocating compressor များတွင်သာ ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Cylinder များ၏ suction valve ကို ဖွင့်ထားခြင်းဖြင့် gas များကို ဖိသိပ်ခြင်း မပြုလုပ်တော့ပေ။ Gas များ ဝင်လိုက်၊ ထွက်လိုက်နှင့် suction valve ကို ဖြတ်သန်း နေသောကြောင့် ဆုံးရှုံးမှုများစွာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Crankshaft ပေါ်တွင် မညီမျှသည့် အားသက်ရောက်မှု(uneven stress)များ ဖြစ်ပေါ်ခြင်းသည် သေးငယ်သည့် compressor များအတွက် လက်မခံနိုင်သည့် အချက် ဖြစ်သည်။ ဈေးသက်သာသည့်နည်း ဖြစ်သည်။

Suction valve နောက်ကျပိတ်ခြင်း(late closing)နည်း နှင့် suction-valve စောပိတ်ခြင်း(early closing) နည်းသည် မကြာသေးမီက အသုံးပြုသည့် compressor flow regulation နည်း ဖြစ်သည်။ Suction-valve နောက်ကျ ပိတ်ခြင်း(late closing) နည်းသည် ချောမွတ်သည့် control ရနိုင်သောကြောင့်

အနည်းငယ် ပိုကောင်းသည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။ ကြီးမား၍ မြန်နှုန်းနေးသည့် compressor များတွင် ဒီဇိုင်း capacity ၏ 50% အထိ လျော့ချနိုင်သည်။

Suction valve စောပိတ်ခြင်း(early closing)နည်းသည် gas များ ဆလင်ဒါ အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ခြင်း မဖြစ်ပေါ်ပေ။ Intake stroke တွင် suction valve ကို ကြိုတင်၍ ပိတ်ထားခြင်းဖြင့် ဆလင်ဒါများ အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာမည့် gas ပမာဏကို ထိန်းချုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ဆလင်ဒါများ အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားပြီးသည့် gas များ ဖိအား မြင့်တက်ပြီး ပြန်၍ ကျယ်ပြန့်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် ဆုံးရှုံးမှုများ ဖြစ်ပေါ်သည်။ Suction valve စောပိတ်ခြင်း (early closing)နည်းဖြင့် capacity control လုပ်နိုင်သည့် ရာခိုင်နှုန်း များသည်။ ဈေးသက်သာပြီး efficient ဖြစ်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။

အောက်ပါ control method များကို အတတ်နိုင်ဆုံး ရှောင်ကြဉ် သင့်သည်။

(၁) Suction throttle device သို့မဟုတ် suction valve unloading နည်း

Suction လိုင်းမှ compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာမည့် gas များကို ပိတ်ခြင်းနည်းသည် suction throttle နည်း ဖြစ်သည်။ ပိတ်မည့် ကိရိယာကို suction throttle device ဟုခေါ်သည်။ Compressor အဝင်ဖိအား(inlet pressure)ကို လျော့ကျစေသောကြောင့် စွမ်းအင်လေလွင့်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဒီဇိုင်းအပူချိန်(design temperature)ထက် ပိုနိမ့်သည့် evaporator temperature ဖြင့် မောင်းခြင်း ဖြစ်သောကြောင့် efficiency ညံ့ဖျင်းသည်။

(၂) Hot gas by-pass နည်း

Hot gas by-pass ကြောင့် suction vapor တွင် superheat လွန်ကဲစွာ ဖြစ်ပေါ် လာပြီး compressor အပူလွန်ကဲခြင်း(overheating) ဖြစ်နိုင်သည်။

Hot gas bypass နည်းသည် အသုံးများသည့်နည်းဖြစ်သည်။ Compressor မှ ထွက်လာသည့် discharge gas များကို suction side ဘက်သို့ ပြန်ပို့ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ လုပ်ရန် လွယ်ကူသည့်နည်း ဖြစ်သည်။ စွမ်းအင်လေလွင့်မှု ဖြစ်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။ Capacity လျော့နည်းသွားသော်လည်း compressor အတွက် ထည့်ပေးရသည့် အလုပ်သည် ပုံမှန်အတိုင်း ဖြစ်သည်။ Compressor သည် ပုံမှန် မောင်းနေ သည်။

(၃) Head pressure control နည်း

Head pressure control နည်းသည် ပြင်ပအခြေအနေ(ambient conditions)နှင့် ကိုက်ညီသည့် condensing temperature ရရှိအောင် control လုပ်နည်း ဖြစ်သည်။

၈.၁.၂ Individual Chiller Control

Chiller များ၏ capacity ကို control လုပ်ရန်အတွက် chiller ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)များက ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသော digital electronic control system ပါရှိသည်။ အလိုရှိသည့် chilled water supply temperature setpoint ကို chiller က ထုတ်ပေးနိုင်ရန်အတွက် capacity control ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

Centrifugal Chiller

မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed)ဖြင့် မောင်းသည့် centrifugal chiller များကို Pre-Rotation Vanes (PRV)နည်းဖြင့် capacity control ပြုလုပ်သည်။ Centrifugal compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် refrigerant gas ပမာဏကို Inlet Guide Vanes (IGV) သို့မဟုတ် Prerotation Vane (PRV)များဖြင့် control လုပ်နိုင်သည်။ Compressor impeller ၏ အဝင်နေရာတွင် တစ်ဆင်ထားသည့် inlet guide vane များကို ပြင်ပမှ ကိရိယာ(device)ဖြင့် ဖွင့်ခြင်း၊ ပိတ်ခြင်း ပြုလုပ်ပေးသည်။

Vane တစ်ခုချင်းစီသည် ဝင်ရိုးပေါ်တွင် လည်နိုင်သည်။ Vane များ ရောက်ရှိနေသည့် အနေအထား

(position)ကို လိုက်၍ refrigerant gas ဝင်ရောက်လာသည့် လမ်းကြောင်း ပြောင်းလဲသွားသည်။

Variable speed ဖြင့် မောင်းသည့် centrifugal chiller များကို motor speed နှင့် PRV position တို့ဖြင့် capacity control ပြုလုပ်သည်။

Reciprocating Chiller

Reciprocating chiller များကို sequence unloading valve နည်း သို့မဟုတ် multiple compressor cycling နည်းများဖြင့် capacity control ပြုလုပ်သည်။ Refrigerant flow ကို expansion valve ဖြင့် control လုပ်သည်။ Evaporator မှထွက်သွားသည့် refrigerant gas ၏ အပူချိန်ကို သတ်မှတ်ထားသည့် setpoint တွင် ထိန်းထားရန်အတွက် expansion valve ကို ပိတ်ခြင်း(throttling action)ကြောင့် system ဖိအားမြင့်တက်လာသည်။ Compressor သည် discharge pressure setpoint ကို ထိန်းထားနိုင်ရန် အတွက် refrigerant flow rate ကို လျှော့ချပေးသည်။

အများဆုံး အသုံးပြုသည့်နည်း(most common method)မှာ refrigerant flow rate ကို လျှော့ချပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ Reciprocating compressor ၏ suction valve ကို ဖွင့်ပေးခြင်း၊ compressor အတွင်း၍ refrigerant gas ကို bypass လုပ်ခြင်း၊ compressor အပြင်ဘက် မှ refrigerant gas များကို bypass လုပ်ခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

Screw Chiller

Screw chiller များကို sliding bypass valve နည်းဖြင့် capacity control ပြုလုပ်သည်။

Absorption chiller

Absorption chiller များကို steam ၊ hot water သို့မဟုတ် gas supply ကို modulate လုပ်နည်းတို့ဖြင့် capacity control ပြုလုပ်သည်။

၈.၁.၃ Chilled Water Plant Control

Chilled water plant control ကို “HVAC controls and Building Automation Systems” စာအုပ်တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

သင့်လျော်မှန်ကန်သည့် control နည်းများကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် refrigeration system ကို မောင်းရန် ကုန်ကျစရိတ်(operating cost)ကို လျှော့ချနိုင်သည်။

- (၁) အမှန်တကယ်လိုအပ်သည့်အခါမှသာ chiller များနှင့် chiller water system မောင်းရန် (chillers and chilled water systems should only operate when there is a real cooling demand)
- (၂) Compressor များကို full load ဖြင့် အတတ်နိုင်ဆုံး မောင်းရန် (Maximize full load operation of compressors)
- (၃) Condensing temperature ကို နိမ့်နိုင်သမျှ နိမ့်အောင်ပြုလုပ်ရန် (Keep condensing temperatures low and avoid head pressure control)
- (၄) Evaporating temperature ကို တတ်နိုင်သမျှ မြင့်မြင့်ဖြင့် မောင်းရန်
- (၅) အချိန်အနည်းငယ်အတွင်း compressor ရပ်တန့်ခြင်း၊ ပြန်မောင်းခြင်း (cycling) မဖြစ်အောင်ရှောင်ကြဉ်ရန် နှင့်
- (၆) Load အနည်းငယ်ဖြင့် မောင်းနေချိန်တွင် control system တစ်ခုလုံး ကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်နေစေရန် တို့ဖြစ်သည်။

CIBSE Guide H(19) တွင် refrigeration, heat rejection and cooling distribution systems ၏ control များ အကြောင်းကို အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

Operator Interface

Multiple centrifugal chiller plant ၏ optimizing control တွင် အောက်ပါအချက်များ ပါဝင်သည်။

- (၁) Optimize the on/off staging of the multiple chillers.
- (၂) Optimize start and stop.
- (၃) Control condenser water entering temperature.
- (၄) Controls of the multiple chillers in a centrifugal chiller plant are discussed in later sections.

၈.၁.၄ Capacity Control for Varying Loads to Provide Better Efficiency

Load အမျိုးမျိုးကို မောင်းနှင်ရန်အတွက် capacity control လုပ်နည်းများစွာ ရှိသည်။ သို့သော် compressor အရွယ်အစားကို သင့်လျော်အောင်ရွေးချယ်ခြင်းဖြင့် capacity control ပြုလုပ်နိုင်ပုံကို အောက်တွင် ဥပမာများဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

Case 1: Single large compressor

မောင်းရမည့် load အားလုံးအတွက် အရွယ်အစားကြီးမားသည့် compressor တစ်လုံးတည်းကိုသာ ရွေးချယ်ထားခြင်းကြောင့် part load ဖြင့်မောင်းသည့်အခါ efficiency မကောင်းနိုင်ပေ။ ဥပမာ တန်(၁၀၀) ရေခဲစက်များအတွက် သင့်လျော်သည်။ ရေခဲမည့် အချိန်တွင် ၁၀၀% ဖြင့်မောင်း၍ ရေခဲလုပ်ပြီးချိန်တွင် ရပ်နားထားနိုင်သည်။ သို့သော် ရှေ့ပင်စင်တာ တစ်ခုအတွက် မသင့်လျော်ပေ။

Case 2: Single large compressor with inbuilt capacity control.

Built in capacity control ပါဝင်သည့် ကြီးမားသည့် compressor တစ်လုံးတပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် part load ဖြင့်မောင်းသည့်အခါ efficiency အသင့်အတင့်ကောင်းမွန်သည်။ Built in capacity control ကြောင့် load သည် compressor capacity ၏ ၅၀% ထက် ပိုများနေချိန်တွင် ကောင်းစွာ လုပ်နိုင်သည်။

Case 3: Three small compressors (two with same capacity and one with capacity control)

အရွယ်အစား တူညီသည့် သေးငယ်သည့် compressor (၂) လုံး တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် capacity ၅၀% ထက် နည်းနေချိန်တွင် compressor တစ်လုံးကိုသာ မောင်းရန် လိုအပ်သည်။

Case 4: Three small compressors with different capacities

အရွယ်အစား မတူညီသည့် သေးငယ်သည့် compressor (၃)လုံး တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် အလိုရှိသည့် capacity ကို လိုက်၍ သင့်လျော်သည့် compressor များဖြင့် မောင်းနိုင်သည်။

Case 5: Three compressors with parallel control

Compressor သုံးလုံးကို တစ်ပြိုင်နက် control လုပ်ခြင်း Capacity turn down နှင့် input power တို့သည့် မျဉ်းပြောင်းအတိုင်း ဆက်သွယ်မှု(nonlinear)မျိုး မဖြစ်သောကြောင့် အသုံးပြုလေ့မရှိသည့်နည်းမျိုးဖြစ်သည်။

Compressor အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း မပြုလုပ်ခင် cooling load profile ရရှိရန် အလွန်အရေးကြီးသည်။ အများဆုံးမောင်းမည့် (နာရီပေါင်း) cooling load နှင့် ကိုက်ညီသည့် compressor အတွဲများကို ရှာဖွေ နှိုင်းယှဉ် သင့်သည်။

Compressor အတွဲ တစ်ခုချင်းစီမှ ရရှိနိုင်သည့် efficiency များကို နှိုင်းယှဉ် လေ့လာသင့်သည်။ Capacity လျော့နည်းရန် အတွက် compressor များကို ရပ်နားခြင်း(shutdown)သည် အကောင်းဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ Compressor များသည် full load နီးပါး sweet spot နေရာတွင် မောင်းချိန်သည် efficiency အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ Control လုပ်နည်း ကွဲပြားလျှင် ရရှိနိုင်သည့် efficiency ကွဲပြားသည်။ အကြောင်း အမျိုးမျိုးကြောင့် compressor များကို လိုအပ်သည်ထက် ပိုကြီးအောင် ရွေးချယ် ထားကြသည်။ လိုအပ်သည်ထက် ပိုကြီးအောင် ရွေးချယ်ထားသည့် (over sized)သောကြောင့် compressor များ၏ power factor မှာ အလွန်ညံ့ဖျင်းသည်။

ဖြစ်နိုင်သည့် load အမျိုးမျိုးနှင့် ကိုက်ညီမည့် အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း၊ အရွယ်အစား မတူညီသည့် compressor များ ရွေးချယ်ခြင်း နှင့် control strategy ကို ကောင်းစွာ ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်းတို့ဖြင့် efficient ဖြစ်သည့် chilled water plant တစ်ခု တည်ဆောက်နိုင်သည်။

၈.၁.၅ Refrigerant Flow Control

Chiller များ၏ capacity ကို control လုပ်ခြင်းဆိုသည်မှာ evaporator အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် refrigerant ၏ စီးနှုန်းကို control လုပ်ခြင်းပင် ဖြစ်သည်။ အသုံးပြုသည့် compressor အမျိုးအစား အပေါ်တွင် မူတည်၍ capacity control နည်းအမျိုးမျိုး ကွဲပြားသည်။ Chiller များတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် compressor အမျိုးအစား အပေါ်တွင် မူတည်၍ refrigerant ၏ စီးနှုန်း control သည့်နည်းများ ကွဲပြားကြသည်။

လွန်ခဲ့သည့် နှစ်အနည်းငယ်မှ စတင်၍ centrifugal chiller များတွင် VSD များ တပ်ဆင်၍ speed control နည်းဖြင့် capacity control ပြုလုပ်လာကြသည်။

Compressor ၏ မြန်နှုန်း(speed)သည် capacity နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။ Compressor ၏ မြန်နှုန်း(speed)များလေ capacity များလေဖြစ်သည်။ Compressor မှ ထုတ်ပေးသည့် pressure (lift)သည် မြန်နှုန်း နှစ်ထပ်ကိန်း(square of the speed)နှင့် ညီမျှသည်။ ထိုအချက်ကြောင့် surge ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ မြန်နှုန်း ထိန်းချုပ်(speed control)ထားသည့် chiller များတွင် hot gas bypass ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ ယေဘုယျ အားဖြင့် speed control နည်းဖြင့် capacity control ပြုလုပ်ခြင်းသည် inlet vane control ဖြင့် capacity control ပြုလုပ်ခြင်းထက် efficiency ပိုကောင်းသည်။

Chiller များတွင် speed control လုပ်ရန် VSD တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် ဈေးနှုန်း မြင့်မားသည်။ Cooling load profile ကို သေချာလေ့လာပြီး အမှန်တကယ် လိုအပ်မှသာ VSD ဖြင့်မောင်းသည့် chiller ကို ဝယ်ယူသင့်သည်။

၈.၂ Refrigerant Control Devices

Refrigeration system များတွင် အဓိက အစိတ်အပိုင်းအဖြစ် ပါဝင်သည့် expansion device ၏ အခြေခံကျသော လုပ်ဆောင်ချက်(basic function) များမှာ

- (၁) Condenser pressure မှ evaporator pressure သို့ရောက်အောင် လျှော့ချပေးသည်။
- (၂) Evaporator အတွင်း၌ ဖြစ်ပေါ်နေသည့် အငွေ့ပျံနှုန်း(evaporation rate)နှင့် ကိုက်ညီသည့် refrigerant မဏဏကို evaporator အတွင်းသို့ စီးဝင်အောင် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။

ပုံမှန်အခြေအနေတွင် system တစ်ခု၏ refrigerant စီးနှုန်း(flow rate)သည် cooling load နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျ(proportional)သည်။

Refrigerant စီးနှုန်း(flow rate)ကို control လုပ်နိုင်သည့်နည်းများမှာ

- (၁) Hand (manual) expansion valves
- (၂) Capillary tubes
- (၃) Orifice
- (၄) Constant pressure value သို့မဟုတ် Automatic Expansion Valve (AEV)
- (၅) Thermostatic Expansion Valve (TEV)
- (၆) Float type Expansion Valve
 - (က) High side float valve
 - (ခ) Low side float valve နှင့်
- (၇) Electronic Expansion Valve တို့ ဖြစ်သည်။

Refrigeration system များတွင် အသုံးပြုသည့် expansion device များကို fixed opening နှင့် variable opening ဟူ၍ နှစ်မျိုးခွဲခြားနိုင်သည်။ Liquid refrigerant များ စီးဆင်းနိုင်သည့် ဧရိယာ(flow area) မပြောင်းလဲသောကြောင့် “fixed opening” အမျိုးအစားဟု ခေါ်ဆိုခြင်းဖြစ်သည်။ စီးဆင်းနိုင်သည့် ဧရိယာ(flow area) ကိုလိုက်၍ refrigerant စီးနှုန်း(mass flow rates)ပြောင်းလဲလျှင် “variable opening”အမျိုးအစား ဟု သတ်မှတ်သည်။

Capillary tube များသည် fixed opening အမျိုးအစားတွင် ပါဝင်သည်။ Orifice တွင် fixed orifice နှင့် variable orifice ဟူ၍ နှစ်မျိုးစလုံးဖြစ်နိုင်သည်။ ကျန် expansion device များအားလုံးသည် fixed opening အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။

Expansion valve သို့မဟုတ် throttling valve များသည် condensing pressure (high pressure) မှ evaporating pressure(low pressure)သို့ ရောက်အောင် ဖိအားလျော့ချပေးသည့် device များ ဖြစ်ကြသည်။ Cooling load နှင့် chiller capacity ကိုက်ညီစေရန်အတွက် evaporator အတွင်းသို့ စီးဝင်မည့် liquid refrigerant ပမာဏကို ချုပ်ထိန်း(throttling)သည့် ကိရိယာဖြစ်သည်။

Cooling coil သို့မဟုတ် chiller evaporator အတွင်း၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် evaporation rate နှင့် cooling coil သို့မဟုတ် chiller evaporator အတွင်းသို့ စီးဝင်သည့် liquid refrigerant ပမာဏ ကိုက်ညီစေရန် throttling device က ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ ထိုပမာဏသည် chiller ၏ လက်ရှိမောင်းနှင်နေသည့် cooling capacity ဖြစ်သည်။ DX unit များအတွက် cooling coil က ထုတ်ပေးနေသည့် cooling capacity ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဖယ်ထုတ်နေသည့် အပူပမာဏ(refrigeration effect) ဖြစ်သည်။

လက်တွေ့ refrigeration system များတွင် mechanical expansion valve များ၊ electronic expansion valve များ၊ thermostatic expansion valve များ၊ solenoid valve များ၊ thermostat များနှင့် pressure switch များ ပါဝင်ကြသည်။ ထို့အပြင် တခြားသောကိရိယာများ(flow-control device)ဖြစ်သည့် modulating pressure regulator များ၊ filter drier များ၊ liquid indicator များ၊ non return valve နှင့် isolation valve များ ပါဝင်ကြသည်။

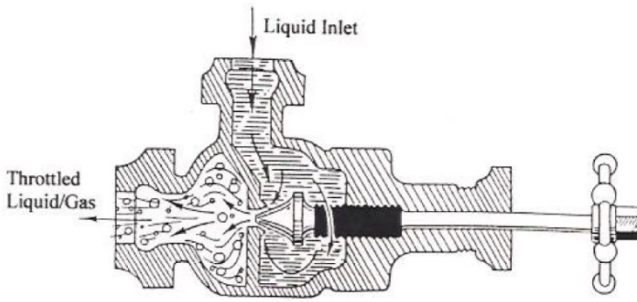
Evaporator အတွင်း၌ refrigerant များသည် အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာမှ အပူများကို စုပ်ယူ၍ အငွေ့ပျံပြီးနောက် condenser အတွင်း၌ အပူများကို စွန့်ထုတ်ကာ အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ Refrigeration system များအတွင်း၌ refrigerant သည် အဆက်မပြတ်လည်ပတ်နေသည်။ Cooling load ကို မူတည်၍ evaporator ၏ အရည်လိုင်း(liquid line)အတွင်း စီးဆင်းနေသော refrigerant စီးနှုန်း(flow)ကို အလိုအလျောက် ထိန်းချုပ်(control)ပေးရန် လိုအပ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် evaporator ၏ liquid line အတွင်းမှ ဖိအားမြင့်(high pressure) သည့်ဘက်မှ ဖိအားနိမ့်(low pressure)သည့်ဘက်သို့ လျော့ချပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

ယနေ့ခေတ် refrigeration system တိုင်းလိုလိုတွင် အလိုအလျောက်အလုပ်လုပ်နိုင်သည့် automatic control system များကို တပ်ဆင်ထားကြသည်။ အောက်ပါနည်း သုံးနည်းကို အခြေခံ၍ evaporator အတွင်းသို့ စီးသော refrigerant စီးဆင်းနှုန်း(flow)ကိုလည်းကောင်း၊ လျှပ်စစ်မော်တာ၏ မြန်နှုန်းကိုလည်းကောင်း control လုပ်ကြသည်။

- (၁) ဖိအား(pressure)ပြောင်းလဲမှုပေါ်အခြေခံ၍ control လုပ်ခြင်း
- (၂) အပူချိန်(temperature)ပြောင်းလဲမှုပေါ် အခြေခံ၍ control လုပ်ခြင်း နှင့်
- (၃) ထုထည်(volume)ပြောင်းလဲမှုပေါ် အခြေခံ၍ control လုပ်ခြင်း တို့ ဖြစ်သည်။

၈.၂.၁ Hand Expansion Valve

Hand expansion valve သည် လက်ဖြင့် ချိန်ညှိရသော needle valve ပင် ဖြစ်သည်။ Refrigerant ဖိအားပြောင်းလဲမှုသည် valve ပွင့်နေသည့် အပေါက်အကျယ်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ကြီးမားသော refrigeration plant များနှင့် သင့်လျော်သည်။ Operator တစ်ယောက်က အမြဲစောင့်ကြည့်နေပြီး cooling load နှင့် ကိုက်ညီအောင် အမြဲချိန်ညှိပေးနေရန် လိုအပ်သည်။ အားနည်းချက်မှာ လက်ဖြင့် ချိန်ညှိရသဖြင့် evaporator ထဲတွင် လိုအပ်ထက် ပိုများသည့် refrigerant များ စီးဝင်နေနိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် over feeding ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။



ပုံ ၈-၂ Manual expansion valve

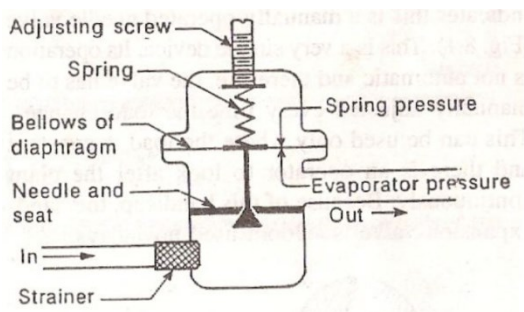
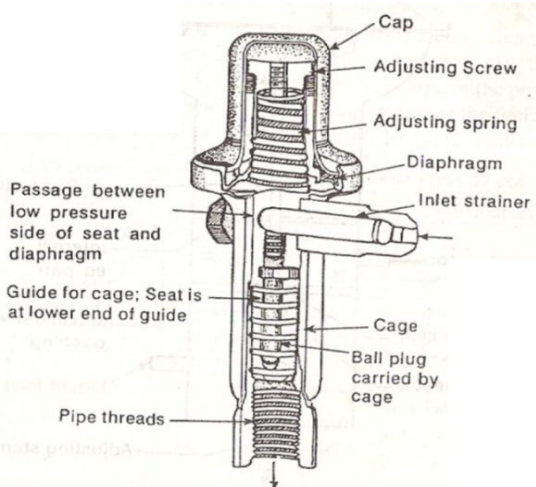


ပုံ ၈-၃ Thermal Expansion Valve (TEV)

၈.၂.၂ Constant Pressure Expansion Valves သို့မဟုတ် Automatic Expansion Valve (AEV)

Constant pressure valve များသည် thermostatic expansion valve များ မတိုင်ခင် အသုံးပြုခဲ့သည့် ကိရိယာများ ဖြစ်ကြသည်။ ပြင်ပမှ တခြားသော mechanical device များ၏ အကူအညီ မလိုအပ်ဘဲ အလိုအလျောက် ပိတ်ခြင်း(close)၊ ပွင့်ခြင်း(open) ပြုလုပ်နိုင်သောကြောင့် automatic expansion valve ဟု ခေါ်သည်။

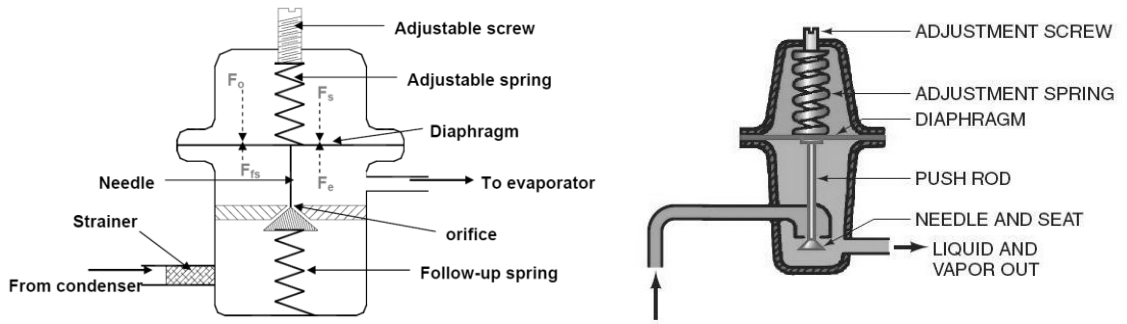
Expansion valve များသည် အခြေခံအားဖြင့် ဖိအားထိန်းညှိပေးသည့် ကိရိယာများ(pressure regulating devices)ဖြစ်ကြသည်။ Expansion valve များသည် အထွက်(outlet)နေရာတွင် ဖိအား ပုံသေ(constant pressure) ရအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ Suction pressure ကို အခြေခံကာ အလိုရှိသည့် evaporating pressure ရအောင် refrigerant အရည်စီးနှုန်း(flow)ကို ထိန်းချုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ပြောင်းလဲလေ့ မရှိသည့်(constant) cooling load များအတွက် အသုံးပြုနိုင်သည့် ကိရိယာဖြစ်သည်။



ပုံ ၈-၁ Automatic Expansion Valve (AEV) တစ်ခု schematic ပုံ

Automatic expansion valve များသည် evaporator အတွင်း၌ evaporating pressure တစ်သမတ်တည်း ရှိနေစေရန် ထိန်းသိမ်းပေးသောကြောင့် "constant pressure expansion valve" ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ Evaporator အတွင်း၌ ဖိအားကို တစ်သမတ်တည်း ဖြစ်အောင် ထိန်းထားနိုင်သောကြောင့် evaporator အတွင်း ပုံသေ အပူချိန်(constant temperature) ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ အလိုရှိသည့် evaporator အပူချိန် ရအောင် ချိန်ထားရန် အတွက် valve တွင် adjustment screw ပါဝင်သည်။

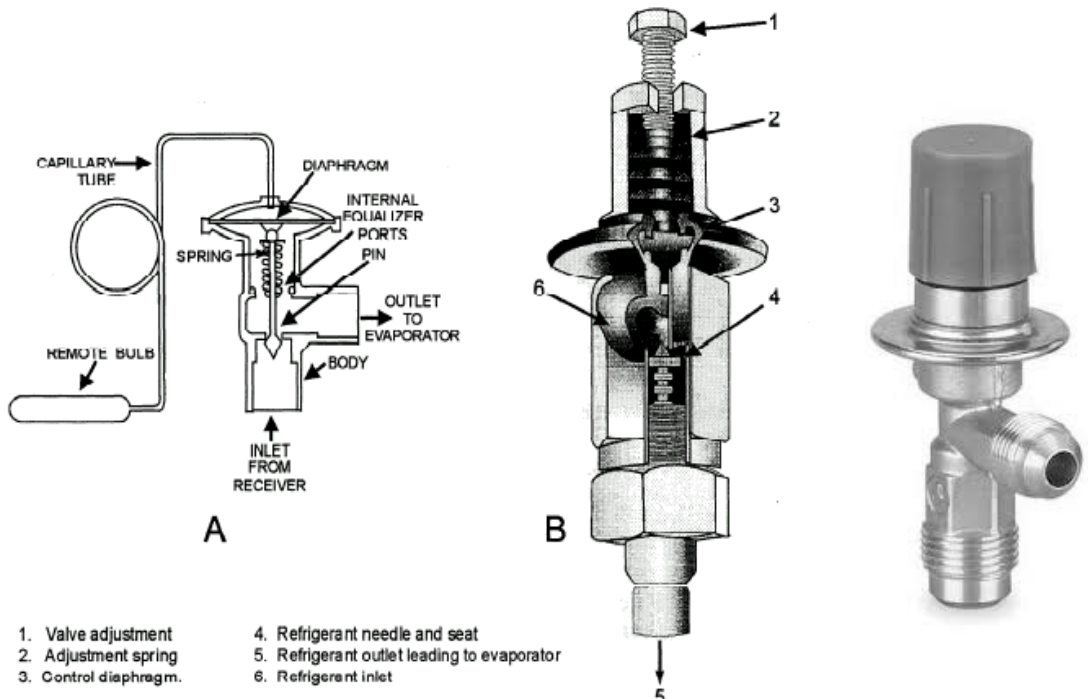
Valve တွင် အဓိကအားဖြင့် needle valve နှင့် valve seat ပါဝင်သည်။ Bellow သို့မဟုတ် diaphragm တစ်ခုကို စပရိန်(spring) ဖိအားဖြင့် တပ်ဆင်ထားသည်။ ပုံ(၈-၁) နှင့် (၈-၄)တို့တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း adjustment screw ဖြင့် စပရိန် တွန်းအားကို ချိန်ဆပေးနိုင်သည်။



ပုံ ၈-၄ Automatic Expansion Valve (AEV) တစ်ခု၏ schematic ပုံ

Refrigerant များသည် evaporator အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာပြီး အပူများကို စုပ်ယူကာ အငွေ့ပျံ့၍ evaporating pressure ဖြင့် ထွက်သွားသည်။ ထို pressure သည် သတ်မှတ်ထားသည့် ဖိအားထက် ကျော်လွန် သည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် diaphragm ကို တွန်းသဖြင့် valve သည် ပိတ်ခြင်း၊ ပွင့်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်ကာ သတ်မှတ် ထားသည့် ဖိအားကို ရရှိစေသည်။ ထိုကဲ့သို့ ဖိအားကို ပုံသေဖြစ်အောင် ထိန်းသိမ်းထားနိုင်သောကြောင့် refrigerant အပူချိန်ကို တစ်သမတ်တည်း ဖြစ်စေသည်။

ဖိအားတစ်ခုတည်းကိုသာ ထိန်းသိမ်းပေးသဖြင့် evaporator မှ ထမ်းဆောင်ရသော cooling load နှင့် လိုက်လျောညီထွေဖြစ်အောင် ဆောင်ရွက်နိုင်စွမ်း မရှိချေ။ Evaporator မှ cooling load များနေချိန်တွင် ဖိအား မြင့်တက်နေသဖြင့် refrigerant စီးဆင်းမှုနှုန်းခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။ Cooling load နည်းနေပါက ဖိအားကျ၍ refrigerant စီးဆင်းမှု များလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် compressor ထဲသို့ refrigerant များသည် အရည်အဖြစ် ရောက်ရှိ နိုင်သည်။ ထိုအားနည်းချက်ကြောင့် အသုံးနည်းခြင်း ဖြစ်သည်။ သို့သော် cooling load အပြောင်းအလဲမရှိသော စနစ်များ၊ evaporator အပူချိန် တစ်သမတ်တည်း လိုအပ်သော စနစ်များ၊ ကြီးမားသော လေအေးပေးစက်များ နှင့် liquid cooler များတွင် အသုံးပြုကြသည်။



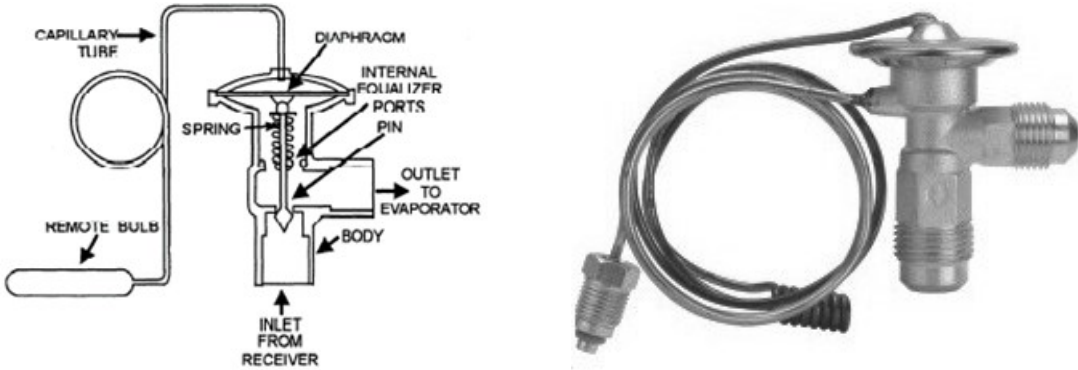
- 1. Valve adjustment
- 2. Adjustment spring
- 3. Control diaphragm.
- 4. Refrigerant needle and seat
- 5. Refrigerant outlet leading to evaporator
- 6. Refrigerant inlet

Figure 6-22—A. Thermostatic expansion valve; B. Automatic expansion valve.

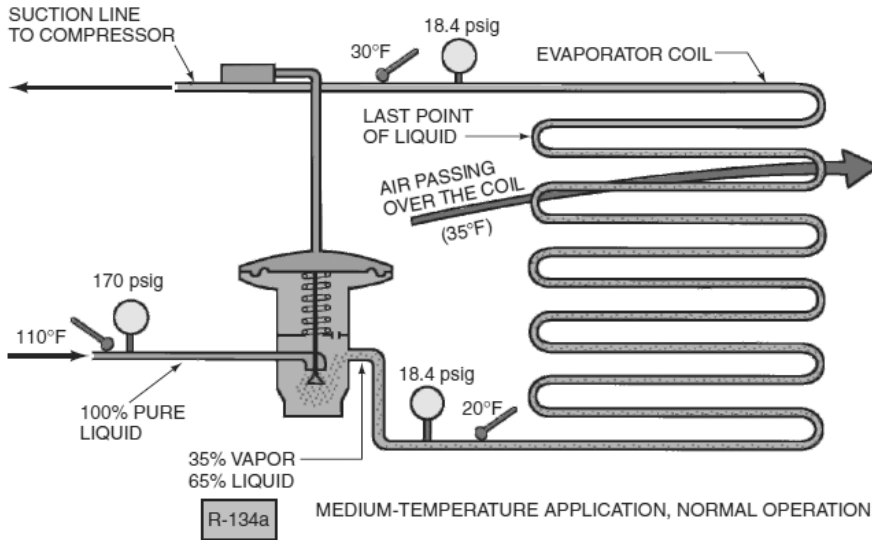
ပုံ ၈-၅(A)Thermostatic expansion valve နှင့် (B) Automatic expansion valve

၈.၂.၃ Thermostatic Expansion Valves (TEV)

Thermostatic expansion valve သည် ကျယ်ပြန့်ခြင်း(expansion)ကို အခြေခံ၍ system ၏ ဖိအား မြင့်သည့်ဘက်(high-pressure side) မှ ဖိအားနိမ့်သည့်ဘက်(low-pressure side)သို့ ဖိအားကျဆင်းသွားအောင် လျော့ချပေးသည့် ကိရိယာဖြစ်သည်။ အလွန်အသုံးများသည့် ကိရိယာတစ်မျိုးဖြစ်သည်။ Cooling load နှင့် system capacity တို့ ကိုက်ညီအောင် evaporator အတွင်းသို့ စီးဝင်မည့် ပမာဏ(liquid-refrigerant flow)ကို အလိုအလျောက် ထိန်း(control)ပေးသည့် ကိရိယာဖြစ်သည်။



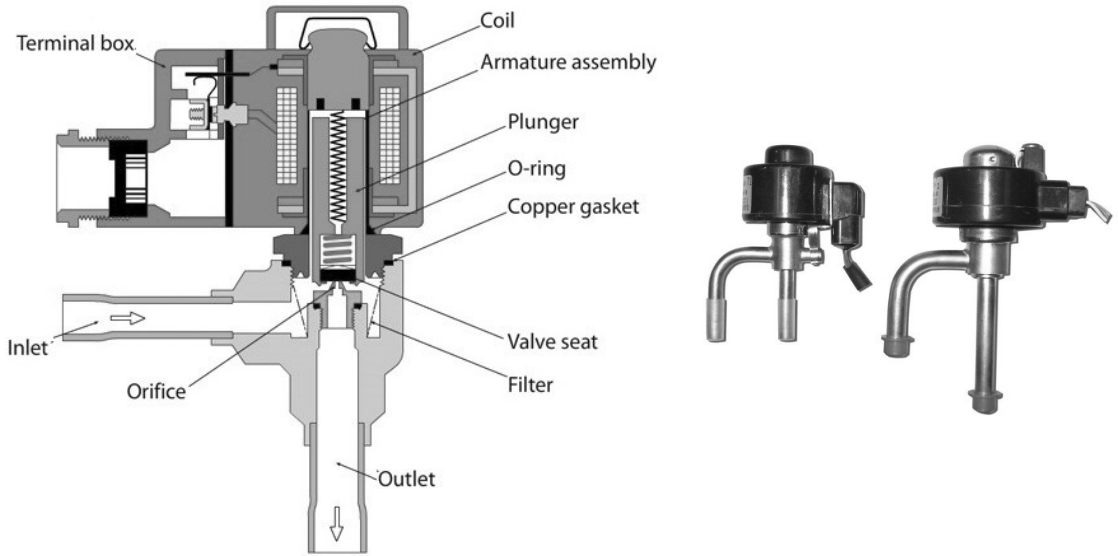
ပုံ ၈-၆(က) Thermostatic Expansion Valves



ပုံ ၈-၆(ခ) When the 110°F liquid passes through the expansion valve orifice, some of the liquid flashes to a vapor and cools the remaining liquid to the evaporator temperature at 20°F

Evaporator မှ ထွက်သွားသည့် refrigerant vapor ၏ superheated temperature ကို တိုင်းယူ၍ အလိုလျောက်ထိန်း(automatic control)ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ မည်သည့် refrigerant အမျိုးအစားဖြစ်စေ၊ evaporating temperature အားလုံးအတွက် မည်သည့် thermostatic expansion valve အမျိုးအစားနှင့်မဆို တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။ Thermostatic expansion valve များ ကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်လျှင် valve ၏ အထွက်ဘက် (outlet side) တွင်ရှိသည့် အပူချိန်သည် အဝင်ဘက်(inlet side)တွင် ရှိသည့် အပူချိန်ထက် ပိုနိမ့်သည်။

System မောင်းနှင်စဉ်(operation) ထိုကဲ့သို့ အပူချိန် ခြားနားချက် မဖြစ်ပေါ်ပါက valve seat တွင် အညစ်အကြေးများ ပိတ်ဆို့နေခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Thermostatic expansion valve များ ကို ကောင်းစွာချိန်ထား (adjust)ပြီးလျှင် နောက်ထပ် ထပ်မံ ချိန်ညှိခြင်း(adjustment) ပြုလုပ်ရန် မလိုအပ်ပေ။ အဓိက ပြဿနာများမှာ valve seat နှင့် orifice တို့တွင် ရေငွေ့(moisture)များ နှင့် အညစ်အကြေးများ ရှိနေခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၈-၇ Electronic expansion valve

ပုံ(၈-၇)တွင် electronic expansion valve ကို ဖော်ပြထားသည်။ Electronic expansion valve များကို အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။ Evaporator ၏ အထွက်ရှိ suction လိုင်း၌ superheat အပူချိန်ကို အတိအကျ ရအောင် ထိန်းသိမ်းပေးနိုင်သည်။ အခြေခံအားဖြင့် ပုံစံ(၂)မျိုး ကွဲပြားသည်။ Sensing bulb နှင့် thermal-electric တို့ဖြစ်သည်။ Sensing bulb ပုံစံတွင် ထပ်မံ၍ (၄)မျိုး ခွဲခြားသည်။ (၁) liquid charged (၂) gas charged (၃) liquid cross charged နှင့် (၄) gas cross charged တို့ဖြစ်သည်။

Liquid charged နှင့် gas charged တွင် အသုံးပြုသော အရည်သည် ထို system ထဲ၌ အသုံးပြုသော refrigerant ဖြစ်သည်။ သို့သော် cross charged တွင် အသုံးပြုသည့် sensing bulb အတွင်းရှိ အရည်များသည် တခြား မျိုးမတူသော refrigerant ဖြစ်သည်။ Evaporator pressure ၊ spring pressure နှင့် sensing bulb pressure တို့ကို အခြေခံ၍ ပြုလုပ်ထားသည်။ Bulb ကို evaporator အထွက် suction line တွင် တပ်ဆင် ထားသည်။

ပုံ(၈-၅(A))တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း bellow သို့မဟုတ် diaphragm ၏ အထက်ပိုင်းနှင့် refrigerant ထည့်ထားသော sensing bulb ကို သေးငယ်သော ပိုက်ကလေး(tube) ဖြင့် ဆက်သွယ်ထားသည်။ Sensing bulb ကို evaporator အထွက်တွင် တပ်ဆင်ထားသဖြင့် bulb ၏ အပူချိန်သည် evaporator အထွက် အပူချိန်နှင့် တူညီသည်။

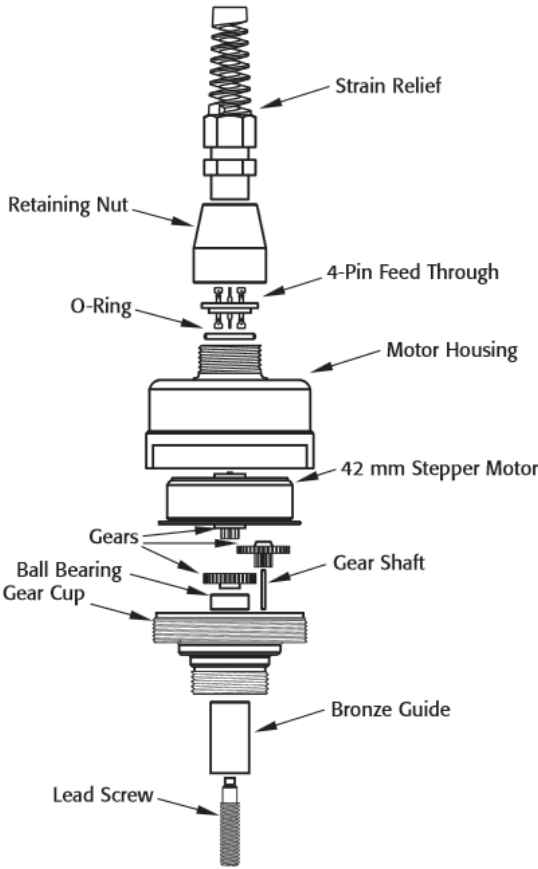
အကယ်၍ sensing bulb အပူချိန်မြင့်တက်လာလျှင် bulb အတွင်းမှ refrigerant ၏ ဖိအား မြင့်တက်လာပြီး diaphragm ကို တွန်းချပေးခြင်းဖြင့် valve ပွင့်ပြီး refrigerant များ valve ကို ဖြတ်၍ evaporator အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ကြသည်။ Refrigerant များသည် evaporator အတွင်း၌ အငွေ့ပျံကာ evaporator pressure မြင့်တက်လာ စေသည်။ ထိုအခါ ဖိအားကြောင့် diaphragm ကို အပေါ်သို့ ပြန်တွန်းခြင်းဖြင့် valve ကို ပိတ်စေပြီး refrigerant ဝင်ရောက်မှုကို ရပ်တန့်သွားစေသည်။ သို့မဟုတ် နည်းသွားစေသည်။ ထိုကဲ့သို့ valve အဖွင့်အပိတ် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် ဖိအားပုံသေ(constant pressure)ဖြစ်အောင် ထိန်းသိမ်းပေးသည်။

ထို့ကြောင့် cooling load လျော့နည်းချိန်တွင် evaporator အတွင်း၌ အငွေ့ပျံနှုန်း လျော့နည်းကာ compressor အတွင်းသို့ refrigerant များ အရည်အဖြစ် ဝင်ရောက်မှု ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ထိုသို့ဖြစ်ခြင်းကို valve က ဟန့်တားပေးနိုင်သည်။ Load မြင့်မားနေပါက evaporator temperature မြင့်သဖြင့် bulb အပူချိန်မြင့်မား နေသောကြောင့် ပိုက်ကလေးအတွင်း၌ ဖိအားများကာ diaphragm မှတစ်ဆင့် valve ကို ဖွင့်ပေးသည်။ Valve ဖွင့်သဖြင့် refrigerant များအဆက်မပြတ် ဝင်ရောက်နေလိမ့်မည်။ Adjust screw သည် evaporator အဝင်နှင့် evaporator အထွက် အပူချိန်ကွာခြားမှု တန်ဖိုး(degree of superheat)ကို သတ်မှတ်ထားသည့်အတိုင်း ရရှိစေရန် ချိန်ဆ(adjust)သည့် အခါတွင် အသုံးပြုရန် အတွက် တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

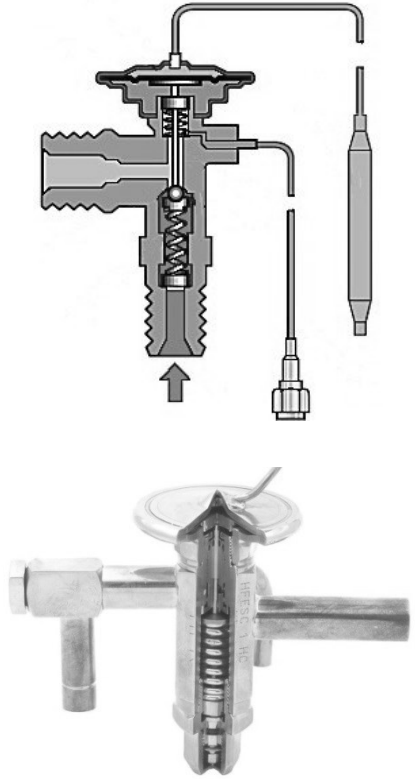
Thermostatic expansion များကို multiple evaporator စနစ်များတွင် အသုံးပြုကြသည်။ ကြေးဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ Liquid line နှင့် evaporator line တို့ တိုက်ရိုက် ဆက်သွယ်ထားသည်။ Needle valve နှင့် အထိုင်သည် ဘော်ဒီအတွင်း၌ တည်ရှိသည်။ Needle valve သည် ပျော့ပြောင်းကွေးညွတ်နိုင်သော bellow သို့မဟုတ် diaphragm နှင့် ဆက်ထားသည်။ Diaphragm ၏ တခြားတစ်ဘက်မှ rod ဖြင့် diaphragm ကို လှုပ်ရှားစေသည်။ Rod ဘက်ပိုင်းသည် sensing bulb ၏ capillary tube နှင့် ဆက်သွယ်ထားသည်။ Sensing bulb သည် refrigerant အရည်အသွေးအတိုင်း အလုပ်လုပ်သည်။ ထိုနေရာတွင် သုံးသော refrigerant အမျိုးအစားကို valve ပေါ်တွင် တံဆိပ်ရိုက်ထား တတ်သည်။ တချို့တွင် R-12 ကို အသုံးပြုသည်။ Colour code မှာ အဝါရောင် ဖြစ်သည်။

Expansion valve များ တပ်ဆင်ခြင်း၏ ရည်ရွယ်ချက်သည် system အတွင်းရှိ ဖိအားမြင့်သည့် (high pressure) condensing side မှ ဖိအားနိမ့်သည့် (low pressure) evaporator ဆီသို့ စီးဆင်းသည့် refrigerant ပမာဏကို control လုပ်ရန်အတွက် ဖြစ်သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် modulating သို့မဟုတ် two position variable flow orifice ကို အသုံးပြု၍ ဖိအားလျော့ချခြင်း (pressure reduction) ပြုလုပ်နိုင်သည်။ High pressure condensing side မှ refrigerant များသည် orifice ကို ဖြတ်သန်းပြီးနောက် ဖိအားလျော့နည်းသွားသည်။ Control လုပ်သည့်နည်း (method)အပေါ် မူတည်၍ expansion valve များကို အမျိုးအစား ခွဲခြားနိုင်သည်။

Direct expansion unit (DX unit) များတွင် liquid refrigerant များ compressor အတွင်းသို့ မဝင်ရောက် နိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားရန် လိုအပ်သည်။ Refrigerant များ saturated gas အနေဖြင့်သာ compressor အတွင်းသို့ စေရန်အတွက် refrigerant အပူချိန်ကို superheat region အတွင်းသို့ရောက်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် 5 K ခန့် superheat ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ Evaporator မှ ထွက်သွားသည့် refrigerant များ၏ အပူချိန်ကို သိနိုင် (detect)အောင် Thermostatic Expansion Valves (TEVs)များအား ပြုလုပ်ထားလေ့ရှိသည်။



ပုံ ၈-၉ Electric Expansion Valve



ပုံ ၈-၁၀ Thermal electric expansion valve

၈.၂.၄ Thermal Electric Expansion Valve သို့မဟုတ် Electric Expansion Valve

Thermal electric expansion valve သည် လျှပ်စစ်မော်တာဖြင့် မောင်းသည့် valve ဖြစ်သည်။ ဗို့အား (voltage) ပြောင်းလဲပေးခြင်းဖြင့် valve ကို ပိတ်စေပွင့်စေသည်။ Valve ကို ပိတ်သွားသည့်အခါ refrigerant စီးဆင်းမှု ရပ်တန့်သွားလိမ့်မည်။

လိုအပ်သည့် စွမ်းအား(power)ကို ထုတ်လုပ်ပေးနိုင်သည့် low voltage transformer တစ်ခုကို အသုံးပြု ထားသည်။ Evaporator control mechanism နှင့် တိုက်ရိုက် ဆက်သွယ်ထားသည်။ Evaporator အတွင်းရှိဖိအားကို ထိန်းပေးခြင်း မဟုတ်ပေ။ Refrigerant စီးနှုန်းကို ကန့်သတ်ပေးခြင်းနှင့် compressor ထဲသို့ အရည်များ မဝင်ရောက် စေရန် suction line အတွင်းရှိ superheat တန်ဖိုးကို ထိန်းထားပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

ပုံ(၈-၇)တွင် thermal electric expansion valve တစ်ခု၏ ဖြတ်ပိုင်းပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Expansion valve တစ်ခု အလုပ်လုပ်ပုံနှင့် ဝိုင်ယာကြိုး ချိတ်ဆက်ထားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Cycle operation ရပ်နားချိန်တွင် အောက်ပါတို့အနက်မှ တစ်ခုခုသော်လည်းကောင်း၊ နှစ်ခုစလုံးသော်လည်းကောင်း ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။

- (၁) Valve သို့ ပေးပို့သည့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားကို မဖြတ်တောက်ခြင်းကြောင့် ဖိအား ညီမျှနေလိမ့်မည်။
- (၂) Compressor နှင့် thermal electric expansion valve ကို interlock လုပ်ထားသည်။ Cycle ရပ်နားပါက valve ပိတ်နေလိမ့်မည်။ Suction line အတွင်း သေးငယ်သော thermistor တစ်ခုကို တိုက်ရိုက် တပ်ဆင်ပြီး expansion valve သည် superheat control ကဲ့သို့ ဆောင်ရွက်သည်။

Thermistor သည် superheated refrigerant များ နှင့် ထိတွေ့သည့်အခါ thermistor ၏ အပူချိန် မြင့်တက်လာ လိမ့်မည်။ ထိုအခါ thermistor ၏ resistance တန်ဖိုးများ ကျဆင်းသွားပြီး expansion valve actuator အတွင်းသို့ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားများ စီးဆင်းဝင်လာသောကြောင့် valve ပွင့်၍ refrigerant များ စီးဆင်းသွားလိမ့်မည်။ စိုစွတ်သော refrigerant သည် thermistor နှင့်ထိတွေ့ပါက thermistor သည် ချက်ချင်း အပူချိန်နိမ့် သွားလိမ့်မည်။ ထိုအခါ thermistor ၏ resistance တန်ဖိုး ပိုများလာပြီး valve အတွင်း၌ လျှပ်စစ်စီးဆင်းမှုနည်းသဖြင့် valve ပိတ်သွားမည်။ ကောင်းစွာအလုပ်လုပ်စေရန် thermistor ကို suction line အတွင်း တပ်ဆင်ထားရမည့် နေရာသည် အလွန်ရေးကြီးသည်။ တချို့သော system များတွင် တစ်လုံးထက်ပိုများသော thermistor များကို တပ်ဆင်ကြသည်။

၈.၂.၅ Electronic Expansion Valves

Electronic expansion valve များသည် ပိုချောမွေ့ တိကျသည့်(finer degree) control နှင့် ဝိစိတ်ချရသည့် system protection ပေးနိုင်သည်။ အားသာချက်များကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

- (၁) Cooling load နည်းသည်ဖြစ်စေ၊ များသည်ဖြစ်စေ တိကျစွာ control လုပ်ပေးနိုင်သည်။
- (၂) Cooling load ပြောင်းလဲမှုများကို ချက်ချင်း လျှင်မြန်စွာ တုံ့ပြန်နိုင်သည်။
- (၃) သာမန်ထက် ပိုနိမ့်သည့် superheat အပူချိန်ရအောင် ကောင်းစွာ control လုပ်ပေးနိုင်သောကြောင့် အငွေ့ယုံခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည့် မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(evaporator surface) အနည်းငယ်လျော့နည်း နိုင်သည်။ အငွေ့ယုံ ခြင်းဖြစ်ပေါ်သည့် မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(evaporator surface) များလျှင် evaporating temperature ပိုမြင့် နိုင်သောကြောင့် efficiency ပိုကောင်းနိုင်သည်။
- (၄) ကိရိယာများ အတွက် သွယ်တန်းရမည့် ဝါယာကြိုးကို လိုသလို ပြောင်းလဲနိုင်သည်။ ကျစ်လျစ်စွာ တပ်ဆင် ထားသည့်(compact) system များအတွက် မရှိမဖြစ် လိုအပ်သည့်အချက် ဖြစ်သည်။
- (၅) System ရပ်နားထားချိန်(shut down)တွင် electronic expansion valve သည် ပိတ်နေသောကြောင့် shut off လုပ်ရန် solenoid valve တပ်ဆင်ထားရန် မလိုအပ်ပေ။

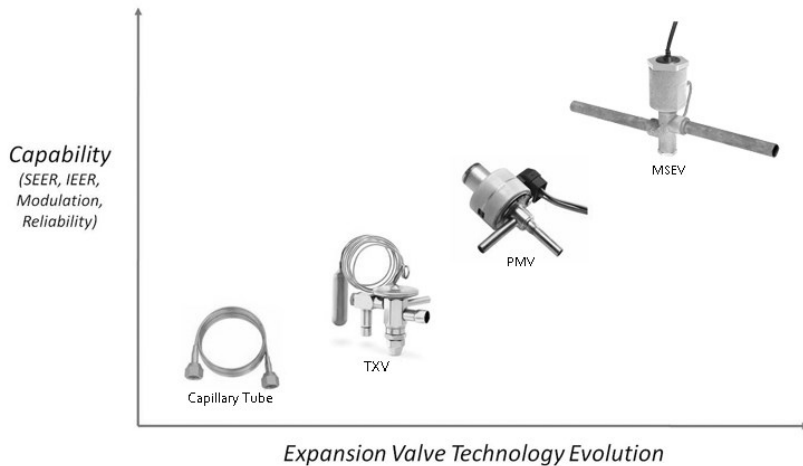
Orifice အဝ အရွယ်အစား(size)ကို stepper motor သို့မဟုတ် pulse width modulated (PWM) အမျိုးအစားများကို အသုံးပြု၍ control လုပ်ကြသည်။ Evaporator outlet မှ ဖိအား(pressure) နှင့် အပူချိန် (temperature) ကို sensor မှ တိုင်းယူပြီး controller ဆီသို့ ပို့ပေးသည်။ Controller မှ output signal ထုတ်ပေးပြီး motor သို့မဟုတ် actuator မှ တစ်ဆင့် orifice အဝအရွယ်အစား(size)ကို control လုပ်ပေးသည်။ လျှပ်စစ်ဓာတ်အား ပြတ်တောက်(power loss)ချိန်တွင် valve ပိတ်နေအောင် ပြုလုပ်ထားနိုင်သည်။ Low ambient temperature သို့မဟုတ် condensing pressure ကျဆင်းလျှင် သော်လည်းကောင်း၊ partial load condition သို့မဟုတ် floating condensing pressure တွင် thermostatic expansion valve များသည် hunting ဖြစ်နိုင်သည်။



ပုံ ၈-၁၁(က) Electronic Expansion Valve

ပုံ ၈-၁၁(ခ) Electronic expansion valve

ပုံ(၈-၁၁)သည် continuous flow type valve ၏ ပုံဖြစ်သည်။ Valve seat နှင့် slider ကို solid ceramic ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ 10% နှင့် 100% အကြားတွင် linear capacity characteristic ပေးနိုင်သည့် valve များ ဖြစ်ကြသည်။ Controller နှင့် configuration လုပ်သည့် ပုံစံများအရ အမျိုးမျိုးအသုံးပြုနိုင်သည်။ Expansion valve အသုံးပြုနိုင်သည့်နည်းများမှာ superheat control ၊ capacity control လုပ်ရန် suction pressure control ၊ compressor အား de-superheating လုပ်ရန်အတွက် liquid injection လုပ်ခြင်း၊ condensing pressure control နှင့် hot gas bypass control တို့ဖြစ်ကြသည်။



ပုံ ၈-၁၂ Expansion valve နည်းပညာ တိုးတက်ပြောင်းလဲလာပုံ

၈.၂.၆ Capillary Tubes

အောက်ပါအချက် နှစ်ချက်ကြောင့် capillary tube များတွင် ဖိအားလျော့နည်းခြင်း(pressure reduction) ဖြစ်ပေါ်သည်။

- (၁) Tube နံရံများ(walls)တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် ပွတ်တိုက်မှု(frictional resistance)ကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။
- (၂) Liquid refrigerant များ အငွေ့ပျံခြင်းကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။

Refrigerant အငွေ့သိပ်သည်းဆ(vapor density)သည် အရည် သိပ်သည်းဆ(liquid density)ထက် ပိုနည်းသည်။ Capillary tube အတွင်း၌ refrigerant များ စီးဆင်းနေစဉ်အတွင်း refrigerant ၏ ပျမ်းမျှသိပ်သည်းဆ (average density) လျော့နည်းလာသည်။ Tube diameter နှင့် ဧရိယာ မပြောင်းလဲပေ။ Refrigerant စီးနှုန်း (flow rate) မပြောင်းလဲသည့်အခါ capillary tube အတွင်း၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် refrigerant velocity ပိုများလာသည်။ Refrigerant mass flow rate သည် ρVA ဖြစ်သည်။ Refrigerant velocity ပိုများလာသောကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) ပိုများလာသည်။

Refrigerant စီးနှုန်း(mass flow rate)သည် ဖိအားကွာခြားချက်(pressure difference)အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Capillary tube သည် cooling load ပြောင်းလဲမှုများနှင့် ကိုက်ညီသည့် စီးနှုန်း(mass flow rate) ရအောင် လိုက်၍ ပြောင်းလဲပေးနိုင်စွမ်း မရှိပေ။ Capillary tube တပ်ဆင်ထားသည့် unit များသည် capacity control လုပ်ရန်အတွက် unit တစ်ခုလုံးကို ရပ်နားခြင်း(cut in)၊ ပြန်မောင်းခြင်း(cut out) ပြုလုပ်ရသည်။

Capillary tube များသည် အရိုးရှင်းဆုံးသော refrigerant flow control device များ ဖြစ်ကြသည်။ Expansion valve များ နေရာတွင် အသုံးပြုသည်။ Capillary tube များသည် အလွန်သေးငယ်သည့် ပိုက်ကလေးများ (small-diameter tubes)ဖြစ်ကြသည်။ Refrigerant များသည် ထိုပိုက်ငယ်ကလေးများကို ဖြတ်၍ စီးဆင်းပြီး evaporator အတွင်းသို့ ရောက်ရှိသွားသည်။ သေးငယ်သည့် hermetic type refrigeration system များ (up to 30 kW capacity)တွင် အလွန်ကျယ်ပြန့်စွာ အသုံးပြုကြသည်။

ဖိအားမြင့်သည့် condensing pressure မှ ဖိအားနိမ့်သည့် evaporating pressure သို့ရောက်အောင် လျော့ချပေးနိုင်သည့် အချင်း 0.4mm မှ 3mm ရှိပြီး အရှည် 1.5m မှ 5 m ရှိသည့် copper tube ငယ်ကလေးများ ဖြစ်သည်။ Refrigeration load မည်ကဲ့သို့ပြောင်းလဲနေပါစေ evaporating pressure ကို တည်ငြိမ်အောင် ထိန်းထားနိုင်သည်။ Sensing bulb မှ အပူချိန်ကို တိုင်းယူပြီး evaporating pressure ကို control လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ အိမ်သုံး ရေခဲသေတ္တာ(refrigerator)များတွင် capillary tube များကို heat exchanger ၏ အစိတ်အပိုင်းအဖြစ် တည်ဆောက် တပ်ဆင်ထားသည်။

Compressor capacity နှင့် ကိုက်ညီအောင် ပိုက်ငယ်များ၏ အရှည်(length of the tube)ကို ချိန်ယူ (adjust) ရသည်။ Condenser efficiency နှင့် evaporator အရွယ် အစား(size)ကို အခြေခံ၍ capillary tube အရွယ်အစား ရွေးချယ်ရသည်။ Capacity နည်းသည့် system များတွင် capillary tube များကို အသုံးပြုလျှင် အလွန် effective ဖြစ်သည်။

အလိုရှိသည့် ဖိအားကျဆင်းမှု ဖြစ်ပေါ်အောင် သေးငယ်သည့် ပိုက်ကလေးများ၏ အရှည်ကို အတိအကျ တွက်ချက်၍ ပြုလုပ်ထားသည်။ Condenser နှင့် evaporator ကြားတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ ပွတ်တိုက်မှု(friction) ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှုသည် ပိုက်၏ အချင်းနှင့် အရှည်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ထို့ကြောင့် saturation pressure ကို ကျဆင်းစေသည်။ ထို့ကြောင့် capillary tube သည် condenser မှ evaporator သို့ စီးဆင်းနေသည့် refrigerant flow ကို တိုင်းတာပေးသည်။ Condenser နှင့် evaporator နှစ်ခု၏ ဖိအားခြားနားမှုကို တည်ငြိမ်အောင် ထိန်းသိမ်းပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ Capillary tube နှင့် condenser ကို တိုက်ရိုက် ဆက်သွယ်ထားသည်။ ပိုက်အတွင်း စီးဆင်းသော refrigerant ပမာဏကို ထိန်းချုပ်(control)နိုင်သည်။ Compressor အတွင်းသို့ လက်ခံနိုင်သည့် flow rate ထက် ပိုများသည့် refrigerant များ ဝင်ရောက်လာပါက ပျက်စီးမှုများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

ဥပမာ- capillary tube ပို၍ ရှည်လျားခြင်း သို့မဟုတ် ပိုက်အချင်း ပို၍ သေးငယ်ခြင်းတို့ ဖြစ်လျှင် ခုခံမှုအား များသောကြောင့် စီးဆင်းမှု ပမာဏနည်းသွားလိမ့်မည်။ Evaporator အလုပ်လုပ်မှုနည်းသွားပြီး ပိုလျှံ နေသော refrigerant အရည်များသည် condenser သို့ ပြန်ဆောင်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Condenser အတွင်း၌ လည်း အပူချိန် မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။

ထို့အတူပင် capillary tube ၏ အရှည်မှာ ပို၍ တိုခြင်း သို့မဟုတ် ပိုက်အချင်း ပိုကြီးနေခြင်း ဖြစ်နေပါက စီးဆင်းမှုပမာဏ များပြီး ပန် capacity နည်းနေလိမ့်မည်။ ထိုအချိန်တွင် evaporator ၌ overfeed ဖြစ်နေပြီး compressor သို့မဟုတ် refrigerant အရည်များ ရောက်ရှိလာမည်။ ထို့ကြောင့် refrigeration system မှ လိုအပ်သော ပမာဏနှင့် ကိုက်ညီသော tube ၏ အရှည်နှင့် အချင်းကို ရွေးချယ်ရမည်။ သို့မှသာ pump capacity နှင့် flow rate တို့ ကိုက်ညီပြီး efficiency ပိုကောင်းနိုင်သည်။

Table 8-1 capillary tube size and applications

Horse Power	Temp	Required Length of Capillary Tubing in Feet for R-12 Refrigerant. Tube Inside Diameter (ID) in Inch						
		0.031	0.036	0.040	0.042	0.049	0.055	0.065
1/8	High	1.1	2.2	3.5	4.5	9	15	
	Medium	4	8	13	16	32	56	
	Low	9	18	29	36	72	126	
1/5	High						10	
	Medium	2.2	4.4	7.0	9	18	31	
	Low	5.2	10.5	17	21	42	73	
1/4	High						5	
	Medium	1.1	2.2	3.5	4.5	9	1.5	
	Low							7.5
1/3	Medium						9.5	
	Low	1.75	3.5	5.6	7	14	2.5	

Capillary tube သည် တခြားသော refrigerant control device များနှင့် ကွာခြားသည်။ Cycle ရပ်နားထားချိန် evaporator အတွင်း refrigerant စီးဆင်းမှု ဆက်လက်ဖြစ်ပေါ် နေလိမ့်မည်။ Capillary ပိုက်မှာ ပွင့်နေသဖြင့် low side pressure နှင့် high side pressure တို့ တဖြည်းဖြည်း ညီမျှလာလိမ့်မည်။ ထိုအချိန်သည် refrigerant ထည့်ရန် အကောင်းဆုံးအချိန် ဖြစ်သည်။ ထည့်ရာတွင် လိုအပ်သလောက်သာ ထည့်သွင်းရမည်။ အကယ်၍ ပိုသွားပါက condenser သို့ ပြန်ဆောင်မည်ဖြစ်ပြီး condensing pressure မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ ထို့အခါ efficiency ကျဆင်းသွားနိုင်သည်။ ထို့ပြင် evaporator သို့ ရောက်ရှိလာသော refrigerant အရည်များသည် အလွန်များလျှင် compressor သို့ ရောက်ကာ compressor ပျက်စီးစေနိုင်သည်။

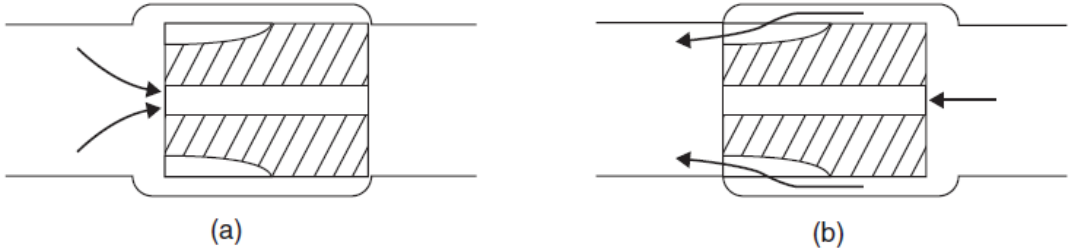
Capillary tube အသုံးပြုသော စက်များ၏ တည်ဆောက်မှု စရိတ်နည်းသည်။ ထို့ကြောင့် tube ကို သုံးသဖြင့် system ရပ်နားချိန်တွင် ဖိအားများ ညီနေသဖြင့် unloaded အခြေအနေတွင် ရှိသည်။ ထိုအချိန်တွင် စတင် လည်ပတ်စေပါက မော်တာသည် starting torque အနည်းငယ်ဖြင့်သာ စတင်လည်ပတ်မည်။ ထို့ကြောင့် အိမ်သုံး (domestic) refrigeration စနစ်များတွင် အများဆုံး အသုံးပြုသည်။ အားနည်းချက်များမှာ စီးနှုန်း(flow rate)ကို လိုသလို ရအောင် မလုပ်နိုင်ခြင်း၊ ဓာတ်ငွေ့(refrigerant) ပမာဏ တိတိကျကျ ထည့်သွင်းခြင်းနှင့် capillary tube အတွင်း ပိတ်ဆို့မှုများ ဖြစ်ပေါ်ပါက ဖယ်ရှားရန် မလွယ်ကူခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

၈.၂.၇ Capillary Tubes and Restrictor

ကြီးမားသည့် system များတွင် variable orifice များကို expansion valve များအဖြစ် တပ်ဆင်ကြသည်။ သေးငယ်သည့် system များတွင် capillary tube များကို တပ်ဆင်ကြသည်။ Capillary tube များသည် modulating မလုပ်နိုင်သည့် ကိရိယာ(non-modulating device)များ ဖြစ်သောကြောင့် အားနည်းချက်များ ရှိသည်။ သို့သော် စနစ်တကျ ရွေးချယ် တပ်ဆင်ထားသည့် capillary tube များသည် ကျေနပ်ဖွယ်ကောင်းလောက်သည့် စွမ်းဆောင်ရည် (performance)များကို ပေးနိုင်သည်။

Refrigerant စီးနှုန်း(mass flow) ပမာဏသည် ဖိအားကွာခြားမှု(pressure difference)နှင့် အဝင်နေရာတွင် ဖြစ်ပေါ်သည် liquid subcooling အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ သေးငယ်သည့် air conditioning system များတွင် capillary tube များကို မပါမဖြစ် အသုံးပြုကြသည်။ လေထုအပူချိန်(ambient temperature) မြင့်တက်လာသောကြောင့် cooling load များလာသည့်အခါ condensing pressure မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ ထိုအခါ evaporator အတွင်းသို့ refrigerant flow ပိုများများ စီးဝင်ရန် လိုအပ်သည်။

Tube များ၏ အချင်းသည် 0.8mm မှ 2 mm ဖြစ်ပြီး အရှည်သည် 1mမှ 4m ခန့် ဖြစ်နိုင်သည်။ Capillary tube ပါရှိသည့် air con unit များကို စက်ရုံ၌ တပ်ဆင်ပြီး refrigerant ပမာဏ အတိအကျ ထည့်သွင်း(charge) ပေးလေ့ရှိသည်။



ပုံ ၈-၁၃ Restrictor expansion device

Cooling နှင့် heating အတွက် အသုံးပြုမည့် unit (reversible air conditioner) များတွင် တပ်ဆင်လေ့ရှိသည့် throttling device ကို ပုံ(၈-၁၃)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Expansion device ကဲ့သို့ ပြုမှု ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ ပုံ(၈-၁၃) (a)သည် normal cooling mode ရှိနေမည့် device ပုံစံ ဖြစ်သည်။ ပုံ(၈-၁၃)(b)တွင် flow reverses ဖြစ်သောကြောင့် bullet သည် seat ဘက်သို့ ရွေ့သွားသည်။

Capillary tube နှင့် restrictor ကို evaporator ၏ အဝင်(inlet) ၌ တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသော်လည်း condenser ၏ အထွက်(outlet)၌ တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။

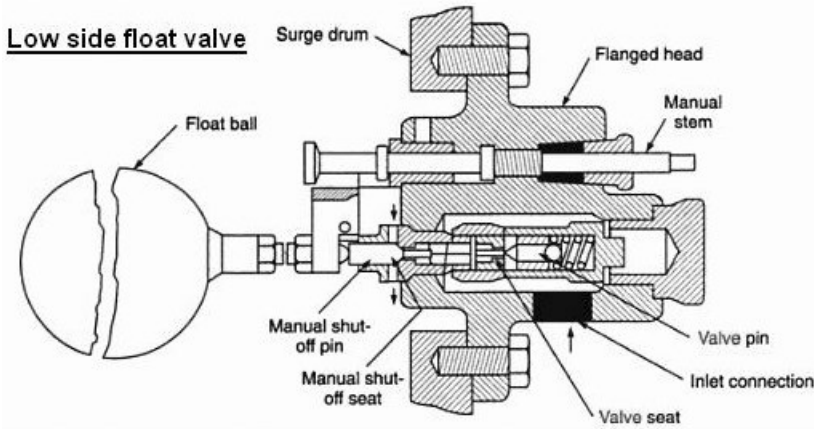
၈.၂.၈ Float Valves

Float valve များကို high side float valve နှင့် low side float valve ဟူ၍ နှစ်မျိုး ခွဲခြားထားသည်။ Flooded type liquid cooler တပ်ဆင်ထားသည့် chiller များတွင် refrigerant flow ကို control လုပ်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ Throttling device ၏ ဖိအားမြင့်သည့်ဘက်(high pressure side)တွင် high side float valve ကို တပ်ဆင်ထားသည်။ Evaporator တစ်ခု၊ compressor တစ်ခု နှင့် condenser တစ်ခုသာ ပါရှိသည့် chiller များ သို့မဟုတ် refrigeration system တွင် အသုံးပြုနိုင်သည်။

Throttling device ၏ ဖိအားနိမ့်သည့်ဘက်(low pressure side)တွင် low side float valve ကို တပ်ဆင်ထားသည်။ Evaporator များစွာ ပါဝင်သည့် refrigeration system တွင် အသုံးပြုကြသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ float valve ကြောင့် evaporator အတွင်း၌ liquid level မြင့်တက်ခြင်း၊ နိမ့်ဆင်းခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။ သို့သော် သတ်မှတ် ထားသည့် အတိုင်းအတာ(preset limits)အတွင်း၌သာ မြင့်တက်ခြင်း၊ နိမ့်ဆင်းခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။

၈.၂.၉ Low Pressure Side Float Valve

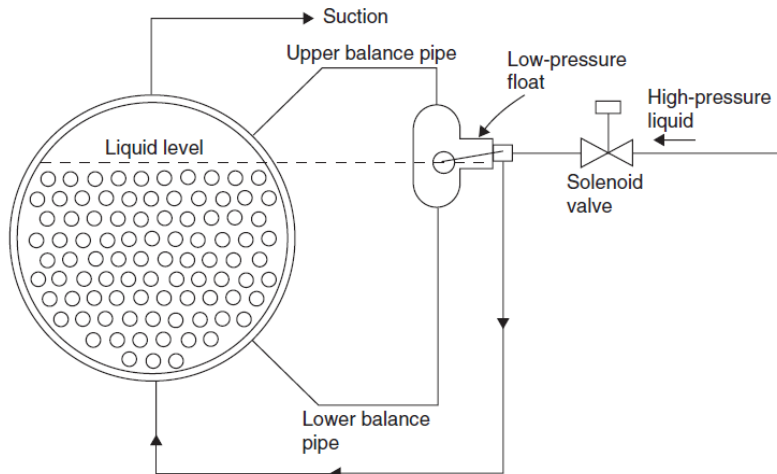
Low side float သည် evaporator အတွင်း refrigerant အရည်၏ level ကို တစ်သမတ်တည်းဖြစ်အောင် ထိန်းထားပေးသည်။ Float သည် ပွင့်နေသော ဆလင်ဒါ သို့မဟုတ် chamber တစ်ခုထဲတွင် တည်ရှိသည့် sealed ball တစ်ခု ဖြစ်သည်။ Float ကို lever ဖြင့် ချိတ်ဆက်(link)ထားပြီး needle valve တစ်ခုသည် ဝင်ပေါက်ကို ဖွင့်ခြင်း၊ ပိတ်ခြင်း လုပ်နိုင်အောင် တည်ဆောက်ထားသည်။ Evaporator ၏ refrigerant level နိမ့်နေပါက valve မှာ ပွင့်နေပြီး သတ်မှတ်ထားသော အရည် level သို့ ရောက်ရှိနေပါက valve ပိတ်သွားလိမ့်မည်။



ပုံ ၈-၁၄ Low pressure side float refrigerant control

Refrigerant အမြင့်(level)ကို control လုပ်ရန်အတွက် bucket type float သို့မဟုတ် pan type float ကို အသုံးပြုသည်။ Oil binding ဖြစ်ခြင်းသည် low side float ၏ အားနည်းချက် ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် oil နှင့် refrigerant တို့ ရောနေနိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ပိုလျှံနေသော ချောဆီများ ပြန်ထွက်သွားစေရန် refrigerant အရည်၏ မျက်နှာပြင်တွင် wick တစ်ခု သို့မဟုတ် သေးငယ်သော by pass ပိုက်တစ်ခုကို အသုံးပြုခြင်းဖြင့် ထို ပြဿနာကို ဖြေရှင်းနိုင်သည်။

Liquid receiver တစ်ခု တပ်ဆင်ထားပြီး ပိုလျှံသည့် refrigerant အရည်များကို သိုလှောင်ထားသဖြင့် evaporator အတွင်းသို့ လိုအပ်သလောက်သာ ဝင်ရောက်သွားလိမ့်မည်။ ပုံ(၈-၁၄)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း pan type float တွင် evaporator များ၏ suction line သည် float chamber သို့ ရောက်ရှိသည်။ ကြီးမားသော စက်ရုံသုံးစက်များနှင့် ရေအေးပေးစနစ်များတွင် အသုံးပြုသည်။ Thermostatic expansion valve သို့မဟုတ် low side float များကို multiple evaporator စနစ်များတွင် အသုံးပြုသည်။

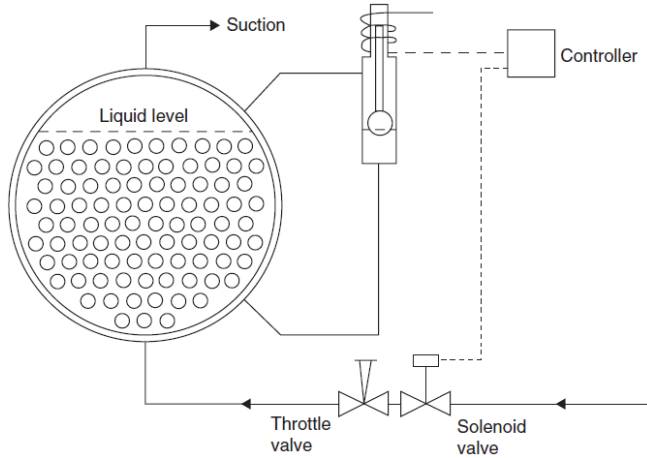


ပုံ ၈-၁၅ Low-pressure float valve on flooded cooler

၈.၂.၁၀ Lower Pressure Float Valve and Switch

Flooded evaporator များတွင် ပါရှိသော tube များကို အမြဲတမ်း refrigerant liquid ဖြင့် စိုစွတ် နေစေရန်အတွက် refrigerant အရည်၏ အမြင့်ကို တစ်သမတ်တည်းဖြစ်အောင် ထိန်းထားရန် လိုအပ်သည်။ သာမန် ရိုးရှင်းသည့် float valve တစ်ခုတပ်ဆင်ထားရုံဖြင့် လုံလောက်သည်။ Evaporator shell အတွင်း၌ refrigerant များ ဆူပွက်နေ(boiling)သောကြောင့် float valve ကို အပြင်ဘက်၌ တပ်ဆင်ထားရသည်။ ပုံ(၈-၁၅)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း balancing line ဖြင့် ဆက်သွယ်ထားသည့် သီးသန့် အခန်း(chamber)တစ်ခုတွင်း၌ တပ်ဆင်ထားသည်။

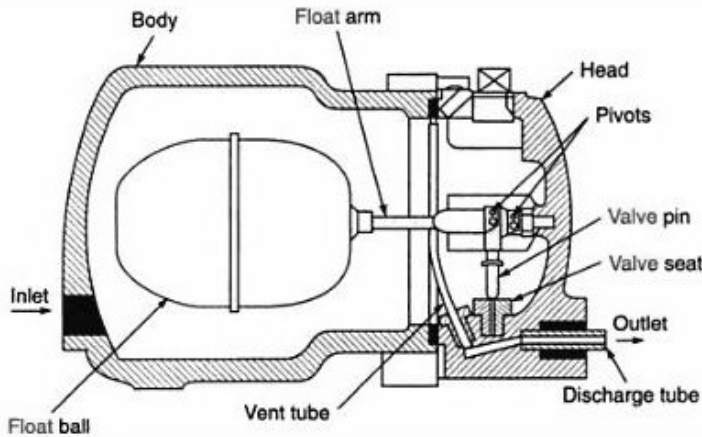
Lower pressure float valve သည် metering device တစ်ခု ဖြစ်သည်။ Compressor ရပ်နေသည့် အချိန်တွင် valve သည် လုံးဝ လုံနေအောင် ပိတ်နေသည် အခြေအနေသို့ မရောက်နိုင်ပေ။ Valve မလုံသောကြောင့် evaporator အတွင်း စီးဝင်မှု ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Compressor အတွင်းရှိ ဖိအားနှင့် evaporator ဖိအားတို့ တူညီသည့် တိုင်အောင် စီးဝင်နေလိမ့်မည်။ Suction outlet အနားထိရောက်အောင် liquid များ မြင့်တက် လာလိမ့်မည်။ လုံးဝ လုံနေအောင် ပိတ်ရန်(shut-off)အတွက် liquid line တွင် solenoid valve တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ ပုံ(၈-၁၆)တွင် low pressure float valve ကို solenoid valve နှင့် အတူ တွဲ၍ အသုံးပြုပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Throttle valve ကို pressure reducing device အဖြစ် တပ်ဆင်ထားသည်။



ပုံ ၈-၁၆ Low pressure float switch

၈.၂.၁၁ High Pressure Side Float

High side float refrigerant control ကို high pressure side ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Low side mechanism တချို့နှင့် တည်ဆောက်ပုံ တူညီသည်။ Compressor လည်ပတ်ချိန်တွင် condenser မှ refrigerant များသည် high side float chamber သို့ တိုက်ရိုက် စီးဆင်းသွားသည်။ Liquid receiver မပါရှိချေ။ Refrigerant အရည်များသည် evaporator အတွင်းသို့ စီးဆင်းမည် ဖြစ်သည်။



High side float valve

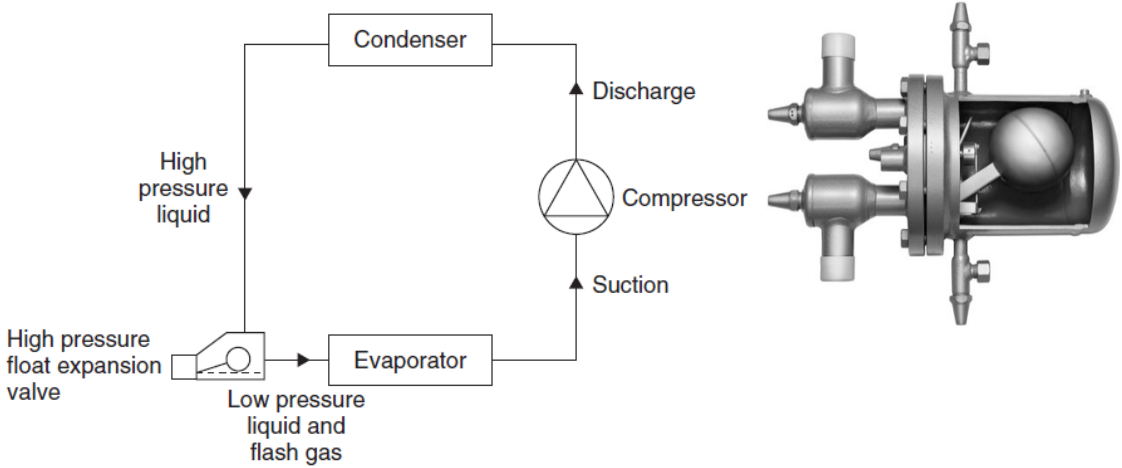
ပုံ ၈-၁၇ High pressure side float refrigerant control mechanism

Condenser မှ ဝင်ရောက်လာသည့် liquid refrigerant များကြောင့် ဗော(float)ကို မြင့်တက်စေပြီး needle valve ကို ဖွင့်ပေးသောကြောင့် liquid refrigerant များ evaporator အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားသည်။ ဤနည်းဖြင့်

refrigeration control လုပ်ခြင်းသည် refrigerant အရည်များကို evaporator အတွင်း သိမ်းဆည်းထားခြင်းပင် ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ အရည်၏အမြင့်(level) နိမ့်ဆင်းသွားပါက ဗော(float) နိမ့်ကျသွားပြီး valve ကို ပိတ်ပေး လိမ့်မည်။ ဤနည်းဖြင့် high side ဘက်ရှိ ဖိအားနှင့် low side ဘက်ရှိ ဖိအားခြားနားမှုကို ထိန်းသိမ်းပေးသည်။ ဗော(float)သည် high pressure side ဘက်ရှိ refrigerant အရည်၏အမြင့်(level)ကို တစ်သမတ်တည်းဖြစ်ရန် ထိန်းသိမ်းပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

Float control သည် low side float မှာ ကဲ့သို့ oil binding ဖြစ်ရန် ခဲယဉ်းသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ဖိအားမြင့်သဖြင့် ချောဆီများသည် refrigerant အရည်ထဲတွင် ပို၍ ပျော်ဝင်နိုင်ပြီး အတူတကွ လှည့်ပတ် နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Needle valve နှင့် အထိုင်ကို ပွန်းစားမှုဒဏ်ခံနိုင်ရည်ရှိသော stain less steel သို့မဟုတ် hand surface alloy ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ ဤနည်းတွင် thermostatic သို့မဟုတ် pressure motor control ကို အသုံးပြုထားသည်။

လိုအပ်သည့် refrigerant ပမာဏ အတိအကျ ထည့်သွင်းထားရန် လိုသည်။ ပိုထည့်ခြင်း(over charged) သို့မဟုတ် လျော့ထည့်ခြင်း(under charged) မဖြစ်စေရ။ ပမာဏမှန်ကန်စွာ ထည့်ထားလျှင် liquid compressor ပျက်စီးခြင်း မဖြစ်နိုင်ပေ။



ပုံ ၈-၁၈ High pressure float valve circuit နှင့်

Sectioned view of high-pressure float valve

၈.၂.၁၂ High Pressure Float Valves

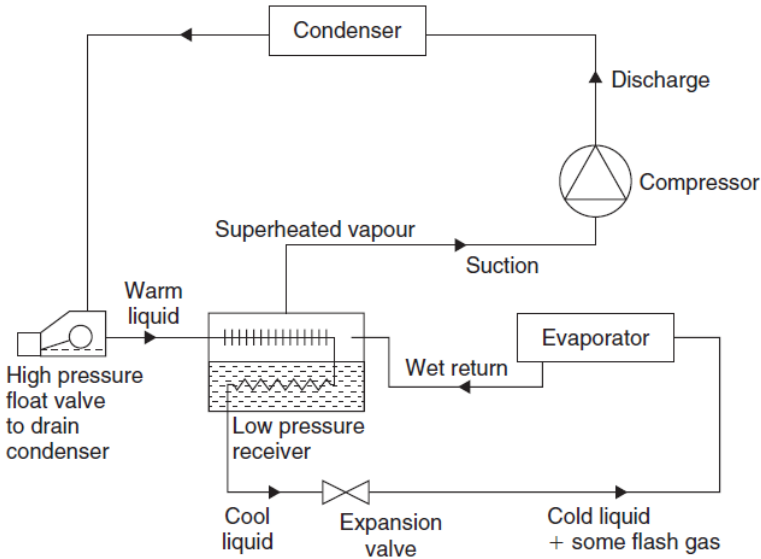
Single evaporator flooded system များတွင် float valve ကို တပ်ဆင် အသုံးပြုကြသည်။ Float valve သည် condenser မှ အရည်များ evaporator အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သည့်နှုန်းကို ထိန်းပေးသည်။ High pressure float valves အလုပ်လုပ်ပုံသည် steam trap အလုပ်လုပ်ပုံနှင့် တူညီသည်။ Float chamber သည် condenser pressure ဖိအားသက်ရောက်ခြင်း ခံနေရသောကြောင့် "high pressure float" ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။ ပုံ(၈-၁၇) နှင့် (၈-၁၈)တွင် high pressure side float refrigerant control mechanism တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။

High pressure float ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် high pressure receiver ကို အသုံးပြုရန် မလိုပေ။ Evaporator အတွင်းရှိ refrigerant ပမာဏသည် system ထဲတွင် ထည့်ထားသည့် refrigerant ပမာဏ နီးပါးဖြစ်သည်။ ပုံ(၈-၁၀)တွင် ပြထားသည့် high pressure float သည် အမိုးနီးယား(ammonia) သို့မဟုတ် carbon dioxide refrigerant များနှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။

Chiller အတွင်း refrigerant စီးဆင်းလည်ပတ်နေသည့်နှုန်း(rate of refrigerant circulation)သည် compressor ၏ pumping rate အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Evaporator အတွင်း အဖွေပျံသွားသည့် refrigerant ပမာဏ သည် cooling load အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ဖြစ်နိုင်သည့် အခြေအနေအားလုံးအတွက် flood evaporator အတွင်း၌ လုံလောက်သည့် refrigerant ပမာဏနှင့် လုံလောက်သည့် heat transfer surface တို့ ရှိရန် လိုအပ်သည်။

Low pressure receiver သည် compressor အတွင်းသို့ liquid ဝင်ရောက်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်အတွက် safety vessel အနေဖြင့် ပြုမူဆောင်ရွက် ပေးသည်။ High pressure float ၏ အရွယ်အစားကို မှန်ကန်စွာ ရွေးချယ် ထားလျှင် system သည် condenser pressures နိမ့်နိမ့်ဖြင့် မောင်းနှင်သောကြောင့် အေးသည့် ရာသီဥတုတွင် စွမ်းအင် ရွေ့တာနိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် part load efficiency ပိုကောင်းသည်။



ပုံ ၈-၁၉ Low pressure receiver circuit

Flow switch များအပြင် refrigeration machine များ ထိခိုက်ပျက်စီးခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်အတွက် အောက်ပါ operating safety control များ ပါရှိရမည်။

- (၁) Low refrigerant temperature
- (၂) Low chilled water temperature
- (၃) High condensing pressure
- (၄) Low oil pressure

Chillerများသည် မည်သည့်အကြောင်းကြောင့် ရပ်တန့်(shut down)သည်ဖြစ်စေ စစ်ဆေး၊ ပြုပြင်ပြီးမှသာ ပြန်လည်၍ စတင် မောင်းရန် ကြိုးစားသင့်သည်။

Rotary compressor chiller များအတွက် safety cutout နှစ်မျိုး အပိုအဖြစ် ပါဝင်ရန် လိုအပ်သည်။

- (၁) High motor winding temperature
- (၂) Motor overload (high amps)

၈.၃ Safety Controls

အောက်ပါအခြေအနေများ အနက်မှ တစ်ခုခု ဖြစ်ပေါ်လျှင် compressor ထိခိုက်ပျက်စီးခြင်း မဖြစ်ပေါ်စေရန် အတွက် chiller ကို ရပ်တန့် (shut down)ရန် သို့မဟုတ် inlet guide vane ကို ပိတ်ရန်လိုအပ်သည်။

- High bearing temperature
- High motor winding temperature
- Current imbalance
- Excessive motor acceleration time

- High discharge temperature
- Low discharge superheat*
- Low oil pressure
- High, low, or loss of voltage
- Ground fault
- Voltage imbalance
- Excessive starter transition time
- Lack of motor current signal
- Excessive motor amps
- Excessive compressor surge
- Temperature and transducer faults
- Low cooler refrigerant temperature/pressure
- Condenser high pressure or low pressure
- Inadequate water/brine cooler and condenser flow
- Excessive starter transition time
- Lack of motor current signal
- Excessive motor amps
- Excessive compressor surge
- Temperature and transducer faults
- Excessive motor acceleration time

*Superheat is the difference between saturation temperature and sensible temperature. The high discharge temperature safety measures only sensible temperature.

၈.၃.၁ Safety Cutouts

- Bearing Oil High Temperature
- Motor High Temperature
- Refrigerant (Condenser) High Pressure
- Refrigerant (Cooler) Low Temperature
- Lube Oil Low Pressure
- Under Voltage
- Over Voltage
- Oil Pump Motor Overload
- Motor Overload
- Motor Acceleration Time
- Intermittent Power Loss
- Compressor Starter Faults
- Compressor Surge Protection
- Low Level Ground Fault
- Capacity control
- Medium Voltage — phase to ground
- Cooler Freeze Protection
- Capacity control
- Leaving Chilled Water Control
- Entering Chilled Water Control
- Ice Build Control
- Guide Vane Actuator Module
- Hot Gas Bypass Valve
- Power (Demand) Limiter
- Auto. Chilled Water Reset
- Compressor (Refrigerant) Discharge Temperature
- Low Voltage — phase to phase and phase to ground
- Soft Loading Control by Temperature or Load Ramping
- Medium Voltage — phase to ground
- Cooler Freeze Protection

၈.၃.၂ Interlocks

- Manual/Automatic Remote Start
- Starting/Stopping Sequence
- Pre-Lube/Post-Lube
- Pre-Flow/Post-Flow
- Monitor/Number Compressor Starts and Run Hours
- Compressor Starter Run Interlock
- Pre-Start Check of Safeties and Alerts
- Low Chilled Water (Load) Recycle
- Manual Reset of Safeties

၈.၃.၃ Chiller Control Load Limitation Control

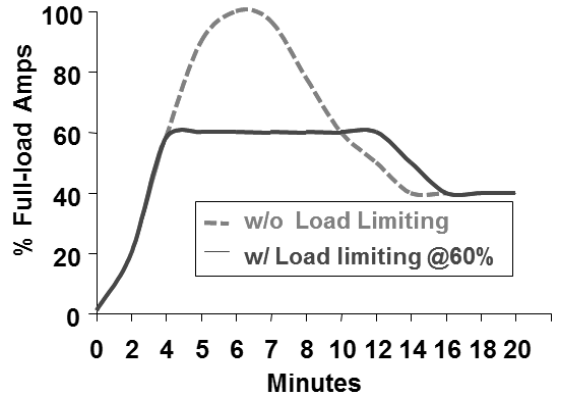
Control Range 10-100% depend on chillers

Limit Electrical Demand

Auto Limit Control Logic to Prevent Shutdown

- Evaporator - Low Pressure Limit
- Condenser - High Pressure Limit

Motor - High Current Limit



ပုံ ၈-၂၀ Load limitation control

Electric Demand Limit Control

Electric demand သို့မဟုတ် electric current limit control ဆိုသည်မှာ မော်တာ current ကို သတ်မှတ်ထားသည့် (predetermined value)ထက် ပိုမများစေရန် control လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။

Motor Protection

Compressor motor သည် chiller တစ်လုံးတွင် ဈေးအကြီးဆုံးပစ္စည်း ဖြစ်သည်။ မော်တာမပျက်စီးစေရန် အပူချိန်မမြင့်တက်အောင်(high temperature) ကာကွယ်ခြင်းသည် အလွန်အရေးကြီးသည်။ မော်တာကိုင်(motor stator winding)၏ အပူချိန်ကို sensor ဖြင့် တိုင်းယူသည်။ အပူချိန်ကို 165°F(73.9°C) ထက်နည်းလျှင် မော်တာ စမောင်းရန် အချိန်(၄)မိနစ် စောင့်ဆိုင်းရသည်။ အပူချိန်ကို 165°F(73.9°C) ထက် ပိုများပါက စမောင်းရန် အချိန် (၁၅)မိနစ် စောင့်ဆိုင်းရသည်။ အကယ်၍ အပူချိန်သည် 265°F(129.4°C) ထက်ပိုများပါက မော်တာ မောင်း၍ မရအောင် ပြုလုပ်ထားသည်။

Current overload temporary power loss low voltage နှင့် phase unbalance စသည့် မော်တာ၏ လျှပ်စစ်ပိုင်းနှင့်သက်ဆိုင်သည့် ကာကွယ်မှုများ ပြုလုပ်ထားသည်။

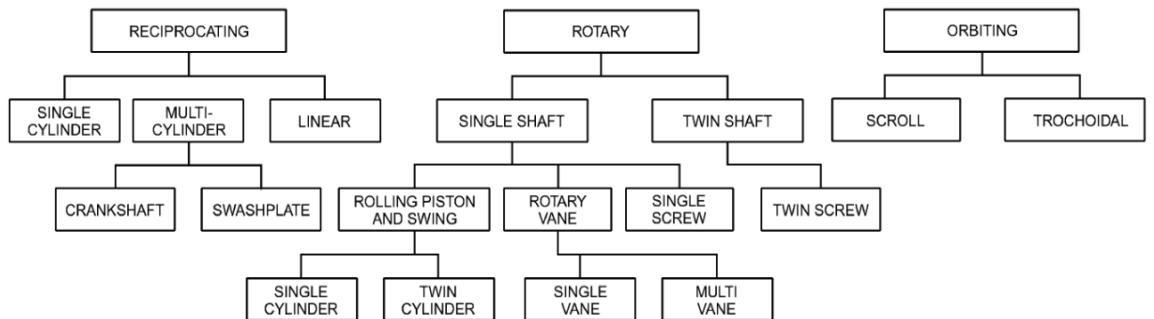
-End-

Chapter-9 Refrigeration Compressors

Compressor များသည် refrigeration system များ၏ နှလုံး(heart)များ ဖြစ်ကြသည်။ လူ့ခန္ဓာကိုယ်တွင် သွေးများ လည်ပတ်အောင် နှလုံး(heart)က အလုပ်လုပ်ပေးသကဲ့သို့ refrigeration system တွင် refrigerant များ လည်ပတ် နေအောင် compressor က တွန်း(pump) ပေးသည်။ Compressor များကို vapor pump များအဖြစ် ယူဆ နိုင်သည်။ Compressor များသည် ဖိအားနိမ့်သည့် suction pressure မှ ဖိအားမြင့်သည့် discharge pressure သို့ရောက်အောင် ဖိသိပ်ပေးသည်။ Compressor များသည် refrigerant များကို system အတွင်း၌ လည်ပတ်စေပြီး ဖိအားမြင့်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။

ဥပမာ - low-temperature system တစ်ခု၌ R-12 refrigerant ၏ အဝင်ဖိအား(suction pressure) သည် 3 psig ဖြစ်ပြီး အထွက်ဖိအား(discharge pressure)သည် 169 psig ဖြစ်သည်။ Compressor သည် ဖိအား 166 psig(169 - 3) ပိုများလာအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ ဥပမာ - medium-temperature system တစ်ခုတွင် refrigerant ၏ suction pressure သည် 21 psig ဖြစ်ပြီး discharge pressure သည် 169 psig ဖြစ်သည်။ Compressor သည် pressure 148 psig(169 - 21) ပိုများလာအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။

Compressor များသည် vapor compression refrigeration system များတွင် မရှိမဖြစ် ပါဝင်သည့် အစိတ်အပိုင်း(essential component) လေးခုတွင် တစ်ခုအဖြစ် ပါဝင်သည်။ ဤအခန်း(chapter)၌ ဈေးကွက်တွင် ရရှိနိုင်သည့် refrigerant compressor များ၏ ဒီဇိုင်း ဝိသေသများ(design features)ကို ဖော်ပြထားသည်။ Positive displacement compressor နှင့် dynamic compressor ဟူ၍ နှစ်မျိုး ကွဲပြားသည်။



ပုံ ၉-၁ Positive displacement compressor အမျိုးအစားများကို mechanism design ဖြင့် ခွဲခြားထားသည်။

Refrigerant compressor များကို displacement compressor များ နှင့် dynamic compressor များ ဟူ၍ နှစ်မျိုး ခွဲခြားထားသည်။ ထိုနှစ်မျိုးလုံး အတွက် hermetic ၊ semi-hermetic သို့မဟုတ် open type စသည်ဖြင့် ဖော်တာတည်ဆောက်ပုံကို မူတည်၍ ထပ်မံ ခွဲခြားထားသည်။

Compression Ratio

Compression ratio သည် ဖိအားကွာခြားချက်(pressure difference)ကို ဖော်ပြသည့် နည်းပညာဝေါဟာရ ဖြစ်သည်။ မြင့်သည့် ဖိအားကို နိမ့်သည့် ဖိအားဖြင့် စားထားသည့် အချိုး(high-side absolute pressure divided by the low-side absolute pressure)ဖြစ်သည်။ Absolute pressure ဖြင့် တွက်လျှင် compression ratio သည် အပေါင်း တန်ဖိုး ဖြစ်ကြသည်။

$$\text{Compression Ratio} = \frac{\text{Absolute Discharge Pressure}}{\text{Absolute Suction Pressure}}$$

ဥပမာ- R-12 ဖြင့် မောင်းနှင်သည့် compressor တစ်လုံး၏ အထွက်ဖိအား(discharge pressure)သည် 169 psig (125°F) ဖြစ်ပြီး အဝင်ဖိအား(suction pressure)သည် 2 psig(-16°F) ဖြစ်လျှင် compression ratio ကို ရှာပါ။

$$\text{Compression Ratio} = \frac{169 \text{ psig} + 14.7 \text{ psig (atmosphere)}}{2 \text{ psig} + 14.7 \text{ psig (atmosphere)}}$$

$$\text{Compression Ratio} = \frac{183.7}{16.7} = 11$$

Compression ratio သည် 11:1 ဆိုသည်မှာ အထွက်ဖိအား(absolute discharge pressure)သည် အဝင် ဖိအား(absolute suction pressure)ထက် (၁၁)ဆ ပိုများသည်။ ထို system အတွင်း၌ R-12 ကို အသုံးမပြုဘဲ R-134a ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုလျှင် တူညီသည့် condensing temperature 125°F(184.6 psig) နှင့် evaporating temperature -16°F(0.7 in. Hg vacuum)ရရှိရန်တွက် compression ratio သည် 13.89 ဖြစ်ရမည်။

$$\text{Compression Ratio} = \frac{\text{Absolute Discharge}}{\text{Absolute Suction}}$$

$$\text{Compression Ratio} = \frac{184.6 \text{ psig} + 14.7 \text{ psig (atmosphere)}}{(29.92 \text{ in. Hg} - 0.7 \text{ in. Hg}) / 2.036}$$

$$\text{Compression Ratio} = \frac{199.3}{14.35} = 13.89$$

R-134a system ၏ suction (evaporating) pressure သည် 0.7 in. Hg vacuum ဖြစ်သည်။ 0.7 in. Hg vacuum ကို psig သို့ ပြောင်းရမည်။

Condensing temperatures 125°F နှင့် evaporating temperatures -16°F ရရှိအတွက် R-134a ဖြင့် မောင်းသည့် system ၏ compression ratio သည် 13.89:1 ဖြစ်ရမည်။ R-12 ဖြင့် မောင်းသည့် system ၏ compression ratio သည် 11:1 ဖြစ်ရမည်။ R-134a ဖြင့် မောင်းသည့် system ၏ compression ratio သည် R-12 ဖြင့် မောင်းသည့် system ထက် ပိုများသည်။

Compression ratio မြင့်မြင့် ရရှိရန်အတွက် စွမ်းအင်များများ လိုအပ်သည်။ Compressor သုံးစွဲလိုက် သည့် စွမ်းအင်များမှ တချို့သည် အပူ(heat)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ Compressor သို့ ထည့်ပေး လိုက်သည့် စက်စွမ်းအား(mechanical power)များ အပူအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်းကို heat of compression ဟုခေါ်သည်။

Discharge pressure များလျှင်သော်လည်းကောင်း ၊ suction pressure နည်းသွားလျှင် သော်လည်းကောင်း compression ratio မြင့်လာလိမ့်မည်။ Compression ratio 12:1 ထက် ပိုများသည့် system အတွက် compressor ၏ discharge temperature ကို ပြန်ဆန်းစစ်ရန် လိုအပ်သည်။ Compression stroke တွင် ဖိသိပ်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့်အပူ(heat of compression) ပိုများနိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

Compressor များ၏ တွန်းအား(pumping power)ကို နှိုင်းယှဉ်ရာတွင် compression ratio ကို အသုံးပြုသည်။ Hermetic reciprocating compressor များအတွက် compression ratio 12:1 သည် အလွန် များသည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။ Compressor မှ ထွက်သွားသည့် refrigerant gas ၏ အပူချိန်(temperature) သည် ချောဆီအား အပူလွန်ကဲမှု(overheating)ကို ဖြစ်စေနိုင်သည်။ ချောဆီများ အပူလွန်ကဲမှုကြောင့် ကာဗွန်(carbon) အဖြစ်နှင့် အက်စစ်များအဖြစ် ဓာတ်ပြောင်းလဲသွားနိုင်သည်။

အဆင့်နှစ်ဆင့်ခွဲ၍ ဖိသိပ်ခြင်း(two-stage compression)ဖြင့် တစ်ဆင့်ချင်းစီ၌ compression ratio နိမ့်သွား အောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ဥပမာ - ပထမအဆင့်(first-stage)တွင် compressor ၏ compression ratio သည် 3.2:1 (114.7 psia - 35.7 psia) ဖြစ်သည်။ ဒုတိယအဆင့်(second-stage) compressor ၏ compression ratio သည် 1.6:1 (183.7 psia - 114.7 psia) ဖြစ်သည်။ Compression ratio နှစ်ခုစလုံးသည် လက်ခံနိုင်သည့် (acceptable) အဆင့်တွင် ရှိပြီး compressor အတွက် အပူချိန်(discharge temperatures) နိမ့်သောကြောင့် compressor efficiency ကောင်းသည်။ Compressor တစ်လုံးတည်းသုံးလျှင် compression ratio သည် 5.14:1 ဖြစ်သည်။ Compression ratio 5.14:1 သည် လက်ခံနိုင်သည့်အဆင့်တွင် ရှိသော်လည်း compressor အတွက် အပူချိန် (discharge temperature) မြင့်သောကြောင့် compressor efficiency ညံ့နိုင်သည်။ နားလွယ်အောင် ရှင်းပြ ထားသည့် ဥပမာ တစ်ခုသာ ဖြစ်သည်။

Compression ratio 10:1 ထက် နည်းလျှင် two-stage သို့မဟုတ် compound compression ကို အသုံးပြုလေ့ မရှိပေ။ အေးနေသည့် refrigerant များသည် compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ရန်အတွက် suction valve ကို ဖြတ်သွားရသည်။ Compressor မှ ထွက်လာသည့် gas များသည် အနည်းငယ် ပူနွေး နေသည်။ တချို့သော discharge line များ၏ အပူချိန်သည် 200°F အထိ မြင့်နိုင်သောကြောင့် ကိုင်မိ၊ ထိမိလျှင် အပူလောင်နိုင်သည်။

၉.၁ Positive-Displacement Compressors

Positive-displacement compressor များသည် စက်စွမ်းအား(mechanical power)ကို အသုံးပြု၍ compression chamber ၏ ထုထည်ကို လျော့ချခြင်းဖြင့် refrigerant vapor ၏ ဖိအား(pressure)ကို မြင့်တက် စေသည်။ Positive-displacement compressor များသည် reciprocating ၊ rotary (rolling piston ၊ rotary vane ၊ single screw ၊ twin screw) နှင့် orbital (scroll ၊ trochoidal) စသည်ဖြင့် အမျိုးမျိုး ရှိကြသည်။

Compression mechanism ဒီဇိုင်းကို လိုက်၍ positive displacement compressor များကို အမျိုးအစား ခွဲခြားထားသည်။ Reciprocating compressor များကို

- (၁) Piston ၏ အလုပ်လုပ်ပုံကို အခြေခံ၍ single acting နှင့် double-acting ဟူ၍ ခွဲခြားထားသည်။
- (၂) Compress လုပ်သည့် အဆင့်(stage)များ ကို အခြေခံ၍ single stage configuration နှင့် multistage configuration ဟူ၍ ခွဲခြားထားသည်။
- (၃) မြန်နှုန်း(speed)ကို အခြေခံ၍ single speed ၊ variable speed ၊ multi steps speed ဟူ၍ ခွဲခြားထားသည်။
- (၄) Drive enclosure ကို အခြေခံ၍ hermetic ၊ semi-hermetic နှင့် open ဟူ၍ ခွဲခြားထားသည်။

Refrigeration လုပ်ငန်းများတွင် အသုံးပြုသည့် compressor အမျိုးအစား သုံးမျိုးမှာ

- (၁) Open
- (၂) Semi-hermetic (bolted hermetic) နှင့်
- (၃) Hermetic (welded-shell hermetic) တို့ဖြစ်သည်။

၉.၂ Dynamic Compressors

Dynamic compressor များသည် refrigerant vapor ထဲသို့ kinetic energy ကို အဆက်မပြတ် ထည့်ပေး (continuous transfer)သည်။ ထို kinetic energy များကို ဖိအား မြင့်တက်စေအောင် ပြောင်းလဲ ပေးသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ထို kinetic energy များကို potential energy အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

၉.၂.၁ Centrifugal Compressors Function Based on Principles

Compressor တစ်ခု ရွေးချယ်ရာတွင် အချက်များစွာကို စဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။ တပ်ဆင်မည့်နေရာတွင် အရွယ်အစား ကန့်သတ်ချက်ရှိသောကြောင့် အရွယ်အစားသေးငယ်သည့် compressor များကို ရွေးချယ်ရသည်။ အသံဆူညံခြင်း(noise)နှင့် efficiency ညံ့ဖျင်းခြင်းကြောင့် ရွေးချယ်သင့်သည့် compressor မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။ Compressor တိုင်းတွင် designer များ ဆန်းစစ်ရန်အတွက် refrigerant ၊ cost ၊ performance ၊ sound ၊ capacity သည့် ဒီဇိုင်းအချက်အလက်များ(design parameter)များ ရှိသည်။ ထို compressor characteristics များကို လေ့လာ ဆန်းစစ်ပြီး အသင့်လျော်ဆုံးသော၊ မိမိလုပ်ငန်းနှင့် အကိုက်ညီဆုံးသော compressor ကို ရွေးချယ်ရန် ဖြစ်သည်။

Centrifugal compressor ၏ ထုထည်စီးနှုန်း(volumetric flow rate)သည် ဖိအားကွာခြားချက် (differential pressure) အပေါ်တွင် မူတည်နေသည်။ ဖိအားကွာခြားချက်(differential pressure)ဆိုသည်မှာ အထွက်ဖိအား(discharge pressure)မှ အဝင်ဖိအား(suction pressure)ကို နှုတ်ထားသည့် တန်ဖိုးဖြစ်သည်။ Positive displacement compressor များသည် ဖိအားကွာခြားချက်(differential pressure) မည်သို့ပင် ပြောင်းလဲစေကာမူ ထုထည် စီးနှုန်း(volumetric flow rate)ကို ပုံသေ(relatively constant)ဖြစ်အောင် တည်ငြိမ်အောင် ထိန်းထားနိုင်သည်။

Positive-displacement compressor များသည် chamber အတွင်းသို့ ကြိုတင်သတ်မှတ်ထားသည့် ထုထည်(predetermined volume of vapor)ကို စုပ်ယူပြီးနောက် ထုထည်ကို လျော့ချကာ ဖိအားမြင့် တက်စေခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် မည်သည့် အခြေအနေတွင် ဖြစ်ပါစေ compressor သည် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် capacity ကို ထုတ်ပေးနိုင်စွမ်း ရှိသည်။

Centrifugal compressor များသည် suction gas များကို အဆက်ပြတ် ဖိသိပ်နေပြီး(dynamically compress) velocity energy များအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ ထို့နောက် velocity energy မှ pressure energy အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲပေးသောကြောင့် centrifugal compressor များသည် ထုထည်စီးနှုန်း ပုံသေ(constant volumetric flow rate) ထုတ်ပေးရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် ဖိအားအချိုး(pressure ratio) ပြောင်းလဲလျှင် centrifugal compressor ၏ capacity လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။

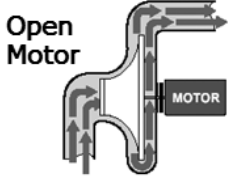
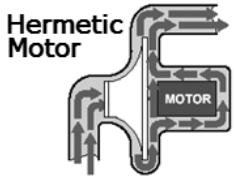
၉.၃ Open Compressors ၊ Hermetic Compressors နှင့် Semi-hermetic Compressors

၉.၃.၁ Open Compressors

Open compressor များတွင် compressor နှင့် compressor ကို မောင်းမည့် စက်(external drive) တစ်မျိုးမျိုးကို သီးခြားဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ ဥပမာ-compressor နှင့် compressor ကို မောင်းမည့် အင်ဂျင် သို့မဟုတ် မော်တာသည် အခွံ(enclosure)တစ်ခုတွင်း၌ အတူတကွ မတည်ရှိပေ။ အမိုးနီးယား(Ammonia) compressor များကို open design အဖြစ်သာ ထုတ်လုပ်ကြသည်။ Ammonia refrigerant သည် တချို့သော သတ္တု ပစ္စည်းများ နှင့် အခွံ(enclosure)တစ်ခုတွင်း၌ အတူတကွ တည်ရှိလျှင် ဓာတ်ပြုနိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ကား air conditioning unit များသည် open-drive အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။

2 MW capacity အထိ ကြီးမားသည့် open reciprocating compressor များကို ရနိုင်သည်။ Compressor ၏ crankshaft ကို မော်တာနှင့် ချိတ်ဆက်ထားသည်။ Compressor housing မှ shaft သည် အပြင်သို့ ထွက်နေ

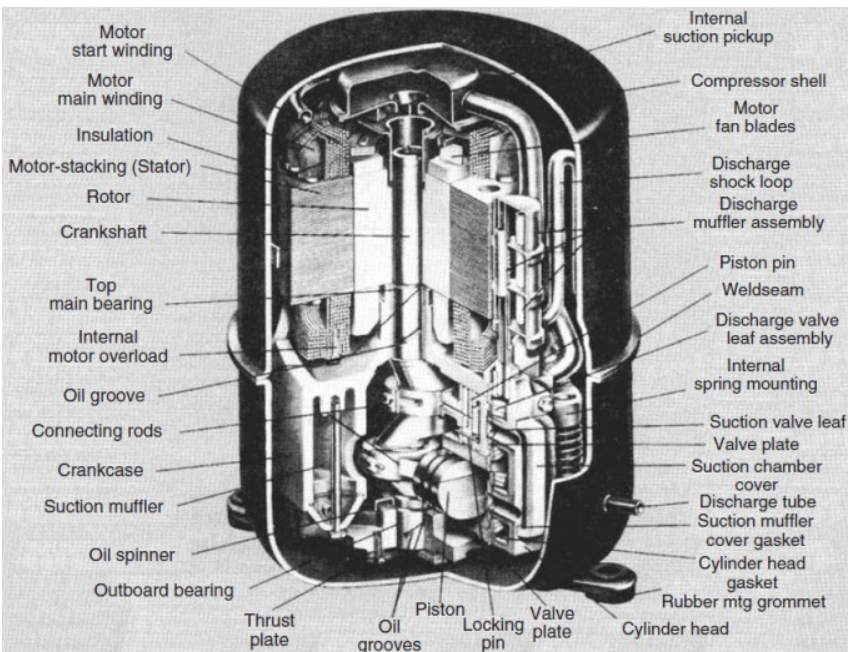
သောကြောင့် refrigerant gas များ မယိုစိမ့်စေရန် ထိုနေရာတွင် shaft seal ကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။ Crankcase pressure သည် atmospheric pressure ထက် နိမ့်သည့်အခါ ပြင်ပမှ လေများ၊ ရေခိုးရေငွေ့များနှင့် အမှုန်များ compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်နိုင်သည်။ Crankcase pressure သည် atmospheric pressure ထက် ပိုမြင့်သည့်အခါ compressor အတွင်းမှ refrigerant gas များ အပြင်သို့ ယိုစိမ့်သွားလိမ့်မည်။ Open-type reciprocating compressor များကို အမိုးနီးယား(NH₃) အပါအဝင် refrigerant အားလုံးနှင့် အတူတွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။



ပုံ ၉-၂(က) Centrifugal compressor hermetic motor ပုံ ၉-၂(ခ) Centrifugal compressor open motor

၉.၃.၂ Hermetic Compressors

Hermetic compressor များတွင် compressor နှင့် compressor ကို မောင်းမည့် စက်(external drive) တစ်မျိုးမျိုးကို ဓာတ်ငွေ့လုံသည့် အခွံ(gas tight housing) တစ်ခုတွင်း၌ အတူတကွ ထည့်သွင်းထားသည်။ အသေပိတ်ထား(permanently sealed)သောကြောင့် compressor crank shaft နှင့် မော်တာကို မမြင်တွေ့နိုင်ပေ။ မထိတွေ့နိုင်ပေ။ စတီးအခွံ(steel shell) အတွင်း၌ ထည့်သွင်းထားပြီး အပြင်မှ ဂဟေဆော်၍ ပိတ်ထား သောကြောင့် မည်သည့်နည်းဖြင့်မျှ ဖွင့်ရန်၊ ကြည့်ရန်၊ ပြုပြင်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။



ပုံ ၉-၃ Typical hermetic reciprocating compressor

မော်တာနှင့် compressor တွဲလျက် တပ်ဆင်ပြီးသားဖြစ်သောကြောင့် အလွန် အဆင်ပြေသည်။ Seal မပါရှိသောကြောင့် ယိုစိမ့်ခြင်း မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။ Refrigerant နှင့် ရော့ဆီများသည် အခွံ(housing) တစ်ခုအတွင်း အတူရှိနေကြသည်။ အိမ်သုံးရေခဲသေတ္တာများ(domestic refrigerators)၊ freezer များနှင့် air conditioner များတွင် hermetic အမျိုးအစား compressor များကိုသာ အသုံးများသည်။ ပုံ(၉-၃)တွင် hermetic compressor တစ်လုံး၏ အတွင်းပိုင်းပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

ထို compressor များ၏ capacity ကို မော်တာ၏ capacity ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ ထို compressor များ၏ လည်ပတ်နှုန်း(rpm)သည် 1450 rpm သို့မဟုတ် 2800 rpm ဖြစ်သည်။ သေးငယ်သည့် refrigeration system များတွင် hermetic compressor များသည် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု ပြုလုပ်ရန် မလိုအပ်ရုံသာမက gas ယိုစိမ့်မှု မရှိဘဲ ကြာရှည်စွာ မောင်းနိုင်သည်။ သို့သော် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား မတည်ငြိမ်ခြင်း(voltage fluctuation)ကို ခံနိုင်ရည် မရှိပေ။ မော်တာကွိုင် လောင်ကျွမ်းသွားနိုင်သည်။

Fully Welded Hermetic Compressors

Hermetic compressor ထုတ်လုပ်စဉ်က motor နှင့် compressor နှစ်ခုစလုံးကို shell တစ်ခုအတွင်း၌ ဂဟေဆော်(welded)၍ ထည့်ထားသည်။ "Tin can compressor" ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။

Fully welded hermetic compressor များ၏ characteristics များကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

- (၁) Hermetic compressor အတွင်းသို့ ကြည့်ရှုစစ်ဆေးရန်အတွက် အပြင်ဘက်မှ အခွံ(shell) ကို ခွဲပစ်ရန် လိုအပ်သည်။
- (၂) Hermetic compressor များသည် ပျက်လျှင် လွှင့်ပစ်ရသည့် အမျိုးအစားဖြစ်သည်။
- (၃) မော်တာဝင်ရိုး(shaft) သည် compressor crank shaft ပင် ဖြစ်သည်။
- (၄) သေးငယ်သည့် compressor များတွင် ချောဆီ ပတ်ဖြန်းသည့်နည်း(splash-type lubricating)ကို အသုံးပြုပြီး၊ ကြီးမားသည့် compressor များတွင် ဖိအားဖြင့် ချောဆီကို တွန်းပို့သည့်နည်း(pressure lubricating)ကို အသုံးပြုသည်။
- (၅) Compressor များတွင် လေဖြင့် အေးအောင်ပြုလုပ်ရန် fin များ တပ်ဆင်ထားသည်။

၉.၃.၃ Semi-hermetic Compressors

Semi-hermetic compressor များတွင် compressor နှင့် compressor ကို မောင်းမည့် စက်(external drive)တစ်မျိုးမျိုးကို ဓာတ်ငွေ့လုံသည့်အိမ်(gas tight housing)တစ်ခုတွင်း၌ အတူတကွ ထည့်သွင်းထားသော်လည်း ပြုပြင်(accessible or serviceable)ရန်အတွက် ဖွင့်နိုင်အောင် bolt ဖြင့် ပိတ်ထားသည်။ ဓာတ်ငွေ့များ မယိုစိမ့်စေရန် gasketed joint ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ တပ်ဆင်ထားသည့်နေရာမှ bolt များကို ဖြုတ်၍ မော်တာကို သော်လည်းကောင်း၊ compressor မှ အစိတ်အပိုင်းများကို သော်လည်းကောင်း ပြုပြင်နိုင်သည်။

ကြီးမားသည့် refrigeration compressor များကို semi-hermetic အမျိုးအစားအဖြစ် ထုတ်လုပ်လေ့ ရှိသည်။ မော်တာနှင့် compressor ကို casing တစ်ခုအတွင်း၌ အတူရှိသော်လည်း refrigerant များ မော်တာကွိုင် (motor windings) အတွင်းသို့ မဝင်ရောက်နိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ Semi-hermetic များသည် hermetic များထက် ပိုဈေးကြီးသည်။ ကြီးမားသည့် compressor များ၏ efficiency သည် သေးငယ်သည့် compressor များထက် ပိုကောင်းသည်။ Overall efficiency 70% ထက် ပိုကောင်းနိုင်သည်။ Hermetic compressor ၏ အားနည်းချက်မှာ ချို့ယွင်းခဲ့လျှင် ပြုပြင်ရန် မဖြစ်နိုင်ခြင်းဖြစ်သည်။ Semi-hermetic compressor များသည် ထိုအားနည်းချက်ကို ကျော်လွှားနိုင်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ နှစ်မျိုးစလုံးတွင် ယိုစိမ့်သည် ပြဿနာ မဖြစ်ပေါ်ပေ။

Medium and low-temperature commercial refrigeration လုပ်ငန်းများ(applications)တွင် semi-hermetic reciprocating compressor များကို အသုံးပြုကြသည်။ R-22 ၊ R-134a ၊ R-404A ၊ R-507 စသည့် refrigerant များဖြင့် တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။

Semi-hermetic မော်တာ၏ အားသာချက်များမှာ

- (၁) Semi-hermetic မော်တာသည် စက်ခန်း(mechanical room)အတွင်းသို့ အပူများကို မစွန့်ထုတ်ပေ။
- (၂) Open motor များတွင် ပြုလုပ်ရသည့် shaft seal maintenance ၊ ဖြစ်ပေါ်သည့် တုန်ခါမှုများ(vibration) နှင့်

alignment ချိန်ခြင်းတို့ကို ရှောင်လွှဲနိုင်သည်။

(၃) Semi-hermetic မော်တာများတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် inrush current သည် open motor တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် inrush current ထက် ပိုနည်းသည်။

Compressor အမျိုးအစား

အသုံးများသည့် compressor (၅) မျိုးမှာ

- (၁) Reciprocating (Piston & Cylinder)
- (၂) Rotary
- (၃) Screw type
- (၄) Scroll type နှင့်
- (၅) Centrifugal တို့ဖြစ်သည်။

၉.၄ Performance

Compressor တစ်လုံး၏ performance သည် refrigerant characteristics ၊ compression mechanism ၊ မော်တာ စသည့်အချက်များစွာ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Compressor တစ်လုံးကို ရွေးချယ်ရန်အတွက် အဓိက အချက်များမှာ

- (က) အသုံးပြုနိုင်သည့် သက်တမ်း(greatest trouble-free life expectancy)
- (ခ) စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု နည်းပြီး refrigeration effect များများရနိုင်ခြင်း
- (ဂ) ကုန်ကျစရိတ် သက်သာခြင်း(lowest cost)
- (ဃ) အခြေအနေ အမျိုးမျိုးတွင် မောင်းရန် အဆင်ပြေခြင်း(wide range of operating conditions)နှင့်
- (င) လက်ခံနိုင်သည့် တုန်ခါမှု(vibration) နှင့် ဆူညံသံ(sound level)အဆင့် ရှိခြင်း တို့ ဖြစ်သည်။

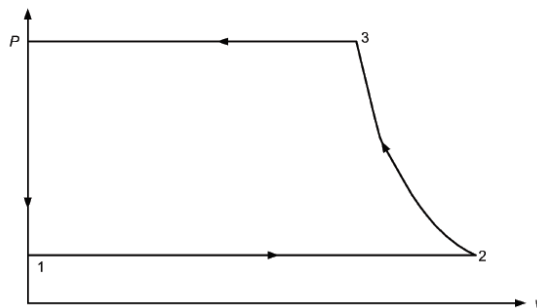
Coefficient of Performance (COP)သည် compressor တစ်လုံး၏ performance ကောင်း၊ မကောင်းကို ဆန်းစစ်ရမည့်အချက် ဖြစ်သည်။ Coefficient of Performance(COP)သည် compressor တစ်လုံး၏ refrigerating capacity ကို input power နှင့် စားထားသည့် အချိုးဖြစ်သည်။ Hermetic သို့မဟုတ် semi-hermetic compressor တို့၏ Coefficient of Performance(COP) ကို တွက်ယူရန် ပုံသေနည်းများကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

$$\text{COP (hermetic or semi hermetic)} = \frac{\text{Capacity (watt)}}{\text{Input power to motor (watt)}}$$

Open type compressor များ၏ COP ကို တွက်ရာတွင် motor efficiency ကို ထည့်တွက်ရန် မလိုပေ။

$$\text{COP (Open)} = \frac{\text{Capacity (watt)}}{\text{Input power to shaft (watt)}}$$

မောင်းနေသည့်အခြေအနေ(operating condition)ကို လိုက်၍ capacity နှင့် မော်တာပါဝါ(motor power) သို့မဟုတ် shaft power တို့ ပြောင်းလဲနေသည်။ ထို့ကြောင့် COP သည် မောင်းနေသည့်အခြေအနေ(operating condition)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲ နေသည်။



ပုံ ၉-၄ Ideal compressor cycle

Power input per unit of refrigerating capacity (watt/watt)သည် အမျိုးအစား မတူညီသည့် compressor များကို တူညီသည့် operating condition များအောက်တွင် နှိုင်းယှဉ်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ အထူးသဖြင့် open-drive compressor များ၏ performance ကို ဆန်းစစ်ရန်အတွက် ဖြစ်သည်။

$$\frac{W_{in}}{W_{out}} = \frac{\text{Power input to shaft (watt)}}{\text{Compressor capacity (watt)}}$$

၉.၅ Ideal Compressor

ပုံ(၉-၄)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း မောင်းနှင်နေစဉ်အတွင်း(during operation) compression chamber အတွင်းရှိ ဖိအား(pressure)နှင့် ထုထည်(volume)သည် ပြောင်းလဲနေသည်။ Refrigerant ကို compression ပြုလုပ်ရာတွင် process လေးခုသည် အစီအစဉ်အတိုင်း တစ်ခုပြီးတစ်ခု ဆက်လက်ဖြစ်ပေါ် နေသည်။

(၁) Suction process (point 1 မှ point 2)

ဓာတ်ငွေ့(gas)များကို compression chamber အတွင်းသို့ စုပ်ယူသည့် ဖြစ်စဉ်

(၂) Compression process (point 2 မှ point 3)

Compression လုပ်သည့် ဖြစ်စဉ်

(၃) Discharge process (point 3 မှ point p)

ဖိအားမြင့်သည့် ဓာတ်ငွေ့(higher-pressure gas)များကို compressor အပြင်သို့ ထုတ်ပစ်သည့် ဖြစ်စဉ်

(၄) Cycle အသစ်တစ်ခုပြန်စရန် (Next cycle)

သတ်မှတ်ထားသည့် operating condition တစ်ခုတွင် compressor တစ်လုံး၏ capacity သည် compress လုပ်လိုသည့် ဓာတ်ငွေ့၏ ဒြပ်ထု(mass)နှင့် ဆက်စပ်သည်။ Mass flow သည် compressor displacement per unit time နှင့် သိပ်သည်းဆ(gas density)တို့ မြောက်၍ရသည့် ရလဒ်ဖြစ်သည်။

$$\dot{m} = \rho_s \cdot V_d(4 - 1)$$

where

\dot{m} = ideal mass flow of compressed gas (kg/s)

ρ_s = density of gas entering compressor at suction port (kg/m³)

V_d = geometric displacement of compressor (m³/s)

ပုံ(၉-၅)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း ideal refrigeration cycle တွင် process လေးခုပါဝင်သည်။

Process 1-2 သည်

Isentropic (reversible and adiabatic) compression ဖြစ်သည်။

Process 2-3 သည်

ပုံသေဖိအား(constant pressure)အောက်တွင် de-superheating ၊ condensingနှင့် subcooling ဖြစ်သည်။

Process 3-4 သည်

Adiabatic expansion ဖြစ်သည်။

Process 4-1 သည်

ပုံသေဖိအား(constant pressure)အောက်တွင် boiling နှင့် superheating ဖြစ်သည်။

အထက်ပါ ညီမျှခြင်းမှ m သည် gas ၏ mass flow ဖြစ်သည်။

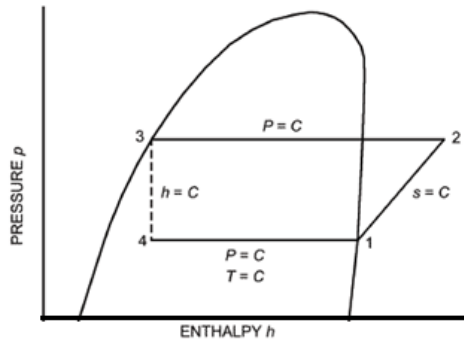
$$Q_o = m Q_{\text{refrigeration effect}} = m (h_1 - h_4)$$

$$P_o = m Q_{\text{work of compression}} = m (h_2 - h_1) = m w_{oi}$$

where w_{oi} = specific work of isentropic compression (J/kg)

Q_o = ideal capacity (W)

P_o = ideal power input (W)



ပုံ ၉-၅(က) Pressure-Enthalpy diagram for ideal refrigeration cycle

၉.၆ Actual Compressor

Compressor အမျိုးအစား(type) အပေါ်တွင်မူတည်၍ အချက်များစွာ ကွာခြားခြင်းကြောင့် capacity လျော့နည်းခြင်း နှင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုများခြင်း(increased power input)တို့ ဖြစ်ပေါ်သည်။

ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)များ ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် actual compressor performance သည် ideal performance မှ ကွာခြားခြင်း ဖြစ်သည်။ အောက်တွင် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ဖြစ်စေသည့်အချက် သို့မဟုတ် actual compressor performance သည် ideal performance မှ ကွာခြားစေသည့် အချက်များကို ဖော်ပြ ထားသည်။

(၁) ဖိအားကျဆင်းမှုများ(pressure drops)

(က) Compressor ကြောင့် ဖိအားကျဆင်းခြင်း

(ခ) Shutoff valve များကို ဖြတ်သွားစဉ် ဖိအားကျဆင်းခြင်း

(ဂ) Suction accumulator ကို ဖြတ်သွားစဉ် ဖိအားကျဆင်းခြင်း

(ဃ) Suction strainer/filter အကြားတွင် ဖိအားကျဆင်းခြင်း

(င) Motor (hermetic compressor) ကို ဖြတ်သွားစဉ် ဖိအားကျဆင်းခြင်း

(စ) Manifolds (suction and discharge) အတွင်း၌ ဖိအားကျဆင်းခြင်း

(ဆ) Valve နှင့် valve ports (suction and discharge) များ အတွင်း၌ ဖိအားကျဆင်းခြင်း

(၂) Refrigerant မှ အပူများကို စုပ်ယူခြင်း(heat gain)

(က) Hermetic motor မှ အပူများကို စုပ်ယူခြင်း(heat gain)

(ခ) Compressor နှင့် suction gas တို့ အပူဖလှယ်ခြင်း

(၃) Power ဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ်သည့် အချက်များ

(က) ပွတ်တိုက်မှု(friction)ကြောင့် စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးခြင်း

(ခ) Lubricant pump က စွမ်းအင်သုံးစွဲခြင်း(power consumption)

(ဂ) မော်တာကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် စွမ်းအင် ဆုံးရှုံးမှုများ(motor losses)

(၄) Valve inefficiencies caused by imperfect mechanical action

(၅) အတွင်း၌ ဓာတ်ငွေ့ ယိုစိမ့်ခြင်း(internal gas leakage)

(၆) ချောဆီလည်ပတ်ခြင်း(oil circulation)

(၇) Re expansion ဖြစ်ပေါ်ခြင်းကြောင့် clearance loss များ ဖြစ်ပေါ်ခြင်း

Compression chamber အတွင်း၌ ကျန်ရှိနေသည့် ဓာတ်ငွေ့များသည် suction cycle အတွင်း ပြန်၍

ကျယ်ပြန့်ခြင်း(re expansion) ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် အသစ်ဝင်ရောက်လာမည့် ဓာတ်ငွေ့များ နေရာ မရနိုင်ခြင်း ကြောင့် ထုထည်ဆုံးရှုံးမှုအချို့ ဖြစ်ပေါ်သည်။

(၈) ဖိအားလွန်ကဲခြင်းနှင့် ဖိအားမလုံလောက်ခြင်း(Over and under compression)

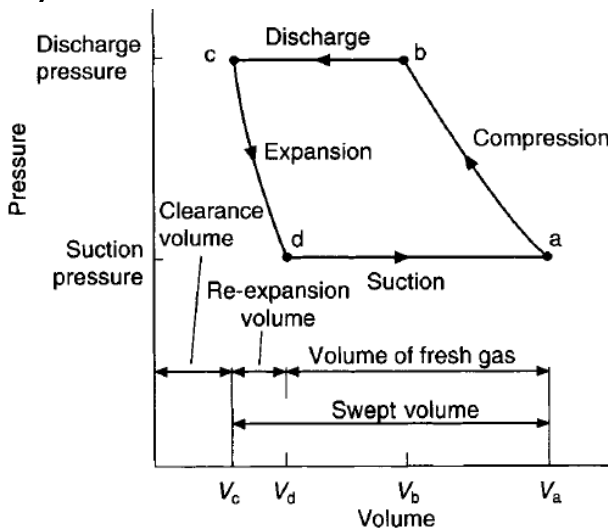
Compressor မှ ထုတ်ပေးသည့် ဖိအားသည် discharge pressure ထက် ပိုများလျှင် ဖိအားလွန်ကဲခြင်း (over compression) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Compressor မှ ထုတ်ပေးသည့် ဖိအားသည် discharge pressure ထက် နည်းလျှင် ဖိအား မလုံလောက်ခြင်း(under pressure) ဖြစ်ပေါ်သည်။

(၉) Isentropic compression မှ သွေဖီခြင်း။

လက်တွေ့အခြေအနေတွင် compression process များသည် IE နှင့် မတူညီနိုင်ပေ။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် compression chamber ၌ heat transfer ဖြစ်ပေါ်ခြင်းနှင့် fluid friction ၊ mechanical friction များကြောင့် ဖြစ်သည်။

Actual compression process နှင့် work of compression တို့၏ တန်ဖိုးများကို တိုင်းတာမှုများ (measurements)မှ ရရှိနိုင်သည်။

၉.၇ Volumetric Efficiency



ပုံ ၉-၅(ခ) Pressure-volume relationship for an ideal compression cycle.

Refrigeration compressor ၏ capacity သည် mass flow rate နှင့် အချိုးကျသည်။ ဘေးအန္တရာယ် ကင်းဝေးစေရန်နှင့် ထိခိုက်ပျက်စီးမှုနည်းစေရန် piston ၏ ထိပ်ဘက်တွင် နေရာလွတ်အနည်းငယ်ခန့် ချန်ထား ပေးရန် လိုအပ်သည်။

လက်တွေ့အခြေအနေတွင် အမှန်တကယ် ဖိသိပ်လိုက်သည့် ဓာတ်ငွေ့မာဏသည် သီအိုရီအရ တွက်ယူ ထားသည့် မာဏထက် ပို၍လျော့နည်းသည်။ ထို့ကြောင့် volumetric efficiency ကို တွက်ရန် လိုအပ်သည်။

$$\eta_c = \frac{\text{Actual Volume of Fresh Gas}}{\text{Swept Volume}} \times 100$$

$$\eta_c = \frac{V_a - V_d}{V_a - V_c} \times 100$$

Table 9.5 some typical, approximate volumetric efficiencies

Compression ratio	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Volumetric efficiency	78%	74%	70%	66%	62%

Fresh gas ၏ ထုထည်(volume)နှင့် swept volume တို့ မတူညီရသည့် အဓိက အချက်နှစ်ချက်မှာ

- (၁) ဆလင်ဒါ နံရံ(cylinder wall) များသည် evaporator မှ ထွက်လာသည့် gas အပူချိန်ထက် ပိုမြင့်သောကြောင့်ဖြစ်သည်။ ဆလင်ဒါ အတွင်းမှ gas များ ကျယ်ပြန့်သွားသည်အခါ suction port မှ နောက်ထပ်ဝင်ရောက်လာမည့် gas များ ကို တွန်းခံထားသည်။
- (၂) Cylinder အတွင်းရှိ gas သိပ်သည်းဆ(density)သည် ဝင်ရောက်လုဆဲဆဲ gas ၏ သိပ်သည်းဆ(density) ထက် ပိုနည်းသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် suction valve ကို gas များဖြတ်သန်းသည့်အခါ ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) ဖြစ်ပေါ်သည်။

၉.၈ Compressor Efficiency ၊ Subcooling နှင့် Superheating

Compressor တစ်လုံးချင်းစီ၏ ideal performance နှင့် actual compressor performance တို့၏ ကွာခြားချက်များကို အတိအကျ ဆန်းစစ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ သို့သော် efficiency အမျိုးအစားများ ခွဲခြား၍ ဆန်းစစ်နိုင်သည်။ Ideal compressor performance ကို အောက်ပါ efficiency များဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

Volumetric Efficiency (η_v)

Volumetric efficiency (η_v)သည် actual volumetric flow နှင့် ideal volumetric flow တို့၏ အချိုးဖြစ်သည်။ Ideal volumetric flow သည် compressor ၏ geometric displacement ကိုဆိုလိုသည်။

$$\text{Volumetric efficiency } (\eta_v) = \frac{\text{Actual volumetric flow}}{\text{Ideal volumetric flow}}$$

Compression Isentropic Efficiency (η_{oi})

Compression isentropic efficiency (η_{oi}) သည် isentropic compression ဖြစ်မြောက်ရန် အတွက် လိုအပ်သည့် work (W_{io}) နှင့် compression volume အတွင်းသို့ gas များ ဝင်ရောက်သွားရန်အတွက် ထည့်ပေးရမည့် work (W_a) တို့၏ အချိုးဖြစ်သည်။

$$\eta_{oi} = \frac{\text{Work required for isentropic compression of the gas } (W_{io})}{\text{Work delivered to the gas within the compression volume } (W_a)}$$

Multi-cylinder သို့မဟုတ် multi-stage compressor များအတွက် အထက်ပါ ညီမျှခြင်းသည် ဆလင်ဒါ (cylinder) တစ်ခုချင်းစီ သို့မဟုတ် တစ်ဆင့်ချင်းစီ(stage) အတွက် အသုံးပြုရန် ဖြစ်သည်။

Mechanical Efficiency (η_m)

Mechanical efficiency သည် gas များဆီသို့ ရောက်ရှိသွားသည့် အလုပ်(work) နှင့် compressor shaft မှ ထည့်ပေးလိုက်သည့် အလုပ်(work) (w_m) တို့၏ အချိုးဖြစ်သည်။

$$\eta_m = \frac{\text{Work delivered to the gas (measured)}(w_a)}{\text{Work input to the compressor shaft}(w_m)}$$

Isentropic (Reversible Adiabatic) Efficiency (η_i)

Isentropic (reversible adiabatic) efficiency သည် isentropic compression ဖြစ်မြောက်ရန် အတွက် လိုအပ်သည့် work (w_{oi}) နှင့် compressor shaft သို့ ထည့်ပေးရသည့်အလုပ်(w_m) တို့၏ အချိုးဖြစ်သည်။

$$\eta_i = \frac{\text{Work required for isentropic compression of the gas } (w_{oi})}{\text{Work input to the compressor shaft } (w_m)}$$

Motor Efficiency (η_e)

မော်တာ efficiency သည် compressor shaft သို့ ထည့်ပေးရသည့်အလုပ်(w_m) နှင့် မော်တာ သို့ ထည့်ပေးရသည့် အလုပ် (w_e)တို့၏ အချိုးဖြစ်သည်။

$$\eta_e = \frac{\text{Work input to the compressor shaft } (w_m)}{\text{Work input to the motor } (w_e)}$$

Total Compressor Efficiency (η_{com})

Total compressor efficiency သည် isentropic compression ဖြစ်မြောက်ရန် အတွက် လိုအပ်သည့် work (w_{oi}) နှင့် မော်တာ သို့ ထည့်ပေးရသည့် အလုပ် (w_e) တို့၏ အချိုးဖြစ်သည်။

$$\eta_{com} = \frac{\text{Work required for isentropic compression } (w_{oi})}{\text{Work input to the motor } (w_e)}$$

$$P_e = \frac{P_{ov} \eta_v}{\eta_{com}} = \frac{P_{ov} \eta_v}{\eta_e \eta_i} = \frac{P_{oi} \eta_v}{\eta_{oi} \eta_m \eta_e}$$

$$P_e = \frac{P_{ov} \eta_v}{\eta_{com}} = \frac{P_{ov} \eta_v}{\eta_e \eta_i} = \frac{P_{oi} \eta_v}{\eta_{oi} \eta_m \eta_e}$$

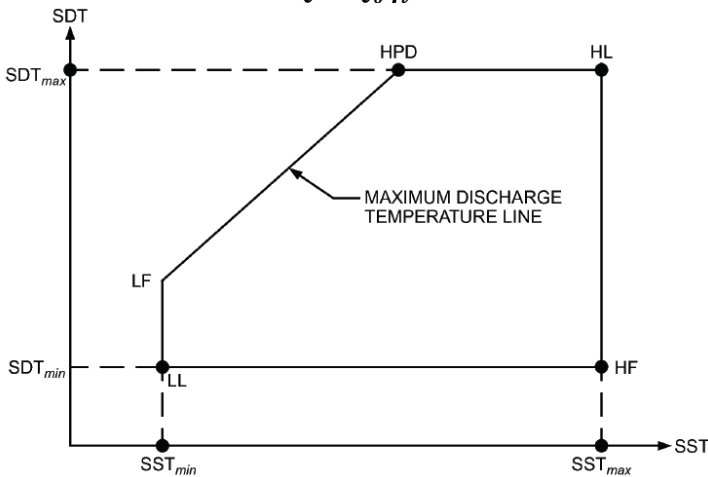
Actual shaft compressor power သည် compressor တစ်လုံး၏ compression ၊ mechanical နှင့် volumetric efficiency စသည်တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အောက်ပါညီမျှခြင်းများဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$P_e = \frac{P_m}{\eta_e} = \frac{P_a}{\eta_m \eta_e} = \frac{P_{oi}}{\eta_{oi} \eta_m \eta_e}$$

- where
- P_e = power input to motor
 - P_m = power input to shaft
 - P_{oi} = power required for isentropic compression

Actual capacity သည် compressor ၏ ideal capacity နှင့် volumetric efficiency တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

$$Q = Q_o \eta_v$$



ပုံ ၁၇-၆ Example of compressor operating envelope

၉.၉ Total Heat Rejection

Total heat rejection သည် refrigeration effect နှင့် compressor သို့ထည့်ပေးရသည့် power ကို ညီမျှသည့် အပူပမာဏအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲထားသည့်တန်ဖိုး (heat equivalent of power input to the compressor) တို့ကို ပေါင်းထားသည့် တန်ဖိုးဖြစ်သည်။

Total heat rejection = Refrigeration effect + Heat equivalent of power input to the compressor

Condenser ၏ အရွယ်အစား(size)ကို ရွေးချယ်ရန်အတွက် chiller မှ အပူစွန့်ထုတ်သည့်ပမာဏ(heat rejection)ကို သိရန် လိုအပ်သည်။ Compressor capacity သည် superheating နှင့် sub-cooling တို့အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Saturation Suction Temperature (SST) ဆိုသည်မှာ suction pressure အောက်တွင် ဖြစ်ပေါ်နေသည့် two-phase liquid/gas refrigerant ၏ အပူချိန် ဖြစ်သည်။ Evaporator temperature ဟုလည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ လက်တွေ့ အခြေအနေတွင် SST နှင့် evaporator temperature တို့ မတူညီနိုင်ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် compressor နှင့် evaporator အကြားတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှုကြောင့် ဖြစ်သည်။

Saturated Discharge Temperature (SDT) ဆိုသည်မှာ discharge pressure အောက်တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် two-phase liquid/gas refrigerant အပူချိန်ဖြစ်သည်။ Condensing temperature ဟုလည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ လက်တွေ့ အခြေအနေတွင် SDT နှင့် condensing temperature တို့ မတူညီနိုင်ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် compressor နှင့် condenser အကြားတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှုကြောင့် ဖြစ်သည်။

Liquid Subcooling

တချို့သော ထုတ်လုပ်သူများသည် liquid subcooling ကို compressor rating တွင် ထည့်သွင်း ဖော်ပြလေ့ ရှိသည်။ Air-Conditioning and Refrigeration Institute (ARI) Standard 540 နှင့် European Committee for Standardization(CEN)၊ European Norm(EN) 12900 တို့တွင် sub cooling နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်များကို ဖော်ပြ မထားပေ။

Suction Superheat

Compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် suction gas များတွင် refrigerant များ အရည် အနေဖြင့် မပါဝင်နေစေရ။ ပါဝင်ခဲ့သော် ချောဆီကျသွားနိုင်သည်။ ဓာတ်ပြိုကွဲ၍ တခြား gas များ ထွက်ပေါ်လာနိုင်သည်။ Liquid carry over ဖြစ်ခြင်းကြောင့် ဆလင်ဒါ၊ valve ၊ piston နှင့် ring တို့တွင် ပွန်းတီးမှုများ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။ ချို့ယွင်း ပျက်စီးမှုများ ဖြစ်နိုင်သည်။ Liquid suction super heat ကို တိုင်းတာရန် ခက်ခဲသည်။ Superheat 5°C ခန့် ဖြစ်ပေါ် ချိန်တွင် အရည်(Liquid)များ အဖြစ် ရှိနေနိုင်သည်။

တချို့သော compressor များကို suction super heat မဖြစ်ပေါ်ဘဲ မောင်းနှင်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည်။ Liquid များ suction valve အတွင်းသို့ မဝင်ရောက်နိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ Hermetic compressor တွင် suction superheat အပူချိန်မြင့်မားသောကြောင့် discharge အပူချိန်လည်း မြင့်မားလိမ့်မည်။ ဖော်တာ အပူချိန်လည်း မြင့်မားလိမ့်မည်။

၉.၁၀ Compressor Protection

Compressor များ မပျက်စီးစေရန်နှင့် ဘေးအန္တရာယ် မဖြစ်ပေါ်စေရန် အကာအကွယ် ပေးမည့် ကိရိယာ (protection device)များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ ထို protection device များအတွက် စည်းမျဉ်း စည်းကမ်း (code)များ ရေးဆွဲပြဋ္ဌာန်းထားသည်။

High Pressure Protection

Underwriters Laboratories (UL) ၊ AHRI standards နှင့် ASHRAE Standard 15 ပါ အချက် အလက်များအရ high pressure protection ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

High pressure protection ပြုလုပ်ရန်

- (က) High-pressure cutout တစ်ခုနှင့်
- (ခ) High to low side internal relief valve ၊ external relief valve သို့မဟုတ် rupture member တို့ ပါဝင်သည်။
- (ဂ) ဖိအားကွာခြားချက်(differential pressure) setting သည် အသုံးပြုထားသည့် refrigerant နှင့် operating

condition အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(ဃ) တချို့သော welded hermetic compressor များ အတွင်း၌ high to low-pressure relief valve ပါဝင်သည်။ အမြင့်ဆုံး ဖိအား (maximum pressure)ထက် ပိုမများအောင် ကန့်သတ်ထားရန် လိုအပ်သည်။

High Temperature Control

အပူလွန်ခြင်း(overheating) နှင့် oil break down ဖြစ်ခြင်းကို ကာကွယ်ရန်အတွက် high temperature control device များ လိုအပ်သည်။

Lubrication

Lubricant နှင့် refrigerant များ break down ဖြစ်ခြင်းကို ကာကွယ်ရန်အတွက် temperature sensor ကို အသုံးပြု၍ compressor ကို ရပ်တန့်စေသည်။ Discharge temperature သည် သတ်မှတ်ထားသည့် တန်ဖိုး(safe value)ထက် ကျော်လွန်သည့်အခါ compressor ကို ရပ်တန့်စေသည်။ Sensor ကို compression chamber သို့မဟုတ် discharge လိုင်း အနီးတွင် တပ်ဆင် ထားလေ့ရှိသည်။

ကြီးမားသည့် compressor များတွင် ချောဆီ အပူချိန် မြင့်တက်လာပါက ရပ်တန့်(shutdown) သွားအောင် ပြုလုပ် ထားသည်။ ချောဆီ၏ အနိမ့်ဆုံး အပူချိန်မကျဆင်းအောင် thermostat မှ တစ်ဆင့် အပူပေး၍ control လုပ်ထားသည်။

Suction Pressure

Compressor များတွင် သတ်မှတ်ထားသည့် အနိမ့်ဆုံး ဖိအား(minimum suction pressure)ထက်ပို မနည်းအောင် pressure switch ဖြင့် ကာကွယ်ထားသည်။

Compressor များတွင် ချောဆီမလုံလောက်မှု မဖြစ်ပေါ်စေရန်အတွက် ချောဆီဖိအား(lubricant pressure)၊ အနည်းဆုံး စီးဆင်းမှု(minimum flow) စသည်တို့ကို ထိန်းထားပေးသည်။

Time Delay

အချိန်အနည်းငယ်အတွင်း compressor မော်တာ ရပ်တန့်ခြင်း၊ စတင်မောင်းခြင်း မဖြစ်အောင် ကာကွယ် ထားရန် လိုအပ်သည်။ မြန်နှုန်းပုံသေ(fixed speed)ဖြင့် မောင်းသည့် compressor များ စတင်မောင်းသည့် အချိန်၌ အလွန်များသည့် inrush current ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် မော်တာအပူချိန် မြင့်တက်လာ လိမ့်မည်။ ခဏအတွင်း ရပ်တန့်ခြင်း၊ ပြန်လည် စတင်မောင်းခြင်း ပြုလုပ်လျှင် အပူလွန်ကဲကာ လောင်ကျွမ်း ပျက်စီး နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် သင့်လျော်သည့် time delay ထားရှိရန် လိုအပ်သည်။

ဗို့အားနည်းခြင်း(Low-voltage)၊ phase-loss ဖြစ်ခြင်း သို့မဟုတ် phase reversal protection များကြောင့် တချို့သော system များတွင် ချို့ယွင်းမှု(fault) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Multiple device ကို အသုံးပြု၍ phase reversal မဖြစ်အောင် ကာကွယ်နိုင်သည်။

Suction Line Strainer

တချို့သော compressor များ၏ suction inlet တွင် strainer တပ်ဆင်ထားသည်။ Strainer သည် အမှုန်များ၊ အမှိုက်များကို ဖယ်ရှားပေးနိုင်သည်။ Field-assembled system များတွင် suction line strainer များ တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။

Slugging

Slugging ဆိုသည်မှာ liquid refrigerant များ သို့မဟုတ် ချောဆီ(lubricant)များ အချိန်အခိုက်အတန့်မျှ pump လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ စမောင်းလျှင် မောင်းခြင်း စက်ရပ်နားထားစဉ်က evaporator အတွင်း၌ စုဝေး နေသည့် refrigerant များ compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Operating condition ပြောင်းလဲသည့် အခါမျိုး၊ (ရုတ်တရက်)တွင် ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။ Compressor load ရုတ်တရက် ပြောင်းလဲ

သည့်အခါတွင် ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Floodback

Floodback ဆိုသည်မှာ liquid refrigerant များ ပြန်ရောက်ရှိလာပြီး suction gas နှင့် အဆက်မပြတ် ရောနှောခြင်း ဖြစ်သည်။ Compressor ကို ဒုက္ခရောက်စေနိုင်သည့်အရာ ဖြစ်သည်။ ဘယ်ရင်များ၏ အပေါ်ယံ မျက်နှာပြင်(bearing surfaces)တွင် ချောဆီများရှိနေရန် လိုအပ်သည်။ Liquid refrigerant များကြောင့် ချောဆီများ ရှိနေရန် ခက်ခဲလိမ့်မည်။ ထိုသို့ ဖြစ်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်အတွက် အရွယ်အစား မှန်ကန်သည့် accumulator တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

Flooded Start

Flooded start ဆိုသည်မှာ compressor ရပ်နားထားစဉ် refrigerant များ compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ခွင့်ပြုခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ Compressor ကို crankcase heater ကို အသုံးပြု အပူပေးခြင်းဖြင့် ကာကွယ်နိုင်သည်။ အလိုလျောက် pumpdown cycle ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Suction Pulsations

Suction လိုင်း၌ ဖိအားအနည်းငယ် ကျဆင်းလျှင်သော်လည်းကောင်း၊ ရုတ်တရက် စီးဆင်းမှု ဖြစ်ပေါ်လျှင် သော်လည်းကောင်း ဖိအားဆောင့်တက်ခြင်း(sudden pulsation) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Sudden pulsation ဖြစ်ပေါ်သည့် အကြိမ်အရေအတွက်(frequency)သည် compression အကြိမ်အရေအတွက်ပေါ်တွင် မူတည် သည်။ အကယ်၍ compression chamber သည် resonator ကဲ့သို့ ဖြစ်ခဲ့သော် pulsation ၏ amplitude သည် 10 kPa အထိ ရောက်နိုင်သည်။ Suction pulsation ဖြစ်ပေါ်ခြင်းကြောင့် volumetric efficiency ညံ့ဖျင်းသွားနိုင်သည်။ Compression wave များ ပျံ့နှံ့(propagating)သွားပြီး suction လိုင်းနှင့် evaporator တွင် တုန်ခါမှုများ ဖြစ်ပေါ်ကာ ထိခိုက် ပျက်စီးနိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် suction pulsation ဆိုသည်မှာ suction gas များ ဆောင့်တွန်းခြင်း ဖြစ်သည်။

Suction pulsation ကြောင့် တုန်ခါမှုများ ဖြစ်ပေါ်ပြီး ဆူညံသံများ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။ Suction buffer များ တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် pulsation မဖြစ်အောင် ကာကွယ်နိုင်သည်။ Suction လိုင်း၌ ရှိနေသည့် accumulator နှင့် compressor အတွင်း၌ gas ထုထည် ပမာဏ များစွာ ရှိနေခြင်းကြောင့် pulsation ဖြစ်နိုင်ခြေ လျော့နည်း လိမ့်မည်။

Discharge Pulsation

Compressor ၏ အထွက်ပိုင်း(discharge)တွင် ဖိအားမတည်ငြိမ်ခြင်း(pressure fluctuation) နှင့် ရုတ်တရက် စီးဆင်းခြင်း(sudden flow)ကို discharge pulsation ဖြစ်သည်ဟုသတ်မှတ်သည်။ Compressor အထွက် ဖိအားသည် condensing pressureထက် ပိုများခြင်း(over compression) သို့မဟုတ် ပိုနည်းခြင်း (under compression)ကြောင့် pulsation ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Discharge pulsation ဖြစ်ပေါ်သည့် အကြိမ် အရေအတွက်သည် compression cycle ၏ အကြိမ် အရေအတွက်နှင့် စပ်ဆက်နေသည်။ Pulsation amplitude သည် 100 kPa အထိ ဖြစ်နိုင်သည်။ Discharge pulsation သည် compressor တုန်ခါမှုနှင့် ဆူညံသံ ဖြစ်ပေါ်စေသည့် အဓိက အချက်ဖြစ်သည်။ Discharge pulsation ကြောင့် အစိတ်အပိုင်းများနှင့် sensor များ ထိခိုက်ပျက်စီးနိုင်သည်။ Discharge muffler တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် ဖြေရှင်းနိုင်သည်။

Noise

မောင်းသည့်အခါ အသံတိတ်ဆိတ်ခြင်းသည် compressor တစ်လုံး၏ အားသာချက်ဖြစ်သည်။ Compressor အတွင်း၌ turbulence ဖြစ်ခြင်း၊ friction ဖြစ်ခြင်း၊ valve နှင့် မော်တာတို့ကြောင့် ဆူညံသံများ ဖြစ်ပေါ် နိုင်သည်။ အသံ ဆူညံမှု နည်းအောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်သည့်အခါ sound shield နှင့် sound blanket များဖြင့် ဖုံးအုပ်ထားနိုင် သည်။ Chapter 47 of the 2007 ASHRAE Handbook—HVAC Applications တွင်

design criteria များကို အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

Vibration

ဖိအားဆောင့်တက်ခြင်း(gas-pressure pulses)နှင့် လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်းများ(moving parts)၏ inertia ကြောင့် တုန်ခါမှု(vibration)များ ဖြစ်ပေါ်သည်။ Compressor ၏ axial ၊ radial နှင့် torsional အတိုင်း တုန်ခါမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။ Discharge ဘက်နှင့် suction ဘက် တို့၏ ဖိအားကွာခြားချက်(pressure differential) မြင့်တက်လာခြင်းကြောင့် axial နှင့် radial အစိတ်အပိုင်းများတွင် တုန်ခါမှု ပိုများလာလိမ့်မည်။ မြန်နှုန်းပုံသေ(fixed speed)ဖြင့် မောင်းနှင်ချိန်တွင် suction နှင့် discharge ဖိအား မပြောင်းလဲနိုင်သောကြောင့် တုန်ခါမှုနည်းသည်။ မြန်နှုန်းနှေးသည့်အခါ torsional component များတွင် vibration amplitude များလာလိမ့်မည်။ အောက်ပါနည်းများဖြင့် တုန်ခါမှု ပြဿနာများကို ဖြေရှင်းနိုင်သည်။

(က) Isolation

Isolation လုပ်သည့်နည်းဖြင့် တုန်ခါမှုနည်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်းသည် အသုံးများသည့်နည်း ဖြစ်သည်။ Compressor ကို စပရိန်(spring) သို့မဟုတ် ရာဘာပြား(rubber pad)ပေါ်တွင် တင်၍ တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ Hermetic reciprocating compressor များ၌ အတွင်းအစိတ်အပိုင်းများ(internal compressor assembly)ကို စပရိန်ပေါ်တွင် တင်၍ တပ်ဆင်(spring-mounted)ထားသည်။ Suction နှင့် discharge လိုင်းများကို compressor တစ်ခုလုံး၏ အပြင်ဘက်(external)မှလည်း isolate လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ ပိုက်များ၌ flexible များသုံးရန် တုန်ခါမှုများ ပျံ့နှံ့ မသွားအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

(ခ) Amplitude Reduction

Compressor သို့မဟုတ် chiller ကို အလေးချိန် ပိုများအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် တုန်ခါမှု လျော့နည်းသွားစေနိုင်သည်။ Solid foundation ပြုလုပ်ပေးခြင်းဖြင့်လည်း တုန်ခါမှု လျော့နည်း သွားစေနိုင်သည်။

(ဂ) Balancing

တုန်ခါမှု လျော့နည်းသွားစေရန် internal force များကို သင့်လျော်မှန်ကန်စွာ balancing ပြုလုပ်၍ counter weight ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Rotary နှင့် scroll compressor များ၌ balancing ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Chapter 47 of the 2007 ASHRAE Handbook—HVAC Applications တွင် အသေးစိတ် လေ့လာနိုင်သည်။

Shock

Shock မဖြစ်ပေါ်အောင် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရန်အတွက် dynamic load သုံးမျိုးခွဲ၍ လေ့လာနိုင်သည်။

- (က) Suddenly applied loads of short duration
- (ခ) Suddenly applied loads of long duration နှင့်
- (ဂ) Sustained periodic varying loads တို့ဖြစ်သည်။

Internal force များခြင်းသည် shock ဖြစ်ခြင်း၏ အခြေခံ အကြောင်းအရင်း ဖြစ်သည်။ Shock မဖြစ်ပေါ်စေရန် equipment ခြပ်ထုထည်(mass)ကို နည်းနိုင်သမျှ နည်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်းနှင့် structure များကို ကြံ့ခိုင်မှု (strength) ကောင်းသည့် ပစ္စည်းများဖြင့် ပြုလုပ်ခြင်း တို့ဖြင့် ကာကွယ်နိုင်သည်။

၉.၁၁ Testing and Operating Requirements

Compressor များနှင့် ပတ်သက်သည့် စမ်းသပ်ချက်(test) နှစ်မျိုး ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Rating (performance) test နှင့် reliability test တို့ ဖြစ်သည်။

Standard Rating Condition

Standard rating condition များ တွင် အောက်ပါ အချက်အလက်များ ပါဝင်ရမည်။ Compressor ထုတ်လုပ်သူများက standard rating condition ကို ဖော်ပြပေးရမည်။ ဖြစ်နိုင်သည့် အမြင့်ဆုံး(maximum possible)

compression ratio အမြင့်ဆုံး(maximum) operating pressure differential၊ အမြင့်ဆုံးဖြစ်နိုင်သည့် အထွက် ဖိအား(maximum permissible discharge pressure)၊ အမြင့်ဆုံး အဝင်အပူချိန်(inlet temperature) နှင့် အထွက် အပူချိန်(discharge temperature) စသည်တို့ ဖြစ်သည်။

Full-load compressor rating နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်များ

- (၁) Raising suction pressure increases compressor capacity.
- (၂) Lowering discharge pressure decreases power.
- (၃) In all cases, raising suction or lowering discharge pressure improves BHP/TR.

Part-load compressor rating နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်များ

- (၁) Compressor efficiency degrades as the compressor operates at decreasing percentages of full load.
- (၂) Speed control provides the best part-load performance for screw compressors.

$$\text{Power consumption} = \frac{\text{Ideal compressor work}}{\text{Compressor efficiency}}$$

$$\text{Power consumption} = \frac{m (h_2 - h_1)}{\eta_c \times \eta_m}$$

For any compressor, $\eta_c \approx$ volumetric efficiency
 $\eta_m =$ mechanical efficiency

Lubrication Requirements

Compressor ထုတ်လုပ်သူများက compressor နှင့် ကိုက်ညီသည့် ချောဆီအမျိုးအစား(type)၊ စေးပျစ်မှု (viscosity) နှင့် characteristics များ၊ ချောဆီနှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည့် refrigerant များကို ဖော်ပြ ပေးရမည်။

Power Requirements

Compressor starting ၊ pulldown နှင့် operation စသည့် အခြေအနေများတွင် စွမ်းအင်(power) လိုအပ်ချက် ပြောင်းလဲသည်။ Compressor အမျိုးမျိုးတွင် နည်းအမျိုးမျိုးဖြင့် unloading လုပ်ခြင်းကြောင့် စွမ်းအင် (power) လိုအပ်ချက် ပြောင်းလဲသည်။ Compressor ထုတ်လုပ်သူများက လျှပ်စစ်ဓာတ်အားနှင့် သက်ဆိုင်သည့် power လိုအပ်ချက် နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်အလက် အပြည့်အစုံကို ဖော်ပြပေးရမည်။ ASHRAE Standard 23 အရ စမ်းသပ်မှုများ ပြုလုပ်ရမည်။ Compressor ထုတ်လုပ်သူများက AHRI Standard 520 ၊ AHRI Standard 540 သို့မဟုတ် တခြားသော industry standard များတွင် ဖော်ပြထားသည့် test condition များအတိုင်း စမ်းသပ်ပြီး performance data များကို ဖော်ပြပေးရမည်။

အောက်ပါ characteristics များ ရရှိရန်အတွက် သီးခြား စမ်းသပ်မှုများ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

- (၁) Compressor performance over a range of conditions (performance curves)
- (၂) Sound level
- (၃) Durability or reliability
- (၄) Operational limits (operating envelope)
- (၅) Lubrication requirements (oil type, viscosity, amount, etc.)
- (၆) Electrical power requirements (start-up current draw, running current measurements, etc.)

Compressor တစ်လုံး၏ envelope ကို အောက်ပါ အမှတ်(extreme condition points)များဖြင့် သတ်မှတ်ထားသည်။

(၁) Operating Envelope

Operating envelope သည် compressor တစ်လုံး၏ operating range ဖြစ်သည်။ Saturation Suction temperature (SST) သို့မဟုတ် Saturation Suction Pressure (SSP) နှင့် Saturation Discharge

Temperature (SDT) သို့မဟုတ် Saturation Discharge Pressure (SDP) တို့ဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည်။
ပုံ(၉-၆)တွင် operating envelope ကို ဥပမာ အဖြစ်ပေါ်ပြထားသည်။

High Load (HL) သည် အမြင့်ဆုံး(maximum) operating SDT သို့မဟုတ် SDP နှင့် အမြင့်ဆုံး(maximum) operating SST သို့မဟုတ် SSP တို့ ဖြတ်သွားသည့်အမှတ်(intersection point) ဖြစ်သည်။ ထိုဖြတ်မှတ်တွင် compressor သည် အမြင့်ဆုံး power input ၊ အမြင့်ဆုံး average torque နှင့် အမြင့်ဆုံး average bearing load တို့ ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။

High Flow (HF) သည် အနိမ့်ဆုံး(minimum) operating SDT သို့မဟုတ် SDP နှင့် အမြင့်ဆုံး(maximum) operating SST သို့မဟုတ် SSP တို့၏ ဖြတ်မှတ်(intersection point) ဖြစ်သည်။ ထိုဖြတ်မှတ်တွင် compressor သည် refrigerant စီးနှုန်းအများဆုံးဖြစ်ပေါ်ပြီး cooling capacity အများဆုံးရနိုင်သည်။

High Pressure Differential (HPD) သည် အမြင့်ဆုံး(maximum) operating SDT သို့မဟုတ် SDP နှင့် အမြင့်ဆုံး (maximum) discharge temperature line တို့၏ ဖြတ်မှတ်ဖြစ်သည်။ Compressor သည် discharge နှင့် suction အကြားတွင် အလွန်မြင့်မားသည့် အမြင့်ဆုံး ဖိအားကွာခြားမှု(pressure differential) ဖြစ်ပေါ်စေပြီး အမြင့်ဆုံး ဖြစ်နိုင်သည့် အထွက် အပူချိန်(highest allowable discharge temperature)တို့ ဖြစ်ပေါ်သည်။

Low Flow (LF) သည် အမြင့်ဆုံး(maximum) discharge temperature line နှင့် အနိမ့်ဆုံး(minimum) operating SST သို့မဟုတ် SSP တို့ ဖြတ်မှတ် ဖြစ်သည်။ အမြင့်ဆုံး pressure ratio နှင့် refrigerant flow အနည်းဆုံးဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် compressor မှ ထုတ်ပေးသည့် cooling capacity နည်းခြင်း နှင့် oil stability မတည်ငြိမ်ခြင်းတို့ ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ ထိုဖြတ်မှတ်တွင် မောင်းနေသည့်အခါ အနည်းဆုံး cooling capacity သာ ရနိုင်သည်။

Low Load (LL) သည် အနိမ့်ဆုံး(minimum) operating SDT သို့မဟုတ် SDP နှင့် အနိမ့်ဆုံး(minimum) operating SST သို့မဟုတ် SSP တို့ ဖြတ်မှတ် ဖြစ်သည်။ ထိုဖြတ်မှတ်တွင် compressor ၏ torque နှင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု နည်းသည်။

Air-conditioning ၏ operating range သည် SST သည် -10 မှ 15°C အတွင်း ဖြစ်သည်။ SDT သည် 25 မှ 70°C အတွင်း ဖြစ်သည်။

Refrigerant အမျိုးအစား တူညီကြလျှင် compressor တစ်လုံး၏ capacity သည် SST ၊ SDT ၊ superheating နှင့် subcooling တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Chiller compressor များသည် အောက်ပါလိုအပ်ချက်များကို ဖြည့်ဆည်းပေးနိုင်ရမည်။

- (၁) ယုံကြည်စိတ်ချရမှု(reliability) မြင့်မားခြင်း
- (၂) သက်တမ်း ကြာရှည်ခံခြင်း(long service life)
- (၃) ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းရန် လွယ်ကူခြင်း(easy maintenance)
- (၄) လွယ်ကူစွာ capacity control လုပ်နိုင်ခြင်း
- (၅) မောင်းသည့်အခါ ဆူညံသံနည်းခြင်း(quiet operation)
- (၆) အရွယ်အစား ကျစ်လျစ်ခြင်း(compactness) နှင့်
- (၇) ဈေးနှုန်းချိုသာခြင်း(cost effectiveness) တို့ဖြစ်သည်။

၉.၁၂ Compressor Selection Criteria

သင့်လျော်သည့် refrigerant compressor, တစ်လုံးကို ရွေးချယ်ရာတွင် အောက်ပါအချက်များ ပါဝင်သင့်သည်။

- (၁) Refrigeration capacity
- (၂) Volumetric flow rate
- (၃) Compression ratio နှင့်
- (၄) Thermal and physical properties of the refrigerant တို့ဖြစ်သည်။

၉.၁၃ Comparison Between Four Common Type of Refrigeration Compressors

Advantages	Disadvantages
Rotary Vane	
<ul style="list-style-type: none"> ● Good efficiency as booster:equal to screw and better than piston type ● Handles low pressure conditions ● Mechanically reliable 	<ul style="list-style-type: none"> ● Discharge pressure limitation ● Overall pressure ratio limited to about 7:1 ● Poor part load power characteristics
Reciprocating Compressor	
<ul style="list-style-type: none"> ● Basic industry work horse ● Full range of sizes & capacities ● Efficient part load operation ● Relatively inexpensive ● Requires minimum amount of support infra-structure 	<ul style="list-style-type: none"> ● Volumetric efficiency drops at high overall pressure ratios ● Requires frequent maintenance ● Not tolerant of liquid ● Water cooling necessary for ammonia systems
Rotary Screw	
<ul style="list-style-type: none"> ● Good efficiency at full load ● Large capacity units available ● Low maintenance costs ● Reliable ● Tolerant to liquid ● Liquid injection cooling option ● Infinitely variable capacity control ● High operating flexibility 	<ul style="list-style-type: none"> ● Poor power performance at low part load conditions ● Small sizes expensive ● Repairs expensive in remote locations
Centrifugal	
<ul style="list-style-type: none"> ● Efficient at full load ● Large capacity units require small space 	<ul style="list-style-type: none"> ● Very high speed precision equipment ● Useable only with freon type refrigerants ● Inefficient at part load ● Severe operating restrictions

-End-

Chapter-10 Auxiliary Devices

Refrigeration system များကို အဓိက အစိတ်အပိုင်းကြီး(၄)ခုဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည်။ ထိုအဓိက အစိတ်အပိုင်း လေးခုအပြင် စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ပိုကောင်းစေရန်၊ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု လုပ်ငန်းများ လွယ်ကူ စေရန် နှင့် refrigeration system တစ်ခုလုံး ကောင်းမွန် ချောမွေ့စွာ လည်ပတ်နိုင်စေရန်အတွက် တခြား အစိတ် အပိုင်းများကိုပါ ပူးတွဲ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

၁၀.၁ Control Devices

Refrigeration system များကို အခြေအနေအမျိုးမျိုး(various conditions)တွင် အဆင်ပြေ ချောမွေ့စွာ လည်ပတ် နိုင်စေရန်အတွက် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည်။ ဘေးအန္တရာယ်ကင်းစွာ(safely)နှင့် effective ဖြစ်စွာ လည်ပတ်နေ စေရန် အတွက် control device များတပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

၁၀.၂ Receivers

Liquid receiver ကို condenser နှင့် expansion device အကြားတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Liquid receiver ကို condenser အထွက်ဘက်တွင် outlet valve အနီး၌ တပ်ဆင်ထားသည်။ Condenser အတွင်း၌ refrigerant သည် အပူများကို စွန့်ထုတ်လိုက်သောကြောင့် အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ Liquid receiver သည် ထို refrigerant အရည် တချို့ကို expansion valve ဆီသို့ မရောက်ခင် ခဏတာ ယာယီ သိမ်းဆည်းပေးသည်။ Refrigerant တချို့သည် liquid receiver အတွင်း အချိန်ခဏ ကြာနေသောကြောင့် ရာနှုန်းပြည့် အရည်အဖြစ်သို့ ရောက်ရှိသွားသည်။ Liquid receiver သည် လှောင်ကန်(container)အဖြစ် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ ပိုလျှံနေသည့် refrigerant များကို သိမ်းဆည်းပေးသည်။ System မှ လိုအပ်သည့်အခါ ထုတ်ပေးသည်။ Expansion valve ဆီသို့ refrigerant အငွေ့(vapor)များ မရောက်ရှိအောင် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Refrigeration system ၏ liquid line တွင် ဖိအားကျဆင်းမှု ဖြစ်ပေါ်သည့်အခါ refrigerant အရည်များ ပြောင်းပြန်စီးဆင်းခြင်း(reverse flow)ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Condensing (outdoor) unit နှင့် fan coil (indoor) unit အကြားရှိ refrigerant ပိုက်ရှည်လျားသောကြောင့် လည်းကောင်း၊ operating condition ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့်လည်းကောင်း refrigerant စီးနှုန်း များခြင်း၊ နည်းခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Cooling load အနည်းအများကို လိုက်၍ လိုအပ်သည့် refrigerant ပမာဏသာ evaporator အတွင်းသို့ စီးဝင်အောင် expansion valve က control လုပ်ပေးသည်။ Refrigerant စီးနှုန်း ပုံမှန် ဖြစ်စေရန် အတွက် receiver အတွင်း၌ လုံလောက်သည့် refrigerant ပမာဏ ရှိနေရန် သိုလှောင်ထားရမည်။

အကယ်၍ system အား ပြုပြင်ရန် လိုအပ်သည့်အခါ system ထဲရှိ refrigerant အရည်အားလုံးကို receiver ထဲတွင် သိုလှောင်ထားနိုင်သည်။ ထိုသို့ သိမ်းဆည်း သိုလှောင်ထားလိုသည့်အခါ receiver ၏ outlet valve ကို ပိတ်ထားပြီး compressor ကို မောင်းသည့်အခါ valve ပိတ်ထားသဖြင့် system အတွင်း refrigerant များ လည်ပတ်မှု မရှိတော့ဘဲ refrigerant များ condenser မှတစ်ဆင့် receiver ထဲသို့ ဝင်ရောက်သွားလိမ့်မည်။ ထို့နောက် compressor ကို ရပ်တန့်ပြီး condenser outlet valve ကို ပိတ်လိုက်ခြင်းဖြင့် system တစ်ခုလုံးမှ refrigerant များ receiver အတွင်း၌ စုစည်း သိုလှောင်ပြီးသား ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ ဒေါင်လိုက်တပ်ဆင်နိုင်သည့် (vertical) liquid receiver နှင့် အလျားလိုက်တပ်ဆင်နိုင်သည့် (horizontal) liquid receiver ဟူ၍ liquid receiver နှစ်မျိုးရှိသည်။



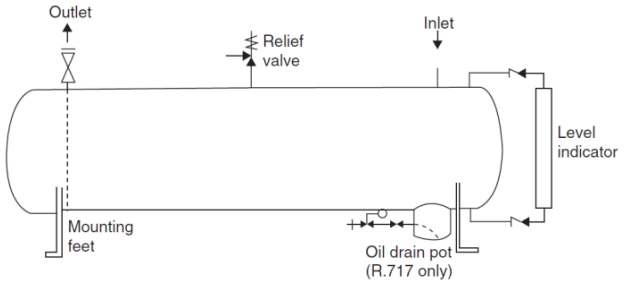
ပုံ ၁၀-၁ Liquid receivers

Capillary tube အသုံးပြုထားသည့် system များတွင် receiver ကို အသုံးပြုလေ့ မရှိပေ။ Off-cycle ဖြစ်နေချိန်တွင် evaporator အတွင်းသို့ capillary tube မှ တစ်ဆင့် refrigerant အရည်များ စီးဝင်နေလိမ့်မည်။ ထိုအချိန်တွင် compressor ကို စတင်မောင်းသည့်အခါ ပြဿနာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Receiver သည် liquid line ဆီသို့ vapor များ မရောက်ရှိသွားစေရန် vapor seal အဖြစ်ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Refrigeration system ၏ liquid line တွင် ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) ဖြစ်ပေါ်သည့်အခါ liquid refrigerant များ ပြောင်းပြန်စီးခြင်း (reverse flow) ဖြစ်ပေါ်စေသည်။

System အတွင်း၌ ရှိနေသည့် refrigerant ပမာဏသည် operating load နှင့်လေထုအပူချိန် (ambient temperature) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ မောင်းရမည့် အခြေအနေ အားလုံးအတွက် လုံလောက်သည့် refrigerant ပမာဏ system အတွင်း၌ ရှိနေရန် လိုအပ်သည်။ သို့မှသာ expansion valve အတွင်းသို့ refrigerant များ အရည်အနေဖြင့် ဝင်ရောက်သွားလိမ့်မည်။

Receiver တပ်ဆင်ထားသည့်အတွက် ထည့်သွင်းပေးရသည့် refrigerant ပမာဏ ပိုများလိမ့်မည်။ ကုန်ကျ စရိတ် ပိုများသည်။ ပို၍ ရှုပ်ထွေးသည်။ ထို့ကြောင့် သေးငယ်သည့် system များတွင် receiver များကို တပ်ဆင်လေ့ မရှိပေ။



ပုံ ၁၀-၂ Liquid receiver

ပုံ(၁၀-၂)တွင် ကြီးမားသည့် system များတွင် အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည့် receiver တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။ Receiver များသည် pump down reservoir များ အဖြစ်လည်း ဆောင်ရွက်ပေးနိုင်သည်။ ထိန်းသိမ်းခြင်း (maintenance)၊ စစ်ဆေးခြင်း (inspection) သို့မဟုတ် ပြုပြင်ခြင်း (repair) စသည်တို့ ပြုလုပ်နေချိန်တွင်

receiver အတွင်း၌ refrigerant များကို စုဝေးစေပြီး ခဏတာ သိမ်းဆည်းထားနိုင်သည်။ Receiver အတွင်း၌ သိုလှောင်နိုင်သည့် ပမာဏ၏ 80% ထက် ပိုများအောင် မသိမ်းဆည်းသင့်ပါ။

Receiver များကို ဂဟေဆော်ထားသည့် steel tube များဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် အလျားလိုက် (horizontal) တပ်ဆင်ထားသည်။ သေးငယ်သည့် receiver များကို ဒေါင်လိုက်(vertical) တပ်ဆင်ကြသည်။ Condenser မှ receiver ဆီသို့ ဆက်ထားသည့် liquid drain ပိုက်အရွယ်အစား လုံလောက်အောင် ကြီးမားသင့်သည်။ သို့မှသာ condenser မှ receiver ဆီသို့ အရည်များ အလွယ်တကူ စီးဆင်း သွားနိုင်လိမ့်မည်။

Receiver များသည် pressure vessel များ ဖြစ်သောကြောင့် EN378 ကို လိုက်နာရန် လိုအပ်ပြီး condenser နှင့် receiver အကြားတွင် shut-off valve မတပ်ဆင်ထားပါက pressure relief device တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ ပုံမှန် မောင်းနှင်အချိန်(normal running)များတွင် receiver ၏ မြောက်ပို တစ်ပုံ(၁/၆)သည် refrigerant များဖြင့် ပြည့်နေလိမ့်မည်။ System အတွင်း၌ ရှိနေသည့် liquid level ကို သိရန်အတွက် sight glass တပ်ဆင် ထားသည်။

တချို့သော refrigeration unit များ၏ condenser တွင် refrigerant များ အတွက် နေရာ အလုံအလောက် ရှိသည်။ အကယ်၍ condenser တွင် refrigerant များ အတွက် နေရာ မလုံလောက်ခဲ့သော် receiver တပ်ဆင်ထား ရန် လိုအပ်သည်။ Refrigeration unit တစ်ခုကောင်းစွာ လည်ပတ်နိုင်ရန်အတွက် လိုအပ်သည့် refrigerant ပမာဏအပေါ်တွင် မူတည်၍ receiver တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။ မလိုအပ်သည်ကို ဆုံးဖြတ်ကြသည်။ (၃)ကီလိုထက် ပိုများ refrigerant unit များတွင် receiver ကို မဖြစ်မနေ အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

Expansion valve ကို အသုံးပြုထားသည့် refrigeration system များတွင် receiver ကို တပ်ဆင် ထားရန် လိုအပ်သည်။ Expansion valve က refrigerant စီးဆင်းခြင်းကို throttling လုပ်လိုက်သည့်အခါတွင် ပိုနေသည့် refrigerant များကို သိုလှောင် သိမ်းဆည်းရန်အတွက် လိုအပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Capillary tube ကို အသုံးပြုထားသည့် refrigeration system များတွင် receiver ပါရှိရန် မလိုအပ်ပေ။

Receiver ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် condenser အတွင်း၌ refrigerant အရည်များ စုဝေးနေခြင်းကို ရှောင်လွှဲနိုင်သည်။ Condenser အတွင်း၌ refrigerant အရည်များ စုဝေးနေခြင်းကြောင့် effective condenser surface area လျော့နည်းသွားပြီး အပူကူးပြောင်းနှုန်း(heat transfer rate) ညံ့ဖျင်းသွားနိုင်သည်။

၁၀.၃ Filter Dryers

Filter dryer များသည် refrigerant ထဲတွင် ပါဝင်နေသော ရေခိုးရေငွေများ(moisture)နှင့် အမှုန် အမွှားများကို သန့်စင် ဖယ်ရှားပေးသည်။ ကြေးဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် ဆလင်ဒါ(copper cylinder)အတွင်း၌ ရေငွေ စုပ်ယူနိုင်သည့် အရာများ(desiccating agent or drying agent)ဖြစ်သည့် Molecularsieve ထည့်သွင်းထားသည်။ Molecularsieve ၏ ရေငွေ စုပ်ယူနိုင်စွမ်းသည်(absorption capacity) အပူချိန် အနိမ့်အမြင့် လိုက်၍ ပြောင်းလဲခြင်း မရှိသောကြောင့် အသုံးပြုခြင်း ဖြစ်သည်။ Molecularsieve ကို အပူချိန် 150°C မှ 300°C ခန့် အတွင်း အပူပေးခြင်းဖြင့် ရေငွေများကို ထွက်သွားအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Condenser နှင့် metering device အကြားတွင် တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။

Filter dryer ကို expansion valve အဝင်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ အတွင်း၌ အမှုန်အမွှားများနှင့် အညစ် အကြေးများ စစ်ယူရန် ဆန်ခါငယ်လေးများ(filter) နှင့် ရေခိုးရေငွေများကို စုပ်ယူတားဆီးထားရန်အတွက် drying agent တို့ကို ထည့်သွင်း တပ်ဆင်ထားသည်။ Filter များ ပိတ်ဆို့သွားသည့်အခါ အသစ် လဲလှယ် ပေးရန် လိုအပ်သည်။

Refrigerant ထဲတွင် ရေခိုးရေငွေများ(moisture) ပါဝင်နေသောကြောင့် အောက်ပါ ပြဿနာများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

- (၁) Expansion valve သို့မဟုတ် capillary tube တွင် ရေခဲခြင်း ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။

- (၂) ဟိုက်ဒရိုကလိုရစ်အက်စစ်(Hydrochloric acid) ဖြစ်ပေါ်ကာ သတ္တုများကို စားပစ်နိုင်သည်။
- (၃) Copper plating ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

၁၀.၃.၁ Dryers

Refrigeration system များအတွင်း၌ ရေငွေ့ပါဝင်နေခြင်းသည် ပြဿနာများစွာကို ဖြစ်ပေါ်စေနိုင်သည်။ Refrigeration system များသည် ရေငွေ့ အနည်းငယ်မျှကိုသာ လက်ခံနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် လုပ်ငန်းခွင်ထဲတွင် တပ်ဆင်သည့်(field-assembled) refrigeration system နှင့် စက်ရုံမှ တပ်ဆင်သည့်(factory-assembled) refrigeration system များအားလုံးတွင် dryer များ တပ်ဆင်ထားကြသည်။ သင့်လျော်မှန်ကန်သည့် အရွယ်အစား (correct size) ရွေးချယ်ရာတွင် အောက်ပါ အချက်များကို အခြေခံသည်။

- (၁) Refrigerant အမျိုးအစား(type) နှင့် ပမာဏ(amount)
- (၂) Refrigeration system capacity (tonnage)
- (၃) ပိုက်လိုင်း အရွယ်အစား(line size) နှင့်
- (၄) ခွင့်ပြုသည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(allowable pressure drop) တို့ဖြစ်သည်။

Refrigerant အမျိုးအစား(type) ၊ ပိုက်အရွယ်အစား(line size) နှင့် equipment application များကို သိပြီးနောက် drying နှင့် refrigerant စီးနှုန်း(flow capacity) ကို အခြေခံ၍ dryer အရွယ်အစားကို ရွေးချယ်သည်။ Filter အတွင်းရှိ ဆန်ခါများ ပေါက်ပြဲပြီး drying agent များ circuit အတွင်းသို့ ရောက်ရှိ သွားနိုင်သောကြောင့် expansion valve နေရာတွင် ပိတ်ဆို့မှုများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Filter ကို ပို၍ အသုံးပြုကြသည်။

Halocarbons refrigerant များကို အသုံးပြုလျှင် refrigerant circuit အတွင်း၌ ရေခိုးရေငွေ့များကို အတတ်နိုင်ဆုံး နည်းနိုင်သမျှ နည်းအောင် ဖယ်ရှားပစ်ရန် လိုအပ်သည်။ အသုံးများသည့် dryer အမျိုးအစားသည် activate alumina သို့မဟုတ် zeolite molecular sieve စသည့် desiccant အခဲများထည့်ထားသည့် အတောင့် (capsule) ပုံသဏ္ဍာန် ဖြစ်သည်။ Liquid line ၌ expansion valve မရောက်ခင် နေရာတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။

Filter dryer အတွင်းမှ drying agent များ အပြင်သို့ မရောက်သွားစေရန် strainer ပါရှိသည်။ Filter-dryer များသည် orifice valve သို့မဟုတ် expansion valve များ မပိတ်ဆို့စေရန် အလွန်သေးငယ်သည့် အမှုန်များကို ဖယ်ရှားပေး နိုင်သည်။



ပုံ ၁၀-၃ Filter dryer

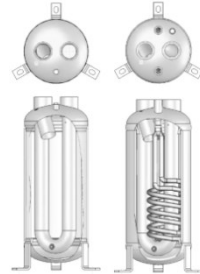
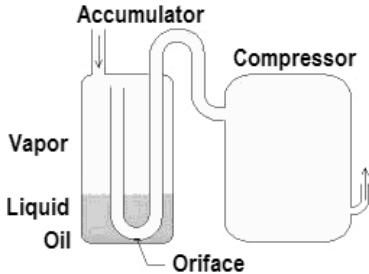
ပုံ(၁၀-၃)တွင် filter dryer များကို ဖော်ပြထားသည်။ အရွယ်အစားကြီးမားသည့် dryer များကို ဖွင့်၍ drying agent အဟောင်းများကို ထုတ်ယူကာ အသစ်လဲလှယ်နိုင်သည်။ အရွယ်အစားသေးငယ်သည့် dryer များသည် တစ်ခါသုံး အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။ Suction line filter dryer များသည် တပ်ဆင်ပြီးခါစ system များ အတွင်းရှိ အရာဝတ္ထုများကို သန့်စင်ဖယ်ရှားရန်အတွက် ခဏတာ ယာယီ တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

၁၀.၄ Accumulators

Accumulator ကို refrigerant အရည်များ compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန် အတွက် evaporator နှင့် compressor အကြားတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Accumulator ကို compressor ၏ shut off valve အနီးတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Refrigerant အရည်များနှင့် အငွေ့များ accumulator အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားပြီး

နောက် refrigerant အရည်များ ငြိမ်သက်သွားကာ compressor ၏ suction line သို့ ခြောက်သွေ့သည့် refrigerant အငွေ့များသာ ဝင်ရောက်သွားလိမ့်မည်။

Accumulator ကို evaporator နှင့် compressor အကြားတွင်တပ်ဆင်ထားသည်။ Compressor အတွင်းသို့ liquid refrigerant များ ဝင်ရောက်လာခြင်း မဖြစ်အောင် ကာကွယ်တားဆီးရန် အတွက် တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Accumulator သည် ဝင်ရောက်လာသည့် refrigerant များမှ အရည်များ(liquid refrigerant) ကို သိမ်းဆည်းထားပြီး အငွေ့(gaseous refrigerant)များကိုသာ compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားစေသည်။



ပုံ ၁၀-၄ Suction line accumulator

ပုံ ၁၀-၅ (a) Suction line accumulator (b) with heating coil

Refrigerant vapor ကိုသာ ဖိသိပ်ခြင်း(compression) ပြုလုပ်နိုင်အောင် compressor များကို ဒီဇိုင်း ပြုလုပ် ထားသည်။ Refrigeration system အများစုတွင် compressor ဆီသို့ refrigerant များ အရည်(Liquid) အဖြစ်ဖြင့် ပြန်ရောက် လာလေ့ရှိသည်။ Refrigerant အရည်(Liquid)များကြောင့် ချောဆီ(oil)များ ပြင်းအား လျော့နည်း (dilute) သွားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ချောဆီ ကျဲသွားသည်။ ဘယ်ရင်(bearing)များကို refrigerant အရည်(Liquid) ဖြင့် ဆေးကြောသကဲ့သို့ ဖြစ်စေသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ compressor ၏ crankcase အတွင်း၌ ချောဆီ(oil)များ မရှိလောက် လျော့နည်းသွား သောကြောင့် valve reeds ၊ pistons ၊ rods ၊ crankshafts ကျိုးပျက်ခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ ဤကဲ့သို့ ချောဆီ လျော့နည်းသွားခြင်းကို slugging ဖြစ်သည်ဟု ခေါ်သည်။

Accumulator သည် compressor က မစုပ်နိုင်သေးသည့် သို့မဟုတ် ပိုနေသည့် oil-refrigerant mixture များကို လှောင်ကန်အနေဖြင့် သိမ်းဆည်းထားပေးသည်။ တချို့သော accumulator များတွင် liquid refrigerant များ အငွေ့ယုံစေရန်အတွက် heat-exchanger coil ပါရှိ သောကြောင့် system သည် ပို၍ efficient ဖြစ်စွာ မောင်း(operate) နေနိုင်သည်။ ပုံ(၁၀-၆)သည် heat exchanger ပါသည့် Suction line accumulator ပုံ ဖြစ်သည်။ Suction line တွင် reversing valve နှင့် compressor အကြားတွင် suction accumulator ကို စနစ်တကျ တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် ထိခိုက်ပျက်စီးခြင်းများ လျော့နည်းစေနိုင်သည်။

Compressor ရပ်နေသည့်အချိန်တွင် refrigerant များ accumulator အတွင်း၌ စုဝေး နေနိုင်သည်။ Compressor စမောင်းသည့်အချိန်၌ refrigerant အရည်များ compressor အတွင်းသို့ စုပြုံရောက်ရှိလာနိုင် သောကြောင့် compressor ပျက်စီးနိုင်သည်။ Liquid slugging ဖြစ်နိုင်သည်။ Accumulator ကို compressor ၏ suction line တွင် တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် liquid slugging ကို တားဆီးနိုင်ပြီး refrigerant ကို compressor အတွင်းသို့ တဖြည်းဖြည်းခြင်းသာ ဝင်ရောက်အောင်ပြုလုပ်ပေးသည်။ ထို့ကြောင့် compressor ပျက်စီးခြင်းမှ ကာကွယ် နိုင်သည်။ Evaporator temperature ၊ capacity စသည်တို့ကို အခြေခံ၍ accumulator များကို ရွေးချယ်သင့်သည်။

Liquid refrigerant ထဲတွင် ရှိနေသည့် ချောဆီများကို accumulator ၏ အောက်ခြေပိုင်းတွင် ကွဲထွက် သွားစေပြီး suction gas များနှင့်အတူ compressor ဆီသို့ ပြန်ရောက် သွားစေသည်။

၁၀.၅ Injection Capillary

Cooling load များလာပြီး discharge pressure မြင့်တက်လာသည့်အခါ discharge gas အပူချိန် (temperature) မြင့်တက်လာသောကြောင့် compressor motor သည် အပူလွန်ကဲခြင်း(over heating)ဖြစ်နိုင်သည်။ Compressor motor အပူလွန်ခြင်း(over heating) မဖြစ်ပေါ်အောင် injection capillary ကို အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ Injection capillary များ၏ တည်ဆောက်ပုံသည် capillary tube တည်ဆောက်ပုံနှင့် တူညီသည်။ Compressor

သို့မဟုတ် suction pipe အနားတွင် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ Injection capillary အတွင်းသို့ refrigerant တချို့သည် ပုံမှန် စီးနှုန်းဖြင့် စီးဝင်နေလေ့ရှိသည်။

၁၀.၆ Low Pressure Control Valves

Cooling operation တွင် အသုံးပြုရန်အတွက် low pressure control valve ကို အသုံးပြုသည်။ Low pressure side မှ ဖိအား(4kgf/cm² or less)ကို တိုင်း၍ control လုပ်ပေးသောကြောင့် low pressure control valve ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

၁၀.၇ Distributors

Refrigerant များ ဖြန့်ဝေပေးရန်အတွက် distributor ကို အသုံးပြုသည်။

၁၀.၈ Suction to Liquid Heat Exchangers or Gas/Liquid Heat Exchangers

Multi system များတွင် suction liquid heat exchanger များကို အသုံးပြုကြသည်။ Condenser မှ ထွက်လာသော refrigerant အရည်နှင့် evaporator အတွက်မှ refrigerant အငွေ့ တို့ကို အပူဖလှယ်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ Condenser အတွက်မှ refrigerant အရည်သည် အပူချိန် အနည်းငယ် မြင့်မားနေပြီး evaporator အတွက်မှ refrigerant သည် အေးနေသည်။ ထိုနှစ်မျိုးတို့ အပူဖလှယ်ခြင်းဖြင့် အောက်ပါ အကျိုးကျေးဇူးများ ရရှိပါသည်။

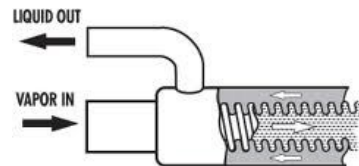
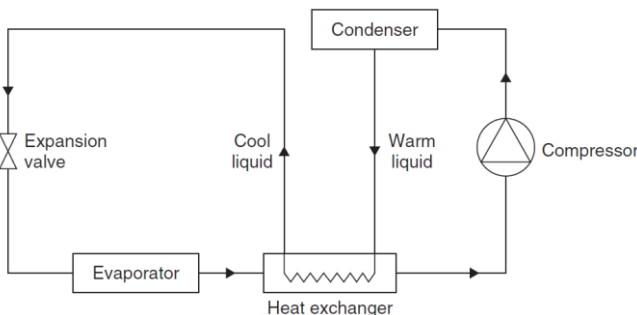
- (၁) Subcooling ဖြစ်သည့် ပမာဏ ပိုများလာသောကြောင့် flash gas များ အလွယ်တကူ မဖြစ်ပေါ်နိုင်တော့ပေ။
- (၂) Cooling capacity ပိုများလာလိမ့်မည်။
- (၃) Low temperature gas များကို superheated အပူချိန်သို့ရောက်အောင် အပူပေးလိုက် သောကြောင့် wet compression ဖြစ်ခြင်းမှ ကာကွယ်နိုင်သည်။



Condenser မှ ထွက်လာသည့် refrigerant အရည်သည် sub-cooling effect ရရှိသွားပြီး temperature ပိုမို နိမ့်ကျသွားစေသည်။ ထို့အပြင် evaporator အတွက် refrigerant ကို vapor ပိုမိုဖြစ်စေသဖြင့် oil rectifier အတွက် လိုအပ်သော heating effect ကို ရရှိစေပါသည်။ Compressor ထဲ သို့ဝင်လာမည့် refrigerant များကို ရာနှုန်းပြည့် အငွေ့အခြေအနေဖြင့် ဝင်ရောက် စေသောကြောင့် compressor မပျက်စီးအောင် ကာကွယ်ပေးသည်။

Expansion valve မရောက်ခင် အပူချိန်မြင့်သည့် liquid refrigerant မှ အပူချိန်နိမ့်သည့် gaseous refrigerant (compressor သို့ မရောက်ခင်) ဆီသို့ အပူများ(heat) စီးဆင်း သွားအောင် heat exchanger က ပြုလုပ်ပေးသည်။

ပုံ ၁၀-၆ Suction line accumulators with heat exchanger



ပုံ ၁၀-၇ Suction to liquid heat exchanger circuit

ပုံ(၁၀-၇)တွင် ဖော်ပြထားသည့် suction to liquid heat exchanger သည် evaporator မှ ထွက်လာသည့် (compressor ဆီသို့ မရောက်ခင်) cold gas များမှ အအေးဓာတ်ကို condenser မှ ထွက်လာသည့် warm liquid ဆီသို့ (expansion valve ဆီသို့ မရောက်ခင် အချိန်တွင်) ကူးပြောင်းသွားအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Warm liquid များကို ကြိုတင်အေးအောင်(pre-cool)လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Refrigerant liquid ကို အေးအောင်ပြုလုပ်ခြင်း(reducing enthalpy) ကြောင့် refrigerating effect ပိုကောင်းလာသည်။ Suction gas တွင် အပူတိုးလာခြင်းကြောင့် superheating ဖြစ်ကာ compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သည့် mass flow လျော့နည်းသွားသည်။

Suction to liquid heat exchanger ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် ရရှိမည့် overall effect သည် refrigerant အမျိုးအစား နှင့် operating condition အပေါ်မူတည်၍ ကွာခြားသည်။ Direct expansion evaporator များတွင် suction-to-liquid heat exchanger တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် superheat suction temperature ရရှိစေကာ တည်ငြိမ်စွာ မောင်းနှင်နိုင်မည်။ စိတ်ချရမှု(reliability) မြင့်မားသည်။

၁၀.၉ Pre-coolers

Pre-cooler နှစ်မျိုးရှိသည်။ U ပုံသဏ္ဍာန် ကြေးပိုက်နှင့် အလျူမီနီယံ fin များပါသည့် pre-cooler နှင့် condenser မှ cooling piping တို့ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် pre-cooler တို့ ဖြစ်သည်။ Compressor မှ ထွက်လာသည့် discharge gas များကို အေးအောင်ပြုပေးခြင်းဖြင့် compressor များ အပူလွန်ကဲခြင်း(overheating)မဖြစ်အောင် ကာကွယ်ပေးသည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption)ကိုလည်း လျော့ချပေးနိုင်သည်။

၁၀.၁၀ Mufflers

Muffler ကို compressor မှ ထွက်ပေါ်လာသည့် ဆူညံသံ(noise)နှင့် တုန်ခါမှု(vibration)ကို လျော့နည်းစေရန် အသုံးပြုသည်။ တုန်ခါမှု(vibration)ကြောင့် ပိုက်များနှင့် တခြားသော component များ မပျက်စီးအောင် ကာကွယ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ Muffler ကို discharge line တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။

တချို့သော air conditioner များတွင် ဖိအားဆောင့်တက်ခြင်း(pressure pulse) ဖြစ်ပေါ်ပြီး ဆူညံသံများ ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။ ထို pressure pulse များကို ဟန့်တားရန်အတွက် muffler တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ Muffler ကို compressor discharge နှင့် condenser အကြားတွင် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ ချောဆီများ efficient ဖြစ်စွာ ရွေ့လျားသွား စေရန်အတွက် muffler ကို တပ်ဆင်ကြသည်။

Muffler ကို oil separator နောက်တွင်လည်း တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ အဓိက လုပ်ဆောင်ချက်မှာ ဆူညံသံကို ထိန်းပေးပြီး muffler အတွင်း refrigerant မှာ ချောမွေစွာ ဖြတ်သန်းသွားစေရန် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၀-၈ Muffler

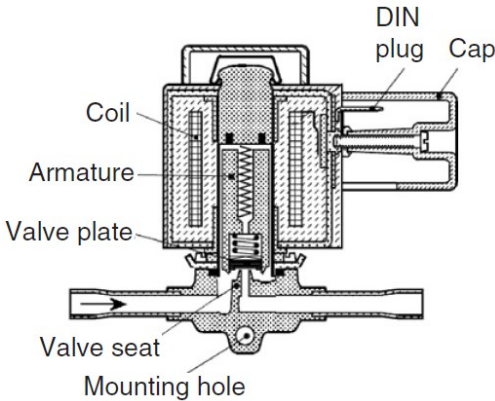


ပုံ ၁၀-၉ Oil / gas separator

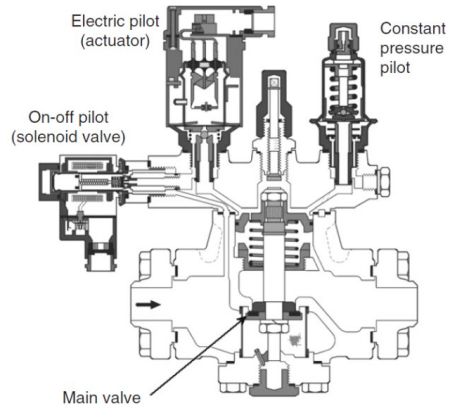
၁၀.၁၁ Solenoid Valves

Solenoid valve များကို refrigeration လုပ်ငန်းများ အားလုံးတွင် မဖြစ်မနေ အသုံးပြုကြသည်။ Refrigerant စီးဆင်းမှုကို control လုပ်ရန်အတွက် solenoid valve များကို electric actuator နှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုကြသည်။ အဓိကအားဖြင့် Normally Closed(NC) နှင့် Normally Open(NO) ဟူ၍ electromagnetic valve နှစ်မျိုးရှိသည်။ Normally Closed(NC) valve များကို အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။ NC valve များသည် solenoid coil energized ဖြစ်သည့်အခါမှသာ ပွင့်သည်။ De-energized ဖြစ်ချိန်တွင် ပိတ်နေလိမ့်မည်။ Refrigeration လုပ်ငန်း(application) များတွင် solenoid valve များကို အများအပြား အသုံးပြုကြသည်။

Multi system များတွင် fan coil unit ရပ်တန့်သွားသည့်အခါ refrigerant များ ထို fan coil unit အတွင်းသို့ စီးဝင်ခြင်း မဖြစ်စေရန် solenoid valve ကို အသုံးပြု၍ တားဆီးရမည်။



ပုံ ၁၀-၁၀ Solenoid valve



ပုံ ၁၀-၁၁ Evaporator pressure regulator valve

Solenoid valve ကို filter dryer ၏ နောက်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ အဓိကတာဝန်မှာ အရည်လိုင်းကို ပိတ်ပေးရန်နှင့် ဖွင့်ပေးရန် ဖြစ်သည်။ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားဖြင့် အလုပ်လုပ်သည့် shut-off valve တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ Room thermostat အတွက် power supply နှင့် solenoid valve ကို အတန်းလိုက်(series) ဆက်သွယ် ထားသည်။ Liquid line ကို ပိတ်လိုက် ခြင်းသည် သွယ်ဝိုက်သောနည်းဖြင့် compressor ကို ရပ်စေခြင်း ဖြစ်သည်။ Compressor ရပ်တန့်သွားရသည့်အကြောင်းမှာ low pressure cut-out switch ကြောင့် ဖြစ်သည်။

၁၀.၁၂ Check Valves

Check valve များသည် refrigerant များကို သတ်မှတ်ထားသည့် ဘက်သို့သာ စီးဆင်းစေသည်။ အလုပ်လုပ်ပုံ အလွန်ရိုးရှင်းသည်။ သို့သော် တပ်ဆင်သည့်အခါ ဦးတည်ရာဘက် မှန်ကန်စေရန်(correct direction) ဂရုတစိုက် တပ်ဆင်သင့်သည်။ Check valve အပေါ်တွင် ရှိနေသည့် မြား၏ ဦးတည်ရာ(direction)သည် refrigerant စီးဆင်း(flow)ရမည့် ဦးတည်ရာ ဖြစ်သည်။ Check valve များသည် စပရင်တွန်းအားဖြင့် အလုပ်လုပ်(spring loaded) သည်။ ဖိအားကွာခြားချက်(pressure difference) 100kPa ကျော်မှသာ ပွင့်လိမ့်မည်။

Check valve များကို အဓိက အချက်နှစ်ချက် အတွက် အသုံးပြုကြခြင်း ဖြစ်သည်။

- (၁) Refrigerant များ flow control device အတွင်းသို့သာ စီးဝင်သွားစေရန် နှင့်
- (၂) အလိုရှိသည့်အခါ refrigerant များ flow control device ထဲသို့ မဝင်ရောက်စေဘဲ bypass ဖြစ်စေရန် တို့ ဖြစ်သည်။

Non-return သို့မဟုတ် check valve များကို အောက်ပါ နေရာများ(positions)တွင် တွေ့မြင်နိုင်သည်။

- (၁) Non-return valve သို့မဟုတ် check valve များကို reversible heat pump circuit များတွင် အသုံး မပြုသည့်(not in service) expansion valve အတွင်းသို့ refrigerant များ စီးဝင်ခြင်း မဖြစ်ပေါ်ရန် တပ်ဆင် လေ့ရှိသည်။ Reversible heat pump circuit များသည် cooling mode နှင့် heating mode နှစ်ဖြင့် မောင်းသောကြောင့် expansion valve နှစ်ခု တပ်ဆင်ထားသည်။
- (၂) Non-return valve သို့မဟုတ် check valve များကို hot gas circuit များတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ တခြားသော evaporator အတွင်းသို့ gas မဝင်ရောက်စေရန်အတွက် တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။
- (၃) တစ်လုံးထက်ပိုများသည့် compressor များနှင့် condenser တစ်လုံး ချိတ်ဆက် တပ်ဆင်ထားသည့်အခါ မောင်းနေသည့် compressor များမှ ထွက်လာသည့် discharge gas များ ရပ်နေသည့် compressor အတွင်းသို့ ရောက်သွားအောင် ကာကွယ်ပေးသည်။
- (၄) နှစ်လုံးထက် ပိုများသည့် evaporator များ မတူညီသည့် ဖိအားများ(different pressures)ဖြင့် မောင်းနေသည့်

အခါ suction gas များ ပိုအေးသည့် (ဖိအား ပိုနိမ့်သည့်) evaporator အတွင်းသို့ မဝင်ရောက်စေရန် ကာကွယ်ပေးသည်။

၁၀.၁၄ Service Valves

Service valve များကို compressor ၏ အဝင်(suction)ဘက် နှင့် အထွက်(discharge)ဘက်တွင် တစ်ခုစီ တပ်ဆင်ထားသည်။ Suction line နှင့် discharge line တွင် service valve များ တပ်ဆင်ထားသည်။ ထို service valve များ ဖွင့်ပေးခြင်း သို့မဟုတ် ပိတ်ပေးခြင်းဖြင့် compressor နှင့် ဆက်သွယ်ထားသည့် ပိုက်များအတွင်း refrigerant စီးဆင်းမှုကို ရပ်တန့် စေနိုင်သည်။ ထို့ပြင် pressure gauge များကို isolate လုပ်နိုင်သည်။

၁၀.၁၅ Expansion Valve (Bypass)

ကြီးမားသော system များ၌ expansion valve များကို မကြာခဏ ပြုပြင်ရန် လိုသည်။ ထိုအခါတွင် အရန် expansion valve များကို ကို အသုံးပြု၍ by pass ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် system ကို ရပ်နားရန် မလိုအပ်ဘဲ ပြုပြင်နိုင်သည်။ ထို valve များ၏ အဝင်နှင့် အထွက်တွင် stop valve များ တပ်ဆင်ထားသည်။

၁၀.၁၆ Vapor Charging Valves

သေးငယ်သောစက်များ(refrigeration systems)အတွင်းသို့ refrigerant ထည့်သွင်း(charge)လိုသည့်အခါ vapor အနေဖြင့် ထည့်သွင်းခြင်း(charging) ပြုလုပ်ကြသည်။ အလေးချိန် တိကျစွာချိန်ဆနိုင်ရန် vapor အနေဖြင့် ထည့်သွင်းပါက ပိုမိုလွယ်ကူသည်။ ထို့အပြင် compressor လည်ပတ်နေစဉ် suction pressure သည် refrigerant cylinder အတွင်းရှိ pressure ထက်နိမ့်သောကြောင့် အလွယ်တကူ ထည့်သွင်းနိုင်သည်။

System အတွင်းသို့ refrigerant များ ထည့်သွင်းရန်အတွက် charging connection လိုအပ်သည်။ ဘေးအန္တရာယ် အကင်းဆုံးသော နေရာသည် expansion valve မတိုင်ခင်နေရာ ဖြစ်သည်။ ထိုနေရာမှ refrigerant ထည့်သွင်းခြင်း(charging)ဖြင့် flow control လုပ်နိုင်သည်။ Compressor အတွင်းသို့ refrigerant များ အရည်အဖြစ် ဝင်ရောက် သွားခြင်းမှ ကာကွယ်နိုင်သည်။ Vapor charging valve နှင့် သင့်လျော်သည့် connector တစ်မျိုးမျိုးကို အသုံးပြု၍ ထည့်သွင်းခြင်း(charging) လုပ်နိုင်သည်။

၁၀.၁၇ Liquid Charging Valves

ကြီးမားသော refrigeration system များ အတွင်းသို့ refrigerant များ ထည့်သွင်းလိုသည့်အခါ အရည်အဖြစ်သာ ထည့်သွင်းရသည်။ Liquid charging valve ကို liquid receiver အထွက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Refrigerant များကို အရည်အနေဖြင့် ထည့်သွင်းသည့်အခါ အနည်းငယ် ခက်ခဲသည်။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် refrigerant ဆလင်ဒါအတွင်းရှိ ဖိအားသည် liquid လိုင်း ဖိအားထက် ပိုများနေသည့် အခါ line ဖိအားကို လျော့ချပြီးမှ ထည့်သွင်းရသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထည့်သွင်းရာတွင်လည်း အလေးချိန် အတိအကျ ချိန်တွယ်၍ ထည့်သွင်းရသည်။

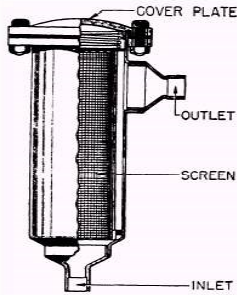
၁၀.၁၈ Purge Valves

Purge valve ကို လေနှင့် တခြားမလိုလားအပ်သော ဓာတ်ငွေ့များ ဖောက်ထုတ်ပစ်ရန်အတွက် တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ လေနှင့် မလိုလားအပ်သည့် ဓာတ်ငွေ့များ refrigerant ထဲတွင် ပါဝင်နေခြင်းကြောင့် condenser pressure ပိုမြင့်မားခြင်း၊ compressor ကို overload ဖြစ်စေခြင်းနှင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု ပိုများစေခြင်း စသည်တို့ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Purge valve ကို condenser ထိပ်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Condenser အတွင်း၌ non-condensable ဓာတ်ငွေ့များကို purge valve မှတစ်ဆင့် အလွယ်တကူ ဖောက်ထုတ်ပစ်နိုင်သည်။

၁၀.၁၉ Suction Strainers

Suction strainer ကို ကြီးမားသော plant များတွင် အသုံးပြုသည်။ Compressor အဝင်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားပြီး၊ အတွင်း၌ wire mesh များ ထည့်သွင်း ထားသည်။ အညစ်အကြေးများနှင့် အမှုန်များကို စစ်ယူသိမ်းဆည်း ပေးနိုင်သည်။ အညစ်အကြေးနှင့် အစအနများသည် compressor အတွင်း ဝင်ရောက် သွားပါက

compressor ထိခိုက် ပျက်စီးလိမ့်မည်။ Flow control device များတွင် ပိတ်ဆို့နေနိုင်သည်။ System တိုင်းလိုလိုတွင် ပိုက်များအတွင်း၌ အမှုန်၊ အမှုိုက်များ အနည်းငယ် ရှိစမြဲဖြစ်သည်။ Compressor ၏ အဝင်ပိုက်တွင် strainer တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် အမှုန်၊ အမှုိုက်များ compressor အတွင်းသို့ မဝင်ရောက်နိုင်တော့ပေ။



ပုံ ၁၀-၁၂ Suction strainer

ပုံ ၁၀-၁၃ Sight glass/moisture indicator

Strainer များသည် refrigerant line အတွင်းမှ အညစ်အကြေးများနှင့် အမှုန်များကို စစ်ယူ ဖယ်ရှားပေးနိုင်သည်။ မလိုလားအပ်သည့်အရာများ flow control device နှင့် compressor အတွင်းသို့ မဝင်ရောက်စေရန် ကာကွယ်ပေးသည်။ Straight-through sealed အမျိုးအစား၊ cleanable angle အမျိုးအစား နှင့် cleanable Y အမျိုးအစား စသည့် strainer အမျိုးအစား များစွာရှိသည်။

၁၀.၂၀ Liquid Sight Glass

Liquid sight glass ကို expansion valve နှင့် filter dryer အကြားတွင် တပ်ဆင်ထားရှိသည်။ မှန်ကို အသုံးပြုထားသောကြောင့် အတွင်းရှိ refrigerant အရည်များစီးဆင်းနေသည်ကို တွေ့မြင်နိုင်သည်။ တချို့ sight glass များ အတွင်း၌ ရေခိုးရေငွေ့ပါဝင်မှုကို ဖော်ပြနိုင်သည့် indicator ကို ထည့်သွင်း တပ်ဆင်ထားသည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် sight glass ကို ဖြတ်သွားသောအခါ refrigerant များသည် အရည်အခြေအနေဖြင့် ကြည်လင်သော စီးကြောင်း(clear stream) အဖြစ် တွေ့မြင်နိုင်သည်။ အကယ်၍ filter ပိတ်ဆို့နေလျှင် သော်လည်းကောင်း၊ ဓာတ်ငွေ့လျော့နည်း နေလျှင် သော်လည်းကောင်း၊ မကြည်လင်ဘဲ ပူဖောင်းငယ်လေးများ ရောနှောပါဝင်နေသည်ကို တွေ့မြင်ရမည်။ ရေခိုးရေငွေ့များ ရောနှောပါဝင်နေလျှင် ရေခိုးရေငွေ့ပြ ကိရိယာ(indicator)သည် အရောင်ပြောင်းသွားလိမ့်မည်။ Sight glass မှ တစ်ဆင့် system အတွင်း ချို့ယွင်းမှုများကို ကြည့်ရှု စစ်ဆေးနိုင်သည်။

ပိုက်အတွင်း၌ ရှိနေသည့် refrigerant သည် liquid အဖြစ် သို့မဟုတ် gas အဖြစ် စီးဆင်းနေကြောင်း သိနိုင်ရန် အတွက် sight glasses ကို တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Receiver မှ expansion valve ဆီသို့ ဆက်သွယ်ထားသည့် liquid line အတွင်း၌ အရည်များသာ စီးဆင်းနေလျှင် ပုံမှန် အလုပ်လုပ်နေသည်ဟု ယူဆနိုင်သည်။ အကယ်၍ gas bubble များ တွေ့မြင်ရပါက refrigerant လျော့နည်း(shortage)နေသည်ဟု ယူဆနိုင်သည်။

Halocarbon refrigerant များအတွက် sight glass များကို brass ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ Solder နည်းဖြင့် sight glass နှင့် ပိုက်များကို ဆက်နိုင်သည်။ အမိုးနီးယား(Ammonia) refrigerant ကို အသုံးပြုလျှင် sight glass ကို steel သို့မဟုတ် သွန်းသံ(cast iron)ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ အမိုးနီးယား(Ammonia)သည် brass ဖြင့် ဓာတ်ပြုနိုင်သည်။

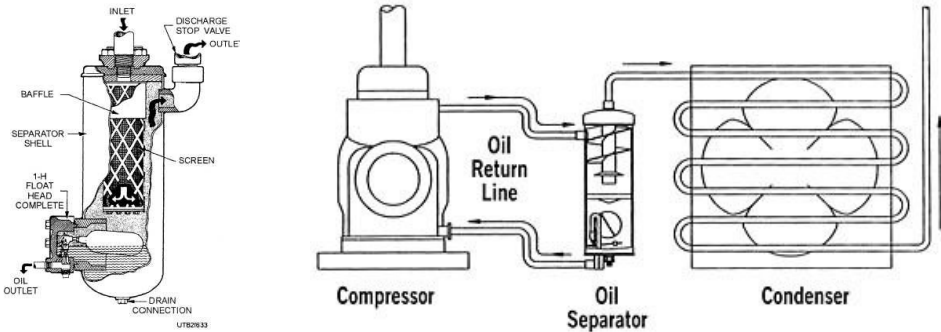
၁၀.၂၁ Oil Separators

Compressor သည် refrigerant vapor များနှင့်အတူ ချောဆီ(oil)များကိုပါ အတူတကွ ဖိသိပ်(compress) သည်။ ထို့ကြောင့် compressor မှ အထွက်တွင် refrigerant vapor ထဲ၌ ချောဆီများ ရောနှောပါဝင်နေခြင်းကြောင့် compressor အတွင်း၌ ချောဆီပမာဏ လျော့နည်းသွားနိုင်ပြီး compressor ကို ထိခိုက်စေနိုင်သည်။

ထို့အပြင် evaporator နှင့် condenser များအတွင်းသို့ ချောဆီများ ရောက်ရှိသွားပြီး အပူဖလှယ်သည့် မျက်နှာပြင်ကို ချောဆီများ ဖုံးအုပ်နေသဖြင့် အပူစီးကူးမှုနှုန်း ညံ့ဖျင်းစေသည်။ Evaporator အတွင်း၌ ချောဆီနှင့် refrigerant များ ရောနှောနေခြင်းကြောင့် refrigerant ၏ ဆူမှတ်(boiling point) ပြောင်းလဲပြီး capacity နှင့်

efficiency လျော့နည်းနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် compressor အတွက်တွင် oil separator ကို တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် refrigerant vapor များအတွင်းမှ ချောဆီများကို ခွဲထုတ်ပြီး condenser သို့ ပြန်ပေးပို့သည်။

Oil separator သည် ကြီးမားသော ဆလင်ဒါတစ်ခုဖြစ်ပြီး အတွင်း၌ plate များ တပ်ဆင်ထားသည်။ Refrigerant အငွေ့နှင့် ချောဆီအရော(mixture)သည် plate များပေါ်တွင် ရိုက်ခတ်ရင်း၊ အလေးချိန်များသော ဆီများကွဲထွက်ပြီး separator အတွင်း ကျန်ခဲ့စေသည်။ တချို့သော oil separator များတွင် ဒလက်များကို အသုံးပြုပြီး အား(centrifugal force)ဖြင့် ချောဆီများကို ခွဲထုတ်ပေးသည်။ Separator အတွင်းမှ ထွက်လာသည့် ချောဆီများကို compressor သို့ ပြန်ပို့ပေးသည်။ Separator များ အားလုံးတွင် separator မှ compressor သို့ ပြန်သွားရမည့် ချောဆီ(oil return)ကို control လုပ်ရန် အတွက် float assembly ပါရှိသည်။



ပုံ ၁၀-၁၄(က) Oil separators

၁၀.၂၂ Oil Rectifiers

တချို့သော ချောဆီများသည် oil separator ကို ကျော်လွန်၍ evaporator အတွင်းထိ ရောက်ရှိ သွားတတ်သည်။ ထိုချောဆီများကို ဖယ်ရှားပစ်ရန်အတွက် oil rectifier ကို အသုံးပြုသည်။ Evaporator အတွင်း၌ refrigerant အရည်နှင့်ချောဆီများ ရောနှောနေသဖြင့် compressor အတွင်းသို့ နှစ်မျိုးစလုံး ဝင်ရောက်သွားနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် အပူအနည်းငယ်ပေးထားသည့် vessel တစ်ခုအတွင်းသို့ ဦးစွာဝင် ရောက်စေသည်။ ထိုအခါ refrigerant နှင့် ချောဆီအရောအနှောမှ refrigerant များသာ ဦးစွာ အငွေ့ယူ၍ compressor အတွင်း ဝင်ရောက်သွားပြီး ချောဆီ များသာ vessel အတွင်း၌ စုဝေးကျန်ခဲ့သည်။ ချောဆီများကို float valve ဖြင့်သော်လည်းကောင်း၊ pump အား အသုံးပြု၍သော်လည်းကောင်း compressor ဆီသို့ ပြန်ပို့ပေးသည်။



ပုံ ၁၀-၁၅(ခ) Discharge line နှင့် suction တွင် တုန်ခါမှုလျော့နည်းစေရန် vibration absorber တပ်ဆင်ထားသည်။

၁၀.၂၃ Oil Coolers

ချောဆီ(lubricant)များကို အေးအောင်ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ အထူးသဖြင့် screw compressor မှ ချောဆီ(lubricants)များကို အေးအောင်ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သောကြောင့် heat exchanger အငယ်စားကို အသုံးပြု ထားသည်။ Refrigerant ၊ လေ(air) သို့မဟုတ် ရေ(water) တစ်မျိုးမျိုးကို အသုံးပြု၍ အေးအောင် ပြုလုပ်သည်။

၁၀.၂၄ Purge Units

R-11 နှင့် R-123 စသည့် low-pressure refrigerant ကို အသုံးပြုထားသည့် centrifugal chiller များသည် လေထုဖိအား(atmospheric pressure) အောက်တွင် အလုပ်လုပ်ကြသည်။ ယိုစိမ့်(leak)သည့်အခါတွင် လေ နှင့် ရေခိုးရေငွေ့(moisture) များသည် refrigeration machine အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လိမ့်မည်။ Refrigerant ထဲတွင်

လေ၊ ရေငွေနှင့် non-condensable gas များ ပါဝင်နေခြင်းကြောင့် head pressure မြင့်မြင့်ဖြင့် မောင်းရန် လိုအပ်သည်။ Heat transfer effectiveness ကျဆင်းစေသည်။ Refrigeration machine အတွင်း၌ ရေငွေ (moisture)များ ရှိနေခြင်းကြောင့် အက်စစ်ဓာတ်များ ဖြစ်ပေါ်ပြီး ချောဆီများကို ဓာတ်ပျိုကွဲစေကာ အတွင်း၌ သံချေး တက်ခြင်း(internal corrosion) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Purge unit သည် non-condensable gas များကို ဖယ်ရှားပေးသည်။ Purge unit တွင် compressor ၊ motor ၊ separator နှင့် condenser တို့ ပါဝင်သည်။ Automatic purge unit များသည် chiller efficiency ကို အမြင့်ဆုံး ဖြစ်အောင် လုပ်ပေးနိုင်သောကြောင့် လူကြိုက်များသည်။ Refrigerant ဆုံးရှုံးမှု(loss) နည်းအောင် လုပ်ပေး နိုင်သည့် purge unit ကို အသုံးပြုသင့်သည်။ Purge လုပ်ပြီးသည့် အရာများကို ပြင်ပသို့သာ စွန့်ထုတ်သင့်သည်။

၁၀.၂၅ Vibration Absorbers

Muffler ၏ နောက်ဘက်တွင် vibration absorber ကို တပ်ဆင်ထားသည်။ တုန်ခါမှုများ လျော့နည်းစေရန် တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ တုန်ခါမှုကြောင့် ကြေးပိုက်များတွင် အက်ကြောင်းများ ဖြစ်နိုင်သည်။

၁၀.၂၆ Crankcase Heaters



Refrigerant အရည်များနှင့် ချောဆီများကို အပူပေးရန်အတွက် compressor ၏ crankcase အတွင်းတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Compressor ရပ်နားထားချိန်တွင် crankcase အတွင်းရှိ refrigerant အရည်များ နှင့် ချောဆီကို ပူအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ Liquid refrigerant များ ထဲတွင် ချောဆီများ ပျော်ဝင်နေခြင်း မဖြစ်ပေါ်အောင် crankcase heater ကို အသုံးပြုခြင်းဖြစ်သည်။

ပုံ ၁၀-၁၅ Hermetic compressor တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် Crankcase heater

အပူချိန်နိမ့်နေချိန်တွင် refrigerant vapor အတွင်း၌ ချောဆီများ လွယ်ကူစွာ ပျော်ဝင်နိုင်သည်။ Compressor ရပ်တန့်ထားစဉ် refrigerant များသည် သဘာဝ အတိုင်း system ၏ အအေးဆုံး နေရာ (coolest place)သို့ ရောက်ရှိသွားလေ့ရှိသည်။ Compressor အပူချိန်မြင့်မားနေစဉ် refrigerant များသည် evaporator အတွင်းသို့ ရောက်ရှိသွားသည်။ Compressor အပူချိန်နိမ့်နေလျှင် refrigerant သည် crankcase အတွင်းရှိ ချောဆီများထဲတွင် ပျော်ဝင်သွားလိမ့်မည်။

Compression cycle များတွင် crankcase pressure သည် suction pressure အထိ နိမ့်ကျသွားနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် liquid refrigerant များ ချောဆီဖြင့် ရောနှောကာ ရုတ်တရက် ဆူပွက်ခြင်း ဖြစ်လိမ့်မည်။ ချောဆီ မလုံလောက်မှု ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် crankcase heater များကို တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ Crankcase heater များကို compressor ၏ အပြင်ဘက် သို့မဟုတ် အတွင်းဘက်တွင် တပ်ဆင်ထား လေ့ရှိသည်။

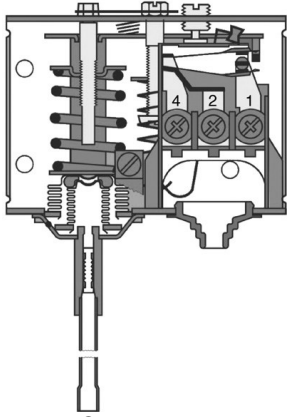
Compressor ရပ်နားထားချိန်တွင် crankcase heater အလုပ်လုပ်နေရန် လိုအပ်သည်။ System ပထမဆုံးအကြိမ် စမောင်းရန် အတွက် သို့မဟုတ် ရက်ပေါင်းများစွာ ရပ်နားထားပြီး ပြန်မောင်းရန်အတွက် crankcase heater ကို အနည်းဆုံး (၂၄)နာရီ ကြိုတင်၍ ဖွင့်(on)ထားရန် လိုအပ်သည်။ Crankcase heater များအတွက် ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းခ ကုန်ကျစရိတ် အလွန်နည်းသည်။ Crankcase heater များသည် refrigerant system များတွင် မဖြစ်မနေ ပါဝင်သည် အစိတ်အပိုင်း ဖြစ်သည်။

၁၀.၂၇ Relief Valves

စက်ချို့ယွင်းနိုင်သည့် အကြောင်းများစွာ ရှိသည်။ System အတွင်း ဖိအားအလွန်များ(high pressures) သောကြောင့် mechanical relief device များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ European Safety Standard EN378 (2008) နှင့် Institute of Refrigeration Safety Code များကို လိုက်နာရန် လိုအပ်သည်။ Relief valve သည် စပရိန်

တွန်းကန်အား(spring-loaded)ဖြင့် အလုပ်လုပ်သည့် plunger valve များဖြစ်သည်။ Plunger-type relief valve များကို ပြင်ပ(outdoor)တွင် တပ်ဆင်ထားလျှင် သံချေးတက်ခြင်း မဖြစ်စေရန် မိုးရေ၊ ဆီးနှင်းတို့ မထိအောင် ကာကွယ် ဖုံးအုပ်ထားရမည်။ Compressor ၌ ဖိအားလွန်ကဲခြင်း(overpressure) ဖြစ်ပေါ်အောင် relief valve သို့မဟုတ် bursting disc ကို inlet နှင့် discharge connection များတွင် တပ်ဆင်ထားရမည်။

၁၀.၂၈ Safety Devices (Pressure Switch)



ပုံ ၁၀-၁၆ Pressure switch

Condenser အတွင်းရှိ ခွင့်ပြုထားသည့် အမြင့်ဆုံး ဖိအား(maximum allowable pressure)ထက် အနည်းငယ်မျှ ပိုများလျှင် compressor ကို ရပ်တန့် စေရန်အတွက် pressure control device ကို အသုံးပြုသည်။

ပုံ(၁၀-၁၆)တွင် ဖော်ပြထားသည့် high-pressure cut-outs ကို သေးငယ်သည့် system များတွင် အသုံးပြုသည်။ Compressor တွင် တပ်ဆင် ထားလေ့ရှိသည့် shut-off valve မတိုင်ခင်နေရာတွင် high-pressure sensor ကို တပ်ဆင် ထားသည်။ Bellows သို့မဟုတ် diaphragm ၏ တစ်ဘက်တွင် compressor outlet pressure သက်ရောက်နေပြီး တခြားတစ်ဘက်မှ စပရိန်(adjustable spring)ဖြင့် တွန်းထားပေးသည်။

အကယ်၍ စပရိန်ဖိအား(spring pressure)ထက် compressor outlet pressure က ပိုများနေလျှင် switch သည် ပွင့်(open)သွားပြီး compressor ကို ရပ်တန့် စေလိမ့်မည်။ ဖိအားအလွန်များ(excess pressure)သောကြောင့် system အတွင်းရှိ တချို့ အစိတ်အပိုင်းများ ပျက်စီးသွားနိုင်သည်။ High-pressure switch ကို မောင်းသူ သို့မဟုတ် စောင့်ကြည့်နေသူကသာ reset လုပ်နိုင်သည်။ သူ့အလိုလျောက်(automatic) reset လုပ်ခြင်းကို ခွင့်မပြုပေ။

Refrigeration system များသည် မရှိမဖြစ် လိုအပ်သည့်(essential) service ဖြစ်သောကြောင့် ရပ်နား၍ မရသည့် လုပ်ငန်းများ ဖြစ်ကြသည်။ Refrigeration system အတွင်း၌ သတ်မှတ်ထားသည့် ဖိအားအထိ မြင့်မား နေပါက compressor ကို မရပ်တန့်စေဘဲ alarm ထုတ်ပေးရမည်။ ထိုထက်ပို၍ ဖိအားမြင့်တက်လာပါက equipment ရပ်တန့်စေရမည်။ High-pressure cut-outs တန်ဖိုးများကို တစ်နှစ်တစ်ခါ စစ်ဆေးရမည်။

အဝင်ဖိအား(suction pressure)အလွန်နိမ့်ခြင်းကြောင့် အလွန်မြင့်သည့် အထွက်ဖိအား(discharge temperature) ဖြစ်နိုင်သည်။ Compressor ရပ်တန့်စေရန်အတွက် low-pressure cut out switch များကို တပ်ဆင် ထားသည်။ Design evaporator pressure ထက် 0.6–1.0 bar ခန့် ပိုနိမ့်သည့် setting များ ထားလေ့ရှိသည်။ System အမျိုးအစား အပေါ်တွင် မူတည်၍ setting တန်ဖိုးများ ကွာခြားကြသည်။ Cut-out setting သည် လေထု ဖိအား(atmospheric pressure)ထက် ပိုမြင့်သင့်သည်။ အလွန်နိမ့်သည့် ဖိအားသည် ဘေးအန္တရာယ်ဟု မဆိုနိုင် သောကြောင့် low-pressure switch များကို အလိုလျောက်(automatic) reset လုပ်ခွင့် ပေးထားသည်။

Low pressure switch များကို pump-down circuit တွင် thermostat ၊ solenoid valve တို့နှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုသည်။ Thermostat သည် compressor ကို မရပ်တန့်စေဘဲ liquid line ရှိ solenoid valve ကိုသာ ပိတ်ပစ်ခြင်းဖြင့် evaporator သို့ စီးဆင်းနေသည့် refrigerant ကို ရပ်တန့်စေသည်။ Compressor သည် ဆက်မောင်းနေပြီး low-pressure switch အလုပ်လုပ်သည်တိုင်အောင် evaporator အတွင်းရှိ refrigerant များကို pump down ပြုလုပ်သည်။ Thermostat မှ အအေးဓာတ်လိုအပ်သည့်ဟု သတ်မှတ်သည့် အချိန်တွင် solenoid valve ပွင့်သွားပြီး evaporator အတွင်းသို့ refrigerant များဝင်ရောက်လာသည်။

၁၀.၂၉ High Pressure Switch (HPS)

High pressure switch (HPS) ကို discharge pipe တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Discharge pipe သို့မဟုတ် high pressure side တွင် ဖိအား(pressure) အလွန်မြင့်မားနေပါက အလွန်အန္တရာယ်များသောကြောင့် စက်ပျက်ခြင်း

(break down)မှ ကာကွယ်ရန်အတွက် ရပ်တန့်ရန် လိုအပ်သည်။ Pressure switch အတွင်းမှ bellow သည် discharge pressure ကို အားပမာဏ အဖြစ်သို့ပြောင်းလဲပေးသည်။ Discharge pressure သည် pressure setting ထက် ပိုမြင့်မားနေပါက switch ၏ bellow သည် လီဗာ(lever)ကို တွန်းလိုက်သည်။ ထိုအခါ electric contact ဖွင့်(open)သွားပြီး compressor ကို ရပ်တန့်(stop) စေသည်။

၁၀.၃၀ Low Pressure Switch (LPS)

Low pressure side တွင် refrigerant pressure အလွန်နည်းနေလျှင် low pressure switch သည် compressor ကို ရပ်တန့်စေလိမ့်မည်။ Low pressure switch ကို suction pipe တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Switch အတွင်း၌ ရှိနေသည့် bellow သည် suction pressure ကို အား(force)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲပေးသည်။ Suction pressure သည် pressure setting ထက်နိမ့်သည့်အခါ bellow သည် lever ကို ဆွဲချလိမ့်မည်။ ထိုအခါ electric contact ဖွင့်(open)သွားပြီး compressor ရပ်တန့်(stop)စေလိမ့်မည်။

၁၀.၃၁ Condenser Pressure Regulators

Air con system များကို အားလုံး ပြင်ပ ရာသီဥတု အပူဆုံးအချိန်(maximum ambient conditions)တွင် ကျေနပ်သည့် စွမ်းဆောင်ရည်ပေးနိုင်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားကြသည်။ သင့်လျော်သည့် condenser အရွယ်အစား ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ အေးသည့်ရာသီဥတုတွင် condensing temperature နှင့် pressure နိမ့်ကျသွားသောကြောင့် thermostatic expansion valve ကောင်းစွာ အလုပ်မလုပ်ခြင်းမျိုး ကြုံတွေ့ရနိုင်သည်။ Condenser pressure အလွန်အမင်း ကျဆင်းသွားခြင်း မဖြစ်အောင် ကာကွယ်တားဆီးရန် လိုအပ်သည်။

အေးသည့် ရာသီဥတုတွင် air-cooled condenser နှင့် water cooling tower တို့၏ လေလည်ပတ်နှုန်းကို လျော့ချပေးရန် လိုအပ်သည်။ Damper များ အသုံးပြု၍သော်လည်းကောင်း၊ fan မြန်နှုန်း(speed)ကို လျော့ချ၍ သော်လည်းကောင်း၊ fan ကို ပိတ်(switching off) သော်လည်းကောင်း လေလည်ပတ်နှုန်း လျော့ချပေးနိုင်သည်။

Condenser pressure regulator သည် condenserကို bypass လုပ်ပေးသည့် pressure-operated bleed valve ဖြစ်နိုင်သည်။ Hot gas များကို receiver ဆီသို့ ရောက်အောင် လမ်းကြောင်းပြောင်းပေးသည့် (divert လုပ်ပေးသည့်) valve မျိုး ဖြစ်နိုင်သည်။

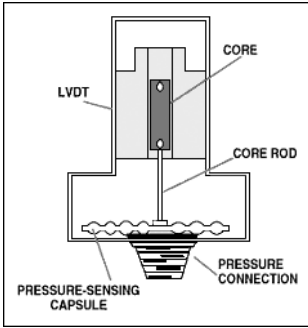
Valve diaphragm ၏ တစ်ဘက်တွင် ကြိုတင်သတ်မှတ်ထားသည့် ဖိအား(pre-set spring) သက်ရောက်နေပြီး ကျန်တစ်ဘက်တွင် condensing pressure သက်ရောက်နေသည်။ Condensing pressure နိမ့်ကျ သွားလျှင် bypass လုပ်ပေးလိမ့်မည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် bypass valve ကို ဖွင့်ပေးလိမ့်မည်။ Condenser နှင့် receiver အကြားတွင် pressure operated valve တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ ထို valve သည် စီးဆင်းမှု(flow)ကို ခုခံ တားဆီးပြီး liquid များကို condenser အတွင်း၌ စုဝေးစေသည်။

မည်သည့်နည်းဖြင့် condenser pressure ကို control လုပ်သည်ဖြစ်ပါစေ ကျေနပ်လောက်သည့် မောင်းနှင်မှုမျိုး(satisfactory operation) ရရှိနိုင်သည့် အနိမ့်ဆုံးဖိအားတွင် ထိန်းထားရန် လိုအပ်သည်။

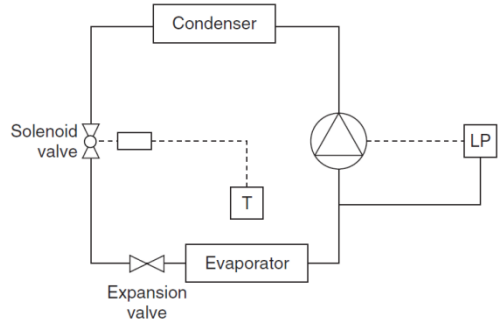
၁၀.၃၂ Oil Pressure Switches (OPS)

Semi-hermetic compressor ပါရှိသည့် အရွယ်အစားကြီးမားသည့် စက်များတွင် compressor အပူချိန် အလွန်မြင့်တက်လာခြင်း မဖြစ်အောင် oil pressure switch ကို အသုံးပြုကြသည်။ Discharge pipe တွင် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ Oil pressure သည် သတ်မှတ်ထားသည့် အချိန်တွင်(pre-designed period) ရှိသင့်သည့် ဖိအားသို့ ရောက်အောင် မြင့်တက်မလာလျှင် switch သည် ဖွင့်(open)သွားပြီး compressor ရပ်တန့်(stop) စေလိမ့်မည်။

အလွန်သေးငယ်သည့် compressor များမှလွဲ၍ compressor များအားလုံးသည် oil pressure နိမ့်ကျခြင်းကြောင့်သော်လည်းကောင်း၊ pump ချို့ယွင်းခြင်းကြောင့်သော်လည်းကောင်း၊ ချောဆီ မလုံလောက်ခြင်း(oil shortage)ကြောင့်သော်လည်းကောင်း ရပ်တန့်သွားလိမ့်မည်။ Compressor ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)များသည် electronic oil protection system များကို အသုံးပြုကြသည်။



ပုံ ၁၀-၁၇ Oil pressure switch



ပုံ ၁၀-၁၈ Pump down circuit

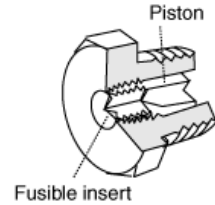
၁၀.၃၃ Fusible Plugs

မီးလောင်သည့်အခါတွင် high pressure switch သည် ကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ထို့ကြောင့် ထိခိုက်ပျက်စီးမှု မဖြစ်ပေါ်စေရန် fusible plug သို့မဟုတ် safety valve များကို တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ သေးငယ်သည့် စက်များတွင် fusible plug ကို အသုံးပြုသည်။ Fusible plug ကို condenser အတွင်း၌ လည်းကောင်း condenser နှင့် metering device အကြားရှိ liquid pipe များတွင်လည်းကောင်း တပ်ဆင်ထားသည်။

Condensing temperature သည် သတ်မှတ်ထားသည့် အပူချိန် (temperature setting) ထက် ပိုမြင့်လာသည့်အခါ fusible metal အရည်ပျော်သွားပြီး refrigerant များကို အပြင်သို့ ထွက်သွားစေသည်။



ပုံ ၁၀-၁၉ Fusible plugs



၁၀.၃၄ Safety Valves or Relief Valves

ကြီးမားသည့် unit များတွင် ဘေးကင်းလိုခြုံစေရန် safety valve များကို အသုံးပြုသည်။ Safety valve များ၏ အလုပ်လုပ်ပုံသည် fusible plug အလုပ်လုပ်ပုံနှင့် တူညီသည်။ Condensing pressure သည် သတ်မှတ်ထားသည့် ဖိအား (pressure setting) ထက် ပိုမြင့်လာသည့်အခါ safety valve ကို တွန်းဖွင့်၍ refrigerant များကို အပြင်သို့ ထွက်သွားစေသည်။

၁၀.၃၅ Pressure Regulating Values

အစိတ်အပိုင်းများ ပျက်စီးချို့ယွင်းနိုင်သည့်အထိ ဖိအားအလွန် မြင့်တက်လာခြင်းမျိုး မဖြစ်အောင် pressure regulating value များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

၁၀.၃၆ Stop Valves

Refrigerant circuit ဖွင့်ခြင်း (opening)၊ ပိတ်ခြင်း (closing) ပြုလုပ်ရန်အတွက် stop valve များကို အသုံးပြုကြသည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် outdoor unit များတွင် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ Stop valve များသည် လုံးဝ ဖွင့်နေသည့် အခြေအနေနှင့် လုံးဝပိတ်နေသည့် အခြေအနေသာ ဖြစ်နိုင်သောကြောင့် refrigerant စီးနှုန်းကို ထိန်းချုပ်ခြင်း မပြုလုပ်နိုင်ပါ။

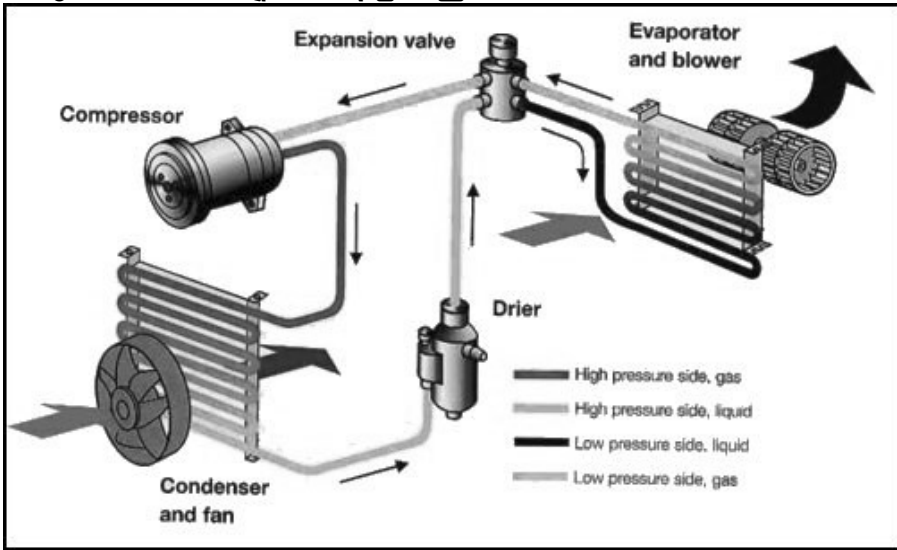
၁၀.၃၇ Thermostats

Refrigeration system သို့မဟုတ် air conditioning system များ၏ အဓိက ရည်ရွယ်ချက်သည် အပူချိန် (temperature) ကို လျော့ချရန် သို့မဟုတ် သတ်မှတ်ထားသည့် အပူချိန်တွင် ထိန်းထားရန် ဖြစ်သည်။

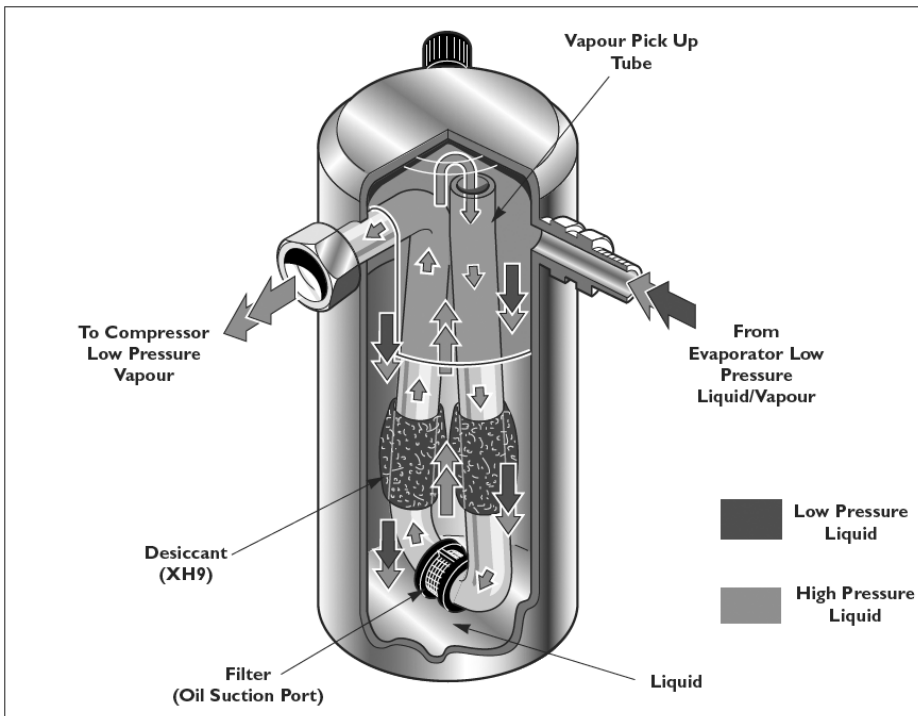
Thermostat ကို equipment များ ရပ်တန့်စေရန် ၊ သတ်မှတ်ထားသည့် အပူချိန်ရောက်သည့်အခါ capacity လျော့ချရန်အတွက် တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

ရရှိနိုင်သည့် thermostat အမျိုးအစားများမှာ

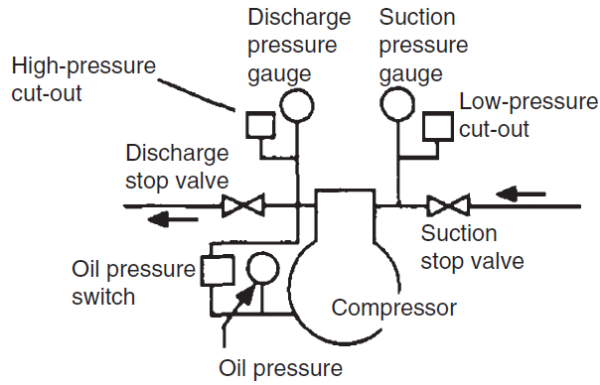
- (၁) Bimetallic element အမျိုးအစား
- (၂) Expansion of a fluid အမျိုးအစား
- (၃) Vapor pressure of a volatile fluid အမျိုးအစား
- (၄) Electric resistance အမျိုးအစား နှင့်
- (၅) Electronic အမျိုးအစား တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၀-၂၀ Refrigeration circuit



ပုံ ၁၀-၂၁ Filter dryer

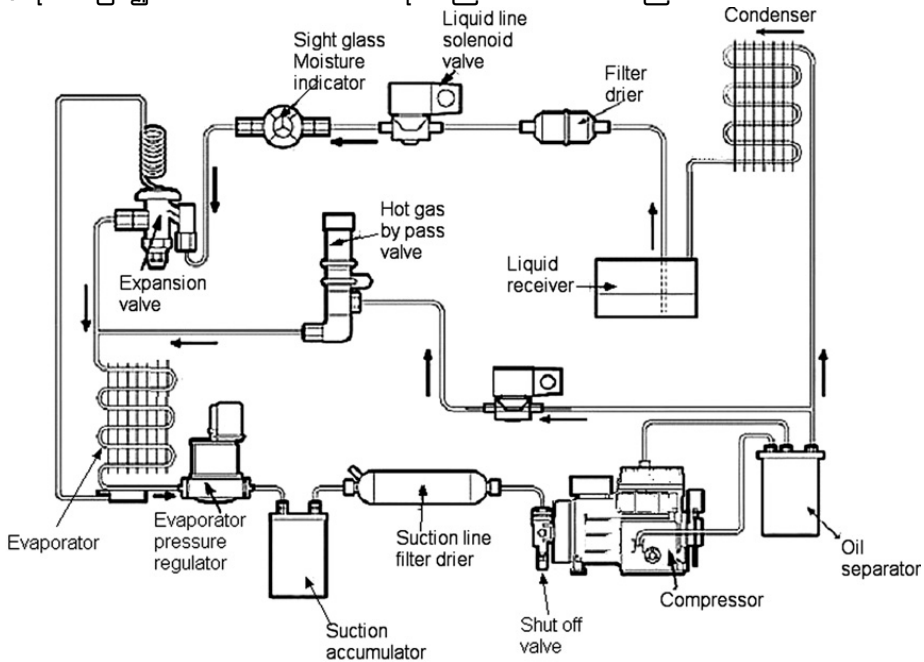


ပုံ ၁၀-၂၂ Compressor အနီး၌ တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည့် compartment များ

၁၀.၃၈ Humidistats

သတ်မှတ်ထားသည့် စိုထိုင်းဆ(humidity level)တွင် ထိန်းထားနိုင်ရန်အတွက် humidistat များကို အသုံးပြုကြသည်။ Humidistat များသည် electrical switch များကဲ့သို့ ပြုမှုဆောင်ရွက်ကြသည်။

တိရိစ္ဆာန် အမွှေးအမျှင်များ(animal hair)၊ ပလတ်စတစ်(plastics)၊ ဆဲလီလူလို့စ်(cellulosics) စသည်တို့သည် လေထဲတွင်ရှိသည့် စိုထိုင်းဆ(ရေငွေ့ပါဝင်)ကို လိုက်၍ အရွယ်အစား ပြောင်းလဲကြသည်။ ထိုပြောင်းလဲမှုကို အခြေခံ၍ mechanical humidistat များကို တည်ဆောက် ထားသည်။ Hygroscopic salt ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ (properties)ကို အခြေခံ၍ electronic humidistatကို တည်ဆောက် ထားသည်။



ပုံ ၁၀-၂၃ Direct expansion circuit တွင် ပါဝင်သည့် component များ

၁၀.၃၉ Evaporator Pressure Regulating Valves

Evaporator Pressure Regulating Valve(EPR)ကို evaporator pressure ကို သတ်မှတ်ထားသည့် ဖိအား ပမာဏထက် လျော့မကျသွားစေရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ ပုံ(၁၀-၂၃)တွင် Evaporator Pressure Regulation (EPR) valve များကို evaporator အနီး suction line တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။

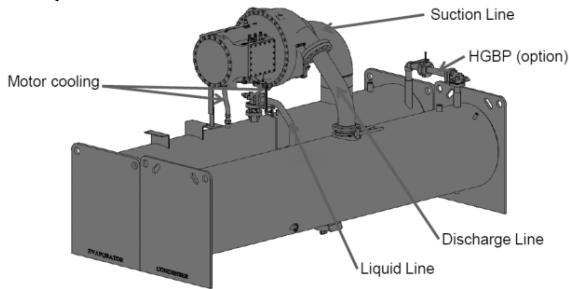
EPR valve များကို အသုံးပြုသည့်နေရာများ

- (၁) Evaporator တွင် ရေခဲခြင်း မဖြစ်ပေါ်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။

- (၂) Air cooled evaporator များတွင် ရေခဲနေခြင်း မဖြစ်ပေါ်အောင် ကာကွယ်ပေးရန် အတွက် အသုံးပြုသည်။ Freezing point နားရောက်သည့် evaporator များတွင် ရေခဲနိုင်သည်။ သို့မဟုတ် ချို့ယွင်းခြင်း၊ အလုပ် မလုပ်ခြင်းကြောင့်လည်း ရေခဲနိုင်သည်။
- (၃) မတူညီသည့် ဖိအားများဖြင့် အလုပ်လုပ်နေသည့် evaporator များကို compressor တစ်လုံးတည်းဖြင့် အတူ အလုပ် လုပ်နိုင်ရန် အတွက် အသုံးပြုသည်။
- (၄) Load ပြောင်းလဲသည့်အခါ သင့်လျော်သည့် capacity ရရှိရန်အတွက် evaporator pressure ကို control လုပ်ပေးရန် အတွက် အသုံးပြုသည်။
- (၅) Solenoid valve ကဲ့သို့ ပြုမူဆောက်ရွက်ပေးသည်။ Pilot solenoid valve ဖြင့် control လုပ်နိုင်သည်။

တည်ဆောက်ပုံ ရိုးရှင်းသည့် spring-loaded EPR valve များရရှိနိုင်သည်။

၁၀.၄၀ Hot Gas Bypass Valves



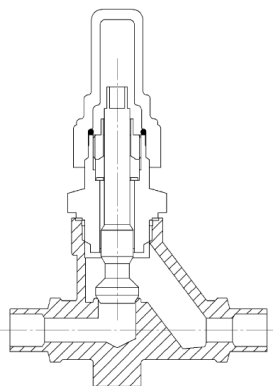
Hot gas bypass valve ကို အသုံးပြုခြင်း ကြောင့် စွမ်းအင်လေ့လွင့်မှု ဖြစ်ပေါ်သည်။ Compressor များတွင် မည်သည့် capacity reduction device ကို မျှ တပ်ဆင်ထားခြင်း မရှိသည့်အခါမျိုး၊ chiller ကို အချိန် အနည်းငယ်အတွင်း ပိတ်ရန် ဖွင့်ရန် မဖြစ်နိုင်သည့် အခါ မျိုးတွင် hot gas bypass နည်းကို အသုံးပြုသည်။

ပုံ ၁၀-၂၄ Hot gas by-pass valve

Hot gas bypass ပြုလုပ်ရန် hot gas bypass valve တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ Compressor discharge မှ ထွက်လာသည့် gas များကို suction ဘက်သို့ ပြန်ပို့ခြင်း ဖြစ်သည်။ မည်သည့် load တွင် မောင်းနေပါစေ evaporator pressure ကို မပြောင်းလဲအောင် ထိန်းထား(constant)နိုင်လျှင် full load ၏ 10% အထိ လျော့ချနိုင်သည်။ Hot gas bypass valve သည် constant pressure valve တစ်ခုဖြစ်ပြီး suction pressure နှင့် သတ်မှတ်ထားသည့် စပရိန်ဖိအား(pre-set spring) တို့ တူညီနေအောင် ထိန်းထားပေးသည့်(balancing) အလုပ် ကို ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ တိုက်ရိုက် အလုပ်လုပ်သည့်(direct) valve သို့မဟုတ် pilot operated valve ဖြစ်သည်။

၁၀.၄၁ Shut-Off Valves

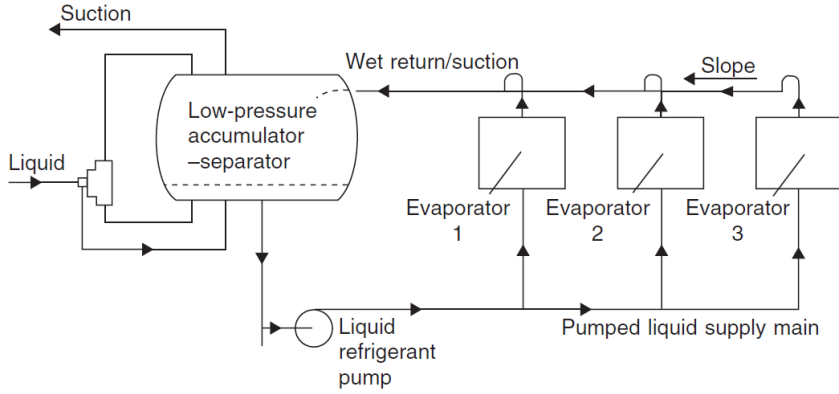
Service လုပ်ချိန် သို့မဟုတ် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance) ပြုလုပ်ချိန်များတွင် ပိတ်ဆို့ခြင်း(isolation) ပြုလုပ်ရန်အတွက် manual stop valve များကို အသုံးပြုရန်လိုအပ်သည်။ ပုံ (၁၀-၂၄) နှင့် ပုံ (၁၀-၂၅) ပြထားသည်။



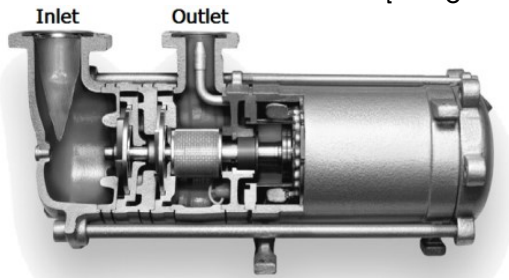
ပုံ ၁၀-၂၅(က) Seal cap shut-off valve ပုံ ၁၀-၂၅(ခ) Ball valve ပုံ ၁၀-၂၅(ဂ) Shut-Off Valves

Diaphragm သို့မဟုတ် bellows နှင့် hand wheel စသည်တို့ကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထားသည့် သေးငယ်သည့် valve များ ဖြစ်ကြသည်။ တင်းကြပ်စွာ ပိတ်နေစေရန် နှင့် ယိုစိမ့်မှု(leakage) မဖြစ်စေရန် 'O' ring ကို

အသုံးပြု ထားသည်။ ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) နည်းစေရန် ပုံ(၁၀-၂၅) တွင် ဖော်ပြထားသည့် ball valve ကို အသုံးပြုသည်။



ပုံ ၁၀-၂၆ Pumped liquid circuit



ပုံ ၁၀-၂၇ Hermetic liquid refrigerant pump



ပုံ ၁၀-၂၈ Defrost controller

၁၀.၄၁ Liquid Refrigerant Pumps

အလွန်နိမ့်သည် အပူချိန် ရေအောက်အပူအေးခန်း (low-temperature cold room) များ နှင့် blast freezer များ တွင် separate evaporator များကို အသုံးပြုလျှင် refrigerant များ လည်ပတ်ရန်အတွက် suction separator သို့မဟုတ် 'surge drum' နှင့် evaporator တို့နှင့် တွဲ၍ liquid pump ကို အသုံးပြုသည်။

ပုံ(၁၀-၂၆)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း separate evaporator အတွင်း၌ vapor များ compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားပြီး liquid များ ကျန်ရစ်ခဲ့သည်။ Spray chiller များတွင်လည်း liquid pump များကို အသုံးပြုသည်။ ပုံ(၁၀-၂၇) တွင် liquid pump တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။ အမှုန်များကို စစ်ယူရန် အတွက် အဝ (inlet) တွင် strainer တပ်ဆင်ထားသည်။ Liquid pump များကို ammonia system များတွင် အသုံးပြုသည်။

၁၀.၄၂ Defrosting Evaporator Coils

Refrigerant temperature အပူချိန် အလွန်နိမ့်ပါက evaporator coil ၏ မျက်နှာပြင်ပေါ်၌ ရေခဲများ ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။ ရေခဲများ ကပ်နေခြင်းကြောင့် coil ၏ performance ညံ့ဖျင်းနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ဖယ်ရှားပစ်ရန် လိုအပ်သည်။ ထိုသို့ ကပ်နေသည့် ရေခဲများ ဖယ်ရှားခြင်းကို "defrost" လုပ်သည်ဟု ခေါ်သည်။ Defrost လုပ်ရန် refrigerant flow နှင့် fan များ ရပ်တန့်စေပြီး အပူပေးရသည်။ ထိုအခါ ရေခဲများ အရည်ပျော်သွားပြီး drain ပိုက်များမှ ရေခဲရေများ စီးဆင်းသွားလိမ့်မည်။

အခြေခံအားဖြင့် defrost လုပ်နည်း လေးမျိုးရှိသည်။ ထိုလေးမျိုးမှ ကြိုက်နှစ်သက်သည့် နည်းနှစ်မျိုး သို့မဟုတ် သုံးမျိုးကို တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။

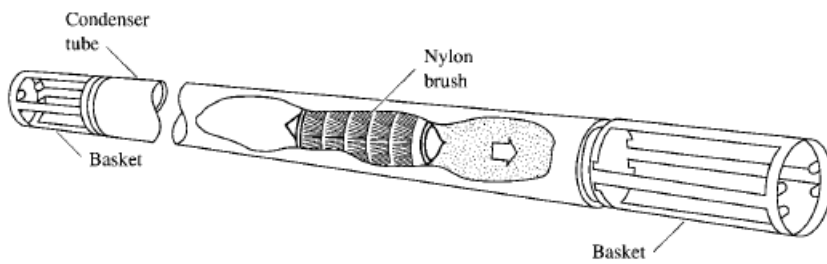
- (၁) Hot-Gas defrost
- (၂) Water defrost
- (၃) Air defrost
- (၄) Electric defrost နှင့်
- (၅) Hybrid defrost တို့ ဖြစ်သည်။

၁၀.၄၃ Automatic Tube Cleaning for Condenser

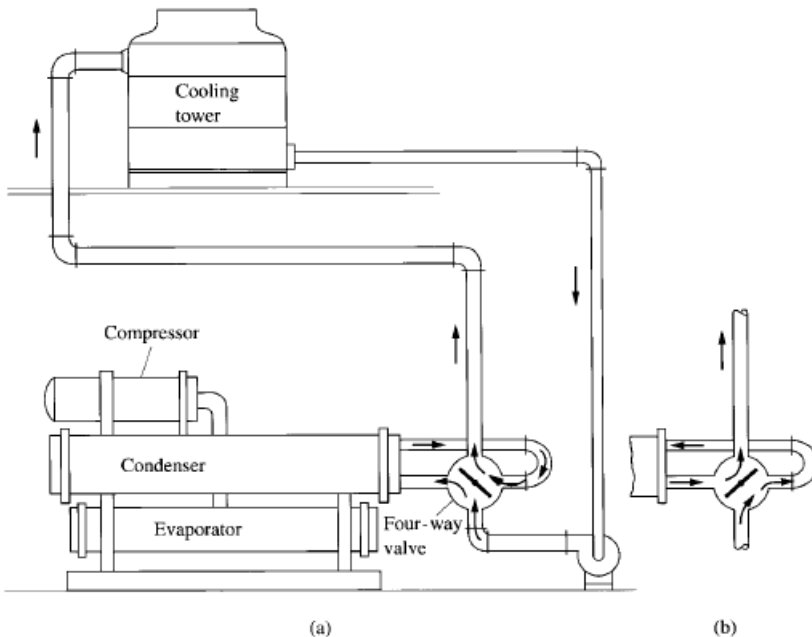
Principles and Operation

Condenser water circuit သည် open circuit ဖြစ်သည်။ Cooling tower များကို ကောင်းစွာ ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ထားလျှင် condenser tube များ၏ အတွင်းမျက်နှာပြင်(surface)တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် long-term fouling factor ၏ တန်ဖိုးသည် $0.00025 \text{ h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/Btu}$ ($0.000044 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$) ထက်နည်းနိုင်သည်။ Condenser water အတွင်း၌ suspended solid များ ပါဝင်နေလျှင် condenser tube များ၏ fouling factor သည် $0.0005 \text{ h.ft}^2.\text{ } ^\circ\text{F/Btu}$ ($0.000088 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$) ခန့် ဖြစ်နိုင်သည်။

Condenser tube များ၏ fouling factor တန်ဖိုးများခြင်းကြောင့် chiller ကို condensing pressure မြင့်မြင့်ဖြင့် မောင်းရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် kW/ton ပိုများလာ လိမ့်မည်။ AHRI Standard 550-88 မှ သတ်မှတ် ထားသည့် condenser အတွက် field fouling allowance သည် $0.00025 \text{ h.ft}^2.\text{ } ^\circ\text{F/Btu}$ ($0.000044 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$) ဖြစ်သည်။



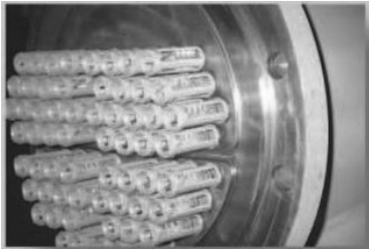
ပုံ ၁၀-၂၉ Cleaning brushes in a condenser tube



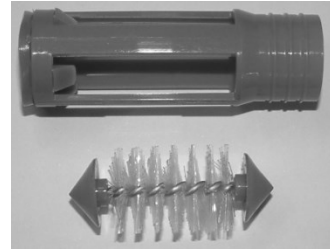
ပုံ ၁၀-၃၀ (a) Normal ၊ (b) reverse operation of a four-way valve in an automatic brush cleaning system

Condenser water tube များ၏ အတွင်းမျက်နှာပြင်မှ အညစ်အကြေးများနှင့် အမှုိုက်များကို ဖယ်ရှား ရန်အတွက် automatic brush cleaning system များကို တပ်ဆင်ကြသည်။ Condenser ၏ fouling factor တန်ဖိုးသည် $0.00025 \text{ h ft}^2.\text{ } ^\circ\text{F/Btu}$ ($0.000044 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$) ထက် ပိုမများစေရန်အတွက် automatic brush cleaning system များကို တပ်ဆင်ကြသည်။

Horizontal | two-pass | shell-and-tube condenser တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် automatic brush cleaning system မှ brush ကို ပုံ(၁၀-၂၉) နှင့် ပုံ(၁၀-၃၀) တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Tube အတွင်းသို့ special nylon brush များကို ထိပ်ဝ တစ်ဘက်မှ ထည့်သွင်းသည်။ အခြားထိပ်ဝ တစ်ဖက်မှ ပြန်ထွက်လာသည့် brush များကို ခြင်း(basket) ဖြင့် ပြန်ဖမ်းယူသည်။



ပုံ ၁၀-၃၁



ပုံ ၁၀-၃၂

Condenser water သည် condenser tube များ အတွင်း ဖြတ်သန်းစီးဆင်းသည့်အခါ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ဖိအားခြားနားချက်(pressure difference)ကြောင့် brush များသည် ရေစီးကြောင်းနှင့် မျောပါသွားသည်။ Brush များ condenser tube များအတွင်း ဝင်ရောက် သွားသောကြောင့် condenser tube အတွင်းမျက်နှာပြင်(inner surface) ပေါ်ရှိ အမှိုက်များနှင့် ချေးညှိများကို သန့်စင်ဖယ်ရှားပေးသည်။ Brush များ တခြားတစ်ဘက်မှ ထွက်လာသည့် အခါ ခြင်း(baskets)ဖြင့် ပြန်ဖမ်းယူသည်။ Brush များ condenser tube ထိပ်တစ်ဘက်မှာ ဝင်ရောက်သွားပြီး အခြား ထိပ်တစ်ဘက်မှ ပြန်ထွက်ရန် ကြာချိန်သည် နှစ်မိနစ်ခန့် ဖြစ်သည်။

Condenser water အဝင်ဘက် နေရာတွင် အထူးပြုလုပ်ထားသည့် four-way valve ကို ပုံ(၁၀-၃၀)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း တပ်ဆင်ထားသည်။ ပုံမှန်အချိန်တွင် brush များသည် ဘယ်ဘက်(left hand side)အနိမ့်ပိုင်းမှ ဝင်ရောက်ပြီး ညာဘက် (right hand side) အပေါ်ပိုင်းမှ brush များကို ပြန်သိမ်းယူသည်။

ပုံမှန်မောင်းနှင်ချိန်တွင် condenser water များသည် condenser အောက်ခြေမှတစ်ဆင့် ဝင်ရောက် သွားခြင်းကြောင့် ပိုမိုကောင်းမွန်သည့် subcooling ဖြစ်စေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပိုနိမ့်သည့် subcool အမှုချိန် ရရှိနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် liquid refrigerant များ condenser အောက်ခြေတွင် စုဝေးနေအောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည်။

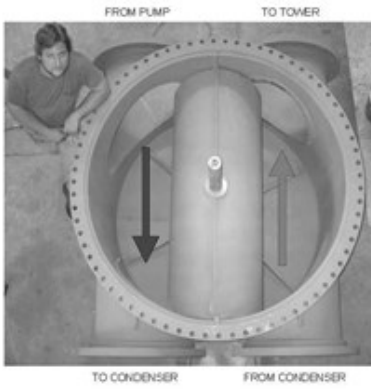
ကြိုတင်သတ်မှတ်ထားသည့် အချိန်သို့ရောက်လျှင် inlet guide vane များကို ပိတ်၍ သော်လည်းကောင်း သို့မဟုတ် compressor ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို လျော့ချ၍သော်လည်း unload လုပ်စေသည်။ ထိုနောက် four-way valve ကို ပြောင်းပြန်(reverse)ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်၍ brush များကို အခြားတစ်ဘက်သို့ ရောက်စေသည်။ အပေါ်ပိုင်း တစ်ဝက်တွင် ညာဘက်မှ ဘယ်ဘက်သို့ လည်းကောင်း၊ အောက်ပိုင်းတစ်ဝက်တွင် ဘယ်ဘက်မှ ညာဘက်သို့ လည်းကောင်း ရောက်သွားစေသည်။ Brush များ ပြန်ရလျှင် ခြင်း four-way valve ကို ပုံမှန် ပြန်ဖြစ်အောင် control system မှ signal ထုတ်ပေးသည်။ လေးနာရီကြာသည့်အခါ နောက်ထပ် တစ်ကြိမ် ထပ်မံပြုလုပ်သည်။ Condenser water တွင် ပါရှိသည့် အညစ်အကြေး(contaminant) ပမာဏကို လိုက်၍ ပြုလုပ်ရမည့် အကြိမ် အရေအတွက်ကို သတ်မှတ်သည်။

Effect of Tube Cleaning System

Automatic brush cleaning system ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် အောက်ပါ အကျိုးကျေးဇူးများ ရရှိနိုင်သည်။

- (၁) Fouling factor တန်ဖိုးကို $0.00025 \text{ h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/Btu}$ ($0.000044 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$) ထက် နည်းအောင် ထိန်းထားနိုင်သောကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု နည်းသည်။
- (၂) Condenser tube များကို သန့်ရှင်းရေးလုပ်ရန် လိုအပ်သည့် အကြိမ်အရေအတွက်ကို လျော့ချ နိုင်သောကြောင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ လျော့နည်းသည်။
- (၃) Water treatment လုပ်ရန်အတွက် ဓာတုဗေဒပစ္စည်းများ(Chemicals) လိုအပ်ခြေ ဖြစ်သော်လည်း သုံးစွဲရမည့် ပမာဏကို လျော့ချနိုင်သည်။

NORMAL FLOW



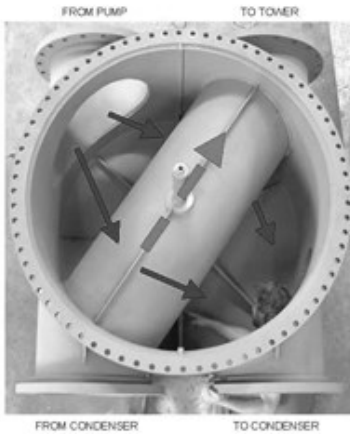
WATER PASSES STRAIGHT THROUGH IN NORMAL FLOW

STAINLESS STEEL AGAINST NEOPRENE RUBBER PROVIDES POSITIVE SEALING

COVER ALLOWS ACCESS TO VALVE INTERNALS WITHOUT REMOVING VALVE FROM PIPING



REVERSE FLOW



PLUG TURNS TO REVERSE HEAT EXCHANGER FLOW

SUPPLY WATER FLOWS OVER AND UNDER CENTER PLUG

RETURN WATER FLOWS THROUGH PLUG

AFTER 30 SECONDS VALVE RETURNS TO NORMAL FLOW

ပုံ ၁၀-၃၃ Tube cleaning system

-End-

Chapter-11 Chiller Starters

၁၁.၁ Chiller Starter



ပုံ ၁၁-၁ Electro-mechanical starter



ပုံ ၁၁-၂ Unit mounted low voltage solid state starter



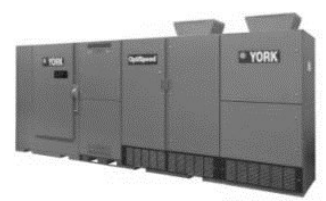
ပုံ ၁၁-၃ Unit mounted medium voltage solid state starter



ပုံ ၁၁-၄ Medium voltage variable speed drive



ပုံ ၁၁-၅ Unit mounted low voltage variable speed drive



ပုံ ၁၁-၆ Higher voltage medium voltage VSD

၁၁.၁.၁ Purpose of Starters

အောက်ပါ ရည်ရွယ်ချက်များဖြင့် chiller များတွင် starter တပ်ဆင်ထားကြသည်။

(၁) Compressor မော်တာကို စတင်မောင်းရန်၊ ရပ်နားရန်(start & stop the motor)

Starter များ၏ အဓိကတာဝန်သည် မော်တာကို စတင်မောင်းခြင်းနှင့် ရပ်တန့်စေခြင်းတို့ ဖြစ်သည်။

(၂) Inrush current ပမာဏကို ကန့်သတ်ထားရန်(Limit the inrush current)

Chiller စတင်မောင်းနေစဉ် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် inrush current ပမာဏကို လျော့ချနိုင်ခြင်းကြောင့် transformer နှင့် switchgear အရွယ်အစားကို လျော့ချနိုင်သည်။ အနှောင့်အယှက်များ(disturbances) ဖြစ်ပေါ်ခြင်းမှ ကင်းဝေးစေသည်။

(၃) လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခ(demand charges) လျော့နည်းစေရန်

Electrical demand သည် peak consumption (kW) ဖြစ်ပြီး လျှပ်စစ်ဓာတ်အားထုတ်ပေးသည့် ဌာနမှ သုံးစွဲသူများ လိုအပ်သည့် demand ပေးနိုင်အောင် ပြင်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

(၁၅)မိနစ်အတွင်း သုံးစွဲသည့် ပျမ်းမျှ ကီလိုဝပ်(kW) ဖြစ်ပြီး တစ်လအတွင်း အမြင့်ဆုံး ကီလိုဝပ်(kW)သည် demand အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ အမြင့်ဆုံး ကီလိုဝပ်(kW) နှင့် သတ်မှတ်ထားသည့်နှုန်းဖြင့် တန်ဖိုးသင့်၍ demand charge အဖြစ် လစဉ် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခတောင်းခံလွှာ(utility bill)တွင် ထည့်သွင်း ဖော်ပြလေ့ ရှိသည်။

ကြီးမားသည့် မော်တာများကို မကြာခဏ မောင်းခြင်း၊ ရပ်တန့်ခြင်း တို့ကြောင့် လစဉ်ကုန်ကျမည့် လျှပ်စစ် ဓာတ်အားခ ပိုများနိုင်သည်။ VSD များသည် demand charge နှင့် voltage dip လျော့နည်း စေနိုင်သည့် အကောင်းဆုံး ကိရိယာ(device) ဖြစ်သည်။

(၄) မော်တာ(motor) မပျက်စီးအောင် ကာကွယ်ရန်

Starter သည် ပါဝါလှိုင်းတွင် အနှောင့်အယှက်(power interruption) ဖြစ်ပေါ်သည့်အခါနှင့် မောင်းသူက အမှားပြုလုပ်သည့်အခါ တို့တွင် မော်တာထိခိုက်ပျက်စီးမှု မဖြစ်အောင် ကာကွယ်ပေးသည်။

Table 11-1

Low Voltage Solid State Starter										
LV Solid State Starter (unit mounted)	60 Hz									
	200V	208V	230V	240V	380V	440V	460V	480V	575V	600V
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LV Solid State Starter (unit mounted)	50 Hz									
	346V		380V		400V		415V		440V	
	X		X		X		X		X	
Medium Voltage Solid State Starter *										
	60 Hz					50 Hz				
	2300V		3300V		4000V		4160V		3300V	
Medium Voltage SSS (unit mounted)	X**		X**		X**		X**		X**	
Medium Voltage SSS (floor mounted)	X		X		X		X		X	
* Unit Mounted version available for Compressor H9 or Larger										
** For Higher Voltage contact Application Eng. Department for a Special Quote (SQ)										

Starter နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ဝေါဟာရများ

Maximum Fuse / Circuit Breaker -

Chiller သို့ ပေးပို့သည့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားအတွက် အကြီးဆုံး fuse သို့မဟုတ် breaker အရွယ်အစားကို ဆိုလိုသည်။

Minimum Circuit Ampacity (Amps) -

Chiller သို့ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပေးရန်အတွက် အသုံးပြုရမည့် အငယ်ဆုံးဝါယာကြိုး အရွယ်အစား(smallest wire size) ဖြစ်သည်။

Motor FLA -

Motor Full Load Amps(FLA)ဆိုသည်မှာ မော်တာသည် ဝန်အပြည့်(full-load torque) နှင့် မြန်နှုန်းအပြည့်(full-load speed) ဖြင့် မောင်းနှင်ချိန်တွင် သတ်မှတ်ထားသည့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား frequency နှင့် voltage ရနေချိန်၌ သုံးစွဲမည့် current ပမာဏ ဖြစ်သည်။

Job FLA -

Job FLA တွင် motor FLA နှင့် chiller မောင်းရန် လိုအပ်သော oil pump၊ motor control panel transformer နှင့် VSD သို့မဟုတ် SSS ကိရိယာများ၏ loss များကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် current ပါဝင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် chiller မော်တာ FLA သာမက chiller တစ်ခုလုံးတွင် ဖြစ်ပေါ်မည့် FLA ဖြစ်သည်။ Job FLA ကို လွှဲမှားစွာ သို့မဟုတ် ရောထွေးစွာ ယူဆလေ့ရှိသည်။ Job FLA သည် chiller တစ်လုံး စမောင်း သည့်အခါ electrical system တွင် ဖြစ်ပေါ်မည့် total current ဖြစ်သည်။

Motor kW vs. Job kW -

$$Three\ phase\ power\ (watts) = Volts\ X\ Amps\ X\ 1.732\ X\ Power\ Factor.$$

Locked Rotor Amps-

Locked rotor current ဆိုသည်မှာ မော်တာရပ်နေချိန် သို့မဟုတ် rotor locked ဖြစ်နေသည့်အချိန် (zero speed) ၌ rated voltage နှင့် rated frequency တို့ဖြင့် စမောင်းလိုက်သည့်အခါ ဖြစ်ပေါ်သည့် current ဖြစ်သည်။ Rated voltage နှင့် rated frequency ကျဆင်းသွားလျှင် ဖြစ်ပေါ်မည့် current များလာ လိမ့်မည်။

Inrush Amps-

မော်တာ စတင်လည်ပတ်ရန်အတွက် လိုအပ်သည့် current ဖြစ်သည်။ FLA ၏ ရာခိုင်နှုန်း သို့မဟုတ် locked rotor amps ၏ ရာခိုင်နှုန်းဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။

Reduced Voltage Starting-

Inrush amps လျော့နည်းစေရန်အတွက် မော်တာသို့ ပို့ပေးသည့် ပို့အား(voltage)ကို လျော့ချသည်။

Low Voltage -

ပို့အား(voltage) 50V မှ 999V AC (50 or 60 Hz)အတွင်း ကို "low voltage" ဟု သတ်မှတ်သည်။

Low Voltage Motors-

ပို့အား(voltage)230V မှ 600V (AC three phase) ဖြင့် မောင်းနှင်သည့် မော်တာအားလုံးကို low voltage မော်တာ အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။

Medium Voltage -

ပို့အား: 1000V မှ 35,000V AC 50 or 60 Hz ကို medium voltage ဟု သတ်မှတ်သည်။

Medium Voltage Motor-

AC three phase ပို့အား: 23,00V မှ 15,000V ဖြင့် မောင်းသည့် မော်တာများကို "medium voltage" မော်တာဟု ခေါ်သည်။

Max Fuse/Breaker

Maximum valueကို fuse သို့မဟုတ် breaker များတွင် အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။ FLA x 1.5 သို့မဟုတ် FLA x 1.75 ကို အသုံးပြု၍ fuse သို့မဟုတ် breaker များ၏ အရွယ်အစားကို ရွေးချယ်သည်။ ဒေသဆိုင်ရာစံချိန်စံညွှန်း(local codes) များ နှင့် နှိုင်းယှဉ် စစ်ဆေးသင့်သည်။

Minimum Circuit Ampacity

Minimum circuit ampacity ဆိုသည်မှာ မည်သည့်အခြေအနေ(all operating conditions)တွင်မဆို ဝါယာကြိုး အပူလွန်ခြင်း(overheating)မဖြစ်စေသည့် အငယ်ဆုံး ဝါယာကြိုးအရွယ်အစား ဖြစ်သည်။ အနည်းငယ် ပိုကြီးသည့် ဝါယာကြိုးကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

Motor Full Load Amps (FLA)

Compressor ကို rated design chilling capacity ဖြင့် မောင်းရန်အတွက် မော်တာမှ ဆွဲယူသည့် current ဖြစ်သည်။ Chiller မော်တာများကို အနည်းငယ်ပိုကြီးအောင် ပြုလုပ်ထားလေ့ရှိသည်။

Locked Rotor Amps (LRA)

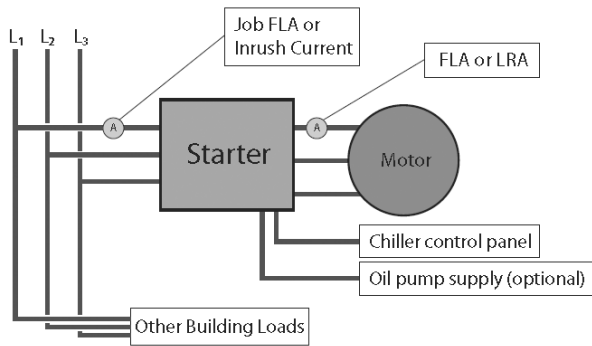
Locked Rotor Amps (LRA)သည် မော်တာ ရပ်တန့်ပြီးနောက် ပြန်လည်၍ စတင်မောင်းသည့်အချိန် (zero speed)တွင် ဆွဲယူသည့် current ပမာဏ ဖြစ်သည်။ Motor name plate ပေါ်တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Starter အရွယ်အစား(sizing) နှင့် inrush current တို့ကို ခန့်မှန်းရာတွင် အသုံးပြုသည်။

Inrush Amps ဆိုသည်မှာ မော်တာ ရပ်တန့်နေရာ(standstill)မှ စတင်ရွေ့လျားရန်အတွက် လိုအပ်သည့် current ဖြစ်သည်။ Inrush Amps သည် ရွေးချယ်ထားသည့် starter အမျိုးအစား အပေါ်တွင် မူတည်၍ ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

VSD inrush current ပမာဏသည် FLA ထက် မည်သည့်အခါမျှ ပိုမများနိုင်ပေ။ ACL သို့မဟုတ် DOL inrush current သည် locked rotor value ၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် FLA ထက် (၆)ဆခန့် ပိုများနိုင်သည်။ Wye-Delta SSS နှင့် auto-transformer starter များတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် inrush current ပမာဏသည် VSD နှင့် ACL တန်ဖိုးတို့ အကြားတွင် ဖြစ်သည်။

မော်တာသို့ ပေးပို့သည့် ဗို့အား(voltage) ကို လျော့ချလိုက်ခြင်းကြောင့် မော်တာ စတင် မောင်းသည့် အခါတွင် ဖြစ်ပေါ်မည့် inrush current ကို လျော့ချနိုင်သည်။ Inrush current လျော့နည်းခြင်းကြောင့် ပါဝါ လိုင်းတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် အနှောင့်အယှက် (power line disturbances) လျော့နည်းသည်။

Typical Starter Line Diagram



ပုံ ၁၁-၇ Starter single line diagram

အထက်ပါပုံ(၁၁-၇)သည် starter ၊ motor နှင့် electrical supply တို့ ချိတ်ဆက်ထားသည့် ACL starter block diagram ဖြစ်သည်။

၁၁.၁.၂ Starter နှင့် Drive အမျိုးအစားများ

(က) Electro-Mechanical Starter များ သို့မဟုတ် EM Starter များ

- ၁။ Across the Line Starter သို့မဟုတ် Direct On Line (DOL)
- ၂။ Star-Delta / Wye-Delta Starter -(Low Voltage only)
- ၃။ Auto Transformer Starter (ATS)

(ခ) Electronic Starters and Drives

- ၁။ Solid State Starter (SSS)
- ၂။ Soft Starter (Soft Start)
- ၃။ Variable Speed Drive (VSD)

EM starter များသည် ဈေးနှုန်းချိုသာသောကြောင့် ကန်ထရိုက်တာများနှင့် ဝယ်ယူများ နှစ်သက်ကြခြင်း ဖြစ်သည်။

Electro-Mechanical Starters Overview

- (၁) Electro-Mechanical starter များသည် metal to metal contact အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။

- (၂) Oldest motor starting method (ရှေးအကျဆုံးနည်းဖြစ်သည်။)
- (၃) Centrifugal chiller များတွင် electro mechanical starter များကို နည်းသုံးမျိုးဖြင့် အသုံးပြုသည်။
- (က) Across the Line or Direct On Line
- (ခ) Star-Delta / Wye-Delta
- (ဂ) Auto-Transformer

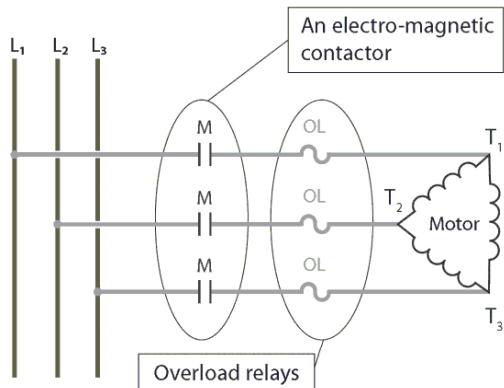
EM starter များသည် mechanical device ဖြစ်ပြီး အိမ်တွင် အသုံးပြုသည့် မီးခလုပ်(switch)နှင့် ဆင်တူသည်။ EM starter များကို ရှေးနှစ်ပေါင်းများစွာက စတင်အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။ မော်တာအမျိုးအစားအားလုံး နှင့် အရွယ်အစားမျိုးစုံတွင် အသုံးပြုနိုင်သည်။

Across the Line(ACL)သို့မဟုတ် Direct On Line(DOL) starter သည် ဈေးအနည်းဆုံးဖြစ်ပြီး performance အလွန်ညံ့သည်။ Star-Delta starter များကို starting torque နည်းနည်းသာ လိုအပ်သည့် အခြေအနေများတွင် အသုံးပြု ကြသည်။ Auto Transformer starter များကို ဒီဇိုင်းလိုအပ်ချက်(design requirements) နှင့် သင့်လျော်သည့် အခြေအနေများတွင် အသုံးပြုကြသည်။ Starting current profile ကို မိမိလုပ်ငန်းနှင့် ကိုက်ညီအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

၁၁.၃ Electro-Mechanical Starters

၁၁.၃.၁ Across the Line Starter (ACL) သို့မဟုတ် Direct On Line(DOL)

Starter M သည် main contactor သို့မဟုတ် switch ဖြစ်ပြီး ပိတ်(close) သွားသည့်အခါ သို့မဟုတ် contact close ဖြစ်သွားသည့်အခါ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားကို မော်တာဆီသို့ရောက်အောင် ပို့ပေးသည်။ OL သည် motor overload ဖြစ်သည်။ သတ်မှတ်ထားသည့် motor current ထက် ပိုများလာပါက မော်တာ overload မှ လျှပ်စစ်ပတ်လမ်းကို ပြတ်တောက်စေသည်။

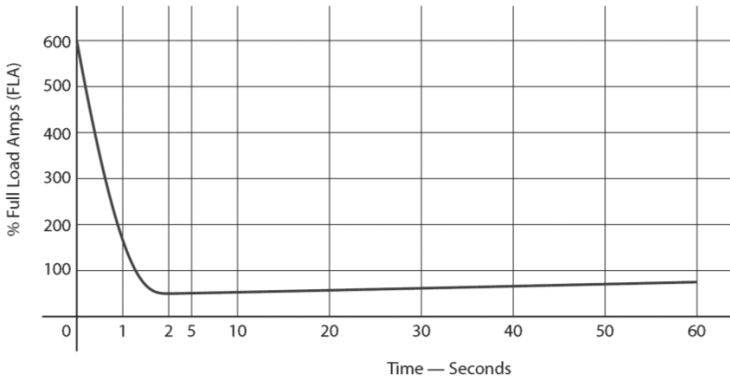


ပုံ ၁၁-၈ Across the Line(ACL) starter သို့မဟုတ် Direct On Line (DOL) starter

ACL သို့မဟုတ် DOL starter များသည် အရိုးရှင်းဆုံးသော starter များဖြစ်ကြပြီး inrush current လျော့နည်းအောင် လုပ်ပေးနိုင်စွမ်း မရှိပေ။ စမောင်းလျှင် မောင်းခြင်း inrush current ချက်ချင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။ Inrush current သည် 600% Lock Rotor Amps (LRA) ဖြစ်သည်။ ACL သို့မဟုတ် DOL starter များကြောင့် အဆောက်အအုံ၏ electrical system နှင့် power grid တို့၌ မတည်မငြိမ် ဖြစ်နိုင်သည်။ ACL သို့မဟုတ် DOL starter ကို အသုံးပြုလျှင် inrush current အလွန် များသောကြောင့် ကောင်းမွန် ကြံ့ခိုင်သည့် switchgear နှင့် transformer များ လိုအပ်သည်။

Starting current profile မှ တစ်ဆင့် starter ၏ performance ကောင်း၊ မကောင်းသိနိုင်သည်။ Starting current profile သည် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားလိုင်းမှ ဆွဲယူသည့် current နှင့် အချိန်(time) တွဲ၍ ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Across the Line starter profile တွင် ကြီးမားသည့် spike ဖြစ်ပေါ်သည်။ Across the Line ဖြင့်

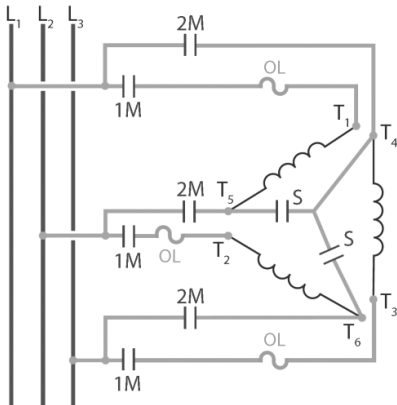
မောင်းသည့် မော်တာများသည် full speed သို့ လျင်မြန်စွာ ရောက်ရှိနိုင်သည့် အမြန်ဆုံးနည်း(fastest method) ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ကြီးမားသည့် current spike ဖြစ်ပေါ်သည်။



ပုံ ၁၁-၉ Cross the line starter ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် current ကို ဂရပ်(starting profile)ဖြင့် ဖော်ပြထားပုံ

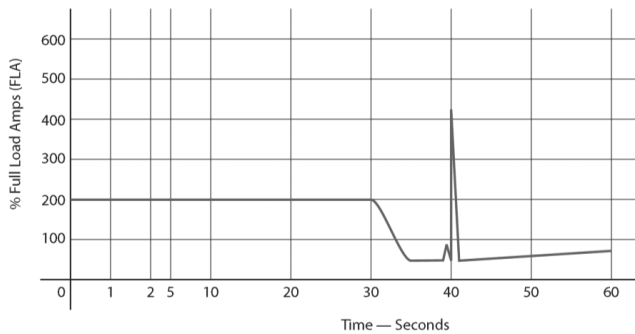
၁၁.၃.၂ Star-Delta သို့မဟုတ် Wye-Delta Starter (Closed Transition)

“Softer” starting method ဖြစ်သောကြောင့် inrush current လျော့နည်းသည်။ Utility infrastructure အလွန်ကြီးမားအောင် ပြုလုပ်ရန် မလိုအပ်ပေ။ သို့သော် starting time ကို ကြာရှည်အောင် ဆွဲဆန့်ထားခြင်းကြောင့် ပမာဏများသည့် current အချိန်ကြာမြင့်စွာ ဖြစ်ပေါ်နေလိမ့်မည်။



Star-Delta starter များတွင် ငုတ်(lead motor) (၆)ခု ပါဝင်သည်။ Star connection အတွက် ငုတ်(၃)ခု နှင့် Delta connection အတွက် ငုတ်(၃)ခု ပါဝင်သည်။ စတင်မောင်းသည့် အခါ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားလိုင်း နှင့် မော်တာကို Star သို့မဟုတ် Wye configuration ဖြင့် ချိတ်ဆက်ထားသောကြောင့် မော်တာ သို့ ရောက်ရှိသည့် ဗို့အား(voltage) သုံးဆ လျော့နည်း သွားသည်။ ဗို့အား(voltage) သုံးဆ လျော့နည်း သွားသော ကြောင့် current လည်းသုံးဆ လျော့နည်းသွား သည်။ Starting torque လည်း သုံးဆ လျော့နည်းသွားသည်။

ပုံ ၁၁-၁၀ Star-Delta သို့မဟုတ် Wye-Delta starter (closed transition)



ပုံ ၁၁-၁၁ Star-Delta သို့မဟုတ် Wye-Delta Starter (closed transition) starting profile

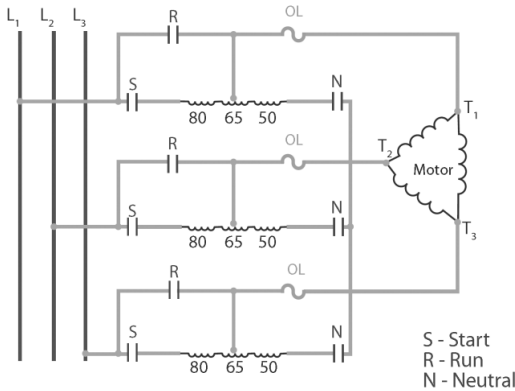
Centrifugal compressor များကို စမောင်းသည့်အခါ starting torque နည်းနည်းဖြင့် စမောင်းရန် လိုအပ်သည်။ Brown-out အခြေအနေ(condition)တွင် line voltage နည်းနေပါက full speed သို့ရောက်ရန်အတွက်

မော်တာသည် လုံလောက်သည့် တွန်းအား(starting torque)ကို ထုတ်ပေးနိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ထိုအခါ drive line တွင် ကြီးမားသည့် current spike နှင့် အားပြင်းသည့် torque shock ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Star-Delta ဖြင့် မောင်းလျှင် starter ၏ switchgear ၊ building electrical system power grid နှင့် chiller mechanical drive line များတွင် stress များ ဖြစ်ပေါ်သည်။ သို့သော် Star-Delta ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် stress များသည် ACL starter ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် stresses ၏ သုံးပုံ တစ်ပုံ ခန့်သာဖြစ်သည်။

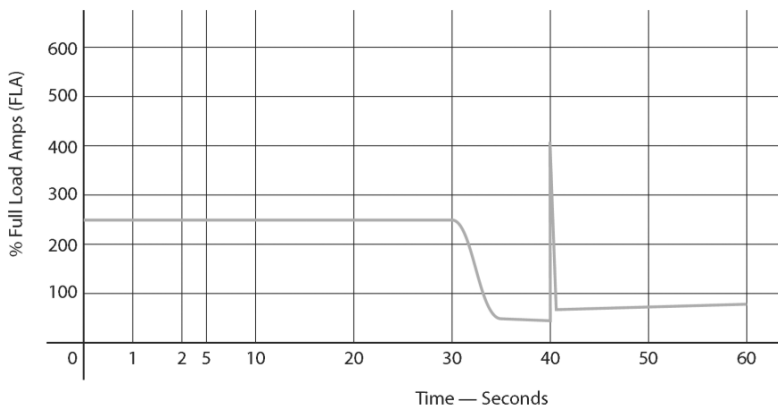
Star-Delta starter များကို ပုံမှန်ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ(periodic maintenance) ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Start-Delta starter များကို low voltage မော်တာများအတွက်သာ အသုံးပြုနိုင်သည်။ Star-Delta starter များတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် starting current သည် Across the Line starter တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် starting current ထက် သုံးဆခန့် နည်းသည်။ Centrifugal load များကို မောင်းသည့် မော်တာများတွင် Star-Delta starter များကို အသုံးပြုသည်။ Motor winding သုံးခုကို star ပုံသဏ္ဍန်ဖြင့် ချိတ်ဆက်သည့်အခါ မော်တာ winding သို့ ပေးပို့သည့် voltage သုံးပုံ နှစ်ပုံ ခန့် လျော့နည်း သွားပြီး သုံးစွဲသည့် current ကို လျော့ချနိုင်သည်။

၁၁.၃.၃ Auto Transformer Starters(ATS)



Auto Transformer Starter(ATS) များကို အသုံးပြုလျှင် မော်တာနှင့်သင့်လျော်သည့် starting voltage ကို ရွေးချယ်နိုင်သည်။ Line voltage ၏ ၆၅% သို့မဟုတ် ၈၅% စသည်ဖြင့် ရွေးချယ်နိုင်သည်။ ATS starter များသည် EM starter များတွင် ဈေးအများဆုံး ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် transformer အပိုတစ်ခု သာမက switching component များပါ လိုအပ် သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ATS starter များသည် low နှင့် medium voltage မော်တာများနှင့်သာ တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။

ပုံ ၁၁-၁၂ Auto Transformer Starters



ပုံ ၁၁-၁၃ -Auto Transformer Starters(ATS) starting profile

Auto-transformer starter များသည် transformer ကို အသုံးပြု၍ မော်တာ ဆီသို့ delta ပုံစံဖြင့် ချိတ်ဆက်ပြီး ပို့ပေးသည့် ဝို့အား(voltage) ကို လျော့နည်းစေသည်။ ပုံ (၁၁-၁၃) တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း inrush current သည် full load current ၏ 250% ခန့်ဖြစ်သည်။ အရှိန်ရပြီးနောက် transformer ကို circuit မှ ဖယ်ထုတ်သည့်အခါတွင် spike ဖြစ်ပေါ်သည်။

Electro-Mechanical Starter များ၏ အဓိက အချက်များ

- (၁) ဈေးနှုန်းချိုသာခြင်း(low cost)
ဒီဇိုင်းပုံစံ ရိုးရှင်းခြင်း(simple design)
- (၂) ဖွံ့ဖြိုးပြီး နည်းပညာဖြစ်ခြင်း(mature technology)
နည်းပညာပြောင်းလဲမှု နည်းခြင်း(no significant change in technology)
- (၃) စိတ်ချရမှု(reliability)မြင့်မားခြင်း နှင့် ပြုပြင်နိုင်ခြင်း(maintainability)
မကြာခဏ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ ကျွမ်းကျင်သည့် ဝန်ထမ်းများသာ ပြုပြင်
ထိန်းသိမ်းမှု ပြုလုပ်နိုင်သည်။
- (၄) ရှုပ်ထွေးခဲခက်မှု လျော့နည်းခြင်း(less sophisticated)
"click-bang" starter ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။
- (၅) တပ်ဆင်ရန် နေရာကျယ်ကျယ်လိုအပ်ခြင်း(more space)
ယေဘုယျအားဖြင့် တပ်ဆင်ရန် နေရာ လိုအပ်သည်။ (additional floor space for installation)
- (၆) တပ်ဆင်မည့် အလုပ်သမား(installation labor)
Chiller တပ်ဆင်ထားသည့်နေရာတွင် မော်တာနှင့် starter တပ်ဆင်မည့် အလုပ်သမား လိုအပ်သည်။

EM များ၏ ယုံကြည်စိတ်ချရမှု(Reliability)

EM starter များတွင် metallic contact များ ပါရှိခြင်းကြောင့် arcing ဖြစ်ခြင်း နှင့် pitting ဖြစ်ပေါ်ပြီး ပွန်းတီးမှု(wear-out)များစွာ ဖြစ်နိုင်သည်။ Metallic contact များကို စစ်ဆေးခြင်း(inspection)၊ calibration လုပ်ခြင်း၊ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ခြင်း၊ လဲလှယ်ခြင်း(replacement)တို့ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ EM starter များသည် motor နှင့် load တို့ starting profile ကို (current အရ သို့မဟုတ် voltage အရ) ပြောင်းလဲရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ EM starter များသည် smart starter များ မဟုတ်ကြပေ။

System Integration -

EM starter များနှင့် chiller control panel ကို integration ပြုလုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။ Star-Delta သို့မဟုတ် Wye-Deltastarter များသည် low voltage system များအတွက် အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။ Auto-Transformer များသည် medium voltage system များတွင် EM starter ကို တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်လျှင် အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။ Electronic starter များသည် မြင်းကောင်ရေ(horse power) အလွန် များသည့် မော်တာများနှင့် တွဲသုံးရန် မဖြစ်နိုင်သည့်အခါ Electro-Mechanical starter ကို အသုံးပြုရန် တိုက်တွန်း လိုသည်။

၁၁.၄ Electronic Solid State Starters

၁၁.၄.၁ Electronic Solid State Starters Overview

- (၁) Mechanical contact ကြောင့် ဖြစ်သော arcing နှင့် pitting တို့ မဖြစ်ပေါ်ပေ။
- (၂) Starting current ကို လျော့ချရန်အတွက် semiconductor များကို အသုံးပြုထားသည်။
- (၃) Mechanical and electrical stress များ မဖြစ်ပေါ်စေဘဲ မော်တာကို စတင်မောင်းနှင်သည်။ ဖြစ်ပေါ်သည့် starting current current သည် ယုံကြည်စိတ်ချရသည်။
- (၄) မော်တာသို့ ပေးပို့သည့် ဗို့အား(voltage) ကို လျော့ချခြင်းမဟုတ်ဘဲ မော်တာ current ကိုသာ သတ်မှတ်ထားသည့် အဆင့် (45% of LRA) သို့ရောက်အောင် လျော့ချခြင်း ဖြစ်သည်။

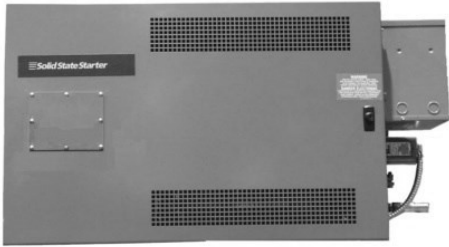
No Arcing or Pitting of Mechanical Contacts

မော်တာ စတင်မောင်းသည့်အခါ Electronic starter များသည် high current နှင့်အတူ ဖြစ်ပေါ်သည့် mechanical switching ကို လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ အလွန်များသည့် current ဖြင့် making and

breaking ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် EM starter များကို ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance) ပြုလုပ်ရန်နှင့် ပြုပြင်ရန် (repair) လိုအပ်သည်။

Electronic Solid State Starters (Unit Mounted Low Voltage Solid State Starter)

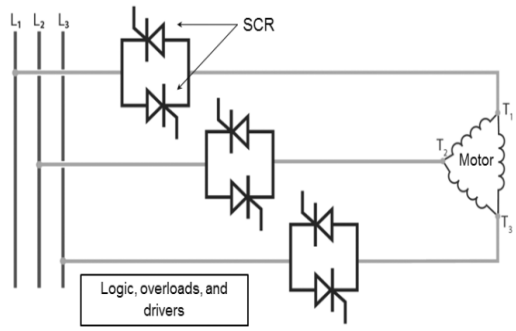
Starter ကို chiller ပေါ်တွင် တပ်ဆင်ထားခြင်း(unit mounted) နှင့် ကြမ်းခင်းပေါ်တွင် တပ်ဆင်ထားခြင်း (floor mounted) ဟူ၍ (၂)မျိုး တပ်ဆင်နိုင်သည်။ Unit mounted များကို အသုံးပြုလျှင် နေရာ (floor space) ကျယ်ကျယ် မလိုအပ်ပေ။



Low Voltage Solid State Starter (LV SSS) သည် မော်တာကို စတင် မောင်းနှင်စဉ် အချိန်တွင် ညင်သာစွာ မောင်းမည့် current ပမာဏ ကို မော်တာဆီသို့ အဆက်မပြတ် ပေးပို့သည်။ မော်တာဆီသို့ ပေးပို့သည့် voltage ကို လျော့ချပြီး inrush current ကို သတ်မှတ် ထားသည့် တန်ဖိုးထက် ပိုမများအောင် ကန့်သတ် ထားသည်။

ပုံ ၁၁-၁၄ Electronic solid state starters unit mounted low voltage solid state

မော်တာအရှိန်ယူနေစဉ် silicon controlled rectifiers (SCRs) များကို ပိတ်ခြင်း၊ ဖွင့်ခြင်း(tuned on) ပြုလုပ်၍ မော်တာဆီသို့ ပေးပို့သည့် voltage ကို လျော့ချပေးသည်။ မော်တာ အရှိန် ရပြီးနောက် inrush current ကျဆင်းလာစဉ် silicon controlled rectifiers (SCRs)တွင် ဖွင့်သည့်အချိန်ကို နှေးပေးခြင်းဖြင့် AC main voltage ကို ပိုများစေသည်။



မော်တာသည် သတ်မှတ်ထားသည့် မြန်နှုန်းသို့ ရောက်ရှိ ပြီးနောက် firing signal များ အချိန်နောက်ကျ စေခြင်းကို မပြုလုပ်တော့ပေ။ SCR devices သည် လုံးဝ အလုပ် လုပ်နေသည့် အချိန်တွင် မော်တာဆီသို့ ဗို့အား(voltage) အပြည့်ကို ပေးပို့နေပြီ ဖြစ်သည်။ ထိုနောက် bypass contactor ကို ထိကပ်စေပြီး(engage ဖြစ်စေပြီး) မော်တာသို့ incoming mains voltage များ တိုက်ရိုက် ရောက်ရှိစေ သောကြောင့် SCR device အတွင်း၌ မည်သည့် current မျှ ဖြတ်သန်း စီးဆင်းခြင်း မဖြစ်ပေါ်တော့ပေ။

ပုံ ၁၁-၁၅ Electronic solid state starters

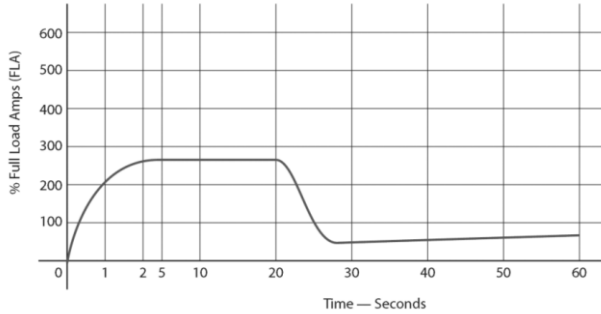
Solid State Starter များသည် variable speed drive မှပြီးလျှင် အကောင်းဆုံးဖြစ်သည်။ Auto-transformer starter ကဲ့သို့ မော်တာသို့ ပို့ပေးသည့် voltage ကို လျော့ချသည်။ စတင်မောင်း Solid State Starter များသည် မော်တာအရှိန်ယူနေသည့်အချိန်တွင် starting current မပြောင်းလဲစေရန်အတွက် voltage ကို အဆက်မပြတ် ပြောင်းလဲပေးနေသည်။ Transition မဖြစ်ခင်အချိန်အထိ starting current သည် full load current ၏ 270% ခန့်ဖြစ်သည်။ မော်တာ စတင်စဉ် starting current ညင်ညင်သာသာဖြင့် အဆက်မပြတ် ပြောင်းလဲသည်။

Silicon Controlled Rectifier(SCR) သည် solid state starter များတွင် အဓိကကျသည့် power handling component များဖြစ်ကြသည်။ Logic ၊ overloads နှင့် driver များသည် SCRs များကို control လုပ်ခြင်း၊ မော်တာကို ကာကွယ်ပေးခြင်း နှင့် ဘေးအန္တရာယ်ကင်းဝေးအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။

၁၁.၄.၂ Electronic Solid State Starters Starting current profile

Solid state starter များ၏ starting current တွင် impulse များ မဖြစ်ပေါ်ပေ။ သို့မဟုတ် current ရှုပ်တရက် ပြောင်းလဲခြင်း မဖြစ်ပေါ်ပေ။ စက်အစိတ်အပိုင်းများတွင် torsional shock မဖြစ်ပေါ်စေရန် နှင့် အဆောက်အဦ အတွင်းရှိ electrical switchgear များတွင် stress များ မသက်ရောက်စေရန်အတွက် current စီးဆင်း

ခြင်းကို ငြင်းသာ အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ အားလုံးအတွက် ယုံကြည်စိတ်ချရသည် starting နည်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၁-၁၆ Electronic solid state starters starting current profile

၁၁.၄.၄ Electronic Solid State Starters Benefits

(က) Smooth Step-less starting

ဆိုသည်မှာ အဆောက်အဦ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပေးစနစ်(electrical system) များတွင် transition များ သို့မဟုတ် spike များ ဖြစ်ပေါ်မှု မရှိခြင်း ဖြစ်သည်။

(ခ) Lower Maintenance Costs

Contact မပါဝင်သောကြောင့် အသစ်လဲလှယ်ရန် မလိုအပ်ပေ။ သို့သော် MVSSS များတွင် Silicon Controlled Rectifier ကို bypass လုပ်ရန်အတွက် mechanical contact ပါရှိသည်။

(ဂ) Higher reliability

စိတ်ချရမှု မြင့်မားသောကြောင့် အစိတ်အပိုင်းများ ပြုပြင်ခြင်း၊ လဲလှယ်ခြင်းတို့ ပြုလုပ်ရန် အခွင့်အလမ်း နည်းသည်။

(ဃ) Constant current control

မော်တာ speed torque curve တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း စမောင်းချိန်တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် မော်တာ torque သည် compressor တွင် ဖြစ်ပေါ်မည့် load torque ထက် ပိုများမှသာ full speed သို့ ရောက်နိုင်လိမ့်မည်။ Centrifugal compressor များ၏ torque အများဆုံး ဖြစ်ပေါ်သည့်နေရာ (maximum load torque point)သည် full speed နေရာနှင့် နီးကပ်သည်။ Motor current သည် torque နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အဓိက အချက်ဖြစ်သည်။ Constant current ဖြင့် စမောင်းခြင်းကြောင့် လိုအပ်သည့် torque ရရှိနိုင်သည်။

မော်တာ စတင်မောင်းနေစဉ် torque သည် မော်တာ current နှစ်ထပ်ကိန်းနှင့် အချိုးကျသည်။ Star-Delta နှင့် တခြား Electro-Mechanical starter များသည် မော်တာ terminal များဆီသို့ constant voltage ပို့ပေးသည်။ မော်တာ အရှိန်ရလာသည့်အခါတွင် motor impedance များလာပြီး slip ဖြစ်ခြင်း ပိုများလာသည်။ ဆွဲယူသည့် current drawn လျော့နည်းသွားသည်။

Solid state starter များသည် မော်တာများကို စတင်မောင်းချိန်တွင် line voltage၊ speed နှင့် motor temperature မည်ကဲ့သို့ပြောင်းလဲပါစေ လုံလောက်သည့် starting torque ရနိုင်ရန် ပေးပို့သည့် constant current ကို ထိန်းထားရန် လိုအပ်သည်။ Full speed ရောက်ခါနီးအချိန်တွင် torque အများဆုံး လိုအပ်သည်။

(င) Unit mounting

Chiller ပေါ်တွင် တပ်ဆင်ထားခြင်း(unit mounting)ကြောင့် ကြမ်းခင်းပေါ်တွင် နေရာ မလိုအပ်ပေ။ Concrete pad ပြုလုပ်ပေးရန် မလိုအပ်ပေ။ စက်ရုံမှ တပ်ဆင်ပြီး အရည်အသွေး စစ်ဆေးထားခြင်း ဖြစ်သောကြောင့် စိတ်ချ ရသည်။

၁၁.၄.၅ Electronic Solid State Starter Recommendations

မြန်နှုန်းပုံသေ(fixed speed)ဖြင့် chiller များ စတင်မောင်းရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။

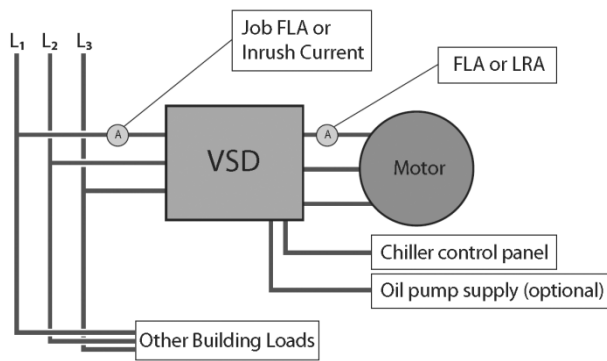
(၁) တပ်ဆင်ခ ကုန်ကျစရိတ် သက်သာနိုင်ခြင်း (Low Installed Cost)

တပ်ဆင်ခ ကုန်ကျစရိတ် သက်သာသည်။ စိတ်ချရသည်။ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ကုန်ကျစရိတ်နည်းသည်။

Integrated starter များကို အသုံးပြုခြင်းဖြင့် တပ်ဆင်ခ ကုန်ကျစရိတ် သက်သာနိုင်သည်။ Site ထဲတွင် မော်တာနှင့် starter အကြား ဝါယာကြိုး တပ်ဆင်ရန် မလိုအပ်ပေ။

- (၂) Starter တပ်ဆင်ရန် နေရာ သက်သာသည်။ နေရာ အနည်းငယ်သာလိုသည်။
- (၃) Starter မော်တာနှင့်သက်ဆိုင်သည့်အချက်အလက်များအားလုံးကို တစ်နေရာတည်း၌ ရရှိနိုင်သည်။
- (၄) Power factor correction capacitors ကို starter ၏ အစိတ်အပိုင်းတခု အဖြစ် ထည့်သွင်း တပ်ဆင်နိုင်သည်။

၁၁.၅ Variable Speed Drive(VSD)



ပုံ ၁၁-၁၇ VSD နှင့် မော်တာတို့ကို electrical supply ဖြင့် ချိတ်ဆက်ထားသည့် single line diagram

၁၁.၅.၁ Variable Speed Drive တပ်ဆင်ရသည့် ရည်ရွယ်ချက်များ

- (၁) Motor မော်တာ ရပ်ခြင်း(stop)၊ မောင်းခြင်း(start)ပြုလုပ်ရန်
- (၂) Inrush current ကို full load amps ထက် များစွာ လျော့နည်း သွားအောင်ပြုလုပ်ရန်
VSD ဖြင့်မောင်းသည့် မော်တာများတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် အမြင့်ဆုံး inrush current ပမာဏ သည် Full Load Amps (FLA)ထက် အမြဲနည်းလေ့ရှိသည်။ အနိမ့်ဆုံး inrush current ကို ပေးနိုင်သည်။ Inrush current နိမ့်သောကြောင့် မော်တာသက်တမ်း ပိုရှည်သည်။ Power line တွင် အနှောက်အယှက်ဖြစ်ခြင်း နှင့် surge ဖြစ်ခြင်းတို့ကို ရှောင်လွှဲနိုင်သည်။ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခ(demand charge) တွက်ချက်ရာတွင် chiller load ကို အခြေခံ၍ တွက်ချက်သောကြောင့် ကုန်ကျစရိတ်သက်သာသည်။
- (၃) အကောင်းဆုံး power factor ရရှိရန်
Power factor ပိုကောင်းစေနိုင်သည်။ VSD ဖြင့် မောင်းသည့်အခါ မော်တာများတွင် power factor ပိုကောင်းစေရန် power factor correction capacitor တပ်ဆင်ထားရန် မလိုအပ်ပေ။ VSD များသည် power factor 0.98 အထိ ကောင်းအောင် ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည်။
- (၄) Demand charge လျော့နည်းစေရန်
- (၅) Motor protection
Overloads ၊ current limit ၊ current imbalance နှင့် short circuit protection စသည့် မော်တာ မပျက်စီးစေရန်အတွက် ကာကွယ်မှုများ ပြုလုပ်နိုင်သည်။

(၆) Chiller operation efficient ဖြစ်စေရန်အတွက် compressor speed ကို လိုသလို ပြောင်းလဲပေးရန် နှင့် part load operation တွင် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနည်းစေရန် နှင့်

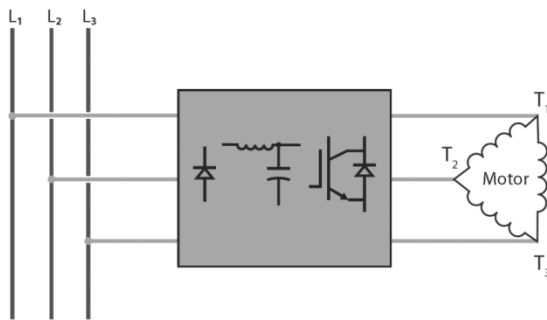
(၇) VSD နှင့် intelligent chiller control strategy များ တွဲ၍ သည် operating condition နှင့် load အမျိုးမျိုး တို့အတွက် chiller efficiency အကောင်းဆုံးဖြစ်စေရန် တို့ဖြစ်သည်။

Lift နိမ့်နိမ့်သာ လိုအပ်သည့် အခြေအနေများတွင် efficiency ပိုကောင်းစေရန်အတွက် မော်တာ ဝင်ရိုး (shaft) ကို မြန်နှုန်းအမျိုးမျိုး (variable speeds)ဖြင့် မောင်းနှင်သည်။

Centrifugal chiller များနှင့် VSD ကို အောက်ပါ ပုံစံနှစ်မျိုးဖြင့် တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။

- (၁) Low voltage unit mounted drives
- (၂) Medium voltage remote mounted drives

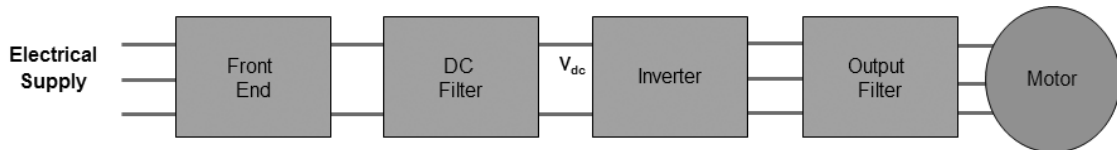
VSD များကို chiller အပေါ်တွင် တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ Condenser water ဖြင့် အအေးခံနိုင်သည်။ ဝါယာကြိုးများကို စက်ရုံမှ တတ်ဆင်ပေးစဉ်က စမ်းသပ်မောင်းနှင်ထားပြီး ဖြစ်သောကြောင့် အချိန်ကုန်သက်သာသည်။ နည်းပညာ တိုးတက်လာခြင်းကြောင့် ဈေးနှုန်းချိုသာသည့် VSD များ ထုတ်လုပ်နိုင်သည်။



ပုံ ၁၁-၁၈ VSD တစ်လုံးကို ရိုးရှင်းသည့် ဒိုင်ယာဂရမ် (simplified schematic) ဖြင့် ဖော်ပြထားပုံ

အထက်ပါပုံသည် VSD တစ်ခု၏ simplified schematic ဖြစ်သည်။ Front end filter နှင့် inverter sections စသည်တို့ကို ဖော်ပြထားသည်။ အလုပ်လုပ်ပုံကို အကျဉ်းချုပ် ဖော်ပြထားသည်။ VSD အလုပ်လုပ်ပုံ

- (၁) မော်တာ၏ မြန်နှုန်းကို efficient ဖြစ်စွာပြောင်းလဲနိုင်ရန်အတွက် power line ၏ frequency (Hz) ကို ပြောင်းလဲပေးရန် လိုအပ်သည်။
- (၂) Power balance ဖြစ်ရန်အတွက် မော်တာဆီသို့ ပို့ပေးသည့် voltage သို့မဟုတ် current ကို frequency နှင့် အမျိုးကျ လိုက်၍ ပြောင်းလဲပေးရန် လိုအပ်သည်။
- (၃) မော်တာကို speed အမျိုးမျိုးဖြင့် မောင်းနှင်ရန်အတွက် VSD သည် frequency ပြောင်းလဲပေးသည်။



ပုံ ၁၁-၁၉(က) VSD တစ်လုံးကို ရိုးရှင်းသည့် ဒိုင်ယာဂရမ် (simplified schematic) ဖြင့် ဖော်ပြထားပုံ

(၁) Front End အလုပ်လုပ်ပုံ

အဆောက်အဦတွင် အသုံးပြုနေသည့် AC power မှ DC power သို့ ပြောင်းလဲပေးသည်။ Incoming voltage ကို motor voltage နှင့် ကိုက်ညီအောင် front end မှ ပြောင်းလဲပေးသည်။ Harmonics နှင့် noise ကြေပျက်အောင် (cancel) က front end ဆောင်ရွက်ပေးသည်။

(၂) DC Filter အလုပ်လုပ်ပုံ

Inverter သို့ မပို့လွတ်ခင် DC voltage သို့မဟုတ် current ကို filter လုပ်ထားပေးသည်။

(၃) Inverter အလုပ်လုပ်ပုံ

Filter လုပ်ထားသည့် DC power pulse များအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲပေးသည်။

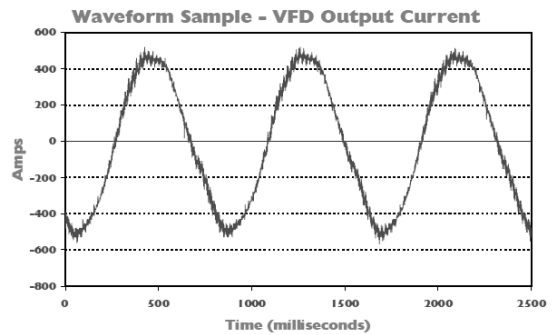
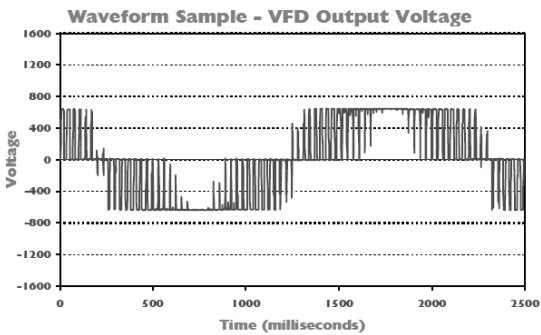
DC pulse များကို variable frequency နှင့် amplitude တို့ ပါဝင်သည့် three phase voltage သို့မဟုတ် current အဖြစ်သို့ ရောက်အောင် စီစဉ်ပေးသည်။

Simulated wave များကို pure sine wave အဖြစ်သို့ရောက်အောင် ပြောင်းလဲပေးသည်။ မော်တာ အတွက် minimum harmonics နှင့် noise ပါဝင်သည့် pure sine wave အဖြစ်သို့ ရောက်စေသည်။

(၄) Output Filter အလုပ်လုပ်ပုံ

Switching noise များကို ဖယ်ရှားရန်အတွက် output filter ကို အသုံးပြုသည်။

Inverter အားလုံးတွင် switching noise ဖြစ်ပေါ်သည်။ မော်တာဆီသို့ switching noise များ မရောက် ရှိအောင် output filter က သန့်စင်ပေးသည်။

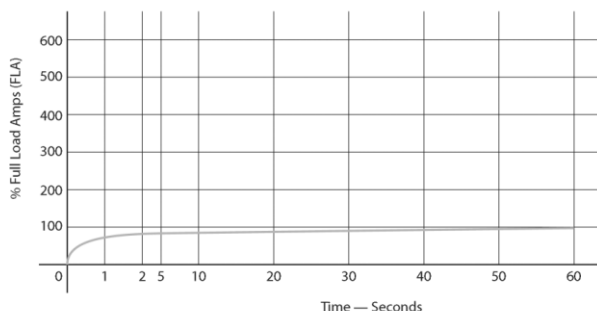


ပုံ ၁၁-၁၉(ခ) VFD output voltage distortion နှင့် output current distortion

Total Harmonic Distortion (THD) – current ဥပမာ တချို့ကို ဖော်ပြထားသည်။

Computer monitor	140% THD
Pump or Fan VSD (6 pulse PWM drive)	75% THD
Pump or Fan VSD (6 pulse PWM drive)with line reactor filter	35% THD
Low voltage VSD (Base)	25% THD
low voltage with optional IEEE filter	5% THD
medium voltage – 24 pulse drive	less than 5% THD

Power line တွင် harmonics ပြဿနာ ရှိနေပါက အပို filter များ ထပ်ထည့်၍ လက်ခံနိုင်သည့် Total Harmonic Distortion (THD) အဆင့်အထိ လျော့ချနိုင်သည်။



ပုံ ၁၁-၂၀ VSD starting profile

၁၁.၅.၂ VSD Starting Profile

ပုံ(၁၁-၂၀)တွင် VSD ၏ ယေဘုယျ starting current profile ကို ဖော်ပြထားသည်။ မော်တာသို့ ပို့ပေးသည့် current သည် ညင်သာစွာ တဖြည်းဖြည်းခြင်း များလာသည်။ Solid state starter တွင်လည်း ဤကဲ့သို့ starting current ညင်သာစွာ တဖြည်းဖြည်းခြင်း များလာသည်။ သို့သော် VSD ၏ starting current profile သည် solid state starter ထက် များစွာ ပိုကောင်းသည်။ VSD မော်တာဆီသို့ frequency အမျိုးမျိုးပြောင်းလဲ၍ ပေးနိုင်သည်။ Frequency နိမ့်နိမ့်ဖြင့် power ပို့ပေးသောကြောင့် torque များများ ရရှိနိုင်သည်။ Solid starter ထက် ပိုများသည့် torque ကို VSD က ပေးနိုင်သည်။ Starting current သည် မော်တာ full load current ထက် ပိုနည်းသည်။

Variable Speed Drive ကို chiller ပေါ်၌ စက်ရုံက ထုတ်လုပ်စဉ်က တပ်ဆင်ပေးလိုက်သည်။ Frequency နှင့် voltage ကို ပြောင်းလဲပေးခြင်းဖြင့် compressor မော်တာ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို လိုသလို ပြောင်းလဲနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ Part load efficiency အကောင်းဆုံးရနိုင်အောင် adaptive capacity control logic နည်းဖြင့် မော်တာမြန်နှုန်း(speed) နှင့် compressor pre-rotation vane position တို့ကို control လုပ်ပေးသည်။

Harmonic filter တပ်ဆင်ထားလျှင် power factor 0.98 အထိ ရရှိနိုင်သည်။ မော်တာ မထိခိုက်အောင် ကာကွယ် နိုင်သည့် ground fault protection ၊ overvoltage and under voltage protection ၊ 3-phase sensing၊ motor over current protection ၊ single-phase protection ၊ insensitive to phase rotation ၊ over temperature protection စသည်တို့ ပါဝင်သည်။ Harmonic filter သည် variable speed drive ကြောင့် electrical power supply ပုံပျက်ခြင်း(distortion) ဆိုးဆိုးဝါးဝါးမဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ IEEE Std. 519-1992 guidelines က သတ်မှတ်ထားသည့်အတိုင်း ပုံပျက်ခြင်း(distortion) မဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ Filter ကို chiller ပေါ်တွင် တပ်ဆင်(unit-mounted)ထားသည်။

အင်ဂျင်တယ် ကင်မရာဖြင့် ရိုက်သည့် ဓာတ်ပုံများတွင် mega pixel ပိုများလေ ဓာတ်ပုံအရည်အသွေး(resolution quality)ပိုကောင်းလေဖြစ်သကဲ့သို့ VSD များတွင် front end သည် "pulses" များများ ထုတ်ပေးနိုင်လေ output "levels" ပိုကောင်းသည်။

Front end ၏ input "Pulses" သည် DC ဓာတ်အားကို ထုတ်ပေးရန် လိုအပ်သည့် rectifiers နှင့် corresponding transformer winding များနှင့် သက်ဆိုင်သည်။ 24 pulse ရရန်အတွက် rectifier (၂၄)ခု အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။ Output "levels" သည် sine wave ကို ပြန်တည်ဆောက်ရန်အတွက် လိုအပ်သည့် အဆင့်များနှင့် သက်ဆိုင်သည်။ 5 level ဆိုသည်မှာ အဆင့်(step) (၅)ဆင့်ဖြင့် ပြန်တည်ဆောက်သည်။

24 pulse phase shifting isolation transformer သည် drive နှင့် power line အကြားတွင် buffer အဖြစ် ဆောင်ရွက် ပေးသည်။ Power line တွင် surge မဖြစ်အောင် သို့မဟုတ် surge ဖြစ်သည့် အကျိုးသက်ရောက်မှု နည်းအောင် ကာကွယ်ပေးသည်။

24 pulse transformer ပါရှိခြင်းကြောင့် drive မှ THD 5% ထက်နည်းသည့် sinusoidal input voltage ထုတ်ပေးသည်။ 5 level inverter output မှ မော်တာဆီသို့ ချောမွေ့သည့် sin wave ပုံသဏ္ဍန် ထုတ်ပေးသည်။ မော်တာ insulation ကျဆင်းခြင်းကြောင့် ပြုပြင်ခြင်း လဲလှယ်ခြင်း တို့ ပြုလုပ်ရန်လိုအပ်သည်။

၁၁.၅.၃ Variable Speed Drive Benefits

- (၁) Inrush current ကို FLA ထက်လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည်။ (significantly reduces inrush current to less than full load amps)
- (၂) Electrical system အပေါ်တွင် သက်ရောက်မည့် stress များကို လျော့ချပေးသည်။
- (၃) IEEE 519-1992 compliant ဖြစ်သည်။
- (၄) အချိန်အနည်းငယ်အတွင်း ရပ်ခြင်း၊မောင်းခြင်း အကြိမ်များစွာ ပြုလုပ်နိုင်သည်။ (increases number of

allowable starts per hour)

- (၅) လျင်မြန်စွာ စတင်မောင်းနိုင်သည်။ (enables quick restart capabilities)
- (၆) VSD များကြောင့် ကုန်ကျစရိတ် ပိုများသော်လည်း နှစ်အနည်းငယ် အတွင်း ပြန်ရရှိနိုင်သည်။ (Short payback on initial investment)
- (၇) Stepless starting ဆိုသည်မှာ transition များ သို့မဟုတ် spike များ မဖြစ်ပေါ်ပေ။
- (၈) Part load chiller operation တွင် efficient အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။
- (၉) Colder tower water ကို အသုံးပြု၍ မော်တာကို အေးစေခြင်းကြောင့် ကုန်ကျစရိတ် နည်းသည်။
- (၁၀) Increases motor longevity (မော်တာ သက်တမ်း ကြာရှည်သည်။)

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည့် အကျိုးများ ရရှိရန် အတွက် Variable Speed Drive (VSD) များကို တပ်ဆင် အသုံးပြုရန် တိုက်တွန်းလိုသည်။

- (၁) လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခ ကုန်ကျစရိတ်လျော့နည်းစေရန်(customer desire to reduce electric utility demand charges)
- (၂) Power factor ကောင်းကောင်းရရှိနိုင်သည်။ VSD များသည် Power factor correction capacitor ကို အသုံးမပြုဘဲ PF (၁) နီးပါး ရရှိနိုင်သည်။
- (၃) ကြမ်းပြင်ပေါ် starter တပ်ဆင်ရန်နေရာ အခက်အခဲရှိလျှင် (floor space is premium, low voltage unit mounting saves space & cost)
- (၄) စက်ရုံမှ တပ်ဆင်ပေးလိုက်သည့် VSD အလိုရှိလျှင် (building owner wants a factory wired & tested efficient, low voltage unit)
- (၅) Best cost benefits ရရှိရန်
- (၆) Life cycle cost အနည်းဆုံးရရှိလိုလျှင်
- (၇) Variable Speed Drives များသည် အကောင်းဆုံး ကိရိယာများ ဖြစ်ကြသည်။

Electro-Mechanical Starter and Electronic Solid State Starters

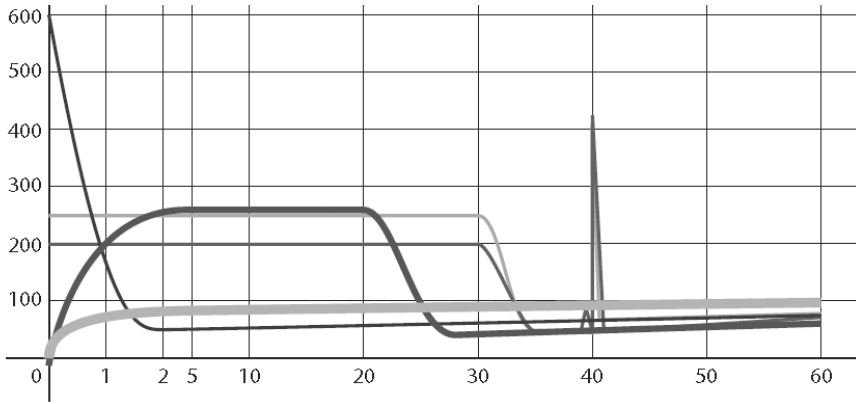
EM starter တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်လျှင် Star-Delta starter နှင့် Auto-Transformer starter ကို အသုံးပြု နိုင်သည်။ Low voltage system နှင့် Medium voltage system များတွင် Star-Delta starter ကိုအများဆုံး အသုံးပြု ကြသည်။ Low voltage အတွက် Star-Delta သည် သင့်လျော်သည်။ Medium voltage အတွက် auto-transformer starter များသည် သင့်လျော်သည်။ Electro-mechanical starter များသည် low voltage နှင့် auto-transformer အတွက် သင့်လျော်သည်။

မြန်နှုန်းပုံသေ(fixed speed) ဖြင့် chiller များကို စတင်မောင်းလိုသည့်အခါ electronic solid state starter များသည် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ ဈေးနှုန်းချိုသာပြီး၊ စိတ်ချရမှုမြင့်မားစေရန်နှင့် ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းမှု နည်းစေရန် အတွက် solid state starter များ ရွေးချယ်ရန် အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။

Starter များအားလုံးတွင် solid state starters နှင့် VSD တို့သည် အားသာချက်အများဆုံးဖြစ်သည်။

Electronic Solid State Starter –

- (၁) မြန်နှုန်းပုံသေ(fixed speed) chiller အတွက် အကောင်းဆုံး starter ဖြစ်သည်။
- (၂) ကုန်ကျစရိတ်နည်းခြင်း(low installed cost), စိတ်ချရခြင်း(high reliability)နှင့် low maintenance
- (၃) Starter နှင့် ပက်သက်သည့် information များအားလုံးကို တစ်နေရာတည်းမှ ရရှိနိုင်သည်။
- (၄) Smooth step-less gentle starting ရရှိနိုင်သည်။ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုနည်းသည်။(low maintenance)
- (၅) stepped starting ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သည့် mechanical stress များ လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။



ပုံ ၁၁-၂၁ The composite view of all starting profiles

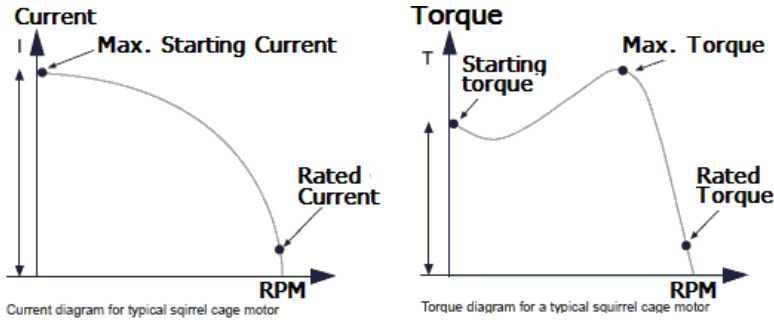
၁၁.၆ Demand Charge

Demand Charge သည် သုံးစွဲသူ အတွက် လုံလောက်သော facility (instantaneous max kW ရရှိရန်၊ cable, transformer size စသည် တို့ကို) ပေးထားရသောကြောင့်တောင်းခံသည့် ငွေပမာဏဖြစ်သည်။ Demand Charge ကို residential နှင့် small commercial customer အတွက် သီးသန့်မဖော်ပြဘဲ Energy Charge ထဲတွင်ပေါင်း၍ တောင်းခံသည်။

Demand charge အကြောင်းကို ပိုမိုရှင်းလင်းစွာနားလည်နိုင်ရန်အောက်ပါ ဥပမာဖြင့် လေ့လာပါ။

စက်ရုံ A	စက်ရုံ B
စက်ရုံ A သည် 20 kW လျှပ်စစ်စွမ်းအင်ကို (၁)နာရီသုံးလျှင် 20 kilowatt hours (kWh) သုံးသည်မည်၏။ ထို့ကြောင့်	စက်ရုံ B သည် 2 kW လျှပ်စစ်စွမ်းအင်ကို (၁၀)နာရီသုံးလျှင် 20 kilowatt hours (kWh) သုံးသည်မည်၏။ ထို့ကြောင့်
Energy consumption = 20 kW x 1 hour = 20 kWh	Energy consumption = 20 kW x 1 hour = 20 kWh
Demand = 20 kW	Demand = 2 kW
အထက်ပါ စက်ရုံ နှစ်ခုသည် energy consumption=20 kWh တူညီကြသော်လည်း demand kW မှာ မတူကြပေ။	
စက်ရုံ A လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခတောင်းခံလွှာတွင်	စက်ရုံ B လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခတောင်းခံလွှာတွင်
Energy Charge = 20 kWh x 1\$ per kWh = 20\$	Energy Charge = 20 kWh x 1\$ per kWh = 20\$
Demand Charge = 20 kW x 5\$ per kW = 100\$	Demand Charge = 2 kW x 5\$ per kW = 10\$
Total Charge= Energy Charge + Demand Charge = 120\$	Total Charge = Energy Charge + Demand Charge = 20\$

အမှန်တကယ် အသုံးပြုသော စွမ်းအင်မှာ kWh အားဖြင့် တူညီသော်ငြားလည်း အသုံးပြုသည် instantaneous maximum kW မှာ မတူကြပေ။ ထို instantaneous maximum kW များများ ပေးနိုင်ရန်အတွက် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား ရောင်းသော company များသည် ငွေများစွာ အကုန်ခံ၍ ရင်နှီးထားရသည်။ ထို့ကြောင့် demand charge အနေနှင့် တောင်းခံခြင်း ဖြစ်သည်။ တစ်လအတွင်း အမြင့်ဆုံးအသုံးပြုသည့် highest demand recorded kW ကို “demand charge” အဖြစ် တောင်းခံသည်။



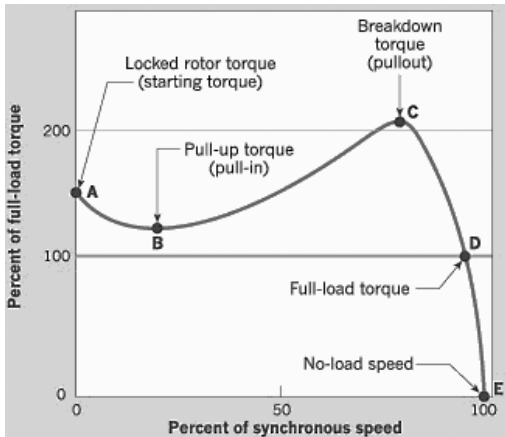
ပုံ ၁၁-၂၂ Current diagram and torque diagram for typical squirrel cage motor

၁၁.၆.၁ Demand Limiter

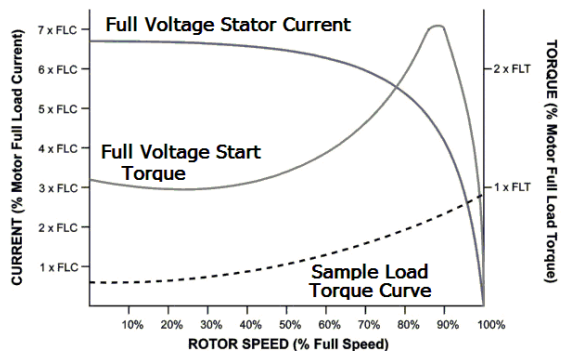
Demand limiter သည် compressor capacity ကို လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ ဥပမာ- စတင်မောင်းသည့် အချိန်(start-up)တွင် current များလာခြင်း မဖြစ်အောင် တားဆီးပေးသည်။ Demand limiter ကို current limiter ဟု၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခ(demand charges) မများအောင်လည်း ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည်။ Chiller control strategy တွင် chiller များ၏ loading ကို control လုပ်ရန် အတွက်လည်း အသုံးပြုသည်။

၁၁.၇ Motor Torque Speed Curves

ပုံ(၁၁-၂၃)တွင် ပြထားသည့် motor torque speed curve မှ Point A | B | C | D နှင့် E တို့ကို ရှင်းလင်းစွာ နားလည်ရန် သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်ပါသည်။ X ဝင်ရိုး (axis)တွင် synchronous speed ကို % ဖြင့် ဖော်ပြထားပြီး Y ဝင်ရိုး (axis)တွင် full load torque (rated torque) ကို % ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ 50 Hz လျှပ်စစ်ဓာတ်အားဖြင့် မောင်းသည် 4 pole မော်တာ ၏ ၁၀၀% synchronous speed မှ တစ်မိနစ်လျှင် အပတ်ရေ(၁၅၀၀) ဖြစ်သည်။ ထိုမော်တာ၏ ၁၀၀% full load torque (rated torque) မှာ မော်တာ၏ မြင်းကောင်ရေအား ပေါ်တွင် မူတည်သည်။



ပုံ ၁၁-၂၃ Motor torque speed curve



ပုံ ၁၁-၂၄ Motor torque speed curve

မော်တာများ၏ pole အရေအတွက်မတူညီကြခြင်းနှင့် နိုင်ငံများ၏လျှပ်စစ်ဓာတ်အား Frequency (Hz) မတူညီကြခြင်း တို့ကြောင့် motor torque speed curves တွင် synchronous speed ကို % ဖြင့်လည်းကောင်း၊ full load torque (rated torque) ကို % ဖြင့်လည်းကောင်း ဖော်ပြရခြင်းဖြစ်သည်။

Point "A" Locked rotor torque သို့ Starting Torque (Startup Torque)

Locked rotor torque ကို starting torque ဟုလည်းခေါ်သည်။ ရပ်နေသည့်အချိန်မှ စမောင်းသည့်အခါ (Speed=0) ရရှိနိုင်သော torque ဟုလည်း မှတ်ယူနိုင်သည်။ မော်တာဒီဇိုင်းကွာလျှင် locked rotor torque သို့မဟုတ်

starting torque လည်းကွာသည်။ Conveyor များတွင်သုံးပြုမည့် မော်တာသည် အလွန်မြင့်မားသော starting torque ရှိရန် လိုအပ်သည်။ ပန်ကာများနှင့် ရေပန်းများတွင် အသုံးပြုသည့် မော်တာများသည် အလွန် မြင့်မားသော starting torque ရှိရန် မလိုအပ်ပါ။ Locked rotor torque သည် full load torque ထက် ၂၀% မှ ၃၀% အထိများလေ့ရှိသည်။

Point “B” Pull-up Torque သို့မဟုတ် Pull-in Torque

Pull-up torque သည် မော်တာတစ်လုံး၏ လိုအပ်သည့် အပတ်ရေသို့ရောက်အောင် အရှိန်ယူနေချိန်တွင် ဖြစ်ပေါ်သော အနိမ့်ဆုံး torque (minimum torque) ဖြစ်သည်။ မော်တာတစ်လုံးသည် စတင် လည်ပတ်ပြီး အရှိန်ယူ နေချိန်တွင် အနည်းဆုံးသော minimum torque ကို ပေးသည်။ Pull-up torque သည် synchronous speed၏ 20% မှ 40% အတွင်း ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။

Point “C” Breakdown Torque သို့မဟုတ် Pull out Torque

Breakdown torque သည် မော်တာတစ်လုံး၏ အမြင့်ဆုံး(maximum) torque ဖြစ်သည်။ Breakdown torque သည် full load torque ထက် (၂)ဆခန့် ပိုများသည်။

Point “D” Full load Torque

Full load torque သည် မော်တာတစ်လုံး၏ actual speed တွင် ရရှိနိုင်သော torque ဖြစ်သည်။ Actual speed သည် မောင်းနှင်သော ထိုမော်တာ၏ ဝန်(load)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Load များလျှင် slip ဖြစ်ပေါ်မှုလည်း များသည်။ ထို့ကြောင့် actual speed နည်းသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် actual speed သည် synchronous speed မှ slip ကို နှုတ်ထားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

Point “E” Synchronous Speed သို့မဟုတ် No Load Speed သို့မဟုတ် Zeor Torque Speed

Synchronous speed သို့မဟုတ် no load speed သည့် load မရှိသည့်ဖြစ်ပေါ်နိုင်သော torque ဖြစ်သည်။ မည်သည့် load နှင့်မျှ ချိတ်ထားခြင်းမရှိသည့်အချိန်(မော်တာကို free မောင်းနှင်သည့်အချိန်) တွင်ဖြစ်ပေါ်သည်။ Speed(rpm) ကို “no load speed” ဟုလည်းခေါ်သည်။

Torque and Horse Power

$$Power (W) = Torque (Nm) \times Angular Speed (Radians per Second)$$

$$Power (W) = Torque (Nm) \times 2 \times 3.14 \times \frac{rpm}{60}$$

၁၁.၈ Safety Controls ၊ Accessories and Options

၁၁.၈.၁ “Starter – Low Supply Line Voltage”

မော်တာ ၏ solid state starter သို့ ပေးထားသည့် AC power line voltage သည် စက္ကန့်(၂၀)ခန့် သတ်မှတ်ထားသည့် voltage ထက် လျော့နည်းနေပါက မော်တာကို ရပ်တန့်စေသည်။ Voltage သည် restart level သို့ ပြန်ရောက်သည့်အခါ chiller မော်တာကို အလိုလျောက်ပြန်မောင်းပေးသည်။

Supply Voltage Range (Volts)	Shutdown (Volts)	Restart (Volts)
380	305	331
400	320	349
415	335	362
440-480	370	400
550-600	460	502
Supply Voltage Range disabled	none	N/A

၁၁.၈.၂ “Starter – High Supply Line Voltage”

မော်တာ ၏ Solid state starter သို့ ပေးထားသည့် AC power line voltage သည် စက္ကန့်(၂၀)ခန့် သတ်မှတ်ထားသည့် voltage ထက် ပိုများနေပါက မော်တာကို ရပ်တန့်စေသည်။ Voltage သည် restart level သို့ ပြန်ရောက်သည့်အခါ chiller မော်တာကို အလိုလျောက်ပြန်မောင်းပေးသည်။

Supply Voltage Range (Volts)	Shutdown (Volts)	Restart (Volts)
380	415	414
400	436	435
415	454	453
440-480	524	523
550-600	655	654
Supply Voltage Range disabled	none	N/A

၁၁.၈.၃ Safety Controls

Chiller များနှင့် refrigeration machine များ ဘေးအန္တရာယ်ဖြစ်နိုင်သည့် အခြေအနေသို့ ရောက်ရှိလျှင် ရပ်တန့်(shutdown)သွားအောင် ပြုလုပ်ရမည်။ အောက်တွင် ရပ်တန့်(shutdown) သွားမည့် အခြေအနေ တချို့ကို ဖော်ပြထားသည်။ ရပ်တန့်(shutdown) ပြီးနောက် ပြန်မောင်းနိုင်ရန်အတွက် manual reset သို့မဟုတ် auto reset လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Manual reset ဆိုသည်မှာ စက်မောင်းသူ(operator) ကိုယ်တိုင်က သွားရောက်၍ reset လုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Auto reset ဆိုသည်မှာ စက်က သူ့အလိုလျောက် reset ပြုလုပ်ခြင်း သို့မဟုတ် အဝေး တစ်နေရာမှ (BAS) reset ပြုလုပ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

Table 11-2

Safety Shutdown (Manual Reset)	Cycling Shutdown (Auto Reset)
Evaporator - Low Pressure	Multi-Unit Cycling - Contacts Open
Condenser - High Pressure	Oil - Low Temperature
Discharge - Low Temperature	Leaving Chilled Liquid - Low Temperature
Discharge - High Temperature	Leaving Chilled Liquid - Flow Switch Open
Oil - High Temperature	Condenser - Flow Switch Open
Oil - Low Differential Pressure	Motor Controller - Contacts Open
Motor Or Starter - Current Imbalance	Starter - Low Supply Line Voltage

ပုံမှန်မဟုတ်သည့် အခြေအနေများ(abnormal conditions) တွင် safety control သည် compressor motor ကို trip ဖြစ်အောင်ပြုလုပ်သည်။ Trip ဖြစ်ပြီးနောက် ပြန်မောင်းနိုင်ရန် မောင်းသူ(operator) ကိုယ်တိုင်က reset လုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် safety control တွင် အောက်ပါအချက်များ ပါဝင်သည်။

- (၁) High refrigerant pressure – cutouts, relief valves
- (၂) Low pressure – suction gas, lubrication
- (၃) High temperature – motors, refrigerant, lubrication
- (၄) Low refrigerant temperature
- (၅) Time delay
- (၆) Low voltage/phase loss/phase reversal
- (၇) High current
- (၈) Evaporator and condenser proof of water flow

Safety shutdowns with a fixed speed drive include:

- (၁) Evaporator – low pressure
- (၂) Evaporator – transducer or leaving liquid probe
- (၃) Evaporator – transducer or temperature sensor
- (၄) Condenser – high pressure contacts open
- (၅) Condenser – high pressure
- (၆) Condenser – pressure transducer out-of-range
- (၇) Auxiliary safety – contacts closed
- (၈) Discharge – high temperature
- (၉) Discharge – low temperature
- (၁၀) Oil – high temperature
- (၁၁) Oil – low differential pressure
- (၁၂) Oil – high differential pressure
- (၁၃) Oil – sump pressure transducer out-of-range
- (၁၄) Oil – differential pressure calibration
- (၁၅) Oil – variable speed pump – pressure setpoint not achieved
- (၁၆) Control panel – power failure
- (၁၇) Motor or starter – current imbalance
- (၁၈) Thrust bearing – proximity probe clearance (K compressors only)
- (၁၉) Thrust bearing – proximity probe out-of-range (K compressors only)
- (၂၀) Thrust bearing – position switch (P, Q & H9 compressors)
- (၂၁) Watchdog – software reboot

Safety shutdowns with a VSD include:

- (၁) VSD shutdown – requesting fault data
- (၂) VSD – stop contacts open
- (၃) VSD – 105% motor current overload
- (၄) VSD – high phase A, B, C inverter heatsink temp.
- (၅) VSD – high converter heatsink temperature

-End-

Contents

၁၁.၁ Chiller Starter..... 1

 ၁၁.၁.၁ Purpose of Starters 1

 ၁၁.၁.၂ Starter နှင့် Drive အမျိုးအစားများ 5

၁၁.၃ Electro-Mechanical Starters..... 5

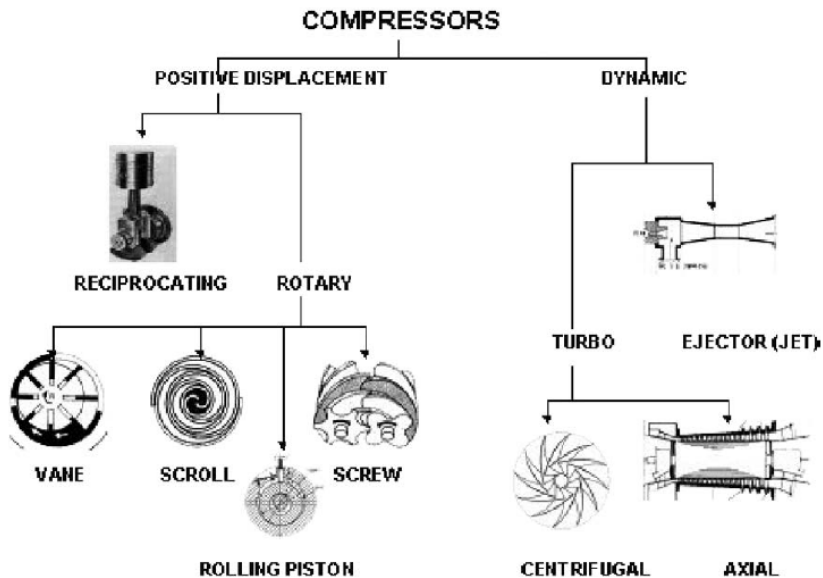
 ၁၁.၃.၁ Across the Line Starter သို့မဟုတ် Direct On Line(DOL) 5

- ၁၁.၃.၂ Star-Delta သို့မဟုတ် Wye-Delta Starter (Closed Transition) 8
- ၁၁.၃.၃ Auto Transformer Starters(ATS)..... 8
- ၁၁.၄ Electronic Solid State Starters..... 8
 - ၁၁.၄.၁ Electronic Solid State Starters Overview 8
 - ၁၁.၄.၂ Electronic Solid State Starters Starting current profile 8
 - ၁၁.၄.၄ Electronic Solid State Starters Benefits..... 8
 - ၁၁.၄.၅ Electronic Solid State Starter Recommendations..... 8
- ၁၁.၅ Variable Speed Drive(VSD)..... 11
 - ၁၁.၅.၁ Variable Speed Drive တပ်ဆင်ရသည့် ရည်ရွယ်ချက်များ 11
 - ၁၁.၅.၂ VSD Starting Profile 11
 - ၁၁.၅.၃ Variable Speed Drive Benefits 11
- ၁၁.၆ Demand Charge..... 16
 - ၁၁.၆.၁ Demand Limiter 16
- ၁၁.၇ Motor Torque Speed Curves 17
- ၁၁.၈ Safety Controls ၊ Accessories and Options 18
 - ၁၁.၈.၁ "Starter – Low Supply Line Voltage" 18
 - ၁၁.၈.၂ "Starter – High Supply Line Voltage" 18
 - ၁၁.၈.၃ Safety Controls..... 18

Chapter-13 Reciprocating Compressors and Chillers

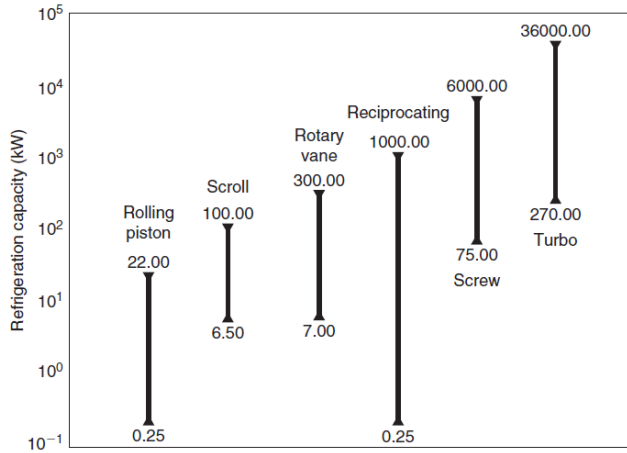
၁၃.၁ Introduction

Vapour compression cycle များတွင် ပါဝင်သည့် compressor များသည် evaporator မှ ထွက်လာသော ဖိအားနိမ့်သည့်(low-pressure) refrigerant အငွေ့(vapor)များကို ဖိအား မြင့်တက်အောင် ဖိသိပ်(compress) ပေးသည်။ ပုံ(၁၃-၁)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း compressor များကို positive displacement နှင့် dynamic ဟူ၍ နှစ်မျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။



ပုံ ၁၃-၁ Compressor အမျိုးအစားများ(types) ခွဲခြားထားပုံ

Positive displacement အမျိုးအစား compressor များသည် ဖိအားနိမ့်သည့်(low-pressure) gas များ၏ ထုထည်(discrete volumes)ကို လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် ဖိအား(pressure) မြင့်တက်စေသည်။ Dynamic အမျိုးအစား compressor များသည် ဖိအားနိမ့်သည့်(low-pressure) gas ၏ အလျင်(velocity)ကို များအောင် ပြုလုပ် ပြီးနောက် လျော့ချခြင်းဖြင့် ဖိအား(pressure)ကို မြင့်တက်စေသည်။



ပုံ ၁၃-၂ Approximate range of capacity covered by various compressor types

ပုံ(၁၃-၂)တွင် compressor အမျိုးမျိုးတို့မှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် refrigeration capacity များကို ဖော်ပြထားသည်။ Reciprocating compressor သို့မဟုတ် piston compressor များသည် နားလည်ရန် အလွယ်ကူဆုံး အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ ၁၉ရာစုနှစ် အလယ်ပိုင်း(middle of the 19th century)လောက်မှ စတင်၍ ပထမဦးဆုံး refrigeration piston compressor ကို စတင် တီထွင်ခဲ့ကြသည်။ ထိုအချိန်က compressor များသည် double acting အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။ ဓာတ်ငွေ့(gas)လုံအောင် မပြုလုပ်နိုင်သောကြောင့် single-acting အမျိုးအစား များကို တီထွင်ခဲ့ကြသည်။



ပုံ ၁၃-၃ Semi-hermetic compressor pack

Reciprocating compressor ဒီဇိုင်းသည် လုံးဝဖွံ့ဖြိုးတိုးတက်ပြီး ဖြစ်သည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။ အသေးစား (small) နှင့် အလတ်စား(medium size) refrigeration system များတွင် reciprocating compressor များကို တွင်ကျယ်စွာ အသုံးပြုကြသည်။ သို့သော် ယနေ့ခေတ်တွင် reciprocating compressor များကို rotary ၊ scroll နှင့် screw compressor များဖြင့် တစ်စတစ်စ အစားထိုးလဲလှယ်မှုများ ပြုလုပ်လာကြသည်။

၁၃.၂ တည်ဆောက်ပုံ(၃)မျိုး

တည်ဆောက်မှု အပေါ်မူတည်၍ သုံးမျိုး ထပ်မံ ခွဲခြားသည်။ (က) hermetic type (ခ) semi-hermetic type နှင့် (ဂ) open type တို့ ဖြစ်သည်။

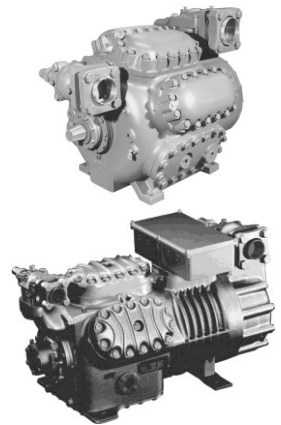
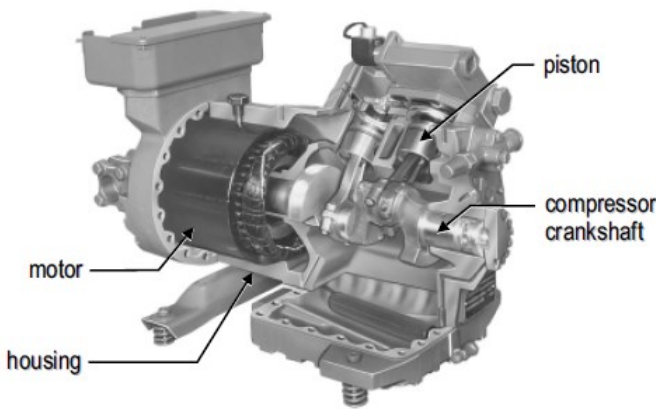
Semi-hermetic reciprocating compressor များကို ပုံ(၁၃-၄)တွင် ဖော်ပြ ထားသည်။ Compressor အခွံ(enclosure)အတွင်း၌ cylinder ၊ pistons ၊ crankshaff ၊ main bearing ၊ oil sump ၊ crank case နှင့် hermetic motor တို့ ရှိနေသည်။ Crankcase သည် reciprocating compressor ၏ အိမ်(housing) ၏ အောက်ခြေတွင် တည်ရှိသည်။ Crankshaft ထားရှိရာ နေရာ၏ အောက်ဖက်ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၃-၄ Semi-hermetic piston compressor

၁၃.၂.၁ Enclosed Motor သို့မဟုတ် Hermetic Compressor

Open-drive compressor ရှိ shaft gland နေရာမှ refrigerant များ ယိုစိမ့်ခြင်း(leakage) မဖြစ်စေရန် အတွက် compressor နှင့် မော်တာ အများစုကို လုံအောင်ပိတ်(enclosed) ထားလေ့ရှိသည်။ Working fluid နှင့် သင့်လျော်သည့်ပစ္စည်းဖြင့် လျှပ်စစ်မော်တာကို တည်ဆောက်ထားသည်။ အားကောင်းသည့်(dielectric strength) ပစ္စည်းဖြင့် လျှပ်စစ် မော်တာကို တည်ဆောက်ထားသည်။



ပုံ ၁၃-၅(က) Semi-hermetic piston compressor အတွင်းပိုင်းပုံ (ခ) Semi-hermetic piston compressors

ပုံ(၁၃-၅)တွင် semi-hermetic သို့မဟုတ် accessible-hermetic compressor ကို ဖော်ပြထားသည်။ Hermetic ၏ အဓိပ္ပာယ်သည် compressor နှင့် မော်တာ တို့ကို အလုံပိတ်ထားသည့် enclosure အတွင်း ထည့်သွင်း တပ်ဆင်ထားသည်ဟု ဆိုလိုသည်။ Semi သို့မဟုတ် accessible ၏ အဓိပ္ပာယ်မှာ အလုံရှိသည့်အခါ ဖွင့်၍ ရအောင် ပြုလုပ်ထားသည်ဟု ဆိုလိုသည်။ သို့သော် ခက်ခဲသည်။ Semi-hermetic compressor များကို accessible hermetic compressor များဟု၍လည်း ခေါ်ဆို လေ့ရှိသည်။ လျှပ်စစ်ဝါယာကြိုးများသည် ceramic သို့မဟုတ် glass seal များကို ဖြတ်၍ မော်တာ အတွင်းပိုင်းသို့ ဝင်ရောက်ရသည်။ ဈေးကွက်တွင် အရွယ်အစား အမျိုးမျိုးကို ဝယ်ယူ ရရှိနိုင်သည်။ Refrigerant မှ အအေးဓာတ်ဖြင့် မော်တာကို အေးစေသောကြောင့် အရွယ်အစား ပိုသေးငယ်အောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Starting switch များကို crankcase အပြင်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် starting switch များမှ မီးပွင့်(spark)များ ဖြစ်ပေါ်ခဲ့လျှင် refrigerant များ နှင့် ထိတွေ့ကာ ဓာတ်ပြိုကွဲခြင်း(decomposition) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

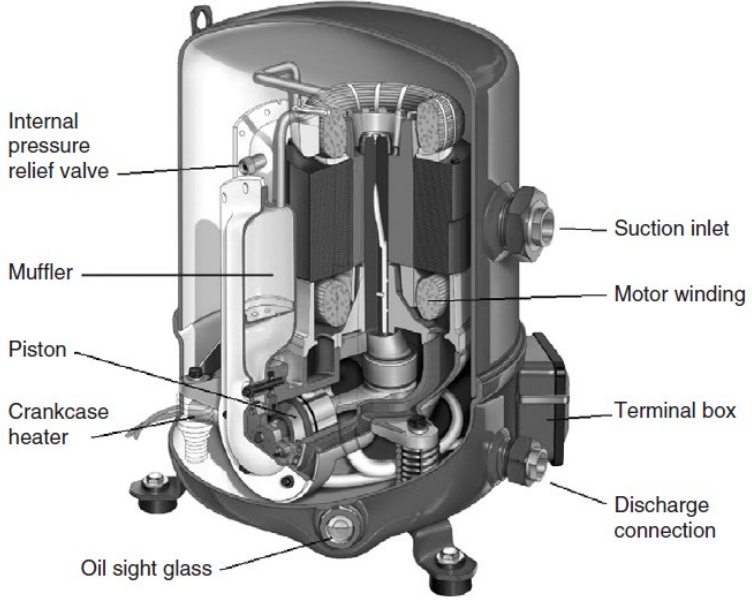
Hermetic အမျိုးအစား(type)တွင် မော်တာကို compressor နှင့်အတူ ဖွင့်၍မရအောင်ပြုလုပ်ထားသည့် အခွံ (enclosure)အတွင်း ထည့်သွင်း တည်ဆောက်ထားသည်။ မော်တာ၏ rotor နှင့် compressor ၏ crank shaft ကို ဖိအားသုံးပြီး ဆက်သည့်နည်း(press fit)ဖြင့် တပ်ဆင်ထားသည်။ တချို့ပုံစံများတွင် မော်တာကို အပေါ်ဘက်တွင် ထား၍ တချို့တွင် compressor ၏ အောက်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။

Compressor body အတွင်း စပရိန် များခံ၍ တပ်ဆင်ထားသဖြင့် တုန်ခါမှုကို လျော့နည်းစေသည်။ Exhaust နှင့် suction line များကို compressor body အတွင်း လှုပ်ရှားမှုဒဏ် ခံနိုင်စေရန် ပြုလုပ်၍ တပ်ဆင်ထားသည်။ လျှပ်စစ်ဝါယာကြိုးအဆက်(connection)နေရာများကို မယိုစိမ့်နိုင်သည့်(leakproof) seal များခံ၍ အခွံ(enclosure)

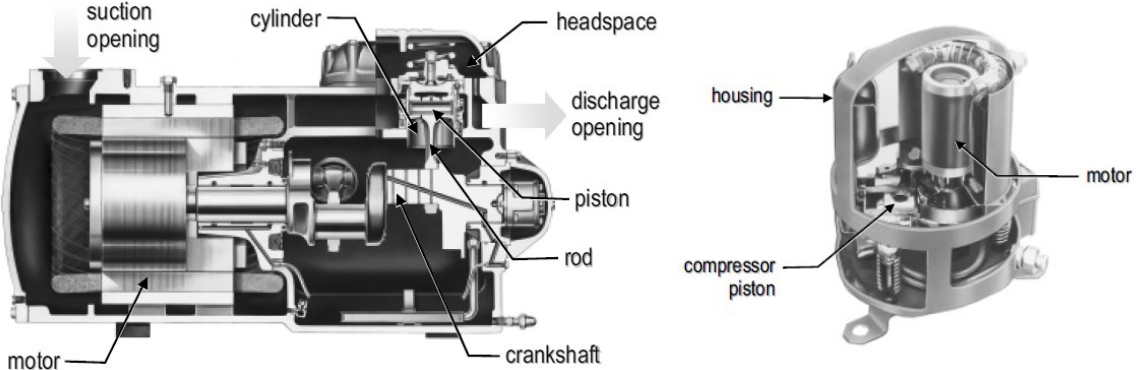
အပြင်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ အခွံ(enclosure)အတွင်း ချောဆီ (oil)များ ထည့်သွင်းထားပြီး crankshaft မှတစ်ဆင့် connecting rod နှင့် piston သို့ ချောဆီများ ပို့ပေးသည်။

Hermetic အမျိုးအစား(type)ကို သေးငယ်သော အိမ်သုံး air conditioning နှင့် refrigerator များတွင် အသုံးများသည်။ ထုတ်လုပ်မှု စာရိတ် နည်းပါးခြင်း၊ အရွယ်အစား သေးငယ်ကျစ်လစ်ခြင်း၊ တပ်ဆင်ရန် လွယ်ကူခြင်း၊ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance) ပြုလုပ်ရန် မလိုအပ်ခြင်း၊ ပျက်စီးလျှင် ပြုပြင်ရန် မလိုဘဲ အစားထိုး လဲလှယ်ရန် လွယ်ကူခြင်း စသည့် အားသာချက်များနှင့် ပြည့်စုံသည်။

Hermetic compressor ကို အသုံးပြုမည်ဆိုပါက မော်တာအပြင်ဘက်တွင် electrical relay starting mechanism တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်ပါသည်။ တချို့ compressor ၏ မော်တာသည် မြန်နှုန်း(speed) နှစ်မျိုးဖြင့် မောင်းနိုင်သည်။ Heat load ပြောင်းလဲမှုများသည့် လုပ်ငန်းများအတွက် မြန်နှုန်း(speed) နှစ်မျိုးဖြင့် မောင်းရန် သင့်လျော်သည်။



ပုံ ၁၃-၆ Hermetic piston compressor



ပုံ ၁၃-၇ Hermetic reciprocating compressor

အရွယ်အစား သေးငယ်သည့် compressor များကို hermetic compressor များအဖြစ် ထုတ်လုပ်ကြသည်။ ပုံ(၁၃-၇)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း hermetic compressor များတွင် မော်တာ နှင့်အတူ အလုပ်လုပ်နေသည့် အစိတ်အပိုင်းများ အားလုံးကို စတီးအခွံ(steel shell) အတွင်း၌ ထည့်သွင်း၍ ပြုလုပ်ထားသည်။ ထို steel shell ကို ဖွင့်၍ ပြုပြင်ခြင်း (repair) နှင့် ထိန်းသိမ်းခြင်း(maintenance) ပြုလုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

Cooling capacity 10kW(2.8RT)အထိ ကြီးမားသည့် အိမ်သုံး ရေခဲသေတ္တာ(refrigerator)များနှင့် freezer များတွင် hermetic compressor များကိုသာ တပ်ဆင်ကြသည်။ Hermetic compressor များသည် semi-hermetic များထက် အရွယ်အစား ပို၍ သေးငယ်ပြီး၊ ပို၍ ပေါ့ပါးသည်။ Two-pole synchronous မော်တာ(motor) များကို အသုံးပြုထားသည်။ Semi-hermetic compressor များတွင် single-phase ၊ four-pole မော်တာများကို အသုံးပြု ထားသည်။

Hermetic compressor တွင် မော်တာကို အတွင်း၌ ထည့်ထားသောကြောင့် မော်တာပျက်သည့်အခါ refrigerant များ ဓာတ်ပြိုကွဲခြင်း၊ system အတွင်း၌ အညစ်အကြေးများ(contamination) ဆိုးဝါးစွာပျံ့နှံ့ခြင်းစသည်တို့ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ မော်တာမပျက်စီးခင် အချိန်မီ ကြိုတင်ကာကွယ်နိုင်ရန်အတွက် ကိရိယာ(motor protection device)များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

၁၃.၂.၂ Semi-Hermetic Type

Compressor နှင့် မော်တာကို တစ်ဆက်တည်းဖြစ်အောင် တည်ဆောက်၍ လေလုံအောင် ပြုလုပ်ထား သော်လည်း လိုအပ်လျှင် ဖြုတ်၍ တပ်၍ ရနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ Open type compressor သည် ဖြုတ်တပ်ရန် လွယ်ကူသော်လည်း crank shaft seal မလုံပါက ဓာတ်ငွေ့ယိုစိမ့်မှုများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ထို့အတူ hermetic type များကို ဖွင့်၍ ပြုပြင်ရန် မလွယ်ကူပေ။ Semi-hermetic အမျိုးအစားများမှာ ထိုအားနည်းချက်များ မရှိဘဲ 1/4 H.P မှ 100 H.P အထိ အသုံးပြုနိုင်သည်။

Compressor များ အေးစေရန်အတွက် compressor နှင့် မော်တာ တို့တွင် cooling fin များ တပ်ဆင် ထားသည်။ ထို့ပြင် compressor အတွင်း ချောဆီ၏ အမြင့်(level)ကို မြင်နိုင်ရန် sight glass ထားရှိပြီး ဆီထည့်ရန် အတွက် oil filling plug တပ်ဆင်ထားသည်။

System များ ရပ်ထားချိန်တွင် တစ်ခါတစ်ရံ evaporator အတွင်းမှ refrigerant အရည်များသည် crankcase အတွင်းသို့ ရောက်ရှိသွားကာ ချောဆီများနှင့် ရောနှောနေတတ်သည်။ ထိုအချိန်၌ ချောဆီ ကျနေသဖြင့် compressor မလည်ပတ်မီ refrigerant အရည်များ ပြန်လည် ခွဲထွက်သွားအောင် ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် ချောဆီနှင့် ရောနေသည့် refrigerant ဖယ်ရှားရန်အတွက် အငွေ့ပျံသွားအောင် အပူပေးမည့် crankcase heater ကို တပ်ဆင်ထားသည်။

၁၃.၂.၃ Open Compressor

Open compressor သည် external drive များဖြင့် မောင်းသည့် compressor ဖြစ်ပြီး ဝင်ရိုး(shaft)သည် crankcase အတွင်းမှ ထွက်လာသည့်နေရာတွင် refrigerant ယိုစိမ့်မှု မဖြစ်စေရန်အတွက် gland သို့မဟုတ် seal များ ပါရှိရန် လိုအပ်သည်။

Air-cooled မော်တာကို prime mover အဖြစ် အသုံးပြု၍ compressor ကို မောင်းခြင်း ဖြစ်သည်။ အမိုးနီးယား(Ammonia)ကို refrigerant အဖြစ်အသုံးပြုလျှင် open-drive compressor ကိုသာ မဖြစ်မနေ အသုံးပြုရသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် လျှပ်စစ်မော်တာ(electric motor)အတွင်းရှိ ကြေးသတ္တု(copper)သည် အမိုးနီးယား(Ammonia)နှင့် ဓာတ်ပြုနိုင်သောကြောင့် hermetic compressor ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

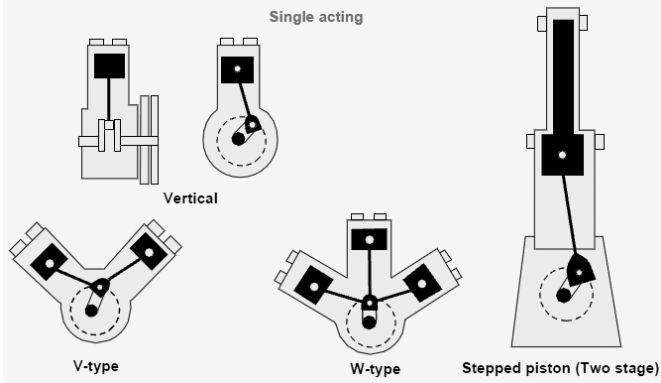
လျှပ်စစ်မော်တာ(electric motor) နှင့် compressor ကို တိုက်ရိုက်ဆက်သွယ်မောင်း(directly coupled) နိုင်သည့် သို့မဟုတ် ဘဲလ်ကြိုးဖြင့်မောင်း(belt driven) နိုင်သည်။ Open-drive compressor များတွင် ပါရှိရမည့် shaft seal ကို လည်နေသည့် carbon ring နှင့် လုံးဝ ပြောင်ချောနေအောင် စက်ဖြင့်ချောထားသည့် သတ္တုကွင်း (highly polished metal facing ring) တို့ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ ထိုနှစ်ခုအကြားကို ချောဆီဖြင့် ကောင်းစွာ ချောမွတ်စေရမည်။ Crankcase အတွင်းရှိ ဖိအား(pressure)ကို ခံနိုင်ရည်ရှိရန် နှင့် ဝင်ရိုး(shaft)၏ အနည်းငယ် ရွေ့လျားနိုင်ရန်အတွက် carbon ring ကို စပရိန်(spring)ဖြင့် ထောက်ကန်ထားပေးသည်။

Open type တွင် compressor ကို သီးခြား တည်ဆောက်၍ အင်ဂျင် သို့မဟုတ် မော်တာ စသော ပြင်ပမှ စွမ်းအားဖြင့် မောင်းပေးသည်။ Compressor ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို လိုအပ်သလို ပြောင်းလဲနိုင်သဖြင့် အရွယ်အစား ကြီးမားသော plant များတွင် အသုံးပြုကြသည်။ Compressor ကို သီးခြား တည်ဆောက်ထားသောကြောင့် ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းရန် လွယ်ကူသည်။ သို့သော် crank shaft seal မလုံပါက အတွင်းမှ ဓာတ်ငွေ့များအပြင်သို့ စိမ့်ထွက်ပြီး refrigerant ဆုံးရှုံးမှုများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

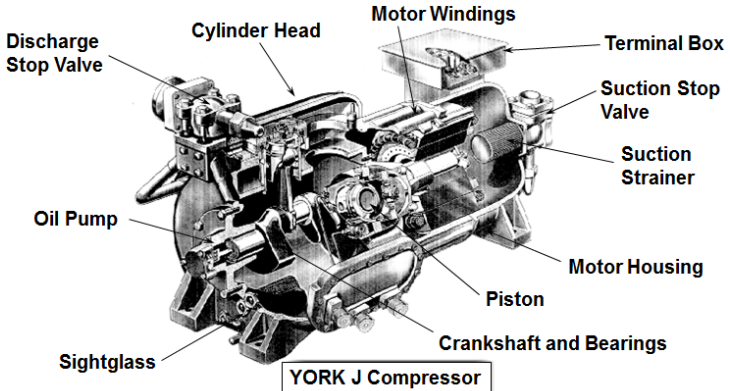
၁၃.၃ Reciprocating Refrigeration System Components and Accessories

၁၃.၃.၁ Cylinder and Cylinder Arrangement

Compressor များတွင် အသုံးပြုသော ဆလင်ဒါများကို အများအားဖြင့် cast iron ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ တချို့ဆလင်ဒါများကို သံရည်ကျိုစဉ်က နီကယ်(nickel) အနည်းငယ်ထည့်၍ သွန်းလောင်းကြသည်။ သေးငယ်သော compressor များတွင် ဆလင်ဒါပတ်လည်၌ fin များ တပ်ထားပြီး လေဖြင့် အေးစေသည်။ ကြီးမားသော compressor များတွင် ဆလင်ဒါပတ်ပတ်လည်၌ water jacket များ ပြုလုပ်၍ compressor ကို ရေဖြင့် အေးစေသည်။ တချို့ compressor များတွင် လိုင်နာ(liner) သို့မဟုတ် sleeve များ တပ်ဆင်ထားသဖြင့် ပွန်းစားမှု ဖြစ်ပေါ်ပါက ဖြုတ်၍ လဲလှယ် နိုင်သည်။



ပုံ ၁၃-၈ Single acting reciprocating air compressors



ပုံ ၁၃-၁၀ Reciprocating compressor (York J compressor)

Crank case သည် ဆလင်ဒါနှင့်အတူ ပုံသွန်းလောင်းထားသည့် အစိတ်အပိုင်းဖြစ်သည်။ ဆက်ထားသည့် နေရာတွင် ဓာတ်ငွေ့ ယိုစိမ့်နိုင်သည်။ Crank shaft main bearing နှင့် cylinder တို့မှာ alignment တည့်ရန် လိုသည်။ Main bearing များသည် ball type များဖြစ်ကြသည်။

Hermetic compressor များတွင် cast iron ဆလင်ဒါများကို အသုံးပြုသည်။ အလျှူမီနီယံ သို့မဟုတ် တခြားသတ္တုများနှင့် ရောနှော၍ ပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။ Bolted type hermetic compressor ဖြစ်ပါက ပြုပြင်ရန်အတွက် အလွယ်တကူ ဖြုတ်နိုင်၊ တပ်နိုင်သည်။

၁၃.၃.၂ Arrangement

Compressor အများစုကို တစ်လုံးထက် ပိုများသည့် ဆလင်ဒါများဖြင့် တည်ဆောက်ထားကြသည်။ ထို့ကြောင့် crank shaft နှင့် ဆလင်ဒါများကို ကျစ်လစ်(compact)အောင် စီမံ တည်ဆောက်ထားသည်။

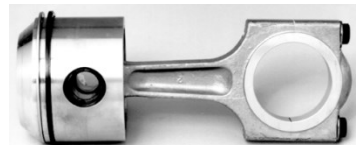
၁၃.၃.၃ Piston and Piston Ring

ပြင်ပမှ မော်တာ သို့မဟုတ် အင်ဂျင်ဖြင့် မောင်းသည့်(external drive) compressor များတွင် အသုံးပြုသော ပင်စတင်များကို cast iron ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ သေးငယ်ပြီး မြန်နှုန်းမြင့်မားသော hermetic compressor များကို Die-Cast aluminum ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ သေးငယ်သော ပင်စတင်များတွင် piston ring များ မပါရှိပေ။

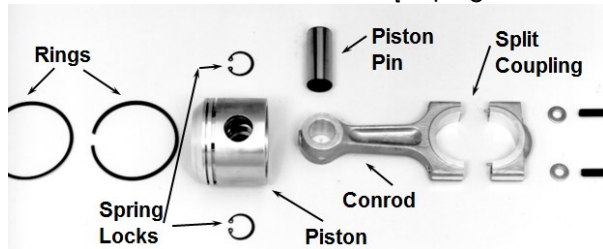
မောင်းနေချိန်တွင် ပင်စတင်၏ အပူချိန်သည် 250°F(121°C)ခန့် ဖြစ်နိုင်သည်။ ထိုအပူချိန်၌ ပင်စတင် သို့မဟုတ် ဆလင်ဒါသည် ကျယ်ပြန့်ခြင်း မဖြစ်နိုင်ပေ။ သို့သော် ဆလင်ဒါအချင်း တစ်လက်မ(1") ရှိတိုင်း ဆလင်ဒါနှင့် ပင်စတင်အကြား နေရာလွတ်(clearance) အကျယ်သည် 0.0002 inch(0.0051 mm)ခန့် ဖြစ်သည်။



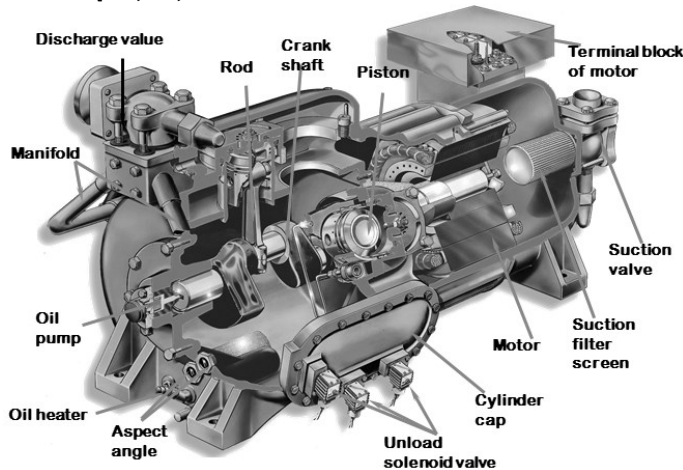
ပုံ ၁၃-၁၁ Connecting rod



ပုံ ၁၃-၁၂ Connecting rod and piston



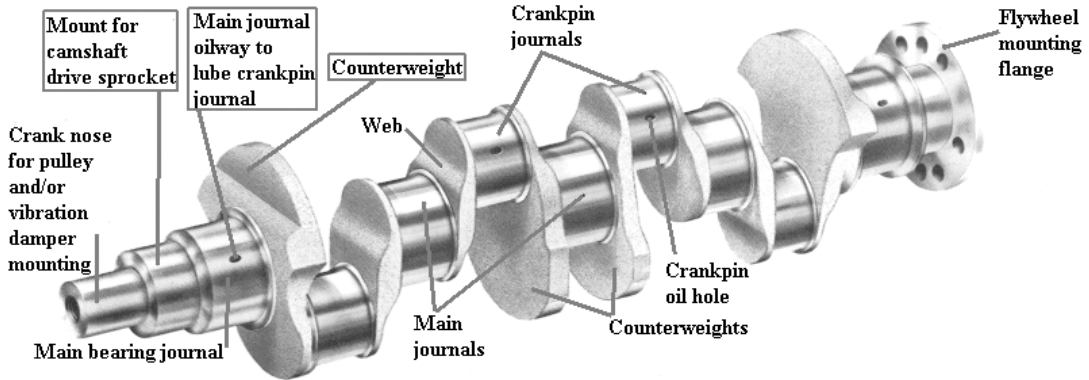
ပုံ ၁၃-၁၃ Connecting rod and piston assembly



ပုံ ၁၃-၁၄ Reciprocating compressor

ပင်စတင်အသေးများတွင် ချောဆီများ လည်ပတ်ရန် ဆီလှိုင်းများ ထွင်းထားသည်။ လုပ်ငန်းသုံး(commercial) ပင်စတင်များတွင် ပင်စတင်ကွင်း(piston ring)များ တပ်ဆင်ထားသည်။ Piston ring နှစ်မျိုး ရှိသည်။ အပေါ်ဘက်ရှိ ကွင်း(ring)သည် "compression ring" ဖြစ်ပြီး အောက်ဘက်ရှိကွင်း(ring)သည် ချောဆီများကို ခြစ်ချသော "oil ring" ဖြစ်သည်။ Piston ring များကို cast iron ဖြင့် ပြုလုပ်ပြီး တချို့တွင် ကြေး(bronze)ကို အသုံးပြုသည်။ ပင်စတင်ကွင်း (piston ring)များကို မြောင်းများ အတွင်း အဝင်ခွင်ကျ ထည့်ထားပြီး ပင်စတင်အချင်း တစ်လက်မ ရှိတိုင်း ring gap သည် 0.001 inch (0.0254 mm) ရှိရမည်။

Piston pin သည် ခေါင်းပွ ကာဗွန်စတီး(carbon steel) ဖြစ်သည်။ Connecting bushing နှင့် piston bushing ကြားတွင် လွတ်လပ်စွာ လှုပ်ရှားနိုင်သည်။



ပုံ ၁၃-၁၅ Crank shaft



ပင်စတင် ဒီဇိုင်းသည် ဆလင်ဒါ အပေါ်ဘက် (head) နှင့် ထိတွေ့ရန် မလိုဘဲ stroke ထိပ်ဆုံးတွင် 0.01 inch မှ 0.020 inch (0.254 mm မှ 0.508 mm အတွင်း) ခန့်အကြား လွတ်နေသည့်နေရာ ရှိသည်။ ထိုနေရာကို "clearance space" သို့မဟုတ် "clearance volume" ဟု ခေါ်သည်။

ဆလင်ဒါအပေါ်ဘက်(head)တွင် valve plate တပ်ဆင်ထားသည်။ Plate တွင် intake နှင့် exhaust valve နှစ်ခုစလုံးကို bolt များဖြင့် တပ်ဆင် ထားသည်။

ပုံ ၁၃-၁၆ Crank shaft ၊ connecting rod ၊ cylinder ၊ piston နှင့် piston pin

၁၃.၃.၄ Cylinder Block and Piston

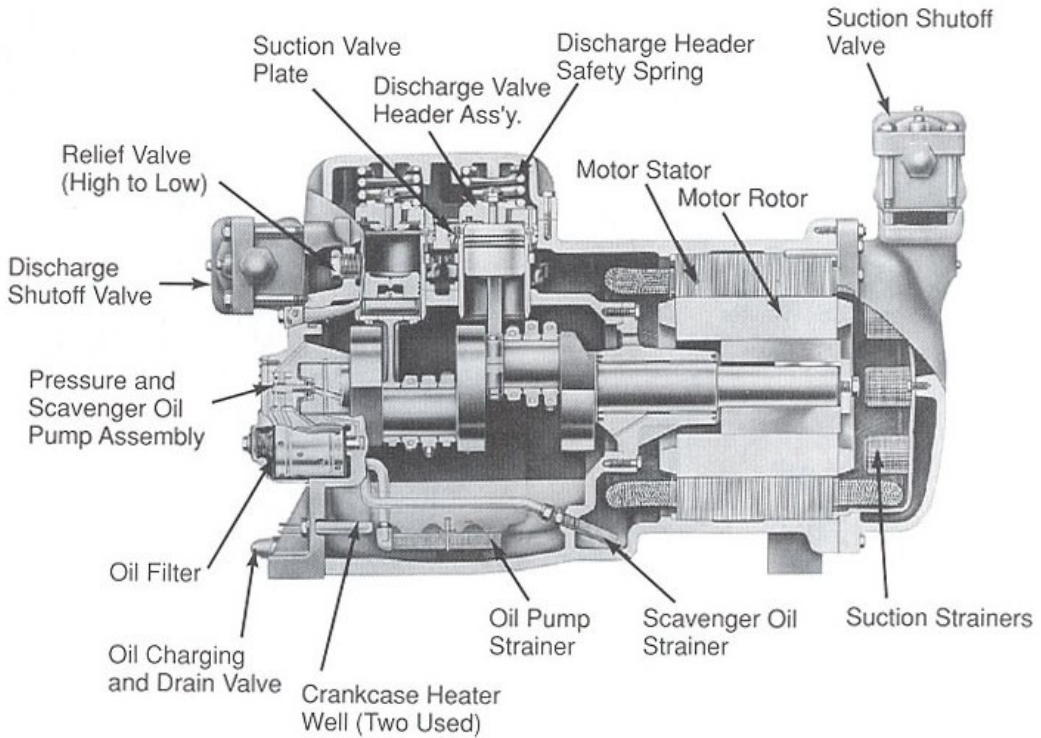
Compressor အများစုတွင် cylinder block ကို crank case နှင့်တွဲလျက် တစ်ခုတည်းဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ကြသည်။ Crank case နှင့် cylinder block ကို အဆင့်မြင့်(high grade) cast iron ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ အလတ်စား (medium) နှင့် အကြီးစား reciprocating compressor များ၏ crankcase အတွင်း၌ cylinder liner သို့မဟုတ် sleeve များ ထည့်၍ ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် ပွန်းပဲ့သွားသည့်အခါ အသစ်လဲလှယ်နိုင်သည်။ Cylinder liner သို့မဟုတ် sleeve ကို လဲလှယ်သည့် ကုန်ကျစရိတ်သည် cylinder block တစ်ခုလုံး လဲလှယ်သည့် စရိတ်ထက် နည်းသည်။

ပင်စတင်(piston)များကို aluminium ၊ aluminum alloy သို့မဟုတ် cast iron တို့ဖြင့် ပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။ Aluminum piston များတွင် ဆလင်ဒါအတွင်းမှ refrigerant vapor များ ယိုစိမ့်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်နှင့် ချောဆီများ(lubricating oil) ဆလင်ဒါ အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်အတွက် piston ring ပါရှိရန် လိုအပ်သည်။ Cast iron piston များ၏ running clearance သည် 0.0004 in/in (cm/cm) ဖြစ်လျှင် oil ring မလိုအပ်ဘဲ ကောင်းစွာ seal ဖြစ်နိုင်သည်။

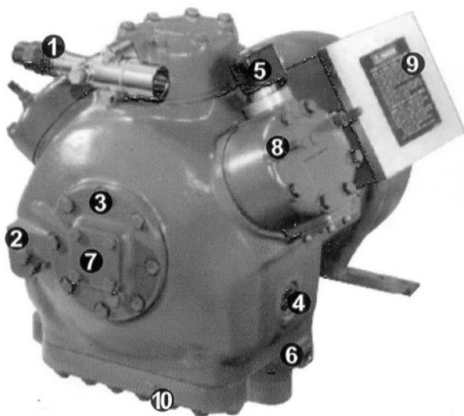
၁၃.၃.၅ Connection Rods

ပုံ(၁၃-၁၅)တွင် ဖော်ပြထားသည့် အတိုင်း connecting rod သည် piston နှင့် crank shaft ကို ဆက်သွယ်ထားသည်။ စတီး(steel)ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ Crankshaft journal တွင် connecting rod ကို တပ်ဆင်

ထားသည်။ Bearing clearance သည် 0.001 inch (0.0254 mm)ခန့် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် connecting bolt များ တင်းကြပ်မှု မှန်ကန်ရန် အရေးကြီးသည်။ Eccentric အမျိုးအစား connecting rod များ၏ ဘယ်ရင်မျက်နှာပြင် (bearing surface)သည် cast iron ဖြစ်သည်။ Piston နှင့် connecting rod ကို ကြီးမားသော piston pin နှင့် ချုပ်ထားသည်။ Pin ကို မထွက်သွားစေရန် spring နှင့် locking pin ကို အသုံးပြုထားသည်။



ပုံ ၁၃-၁၇ စီးပွားရေးလုပ်ငန်းသုံး (commercial) hermetic reciprocating compressor တစ်လုံး၏အစိတ်အပိုင်းများ



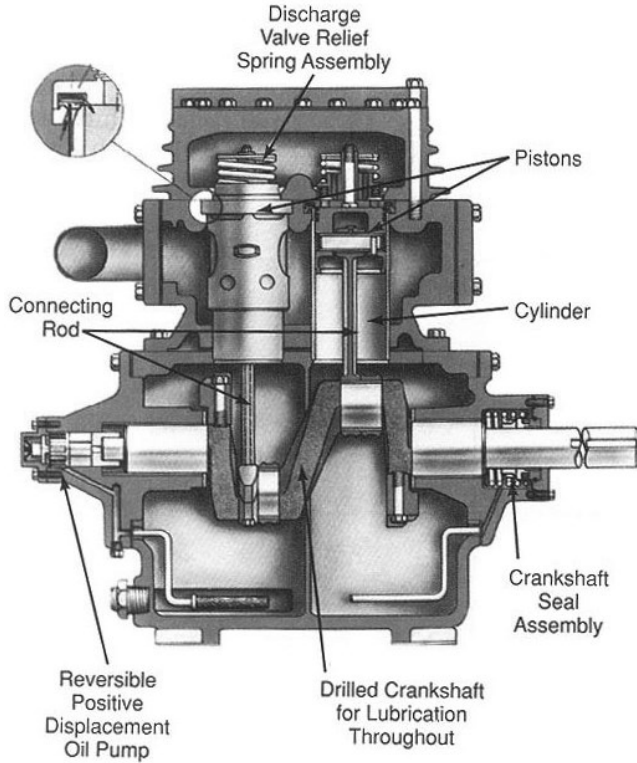
1. Valve for displacement
2. 1/4"NPT refueling 210/low pressure switch connection with adding oil connection
3. 1/4 "NPT 1/4 "NPT connection to oil pressure switch side
4. The oil glass
5. Energy-regulating coil
6. The crankcase heater inserts
7. High flow pump
8. The cooling fan with fixed screw
9. Electrical junction box
10. Displacement oil

ပုံ ၁၃-၁၈ Semi-hermetic reciprocating compressor

Open drive နှင့် hermetic compressor နှစ်ခုစလုံး၏ head များကို cast iron ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ Head တွင် plate ပြား တပ်ဆင်ရန် နေရာ ပါရှိသည်။ Vapour အဝင်၊ အထွက် လမ်းကြောင်းများ ပါရှိသည်။ ဖိအား 300 psi (2170 Kpa) ထိ ရောက် အောင် ဖိသိပ် (compression) နိုင်သည်။ ဓာတ်ငွေ့ ယိုစိမ့်မှုများ မဖြစ်ပေါ် စေရန် valve plate ၏ တစ်ဖက် တစ်ချက်တွင် gasket များ တပ်ဆင် ထားသည်။

ဆလင်ဒါဟက်(cylinder head)ကို ဆလင်ဒါ ပေါ်တွင် cap screw များဖြင့် ဖိတွဲ ထား သည်။ Commercial multi-cylinder reciprocating hermetic compressor ဖြတ်ပိုင်းပုံ တစ်ခုကို ပုံ(၁၃-၁၇)နှင့် (၁၃-၁၄)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

၁၃.၃.၆ Valves and Valve Plates



Valve assembly တွင် valve ၊ intake valve ၊ exhaust valve နှင့် valve retainer များ ပါဝင်သည်။ Valve plate ကို တစ်ခါတစ်ရံ cast-iron ဖြင့် ပြုလုပ်သည်။ Valve seat များ ကို high carbon alloy steel ဖြင့် ပြုလုပ် သည်။ Inlet valve ကို compressor head နှင့် valve-plate ကြားတွင် သေးငယ် သော pin များဖြင့် ချုပ်ဖမ်း ထားသည်။

Valve အပြား၏ မျက်နှာပြင်သည် လုံးဝ ညီနေ ရမည်။ 0001 inch (0.00254mm)ခန့် ကောက် နေပါက valve မလှံဘဲ ယိုစိမ့်မှုများ ဖြစ်ပေါ် နိုင်သည်။ Valve နှစ်ခုအနက် intake valve ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် ပြဿနာ နည်းသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အေးသော refrigerant အငွေ့ များသည် ချောဆီများနှင့်အတူ လှည့်ပတ် နေကာ အမြဲတမ်း ချောဆီ ရရှိ သော ကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထို့အပြင် နိမ့်သည့် အပူချိန်တွင် အလုပ် လုပ်သော ကြောင့်လည်း ဖြစ်သည်။

ပုံ ၁၃-၁၉ ဆလင်ဒါ နှစ်လုံး ပါသည့် open type reciprocating compressor တစ်လုံးကို ဖြတ်ထားသည့်ပုံ ဖြစ်သည်။ ပြင်ပမှ မော်တာ သို့မဟုတ် အင်ဂျင်ဖြင့် မောင်းသည်။

၁၃.၃.၇ Crankshaft

Reciprocating compressor များသည် မော်တာ၏ လည်ပတ်မှုကြောင့် ဆလင်ဒါ အတွင်း၌ ပင်စတင်သည် ရှေ့တိုး နောက်ဆုတ် လှုပ်ရှားမှု ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ Crank shaft များသည် forged သို့မဟုတ် cast steel များ ဖြစ်ကြသည်။ ဖြစ်ပေါ် လာမည့် တုန်ခါမှုများကို connecting rod cap များနှင့် bolt များဖြင့် လျော့နည်းသွားစေသည်။

Crank shaft main bearing များသည် crank shaft ကို ပင့်ထားသည်။ Crank shaft နှင့် connecting bearing များကို တိကျစွာ တပ်ဆင်ထားသည်။ ထိုနှစ်ခုအကြားလွတ်နေသည့်နေရာသည် 0.001 inch (0.0254 mm) ခန့် ဖြစ်သည်။ External drive compressor များတွင် တပ်ဆင်ထားသော ပူလီများကို taper ပြုလုပ်၍ လည်းကောင်း၊ key ဖြင့် လည်းကောင်း၊ nut-lock washer ဖြင့် လည်းကောင်း တပ်ဆင်ထားသည်။

၁၃.၃.၈ Crank Shaft Seal

Open type compressor များကို ပြင်ပမှ မော်တာ သို့မဟုတ် အင်ဂျင်ဖြင့် မောင်းနှင်သည်။ ထိုအခါ compressor crank case မှ crank shaft သည် အပြင်သို့ ထွက်နေသဖြင့် ထိုနေရာမှ refrigerant များ မယိုစိမ့်အောင် (leak proof ဖြစ်အောင်) ပြုလုပ်ထားရန် လိုအပ်သည်။ သို့မှသာ crank case အတွင်း အမှန်တကယ် လိုအပ်သော ဖိအား ရရှိနိုင်လိမ့်မည်။

Shaft seal ကို လည်ပတ်နေသည့် ဝင်ရိုး(shaft)ပေါ်တွင် တပ်ဆင်ထားရသောကြောင့် အထူးသတိပြုရန် လိုအပ်သည်။ Seal အားလုံးတွင် ပွတ်တိုက်နေသည့် မျက်နှာပြင်(rubbing surface) နှစ်ခု ပါရှိသည်။ မျက်နှာပြင် (surface) တစ်ခုမှာ synthetic material ဖြင့် ပြုလုပ်သော 'O' ring ဖြစ်သည်။ လည်ပတ်နေသော crank shaft မျက်နှာပြင်နှင့် ထိတွေ့နေသည်။ တခြား မျက်နှာပြင်(surface)တစ်ခုမှာ တည်ငြိမ်နေပြီး leak proof gasket ခံကာ housing ပေါ်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ မျက်နှာပြင်နှစ်ခုကို တွဲ၍ ပြုလုပ်ထားသည်။ မာကြောသည့် မျက်နှာပြင်ကို steel ၊ bronze ၊ ceramics သို့မဟုတ် carbon တို့ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။

၁၃.၃.၉ Suction and Discharge Valves

Evaporator မှ ထွက်လာပြီး compressor အဝင်အထိ ဆက်သွယ်ထားသည့် ပိုက်ကို "suction line" ဟုခေါ်သည်။ Reciprocating compressor မှ ထွက်လာပြီး condenser အဝင်အထိ ဆက်သွယ်ထားသည့် ပိုက်ကို "discharge line" သို့မဟုတ် "hot-gas line" ဟုခေါ်သည်။

Refrigerant vapor များ ဆလင်ဒါအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာအောင် suction valve က control လုပ်သည်။ Refrigerant vapor များ ဆလင်ဒါအတွင်းမှ ထွက်သွားအောင် discharge valve control လုပ်သည်။ Suction valve နှင့် discharge valve များကို high carbon-alloy steel သို့မဟုတ် stainless steel ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။

လွတ်လပ်စွာ လှုပ်ရှားနေသည့်(free floating) reed valve များ သို့မဟုတ် ထိပ်တစ်ဖက်တွင် clamp လုပ်ထားသည့် reed valve များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Discharge pressure ကြောင့် reed valve ကို ပိတ်စေသည်။ သေးငယ်သည့် valve port များဖြင့်သာ reed valve များကို သုံးနိုင်သည်။ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss) လျော့နည်းစေရန် အတွက် လုံလောက်အောင် ကျယ်သည့် ဧရိယာရှိရန် လိုအပ်သည်။ Suction နှင့် discharge ဖြစ်ချိန်တွင် valve သည် 0.01" (0.25 mm) ဖွင့်နိုင်သည်။ HCFC-22 ကို အသုံးပြုလျှင် valve ကို ဖြတ်သွားနေစဉ် gas အလျင် (velocity)သည် အမြင့်ဆုံး 150 ft/s (45 m/s)အထိ ဖြစ်နိုင်သည်။

၁၃.၃.၁၀ Crankcase Heater

Reciprocating compressor များကို အဆောက်အအုံ ပြင်ပတွင် တပ်ဆင်ထားလျှင် ရပ်နားထားသည့်အခါ အဆောက်အအုံ အတွင်းရှိ evaporator မှ refrigerant များသည် compressor ဆီသို့ ရောက်သွားလိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အဆောက်အအုံအတွင်းရှိ evaporator မှ refrigerant ၏ ဖိအားသည် အဆောက်အအုံ ပြင်ပ၌ ရှိသော compressor အတွင်းရှိ ဖိအားထက် ပိုမြင့်နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် crankcase အတွင်းရှိ ချောဆီ(oil)၏ စေးပျစ်မှု ကျဆင်းသွားသည်။ ထိုအချိန်၌ compressor ကို စတင်မောင်းလိုက်လျှင် crankcase အတွင်း၌ ချောဆီ မလုံလောက်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ချောဆီကျနေသောကြောင့် ချောမွတ်မှု မလုံလောက်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

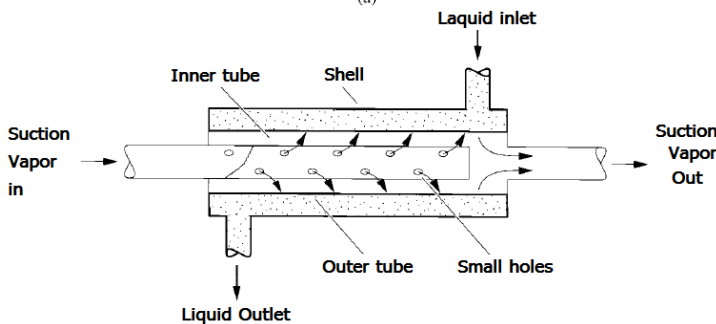
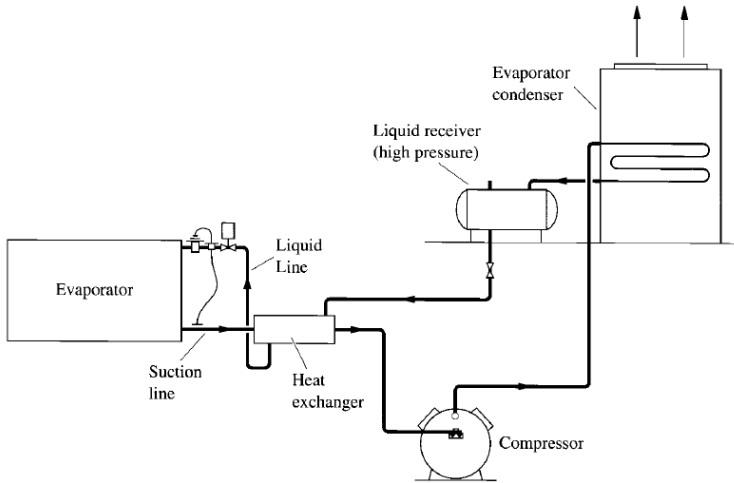
အလတ်စားနှင့် အကြီးစား reciprocating compressor များတွင် ချောဆီ(oil) အပူချိန်ကို 15°F (8.3°C) မှ 25°F(13.9°C)အတွင်း၌ ထိန်းထားရန်အတွက် crank case heater ကို crankcase အတွင်း၌ တပ်ဆင်ထားသည်။

၁၃.၃.၁၁ Liquid Receiver

ရပ်နား(shutdown)ထားစဉ် refrigerant များ အားလုံးကို condenser အတွင်း၌ သိမ်းဆည်းထားရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် refrigerant များကို သိုလှောင် သိမ်းဆည်းထားရန်အတွက် ဖိအားမြင့်သည့်ဘက်(high pressure side)တွင် liquid receiver တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ သို့သော် shell and tube အမျိုးအစား condenser များတွင် shell အတွင်း၌ refrigerant များကို သိမ်းဆည်းထားနိုင်သောကြောင့် liquid receiver မလိုအပ်ပေ။ Evaporative condenser ကို အသုံးပြုလျှင် အသေးစား liquid receiver တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။

Through-type receiver နှင့် surge-type receiver ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ Through receiver များတွင် receiver အတွင်းရှိ ဖိအား(pressure)သည် condenser outlet ထက် ပိုနိမ့်သောကြောင့် condenser မှ liquid refrigerant များသည် receiver ဆီသို့ စီးဝင်သည်။ Surge type receiver များတွင် condenser မှ liquid

refrigerant များသည် expansion valve ဆီသို့ တိုက်ရိုက် စီးဝင်သည်။ ထိုအချိန်၌ subcooled အပူချိန် (temperature) ဖြစ်နေသည်။ ASHRAE Handbook 1998 တွင် အသေးစိတ် လေ့လာနိုင်သည်။



ပုံ ၁၃-၂၀ Liquid suction heat exchanger (a) schematic diagram (b) heat exchanger

Liquid receiver များသည် steel ပြားဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် ဆလင်ဒရီပုံသဏ္ဍာန် သိုလှောင်ကန်(cylindrical tank) များ ဖြစ်သည်။ Receiver ၏ အပေါ်ဘက်တွင် condenser ၏ liquid line နှင့် ဆက်ထားသည်။ Vent pipe ကို fusible plug နှင့်တွဲ၍ တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် အပူချိန်မြင့်မားသည့်အခါ receiver ပေါက်ကွဲခြင်းမှ ကာကွယ်နိုင်သည်။

ရပ်နား(shutdown)ထားစဉ် receiver အတွင်း၌ ၈၀% ပြည့်သည့်ထိအောင် refrigerant များကို charge လုပ်လေ့ ရှိသည်။ ကျန်သည့် ၂၀% ကို ကျယ်ပြန့်ခြင်း(expansion) ဖြစ်ရန်အတွက် နေရာချန်ထားပေး ရသည်။

Through type receiver များကို refrigerant များ သိုလှောင်သိမ်းဆည်းရန်နှင့် ကျယ်ပြန့်ခြင်း (expansion) ဖြစ်ရန်အတွက် ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် အတွင်း၌ saturation pressure ဖြစ်ပေါ်သည်။ Through type liquid receiver များတွင် subcooling မဖြစ်ပေါ်ပေ။ Subcool temperature ရရှိလိုလျှင် subcooling coil သို့မဟုတ် surge-type receiver ကို အသုံးပြုရမည်။ Surge-type receiver တွင် subcooling liquid သည် refrigerant vapor နှင့် မထိသောကြောင့် liquid refrigerant သည် စီးဆင်းသွားသည့်တိုင်အောင် subcooling အဖြစ်သာ ရှိနေမြဲဖြစ်သည်။

၁၃.၃.၁၂ Liquid Suction Heat Exchanger (LSHE)

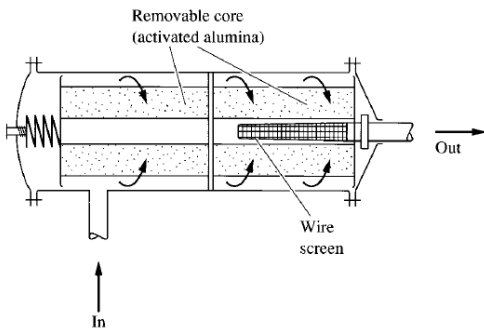
Liquid Suction Heat Exchanger(LSHE) ကို suction လိုင်း နှင့် liquid လိုင်းနှစ်ခု အကြားတွင် ခွ၍ တပ်ဆင်ထားသည်။ HFC-134a ကို အသုံးပြုလျှင် compressor မှ ထွက်လာသည့် refrigerant အငွေ့၏ အပူချိန် အလွန်မြင့်သောကြောင့် HFC-134a ၊ ချောဆီ(lubricating oil) နှင့် discharge valve တို့ကို ထိခိုက်ပျက်စီးမှု မဖြစ်ရန်

အတွက် LSHE ကို တပ်ဆင်ခြင်း ဖြစ်သည်။ အမိုးနီးယား(ammonia) နှင့် HCFC-22 တို့ကို အသုံးပြုလျှင် LSHE တပ်ဆင်ထားရန် မလိုအပ်ပေ။

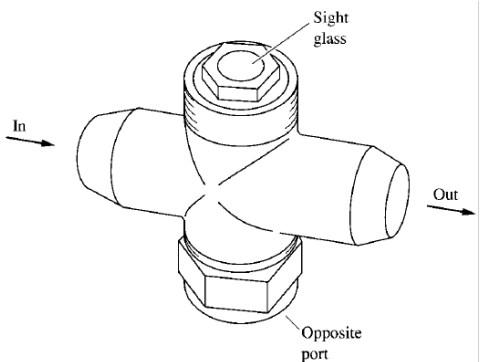
LSHE တပ်ဆင်ရသည့် ရည်ရွယ်ချက်များမှာ-

- (က) Liquid refrigerant ကို subcool temperature ထက်နိမ့်အောင် ပြုလုပ်ပေးခြင်းဖြင့် refrigeration effect ပိုများစေရန်
- (ခ) Suction line တွင် refrigerant အရည် ဆူပွက်(boil) စေရန်၊ reciprocating compressor အတွင်းသို့ refrigerant များ အရည်အနေဖြင့် ဝင်ရောက်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်
- (ဂ) Liquid line တွင် flash gas များ လျော့နည်းစေရန် နှင့် thermostic expansion valve ၏ capacity အများဆုံး ရရှိရန် တို့ဖြစ်သည်။

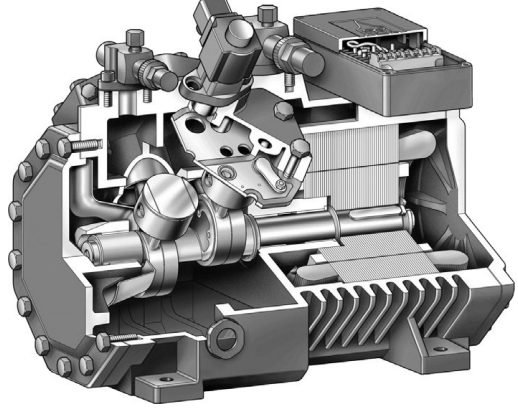
LSHE များကို shell and coil ၊ shell and tube နှင့် tube in tube အမျိုးအစား heat exchanger များဖြင့် တည်ဆောက်နိုင်သည်။ ပုံ(၁၃-၂၀)တွင် shell and tube heat exchanger ကို ဖော်ပြထားသည်။ Hot liquid များသည် shell အတွင်းမှ ဖြတ်၍ စီးဆင်းသည်။ အေးနေသည့် suction vapor များသည် tube များအတွင်းမှ high velocity ဖြင့် စီးဆင်းသွားသည်။ Liquid refrigerant ၏ subcooled အပူချိန်သည် 7°F(3.9°C)မှ 15°F(8.3°C) အတွင်းဖြစ်သည်။ Cold vapor မှ အပူ(heat)များကို စုပ်ယူသွားသည်။ Heat exchanger ကို ဖြတ်၍ စီးဆင်းသောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော suction vapor ၏ ဖိအား ကျဆင်းမှုသည် 2 psi ထက် မပိုသင့်ပေ။



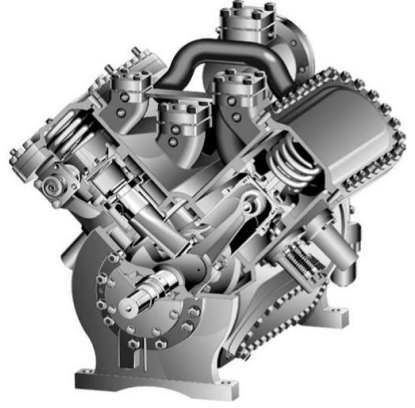
ပုံ ၁၃-၂၀ (a) Filter dryer



ပုံ ၁၃-၂၀ (b) Sight glass



ပုံ ၁၃-၂၂ Cut away view of small commercial four-cylinder compressor

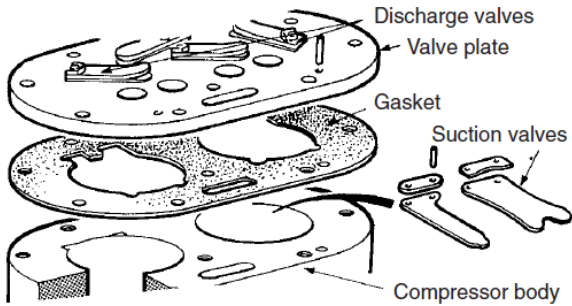


ပုံ ၁၃-၂၃ An internal view of V-type six-cylinder reciprocating compressor

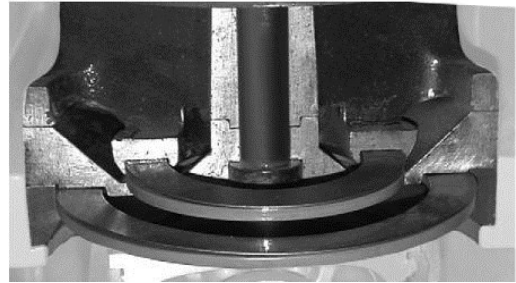
၁၃.၃.၁၃ Filter Dryer and Strainer

Refrigerant အတွင်း၌ ရေငွေ့(moisture)များ ပါရှိခဲ့သော် expansion valve အတွင်း၌ ရေခဲ(freeze) သွားလိမ့်မည်။ Low temperature system များတွင် ပို၍ အဖြစ်များနိုင်သည်။ Expansion valve ကောင်းစွာ အလုပ်

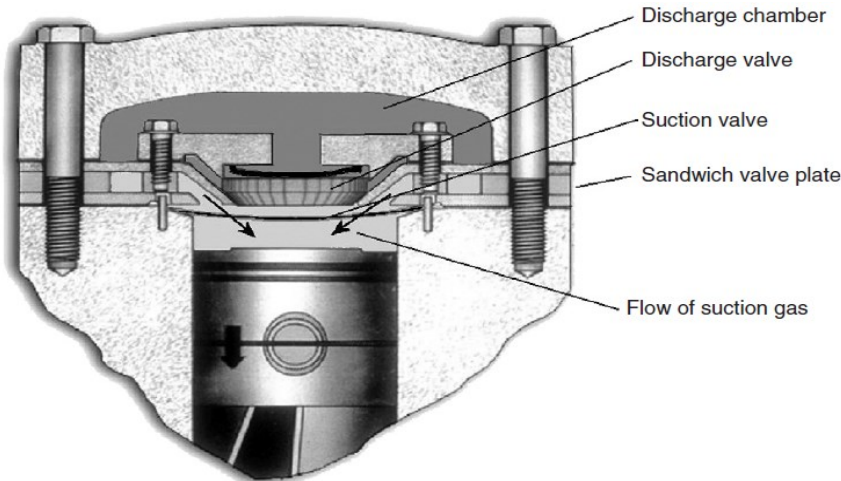
လုပ်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ပြင်ပမှ အမှုန်များ(foreign matter)ကြောင့်လည်း refrigeration system ၏ expansion valve ၊ control valve နှင့် compressor တို့ ပျက်စီးနိုင်သည်။ Refrigeration system အတွင်းမှ ရေငွေ့(moisture) နှင့် အမှုန်များ(foreign matter)များကို filter dryer နှင့် strainer တို့ဖြင့် သန့်စင်ဖယ်ရှားပစ်ရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၁၃-၂၄ Reed valve plate



ပုံ ၁၃-၂၅ Ring plate valves



ပုံ ၁၃-၂၆ Conical discharge valve and sandwich type valve plate

၁၃.၃.၁၄ Reed Valve Plate

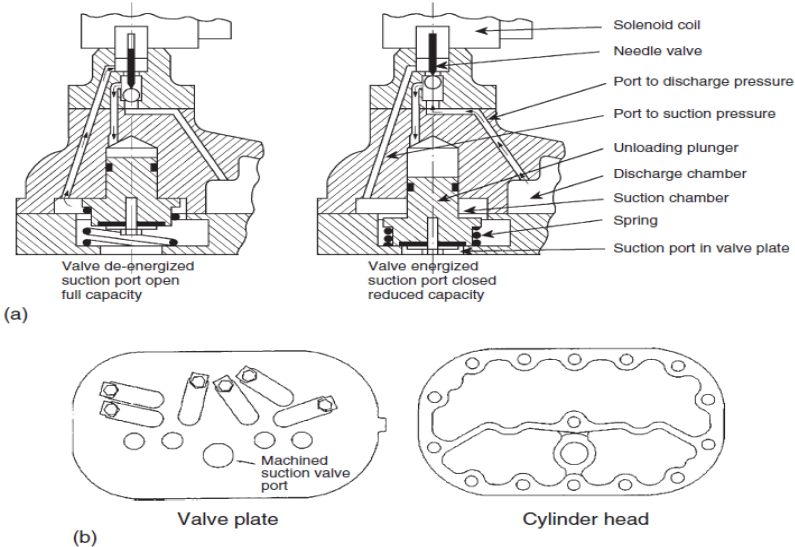
ဘားအမျိုးအစား(type of valve)ပေါ်တွင် မူတည်၍ compressor များကို အဆင့်အတန်း သတ်မှတ်ကြသည်။ သေးငယ်သည့် swept volume သာ လိုအပ်လျှင် သေးငယ်သည့် inlet နှင့် outlet gas port များ ဖြင့် compressor များကို တည်ဆောက်ကြသည်။

ပုံ(၁၃-၂၄)တွင် reed valve plate တည်ဆောက်ထားပုံကို ပြထားသည်။ Outlet valve သို့မဟုတ် discharge valve သည် cylinder head ၏ အဓိက အစိတ်အပိုင်း ဖြစ်သည်။ Discharge valve များသည် အပိုင်းပုံသဏ္ဍာန် gas ထွက်သည့် အပေါက်များ(ports)ကို ဖုံးအုပ်ထားသည်။ Ring plate valve ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ ပုံ(၁၃-၂၅)တွင် ring plate valve များကို ဖော်ပြထားသည်။ Steel သို့မဟုတ် titanium ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။

Refrigeration compressor များသည် ခြောက်သွေ့သည့် refrigerant vapor(dry gas)ကိုသာ ဖိသိပ်(compress)ရန်အတွက် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသော်လည်း တစ်ခါတစ်ရံ ဆလင်ဒါ(cylinder) အတွင်းသို့ အစက်ငယ်များ(droplets of liquid refrigerant)နှင့် ချောဆီ(oil)များ ဝင်ရောက်လာနိုင်သည်။

Annular valve များ ပါရှိသည့် ကြီးမားသည့် compressor များတွင် စပရိန်ဖြင့် ထိန်းထားသည့်(spring-loaded) head များ ပါရှိသည်။ ဆလင်ဒါအတွင်း၌ ဖိအား အလွန်မြင့်မားလာလျှင် စပရိန်အားကို ကျော်လွန်သွားပြီး ပိုနေသည့် ဖိအားကို လျော့ချပေးနိုင်သည်။

Valve နှင့် cylinder head ကို ဒီဇိုင်းကောင်းအောင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် clearance volume အနည်းဆုံး ရရှိနိုင်သည်။ ပုံ(၁၃-၂၆)တွင် သေးငယ်သည့် clearance volume ရရှိနိုင်သည့် cylinder head အလယ်တွင် conical discharge valve design နှင့် ပင်စတင်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၃-၂၇ (a) Blocked suction capacity control mechanism and (b) valve plate showing machined suction port for blocked suction

၁၃.၃.၁၅ Service Valves

Solenoid valve ၊ manual shutoff valve ၊ pressure relief valve နှင့် refrigerant charge valve များကို service valve ဟုခေါ်သည်။

(က) Solenoid Valves

Component များ ပြုပြင်ခြင်း၊ လဲလှယ်ခြင်း စသည်တို့ ပြုလုပ်ရန်အတွက် suction လိုင်း၊ discharge လိုင်း နှင့် liquid လိုင်း တို့တွင် solenoid valve များ တပ်ဆင်ထားသည်။ Electromagnetic သို့မဟုတ် solenoid coil သည် energize ဖြစ်သည့်အခါ plunger က valve pin ကို မတင်၍ valve ကို ပွင့်စေသည်။ Valve သည် ကမ္ဘာမြေ ဆွဲအား သို့မဟုတ် စပရိန်တွန်းကန်အားကြောင့် ပိတ်သည်။ ပုံ(၁၃-၂၈-a) သည် solenoid valve တစ်ခု၏ပုံ ဖြစ်သည်။

(ခ) Manual Shutoff Valves

ပုံ(၁၃-၁၉-b)တွင် manual shutoff angle valve တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။ လိုအပ်သည့်အခါ refrigerant flow ကို ပြုပြင်သူ သို့မဟုတ် စစ်ဆေးသူက ပိတ်နိုင်ရန်တွက် တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြစ်သည်။

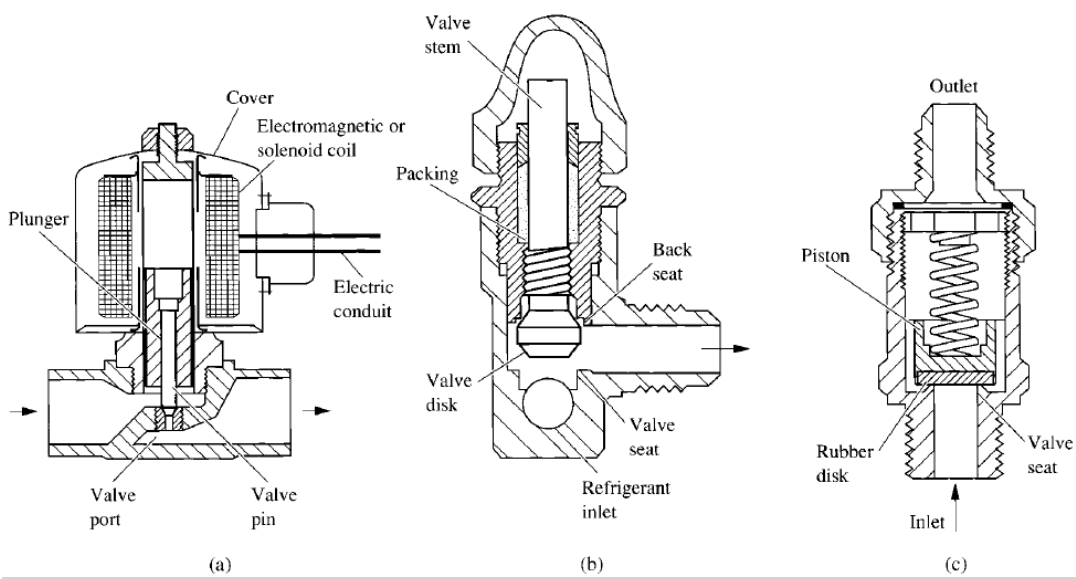
(ဂ) Pressure Relief Valves

Refrigeration system တစ်ခုတွင် refrigerant ဖိအား(pressure) အလွန်မြင့်တက်လာခြင်းကြောင့် ပျက်စီးနိုင်သည်။ သတ်မှတ်ထားသည့် ဖိအားသို့ ရောက်သည့်အခါ ဘေးအန္တရာယ် မကျရောက်စေရန် အတွက် pressure relief valve ကို ဖွင့်ပေးသည်။ ပုံ(၁၃-၂၈)သည် sping-loaded pressure relief valve တစ်ခု၏ပုံ ဖြစ်သည်။ Liquid line သို့မဟုတ် liquid receiver အနားတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Relief valve ပွင့်ရမည့် ဖိအားကို စပရိန်(spring)ဖြင့် ချိန်နိုင်သည်။

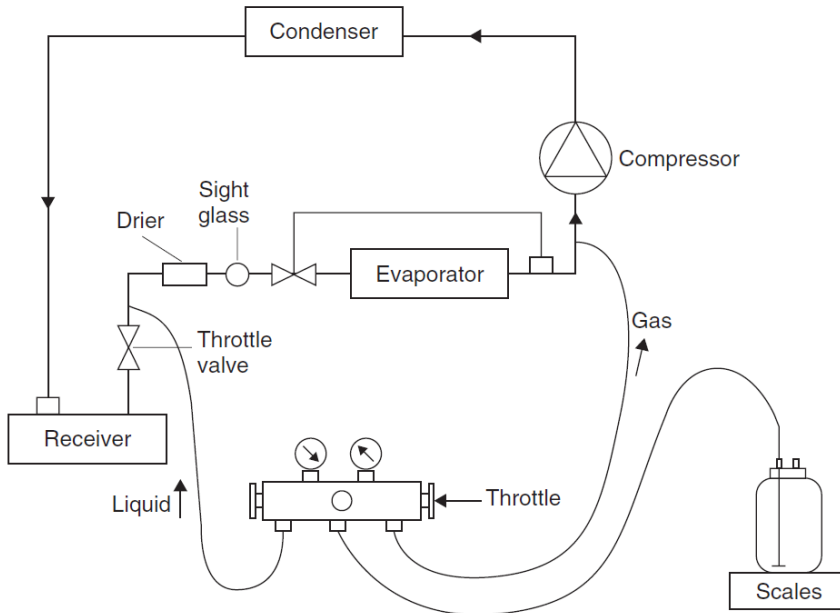
(ဃ) Refrigerant Charge Valves

System ထဲသို့ refrigerant များ ထည့်ရန် သို့မဟုတ် ထုတ်ယူရန် အတွက် refrigerant charge valve ကို တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Condenser မှ အထွက် liquid line သို့မဟုတ် receiver ၏

အပြင်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။



ပုံ ၁၃-၂၈ (a) solenoid valve (b) manual shutoff valve (angle type) (c) pressure relief valve



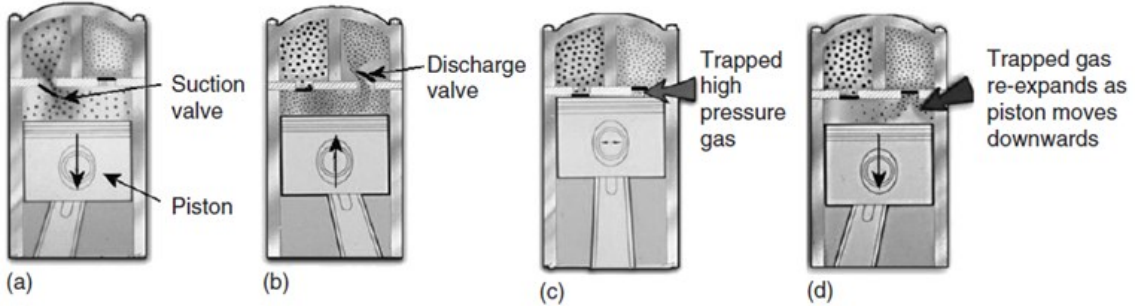
ပုံ ၁၃-၂၉ Charging connection

၁၃.၄ အလုပ်လုပ်ပုံ (Compression Process)

Reciprocating compressor များကို ဖိအားကွားခြားချက် (pressure difference) များသည့် ဓာတ်ငွေ့များကို ဖိသိပ် (compress) ရန် အတွက် အသုံးပြုသည်။ ဆလင်ဒါ (cylinder) အတွင်းရှိ refrigerant အငွေ့ကို ပင်စတင် (piston) က တွန်းပေးခြင်းဖြင့် ဖိအား (pressure) များအောင် ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ အရွယ်အစား (size)၊ ဆလင်ဒါ အရေအတွက် (number of cylinders)၊ မြန်နှုန်း (speed) နှင့် မောင်းသည့်နည်း (method of drive) စသည်တို့ အပေါ် မူတည်၍ reciprocating compressor များ အမျိုးမျိုးကွဲပြားသည်။ ပုံ (၁၃-၃၀) တွင် two-stroke cycle အလုပ် လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Intake valve ကို suction valve ဟုလည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။ Reciprocating compressor များသည် reciprocating နည်းဖြင့် မောင်းသည့် positive displacement machine များ ဖြစ်ကြသည်။

Reciprocating compressor များကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထားသောကြောင့် reciprocating chiller ဟု ခေါ်ဆိုခြင်းဖြစ်သည်။

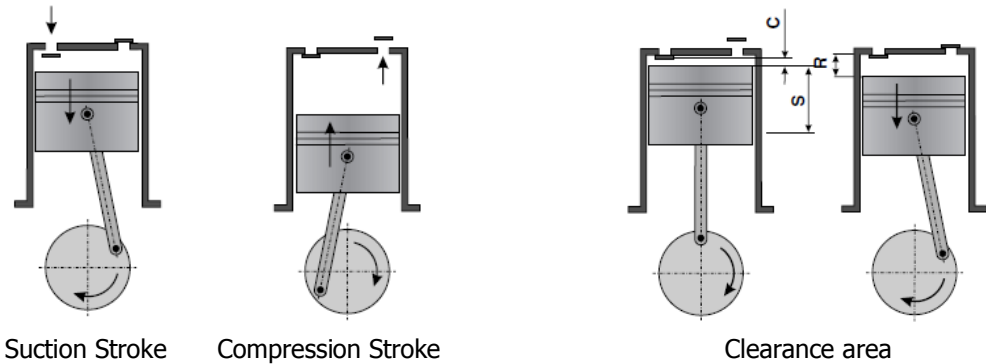
ပုံ(၁၃-၃၀)တွင် reciprocating compressor တစ်လုံး၏ အလုပ်လုပ်ပုံ သဘောတရားကို ဖော်ပြထားသည်။ ပင်စတင်သည် စလင်ဒါအတွင်း အောက်သို့ ဆင်းလာသောအခါ suction line မှ refrigerant အငွေ့များ ဝင်ပေါက် (intake)ကို ဖြတ်၍ စလင်ဒါအတွင်းသို့ စုပ်ယူခြင်း ခံရသည်။ ပင်စတင်အပေါ်သို့ တက်လာသည့်အခါ refrigerant အငွေ့များကို ထိပ်ဆုံးနေရာ(top dead)အထိ ရောက်အောင် ဖိသိပ်ပြီး အထွက်ဗား(discharge valve)များကို ဖြတ်ကျော်စေပြီး condenser အတွင်းသို့ တွန်းပို့သည်။



ပုံ ၁၃-၃၀ Reciprocating compressor-

(a) suction stroke (b) discharge stroke (c) piston at top of discharge stroke and (d) re-expansion during first part of suction stroke

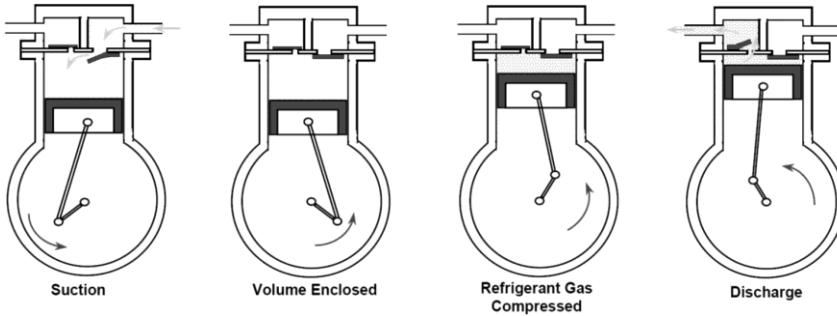
ပုံ(၁၃-၃၀)တွင် suction valve နှင့် discharge valve တို့ အလိုလျောက် အလုပ်လုပ်ပုံကို ဖော်ပြ ထားသည်။ Suction stroke တွင် piston သည် အောက်သို့ နှိမ့်ဆင်းလာသည်။ ထိုအခါ suction valve ပွင့်သွားပြီး evaporator မှ refrigerant vapor များ ဆလင်ဒါအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည်။ ပင်စတင်(piston)သည် အနိမ့်ဆုံးသို့ရောက် ရှိသွားပြီးနောက် suction valve ပိတ်သွားသည်။ Compression stroke ကို စတင်သည်။ Cylinder အတွင်းရှိ refrigerant vapor ဖိအားသည် discharge pipe အတွင်းရှိ ဖိအားထက် ပိုမြင့်သည့်အခါ discharge valve ပွင့်သွားပြီး refrigerant vapor များ condenser ထဲသို့ ရောက်ရှိသွားသည်။



ပုံ ၁၃-၃၀ C = Clearance area ; S = Stroke ; R = Re-expansion

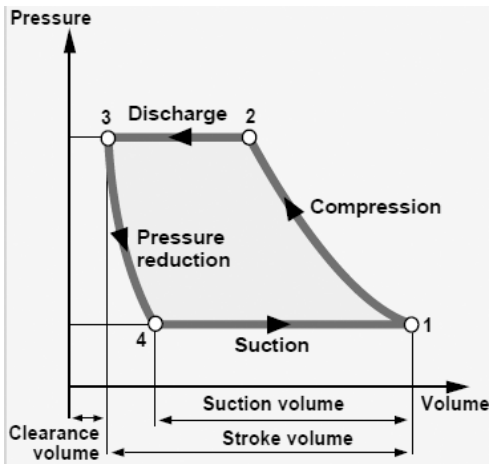
ပုံ(၁၃-၃၀-d)clearance area နေရာတွင် ရှိသည့် gas များသည် နောက်ထပ် cycle တစ်ခု မစတင်မီ re-expansion ဖြစ်သည်။ Re-expansion ဖြစ်ခြင်းကြောင့် volumetric efficiency လျော့နည်းသည်။ Cylinder pressure သည် suction pressure ထက် နည်းနေသမျှ ကာလပတ်လုံး suction valve ပွင့်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

Re-expansion ဖြစ်ခြင်း သို့မဟုတ် clearance volume ကျယ်ပြန့်လာခြင်း ဖြစ်ရန်အတွက် piston သည် အောက်သို့ နိမ့်ဆင်းပေးရန် လိုအပ်သည်။ ထိုအခါ ဆလင်ဒါအတွင်းရှိ ဖိအားသည် suction pressure ထက် ပိုနည်းလာလိမ့်မည်။ Valve မပွင့်ပဲ piston ပိုနိမ့်ဆင်းလာလေ ထို compressor တွင် ဆုံးရှုံးမှု(loss) များလေဖြစ်သည်။

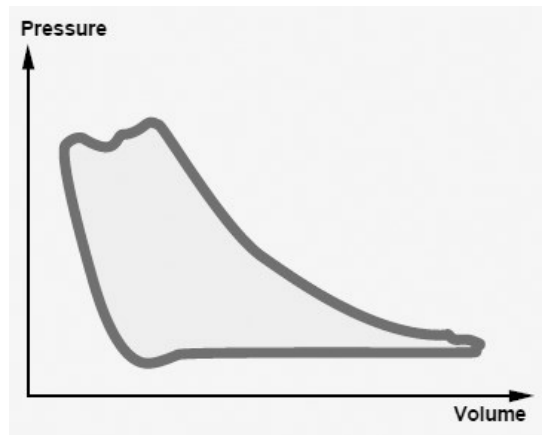


ပုံ ၁၃-၃၂ ပင်စတင် တစ်လုံးထိုး reciprocating compressor အဆင့်လေးဆင့်ဖြင့် အလုပ်လုပ်နေပုံ

Intake valve ၏ အပေါ်ဖက်တွင်ရှိသည့် ဖိအားသည် အောက်ဖက်တွင် ရှိသည့် ဖိအားထက် ပိုများသောကြောင့် intake valve ပွင့်သွားကာ refrigerant vapor များ ဆလင်ဒါအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည်။ ပင်စတင် (piston)သည် အနိမ့်ဆုံးနေရာသို့ရောက်ပြီး အပေါ်သို့ ပြန်တက်လာသည်။ ထိုအခါ intake valve ပိတ်သွားသောကြောင့် refrigerant များ ဆလင်ဒါအတွင်း၌ ပိတ်မိနေသည်။ ပင်စတင်သည် အထက်သို့ ဆက်၍ တက်လာသောကြောင့် refrigerant များကို ဖိသိပ်သည်။ ဖိအားတဖြည်းဖြည်း မြင့်တက်လာပြီး တစ်ချိန်တွင် discharge valve ကို တွန်းဖွင့်နိုင်လောက်သည့် ဖိအား အထိ ရောက်အောင် မြင့်တက်လာသည်။ Discharge valve ပွင့်သွားပြီး ဖိအား မြင့်သည့် (high pressure) refrigerant များ ဆလင်ဒါအတွင်းမှ ထွက်သွားသည်။ ဆလင်ဒါသည် ထိပ်ဆုံးသို့ရောက်ပြီး အောက်သို့ ပြန်ဆင်း လာသည်။ ဤနည်းဖြင့် refrigeration cycle ကို ထပ်ခါထပ်ခါ ပြုလုပ်ပေးသည်။



ပုံ ၁၃-၃၃ Theoretical process

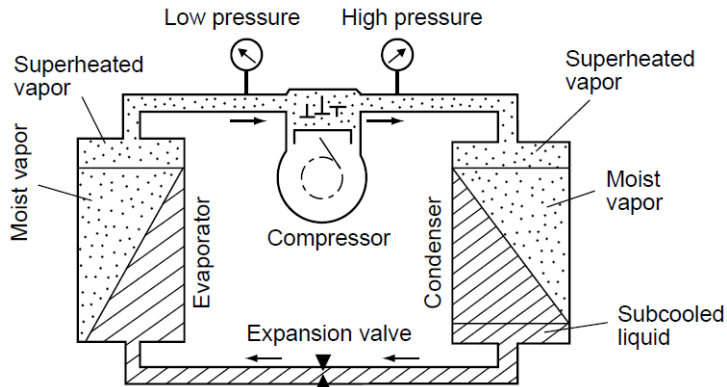


ပုံ ၁၃-၃၄ Actual pressure/volume diagram

ပုံ(၁၃-၃၈)တွင် single acting reciprocating compressor တစ်လုံးပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ ဆလင်ဒါအတွင်းရှိ ပင်စတင်ကို crank shaft ဖြင့် connecting rod မှတစ်ဆင့် မောင်းသည်။ ဆလင်ဒါ၏ ထိပ်ဖက်တွင် suction valve နှင့် discharge valve ရှိသည်။ ဈေးကွက်တွင် ဆလင်ဒါ(၂)လုံး၊ (၃)လုံး၊ (၄)လုံး သို့မဟုတ် (၆)လုံး ပါရှိသည့် reciprocating compressor များ ရရှိနိုင်သည်။

ပင်စတင်သည် ဆလင်ဒါ၏အောက်ဖက်သို့ ဆင်းသွားချိန်တွင် ဆလင်ဒါအတွင်း၌ လေဟာနယ် ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် refrigerant vapor များကို suction valve နေရာမှ စုပ်ယူသည်။ ထို့နောက် ပင်စတင်ကို crank shaft မှ အပေါ်သို့ရောက်အောင် တွန်းလိုက်သည့်အခါတွင် refrigerant vapor များကို ဖိသိပ်(compress) သည်။ Refrigerant ၏ ဖိအားသည် discharge pressure ထက် အနည်းငယ်ပိုများသောကြောင့် discharge valve ဖွင့်သွားကာ hot gas

များ cylinder အတွင်းမှ ထွက်သွားသည်။ ဆလင်ဒါအတွင်း၌ ပင်စတင်သည် reciprocating motion ဖြင့် ရွေ့လျားနေသည်။ Compression chamber ၏ ထုထည်(internal volume)ကို လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် refrigerant vapor များကို ဖိသိပ်ခြင်း(compress) ဖြစ်သည်။

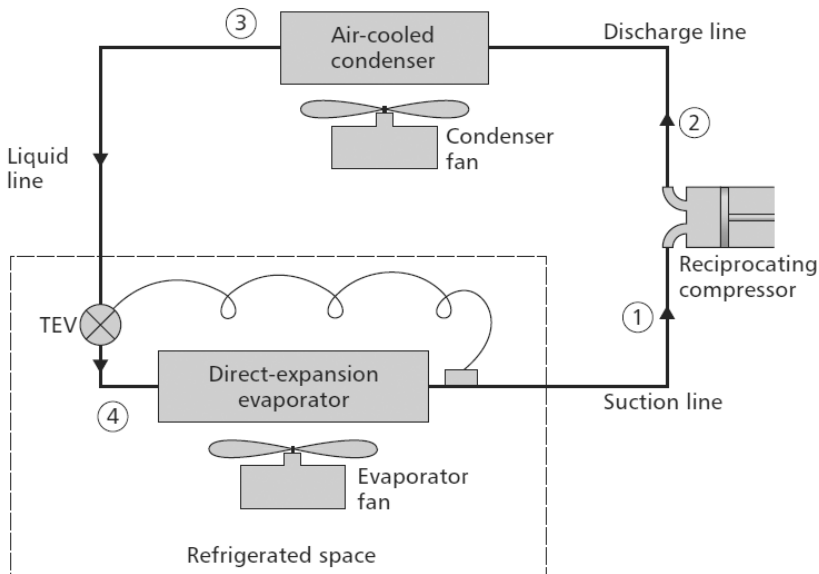


ပုံ ၁၃-၃၅ Reciprocating compressor ဖြင့်မောင်းသည့် vapor compression cycle

၁၃.၄.၁ Clearance Area

Clearance area သည် ပင်စတင်(piston) ၏ ထိပ်၌ရှိသော top dead centre နှင့် bottom edge of the valve အကြား၌ ရှိနေသော နေရာလွတ် ဖြစ်သည်။

ပုံ(၁၃-၃၇)တွင် compression process ကို pressure-volume diagram ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ ဧရိယာ (area of the diagram)သည် ဖိသိပ်(compress)ရန်အတွက် လိုအပ်သည့်အလုပ်(work) သို့မဟုတ် စွမ်းအင် (energy) ဖြစ်သည်။

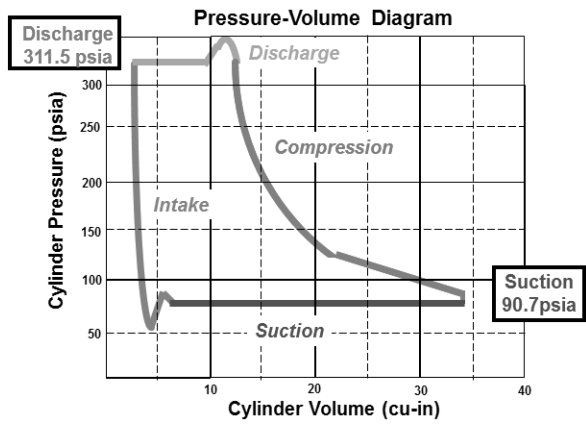
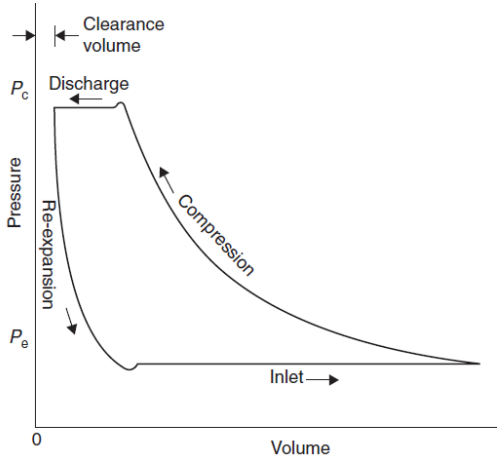


ပုံ ၁၃-၃၆ Reciprocating compressor တစ်လုံး၏ အလုပ်လုပ်ပုံ

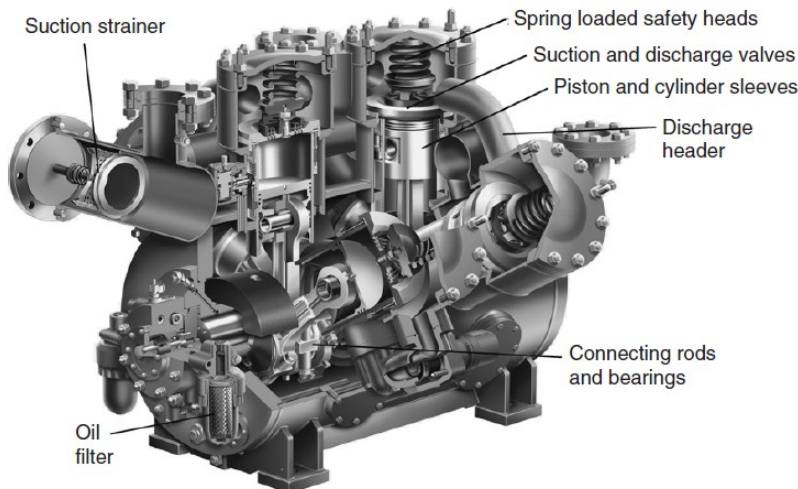
၁၃.၄.၂ Multi- Cylinder Compressors

Reciprocating compressor စတင် ပေါ်ပေါက်ခါစ အချိန်၌ စွမ်းဆောင်ရည်(capacity) များများရရှိရန် အတွက် ကြီးမားသည့် compressor များကို တည်ဆောက်ခဲ့ကြသည်။ အချင်း 375 mm ရှိသည့် ပင်စတင်များကို မြန်နှုန်း 400 rev/min ဖြင့် မောင်းနှင်သည့် reciprocating compressor များကို တည်ဆောက်ခဲ့ကြသည်။ အလွန်

လေးလံပြီး ထုတ်လုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။ ယခုအခါ အချင်း 175 mm ပင်စတင်များကို အလွန်မြန်သည့်နှုန်းဖြင့် မောင်းနှင်သည့် reciprocating compressor များကို ထုတ်လုပ် ရောင်းချကြသည်။ ဆလင်ဒါ(၄)လုံး၊ (၆)လုံး သို့မဟုတ် (၈)လုံး ပါဝင်သည့် compressor များကို အများဆုံး တွေ့ရလေ့ရှိသည်။



ပုံ ၁၃-၃၇ Reciprocating compressor cycle (R134a)



ပုံ ၁၃-၃၈ စက်မှုလုပ်ငန်းသုံး multi-cylinder compressor တစ်လုံး၏ ဖြတ်ပိုင်းပုံ

ပုံ(၁၃-၃၈)သည် welded steel crankcase ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် reciprocating compressor ၏ ပုံ ဖြစ်သည်။ Refrigeration capacity 1000 kW(284 RT) အထိ ကြီးမားသည့် reciprocating compressor များကို ဈေးကွက်တွင် ရရှိနိုင်သည်။

ဆလင်ဒါ(cylinder)များကို အတန်းလိုက်ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားလေ့ရှိသည်။ Compressor body ကို တပ်ဆင် ထားသည့် နေရာမှ ဖြတ်ပစ်ရန်မလိုဘဲ ပျက်စီးသွားသည့် ဆလင်ဒါ(cylinder)၊ ပင်စတင်(pistons)၊ connecting rod စသည်တို့ကို လဲလှယ်တပ်ဆင်နိုင်သည်။ သေးငယ်ပြီး ဆလင်ဒါ အရေအတွက် အနည်းသာ ပါရှိသည့် compressor များသည် ရိုးရှင်းသောကြောင့် လူကြိုက်များသည်။

၁၃.၄.၅ Cooling and Protection

ဖိသိပ်နေစဉ်အတွင်း(compression process) ပွတ်တိုက်မှုကြောင့် အပူများ ထွက်လာသည်။ ထိုအပူများ ကြောင့် discharge temperature ပိုများလာနိုင်သည်။ Discharge temperature အလွန်များပါက ချောဆီ(oil) သို့မဟုတ် refrigerant မှ ဓာတ်ပြိုကွဲမှု(decomposition)များ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။ Refrigerant gas များသည်

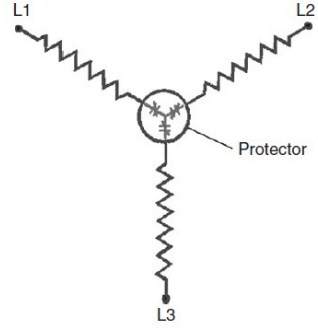
အေးနေ(အပူချိန်နိမ့်)သောကြောင့် လည်းကောင်း၊ compressor မှ အပူများသည် လေထဲသို့ ရောက်သွားသောကြောင့် လည်းကောင်း သေးငယ်သည့် reciprocating compressor များ ကို အေးအောင် ပြုလုပ် ပေးသကဲ့သို့ ဖြစ်စေသည်။ တချို့သော အခြေအနေများတွင် ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturer)က compressor များ အေးစေရန် အတွက် fan တပ်ဆင်ရန် ညွှန်ကြားလေ့ရှိသည်။

အမိုးနီးယား(Ammonia) ဓာတ်ငွေ့ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုလျှင် အမိုးနီးယား(ammonia)၏ discharge temperature အလွန်မြင့်မားသောကြောင့် cylinder head များကို ရေဖြင့်အေးအောင် ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အမိုးနီးယား(Ammonia)ဓာတ်ငွေ့ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုလျှင် water-cooled cylinder head များ ကို မဖြစ်မနေ အသုံးပြုရမည်။

ရေဖြင့် အေးသည်(water-cooled)ဖြစ်စေ၊ လေဖြင့် အေးသည်(air-cooled)ဖြစ်စေ ၊ refrigerant ဖြင့် အေးသည်(cooled) ဖြစ်စေ တချို့စက်များတွင် oil cooler ပါရှိရန် လိုအပ်သည်။ Part load ဖြင့် မောင်းနှင်သည့် အချိန်မျိုးတွင် discharge temperature ပို၍ မြင့်မားလာနိုင်သည်။ Mass flow rate အလွန်နည်းသွားလျှင် compressor ၌ အပူလွန်ခြင်း(overheating) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ဥပမာ- low suction pressure ကြောင့် mass flow rate အလွန်နည်းသွားကာ compressor အပူလွန်ခြင်း(overheating) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Mass flow rate အလွန်နည်းသွားသောကြောင့် system အတွင်း၌ ချောဆီ(oil) မလုံလောက်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ လုံလောက်သည့် ပမာဏ ရှိသည့် ချောဆီများ ပြန်ရောက်လာအောင်(adequate oil return) ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ တစ်စုံတစ်ခု ချို့ယွင်းမှုကြောင့် liquid refrigerant များ compressor အတွင်းသို့ ရောက်ရှိလာသည့်အခါတွင် ချောဆီ(lubricant)၏ စေးပျစ်မှု(viscosity)ကျဆင်းနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ဆိုးဝါးသည့် ပျက်စီးမှုများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Compressor ၏ သက်တမ်း(life) တိုတောင်းလိမ့်မည်။ Compressor များ မပျက်စီးအောင် ကာကွယ်ခြင်း(fault protection) ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

Compressor ၏ အပူချိန် အလွန်မြင့်မား လာသည့်အခါ သော်လည်းကောင်း ၊ ချောဆီဖိအား မလုံလောက် (insufficient oil pressure)လျှင်သော်လည်းကောင်း compressor အား ရပ်တန့်သွားအောင် ပြုလုပ်ရမည်။ ထိုသို့ ပြုလုပ်ခြင်းကို temperature protection နှင့် oil protection ဟုခေါ်သည်။ Hermetic နှင့် semi hermetic motor အမျိုးအစား(type)များတွင် temperature sensor များကို မော်တာ ကိုင်း(winding)တွင် ထည့်သွင်းထား၍ မော်တာများကို ကာကွယ်ခြင်း(motor protection)သည် ထုံစံဖြစ်သည်။ Temperature နှင့် electric current နှစ်မျိုးစလုံးကို တိုင်းနိုင်သည့် internal line break protector ပါဝင်သည့် သေးငယ်သည့် compressor ကို ပုံ(၁၃-၃၉)တွင် ဖော်ပြထားသည်။



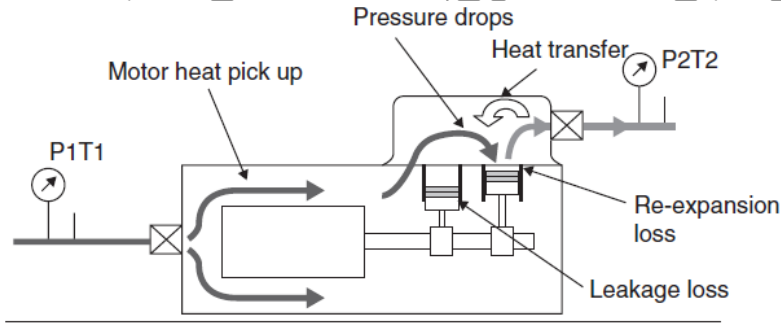
တချို့သောလုပ်ငန်းများ(applications) တွင် compressor အတွင်းသို့ refrigerant အရည်များ(liquid) ပြန်လည် ဝင်ရောက်လာခြင်း(liquid return) ဖြစ်နိုင်သောကြောင့် compressor သည် ထိုသို့ ဖြစ်ခြင်းကို ခံနိုင်ရည်ရှိရန် လိုအပ်သည်။ သို့သော် သေးငယ်သည့် air conditioner များ တွင် defrost cycle ၌ liquid return ဖြစ်ခြင်းကို ကာကွယ်ရန် အတွက် preventative system control တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။

ပုံ ၁၃-၃၉ Line break protector located at the meeting point of the motor windings

Refrigeration system ကို စမောင်းလျှင်မောင်းခြင်း suction temperature နှင့် suction pressure တို့သည် ပုံမှန် operating condition ထက် ပိုမြင့် နေလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် discharge pressure ပိုမြင့်မားကာ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု ပိုများလိမ့်မည်။ ထို့အပြင် compressor အရှိန်ရရန်အတွက် မော်တာသည်လုံလောက်သည့် torque ကို ထုတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ စီးပွားရေးလုပ်ငန်းသုံး(commercial)နှင့် စက်မှုလုပ်ငန်းများ(industrial application) တွင်

unloaded start bypass ၊ suction pressure regulation စသည့် start device များကို အသုံးပြုကြသည်။ စတင် မောင်းချိန်(start up)တွင် electrical surge ဖြစ်ခြင်း လျော့နည်းစေရန် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသင့်သည်။ Open compressor များတွက် pulldown power နှင့် allowance 25% အပိုဆောင်းထားပြီး မော်တာ အရွယ်အစား ရွေးချယ် သင့်သည်။

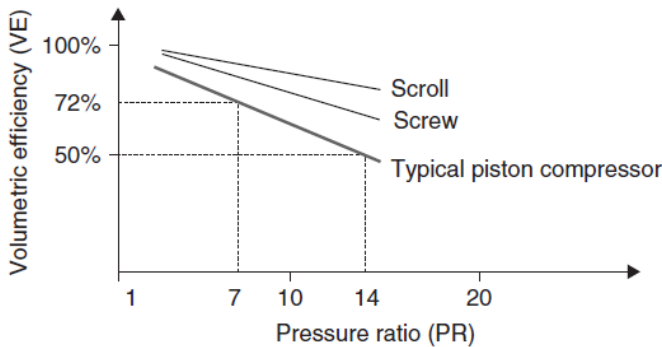
Open compressor များနှင့် တွဲ၍ မောင်းမည့် မော်တာကို ၂၅% ခန့် အပိုဆောင်း၍ အရွယ်အစား ရွေးချယ် လေ့ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် မော်တာသည် သက်တမ်း တစ်လျှောက်လုံးနီးပါး rated output ၏ ၈၀% ခန့်ဖြင့်သာ မောင်း နေသောကြောင့် efficiency ကျဆင်းသည်။ Running current နည်းပြီး power factor ညံ့ဖျင်းသည်။



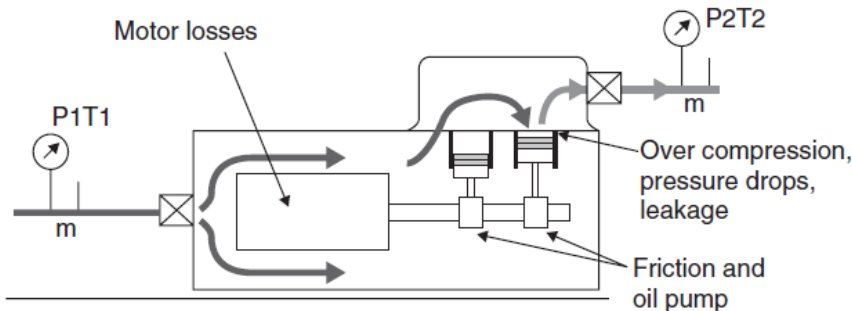
ပုံ ၁၃-၄၀ Volumetric losses

၁၃.၆ Compressor Efficiency

လက်တွေ့တွင် compressorမှ ဖိသိပ်(compress)လိုက်သည့် gas ထုထည်ပမာဏသည် ဆလင်ဒါအတွင်းရှိ ပင်စတင် ၏ displacement volume ထက် ပိုနည်းလေ့ရှိသည်။ Re-expansion loss ကြောင့် ဖြစ်သည်။ ပုံ(၁၃-၄၀)တွင် တခြားသော ဆုံးရှုံးမှုများ(other losses)ကို ဖော်ပြထားသည်။ Volumetric efficiency(VE)တွက်ရာတွင် compressor ၏ စီးနှုန်း(flow rate)ကို လျော့နည်းစေနိုင်သည့် အချက်များ အားလုံးကို ထည့်သွင်းရမည်။



ပုံ ၁၃-၄၁ Compressor အမျိုးမျိုးတို့၏ Volumetric Efficiency(VE) characteristics ကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၃-၄၂ Power losses

အဝင်(inlet or suction)အခြေအနေ(pressure P1 နှင့် temperature T1)ကို reference point အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Enclosed အမျိုးအစားများတွင် motor loss များကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် အပူများကိုပါ ထည့်သွင်း စဉ်းစားရမည်။

ပုံ(၁၃-၄၁)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း လက်တွေ့ အခြေအနေတွင် Volumetric Efficiency(VE) သည် ဖိအားအချိုး(pressure ratio)နှင့် တိုက်ရိုက် ဆက်သွယ်နေသည်။ Reciprocating compressor များတွင် re-expansion ဖြစ်ခြင်းသည် အဓိကကျသည့် volumetric loss ဖြစ်သည်။

Compression ၏ energy efficiency သည် ideal adiabatic compression process ကို အခြေခံ၍ တွက်ယူသည်။ Isentropic power input သည် mass flow rate (m) ကို ဖိအား P1 နှင့် T1 အခြေအနေမှ P2 သို့ ရောက်စေရန်အတွက် ထည့်ပေးရမည့် အနည်းဆုံး စွမ်းအင်ပမာဏ ဖြစ်သည်။ ပုံ(၁၃-၄၂)တွင် ပြထားသည့် ဆုံးရှုံးမှုများ(losses)ကြောင့် လက်တွေ့တွင် သုံးစွဲလိုက်သည့် စွမ်းအင်ပမာဏသည် isentropic power input ထက် ပိုများသည်။

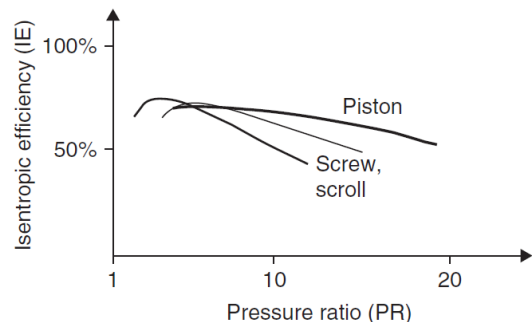
ဆုံးရှုံးသွားသည့် စွမ်းအင် ပမာဏသည် compressor အမျိုးအစားပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ခန့်မှန်းခြေအားဖြင့် လက်ခံနိုင်သည့် စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှုများမှာ အောက်ပါအတိုင်းဖြစ်သည်။

- (၁) 10% motor loss (မော်တာ efficiency သည် 90% ခန့် ဖြစ်သောကြောင့် motor loss သည် 10% ဖြစ်သည်။)
- (၂) 10% friction losses နှင့်
- (၃) 10% flow and heat transfer losses တို့ ဖြစ်သည်။

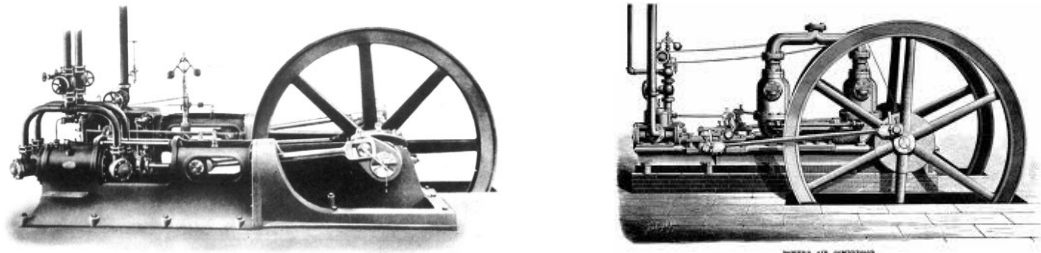
လက်တွေ့တွင် 70%ထက်ကျော်သည့် Isentropic Efficiency(IE)ရလျှင် အလွန်ကောင်းသည့် compressor ဟု ဆိုနိုင်သည်။ ပုံ(၁၃-၄၂)တွင် ယေဘုယျ IE များကို ဖော်ပြထားသည်။

$$\text{Volumetric efficiency (VE)} = \frac{\text{Actual volume flow at suction}}{\text{Compressor displacement}}$$

$$\text{Isentropic efficiency (IE)} = \frac{\text{Isentropic power input}}{\text{Actual power input}}$$



ပုံ ၁၃-၄၃ Compressor အမျိုးမျိုးတို့၏ IE characteristics ကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၃-၄၄ Double acting ammonia compressor and steam engine (၁၈၇၇ ခုနှစ်)

၁၃.၇ Reciprocating Chiller

Compressor များကို configuration သုံးမျိုးဖြင့် ရရှိနိုင်သည်။

- (၁) Hermetic
- (၂) Semi-hermetic နှင့်
- (၃) Direct drive သို့မဟုတ် open drive တို့ ဖြစ်သည်။

Hermetic compressor တွင် motor နှင့် compressor ကို အခွံ(enclosure) တစ်ခုအတွင်း၌ အတူ တပ်ဆင်ထားပြီး seal လုပ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် compressor နှင့် motor တို့၏ အစိတ်အပိုင်းများ ပျက်စီးသည့်အခါတွင် အလွယ်တကူ ပြုပြင်၊ ပြင်ဆင်ရန် မဖြစ်နိုင်သောကြောင့် အသစ်တစ်လုံးဖြင့် အစားထိုး လဲလှယ် ရသည်။ Hermetic compressor များသည် capacity သေးငယ်သည့် compressor များ ဖြစ်ကြသည်။

Semi hermetic compressor များတွင် မော်တာ နှင့် compressor ကို အတူတကွ အခွံ(enclosure) အတွင်း၌ တပ်ဆင်ထားသော်လည်း seal မလုပ်ထားပေ။ Seal မလုပ်ထားသောကြောင့် အစိတ်အပိုင်းများ ပျက်စီးသည့်အခါ ပြုပြင် ပြင်ဆင်၍ ပြန်လည်အသုံးပြုနိုင်သည်။

Reciprocating compressor များ၏ အားသာချက်များမှာ ဈေးနှုန်း ချိုသာခြင်း၊ capacity သေးငယ်သည့် စက်များတွင် efficiency ကောင်းခြင်းတို့ ဖြစ်သည်။ Cooling capacity များများ လိုအပ်သည့်အခါ reciprocating compressor များကို အတွဲလိုက် တပ်ဆင်၍ မောင်းနှင်သည်။ Control လုပ်ရန် လွယ်ကူသည်။ Air cooled နှင့် water cooled configuration နှစ်မျိုးလုံး ရရှိနိုင်သည်။

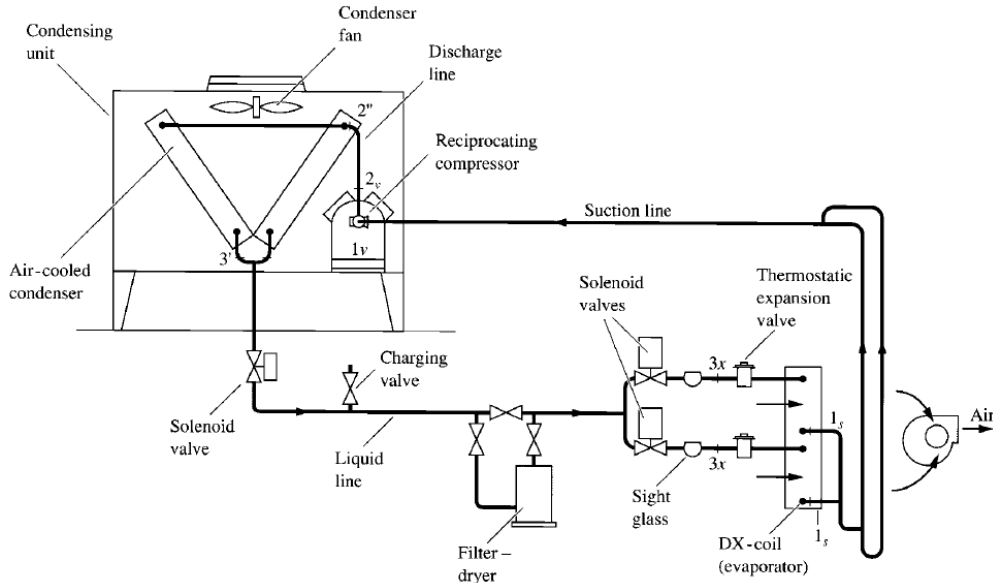
Table 13-1 reciprocating compressor များ၏ အားသာချက် နှင့် အားနည်းချက်များ

	Advantages	Disadvantages
Open type	(1) Dismantling and inspection are possible.	(1) Dimensions of units are larger than that of other compressors having the same horsepower.
	(2)Revolving speed is variable.	(2) Shaft seal is necessary and there is possibility of gas leakage.
	(3)Engine drive is possible.	
Semi-hermetic type	(1) Dismantling and inspection are possible.	(1) Revolving speed is fixed
	(2) No gas leaks from shaft seal.	(2) Motor is free from any moisture or dust.
	(3) Moving parts are not exposed.	
	(4) Running noise is smaller than that of the open type.	
Hermetic type	(1) Compact and light.	(1) Dismantling is impossible when damaged. A whole compressor should be replaced.
	(2) No gas leaks.	(2) Motor is free from moisture or dust.
	(3) Moving parts are not exposed.	
	(4) Running noise is low.	
	Low Cost ၊ Simple Maintenance	Frequent maintenance ၊ high maintenance cost
	Compact	Limited capacity/size Many moving parts ၊ Limited pressure differential
	Efficient unloading	Discrete unloading

အားနည်းချက်မှာ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများစွာ ပြုလုပ်ရန်လိုအပ်သည်။ တခြားသော compressor အမျိုးအစားများ နှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် reciprocating compressor တွင် လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်း(moving part) များစွာ ပါဝင်သောကြောင့် ပွန်းတီးတိုက်စားမှု ပိုများသည်။ Reciprocating chiller များမောင်းသည့်အခါ အသံအလွန် ဆူညံသည်။ တုန်ခါမှုများသည်။ တုန်ခါမှုနှင့် ဆူညံသံများ မပျံ့နှံ့သွားစေရန်အတွက် ကာကွယ်တားဆီးမှုများပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Cooling load 200 RT ထက် ပိုများလျှင် reciprocating chiller များကို အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။ ကြီးမားသည့် reciprocating chiller များ ပြုလုပ်လျှင် တပ်ဆင်ရန် နေရာကျယ်ကျယ် လိုအပ်ပြီး၊ အစဦး ကုန်ကျစရိတ် (first cost) အလွန်များသည်။ တခြားသော chiller များထက် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုလည်း ပိုများသည်။

Reciprocating compressor များ၏ cooling capacity range သည် 1RT မှ 200 RT (3.5 kW မှ 700 kW) အတွင်း ဖြစ်သည်။ Refrigerant HCFC-22 ၊ HFC-134A ၊ HFC-404A ၊ HFC-407A နှင့် HFC-407C တို့ကို comfort နှင့် process air conditioning များအတွက် အသုံးပြုသည်။ R-717(ammonia)ကို စက်မှုလုပ်ငန်း(industrial application) များတွင် အသုံးပြုသည်။

Single stage reciprocating compressor များမှ အမြင့်ဆုံးရရှိနိုင်သည့် compression ratio သည် 7 ဖြစ်သည်။ Reciprocating compressor များ၏ compression ratio 1 မှ 6 အထိ မြင့်တက်လာရန်အတွက် volumetric efficiency သည် 0.92 မှ 0.65 အထိ ကျဆင်းသွားသည်။ Compression ratio 4 မှ 6 အထိ မြင့်တက်လာရန်အတွက် isentropic efficiency သို့မဟုတ် compressor efficiency သည် 0.83 မှ 0.75 အထိ ကျဆင်းသွားသည်။



ပုံ ၁၃-၄၅ Air-cooled reciprocating DX cooler တစ်လုံး

၁၃.၇.၁ Types of Reciprocating Refrigeration Systems

Reciprocating vapor compression ၊ refrigeration system များကို အောက်ပါအတိုင်း ခွဲခြားနိုင်သည်။

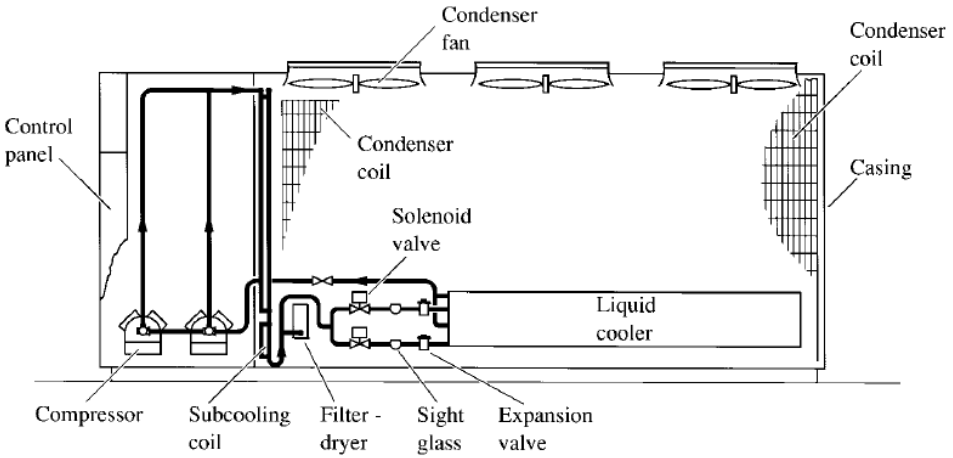
Air-Cooled Reciprocating DX Cooler

ပုံ(၁၃-၄၅)တွင် air-cooled ၊ reciprocating DX cooler တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။ DX system တွင် direct-expansion coil သည် evaporator ဖြစ်သည်။ HCFC-22 နှင့် HFC-134a ကို အဓိက(primary) refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုသည်။ Air-cooled condenser နှင့် reciprocating compressor(s) နှစ်ခုပေါင်း၍ condensing unit ဟု ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ Condensing unit များကို အဆောက်အဦ အပြင်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။

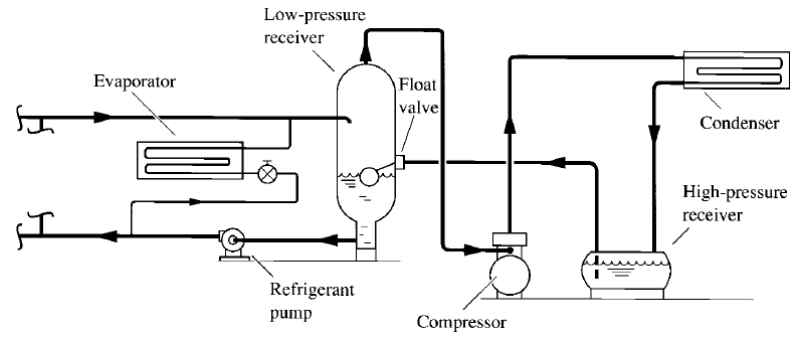
Supermarket နှင့် စက်မှုလုပ်ငန်းများ(industrial applications)တွင် DX coil များကို ကုန်ပစ္စည်းများ ပြသရန်(refrigerated display cases) နှင့်အစားသောက်ကုန်များ ထုတ်လုပ်ရန် နှင့် သိမ်းဆည်းရန် (food processing and food storage facilities)အတွက် အသုံးပြုကြသည်။ Heat transfer ပိုကောင်းစေရန် DX coil အတွင်းသို့ လေကို fan ဖြင့်မောင်းထည့်ပေးသည်။ DX system များကို reciprocating compressor သို့မဟုတ် scroll compressor များ တွဲ၍ အသုံးပြု ကြသည်။

Air-Cooled Reciprocating Chiller

Air-cooled reciprocating chiller များတွင် evaporator အဖြစ် direct-expansion shell-and-tube liquid cooler ၊ air-cooled condenser ၊ reciprocating compressor(s) ၊ တခြားသော component များနှင့် control တို့ ပါဝင်သည်။ တစ်စုံလုံးကို air-cooled reciprocating chiller ဟုခေါ်သည်။ ပုံ(၁၃-၄၆) တွင် ဖော်ပြထားသည်။ HCFC-22 နှင့် HFC-134a တို့သည် အများဆုံးအသုံးပြုသည် refrigerant များဖြစ်ကြသည်။ Shell-and-tube liquid cooler အတွင်းရှိ သတ္တုtube များအတွင်း၌ refrigerant များ အပူကို စုပ်ယူပြီး အငွေ့ပျံ(evaporates)သည်။ Chiller တစ်ခုလုံးကို စတီးပြားများ(steel sheets)များဖြင့် ဖုံးအုပ်ထားပြီး corrosion-resistant paint သုတ်ထားသည်။



ပုံ ၁၃-၄၆ Air-cooled reciprocating chiller



ပုံ ၁၃-၄၇ Liquid overfeed reciprocating refrigeration system.

ကြီးမားသည့် air-cooled reciprocating chiller များတွင် air-cooled condenser coil များကို ဘေးနှစ်ဘက်စလုံးတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Subcooling coil သည် အောက်ဘက်တွင် တည်ရှိပြီး condensing coil ကို liquid accumulator မှ တစ်ဆင့် ဆက်သွယ်ထားသည်။ Air-cooled reciprocating chiller များ ကို အဆောက်အဦများ၏ ခေါင်မိုး(rooftop) သို့မဟုတ် အပေါ်ဆုံးထပ်တွင် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။

AHRI Standard 550/590-2011 အရ air-cooled reciprocating chiller များ နှင့် centrifugal chiller များတို့၏ rating သတ်မှတ်ပုံ တူညီကြသည်။ ရေရရှိရန် ခက်ခဲသည့်နေရာများ နှင့် ရေအတွက် ကုန်ကျစရိတ်များသည့်

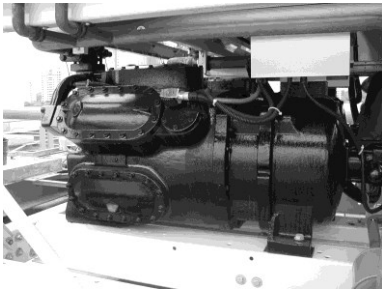
နေရာများတွင် air-cooled reciprocating chiller များကို အသုံးပြုကြသည်။ Air conditioning system များနှင့် 250 tons(879 kW) နည်းသည့် စက်မှုလုပ်ငန်းများတွင် air-cooled reciprocating chiller များကို တပ်ဆင် အသုံးပြုနိုင်သည်။



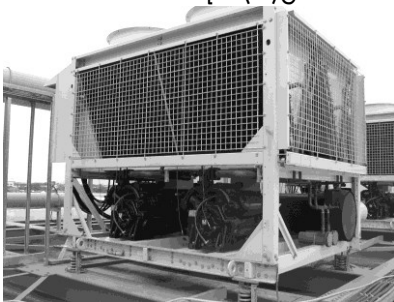
YAEP--- Reciprocating Chiller

- R22 & R407C are available
- York Reciprocating compressor
- DX evaporator
- Cooling Capacity: 60-450 TR
- COP: 2.8 – 3.2

ပုံ ၁၃-၄၈ Air-cooled reciprocating chiller



ပုံ ၁၃-၄၉ Semi hermetic reciprocating compressor



ပုံ ၁၃-၅၀ Air cooled reciprocating chiller



ပုံ ၁၃-၅၁ Electrical panel

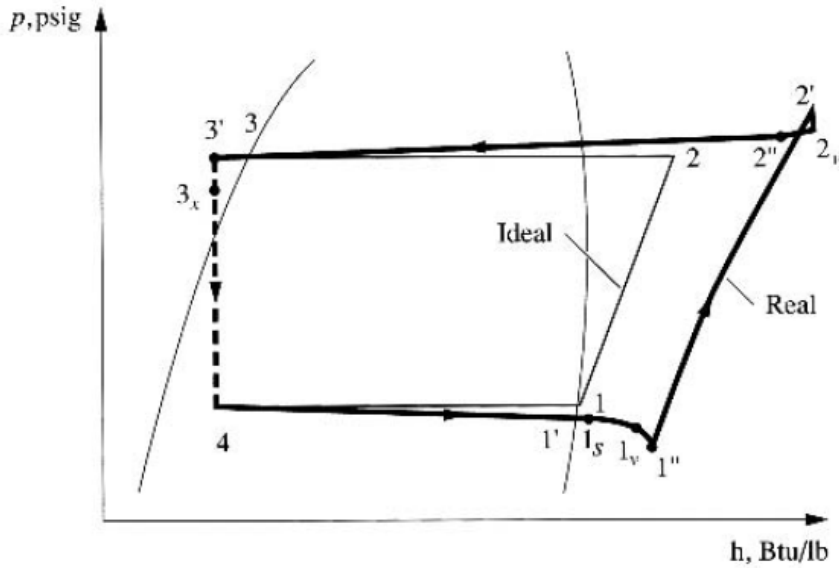
၁၃.၇.၂ Liquid Overfeed Reciprocating Refrigeration Systems

Liquid overfeed reciprocating refrigeration system များတွင် liquid overfeed cooler များကို evaporator အဖြစ် အသုံးပြုသည်။ ပုံ(၁၃-၄၇)တွင် liquid overfeed reciprocating system တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။ Ammonia(R-717) နှင့် HCFC-22 တို့ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုသည်။ Refrigerant များ လည်ပတ်ရန်အတွက် refrigerant pump အပိုတစ်ခု ပါရှိရန် လိုအပ်သည်။ Evaporating rate ထက် အဆပေါင်း များစွာ ပိုများသည့် evaporator စီးနှုန်း(flow rate) ရရှိရန် လိုအပ်သည်။

အလိုရှိသည့် evaporating pressure ရရှိအောင် expansion valve ကa throttle လုပ်ပေးသည်။ Evaporator ၏ tube များအတွင်း၌ liquid refrigerant များသည် vapor အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားပြီး low-pressure receiver အတွင်း၌ စုဝေးနေစေသည်။ Dry-expansion evaporator အမျိုးအစား မဟုတ်ပေ။ Liquid overfeed system ကို water-cooled condenser များနှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။

Liquid overfeed refrigeration system များ၏ အားသာချက်များမှာ အတွင်းမျက်နှာပြင်များသည် စိုစွတ် နေသောကြောင့် heat-transfer coefficient ပိုကောင်းခြင်း နှင့် ရိုးရှင်းလွယ်ကူစွာ refrigerant flow control

လုပ်နိုင်ခြင်းတို့ ဖြစ်သည်။ Liquid overfeed refrigeration system များကို industrial refrigeration စားသောက်ကုန်များ သိမ်းဆည်းရာ နေရာ(food storage)နှင့် တချို့သော ရေခဲခန်း၊ ရေခဲစက်(ice storage system) များတွင် အသုံးပြုကြသည်။



ပုံ ၁၃-၅၂ Actual and ideal reciprocating vapor compression refrigeration cycle on p-h diagram

၁၃.၇.၃ Real Cycle of a Single-Stage Reciprocating Refrigeration System

Reciprocating refrigeration system တစ်ခု မောင်းနှင်သည့်အခါ pipelines ၊ valves ၊ compressor passages ၊ evaporator နှင့် condenser များတွင် ဖိအားကျဆင်းမှု ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် actual refrigeration cycle သည် ideal cycle နှင့် မတူညီပါ။ လက်တွေ့တွင် compression process နှင့် expansion process တို့သည် isentropic process မဖြစ်နိုင်ပေ။

ပုံ(၁၃-၅၂)တွင် single-stage reciprocating vapor compression refrigeration ၏ real cycle ကို p-h diagram ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ Actual refrigeration cycle ကို မျဉ်းအထူဖြင့် ဖော်ပြထားသည့် ideal cycle ကို မျဉ်းအပါးဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

၁၃.၈ Reciprocating Refrigeration System Oil Lubrication

လှုပ်ရှားနေသည့် အရာဝတ္ထုများ၏ မျက်နှာပြင်တွင် ပွန်းတီးခြင်းနှင့် တိုက်စားခြင်းစသည်တို့ မဖြစ်ပေါ်စေရန် အတွက် ချောဆီလွှာ(fluid film)တစ်မျိုး ဖုံးအုပ်ကာကွယ်ထားပေးရန် လိုအပ်သည်။ ပွတ်တိုက်ခြင်း ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော အပူများကို ဖယ်ရှားရန်နှင့် refrigerant ကို အေးစေရန်အတွက် ချောဆီ(oil)ကို အသုံးပြုသည်။ ဆလင်ဒါနှင့် ပင်စတင်အကြား၊ valve နှင့် valve plate အကြားတို့တွင် ချောဆီ(oil)သည် oil seal အဖြစ် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Refrigeration system များတွင် mineral နှင့် synthetic oil များကို lubrication အတွက် အသုံးပြု ကြသည်။

HCFC-22 သည် ချောဆီထဲတွင် ပျော်ဝင်(oil-miscible) နိုင်သောကြောင့် compressor အတွင်းသို့ refrigerant-oil mixture အနေဖြင့် ဝင်ရောက်လာနိုင်သည်။ HFC နှင့် HFC blend များသည် mineral oil တွင် မပျော်ဝင်နိုင်သောကြောင့် polyolester-based synthetic oil ကိုသာ ချောဆီ(lubrication oil)အဖြစ် အသုံးပြု နိုင်သည်။

Chiller များတွင် အသုံးပြုမည့် ချောဆီ(oil)ထဲတွင် အစိုင်အခဲ(solid)များ၊ ဖယောင်း(wax) စသည်တို့ ကင်းစင်ရမည်။ ဓာတုနှုတ်ခြင်းဖြင့်ပြုကွဲခြင်း မဖြစ်စေရ(chemically stable)။ သင့်လျော်သည့် စေးပျစ်မှု(viscosity) ရှိရမည်။

ASHRAE handbook 1994 အရ HCFC-22 နှင့် halogenated refrigerant ကို အသုံးပြုသည့် reciprocating compressor များတွင် Saybolt Seconds Universal(SSU) viscosity သည် (၁၅၀) မှ (၃၀၀) အတွင်း ရှိရမည်။ Kinematic viscosity သည် ft²/sec (92, 900 mm²/sec) သည် 4.3 x 10⁵ SSU နှင့် ညီမျှသည်။

အလတ်စား(medium) နှင့် အကြီးစား(large) reciprocating compressor များတွင် positive displacement vane သို့မဟုတ် gear oil pump များကို အသုံးပြု၍ ချောဆီ(oil)ကို အားဖြင့်တွန်းခြင်း(forced-feed lubrication) ပြုလုပ်သည်။ ဆီဝင်ပေါက်(oil passage)များ မှတစ်ဆင့် main bearing မျက်နှာပြင်နှင့် crankshaft ဆီသို့ ချောဆီ (oil)များကို တွန်းပို့ပေးသည်။ Crankshaft သည် လည်နေသောကြောင့် ဆလင်ဒါ နံရံ(cylinder wall) နှင့် piston pin များတွင် ချောဆီများ စိုစွတ်သွားသည်။ Crankshaft ၏ ထိပ်တစ်ဖက်တွင် ဆီပန်း(oil pump)ကို တပ်ဆင်ထားသည်။ ဆီစစ်(strainer) ကို oil sump အတွင်း၌ မြှုပ်ထားသည်။ Oil sump သည် ဆီပန်း(oil pump) ၏ suction intake နှင့် ချိတ်ဆက်ထားသည်။

Crankcase အတွင်းရှိ refrigerant ၏ ဖိအားသည် suction pressure နှင့် ညီမျှသည်။ ချောဆီပန်း(oil pump)၏ တွန်းနိုင်သည့်အမြင့်(pressure lift)သည် suction pressure နှင့် discharge pressure တို့၏ ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။

သေးငယ်သည့် reciprocating compressor များတွင် ချောဆီများပက်ဖြန်းသည့်နည်း(splash lubrication)ကို အသုံးပြုသည်။ လည်နေသည့် crankshaft နှင့် connecting rod ကို အသုံးပြု၍ ချောဆီများကို ဘယ်ရင်မျက်နှာပြင် (bearingsurface)၊ ဆလင်ဒါနံရံ(cylinder wall) နှင့် လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်းများ(moving parts) အပေါ်သို့ ပက်ဖြန်းပေးသည်။ Crankcase အတွင်း၌ လုံလောက်သည့် ဆီပမာဏရှိရန် လိုအပ်သည်။ ဆီပက်ဖြန်း(splash lubrication)နည်းသည် ရိုးရှင်းသည့်နည်း ဖြစ်သည်။ အားနည်းချက်မှာ ဘယ်ရင်အကြားလွတ်နေသည့်နေရာ(bearing clearance)သည် ပုံမှန်ထက် ပိုကျယ်သောကြောင့် ဆူညံသံ မြင့်မားသည်။

Refrigerant ပိုက်များကို ဒီဇိုင်းလုပ်သည့်အခါ evaporator နှင့် condenser တို့မှ ပြန်လာသည့် oil များ အတွက်ပါ ထည့်၍တွက်ရန် လိုအပ်သည်။ ချောဆီ(oil)များကို compressor အတွင်း၌ suction vapor မှ ဖယ်ထုတ်ပြီး crank case ဆီသို့ ပြန်ပို့ပေးရမည်။

၁၃.၈.၁ Strainers ၊ Lubrication and Crankcase Heater

Compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် gas များတွင် အညစ်အကြေးများ ပါဝင်လာနိုင်သည်။ အထူးသဖြင့် system အသစ်များတွင် အညစ်အကြေးများ ပို၍ ရှိနေနိုင်သည်။ Suction strainer သို့မဟုတ် trap များ တပ်ဆင်၍ အညစ်အကြေးများကို ဖမ်းယူ တားဆီးထားနိုင်သည်။

သေးငယ်သည့်compressor များ၏ ချောဆီပတ်လမ်း(lubricating oil circuit)တွင် strainer သို့မဟုတ် filter တပ်ဆင်ထားသည်။ ချောဆီကို ပန်ဖြင့် တွန်းပေးပြီး compressor အတွင်းသို့ ပက်ဖြန်းပေးသည်။

Semi-hermetic နှင့် open compressor များတွင် ချောဆီပမာဏ(oil level)ကို သိနိုင်ရန်အတွက် sight glass တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ Compressor idle ဖြစ်နေချိန်တွင် ချောဆီထဲတွင် refrigerant တချို့ ပျော်ဝင်နေသည်။ ပျော်ဝင်နေသည့် ပမာဏသည် refrigerant ၏ ဖိအား(pressure)၊ အပူချိန်(temperature) နှင့် refrigerant အမျိုးအစား ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ချောဆီထဲတွင် refrigerant အနည်းငယ်သာ ပျော်ဝင်နေစေရန် crankcases heater တပ်ဆင်ထားသည်။

၁၃.၉ Capacity Control of Reciprocating Compressors

အလိုရှိသည့် setpoint ကို ထိန်းထားနိုင်ရန်အတွက် evaporator အတွင်းမှ ထွက်သွားသည့် refrigerant gas ၏ အပူချိန်ကို control လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Refrigerant အငွေ့၏ အပူချိန်သည် refrigerant စီးနှုန်းပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Refrigerant စီးနှုန်းကို expansion valve ဖြင့် control လုပ်သည်။ Expansion valve သည် chiller

capacity ကို control လုပ်ရန်အတွက် refrigerant စီးနှုန်းကို control လုပ်သည်။ Expansion valve ကို throttling လုပ်ခြင်းကြောင့် system ဖိအားမြင့်တက်လာသည်။ Compressor သည် discharge pressure setpoint ကို ထိန်းထားနိုင်ရန်အတွက် refrigerant စီးနှုန်းကို လျော့ချရန် လိုအပ်သည်။

လက်တွေ့အခြေအနေတွင် ဖြစ်ပေါ်နေသည့် load နှင့် ကိုက်ညီအောင် refrigeration system များကို မောင်းရန် လိုအပ်သောကြောင့် compressor များတွင် capacity reduction device များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ မြန်နှုန်းထိန်းခြင်း(speed control)သည် အထင်ရှားဆုံးသောနည်း ဖြစ်သည်။ သို့သော် VSD ကဲ့သို့သော inverter drive များ အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

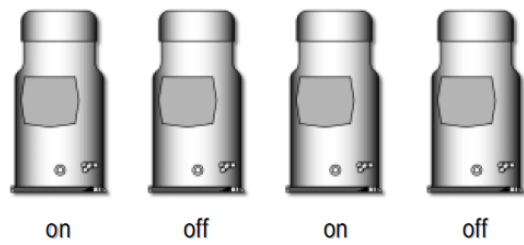
ပုံ(၁၃-၅၂)တွင် ဝန်အပြည့်(full capacity)ဖြင့် မောင်းနေသည့် ပုံမှန် အခြေအနေဖြစ်သည်။ ထိုအချိန်တွင် solenoid valve သည် de-energized ဖြစ်နေသည်။ ပုံ(၁၃-၅၁)တွင် suction ပိတ်သွားသောကြောင့် capacity ကျဆင်းပုံ ကို ဖော်ပြထားသည်။

Reciprocating compressor များတွင် refrigerant စီးနှုန်း(flow rate) နှင့် capacity ကို လျော့ချရန် အတွက် အသုံးများသောနည်းများမှာ suction valve ဖွင့်ပေးခြင်း၊ compressor အတွင်း၌ refrigerant gas bypassing သို့မဟုတ် တခြား compressor တစ်လုံးဆီသို့ refrigerant gas များကို bypassing တို့ ဖြစ်သည်။

Suction valve ဖွင့်ပေးသည့်နည်းတွင် compressor ဆလင်ဒါများ၌ ရှိနေသော suction valve များကို ပြင်ပမှ actuator ဖြင့် မ,၍ ဖွင့်ပေးထားခြင်း ဖြစ်သောကြောင့် ဖိသိပ်ခြင်း(compression) မဖြစ်ပေါ်နိုင်တော့ပေ။ ထိုဆလင်ဒါများ၌ refrigerant စီးနှုန်း(flow rate) လုံးဝ မရှိတော့ပေ။

Reciprocating compressor များ၏ cooling capacity ကို control လုပ်နိုင်သည့်နည်းများကို ဖော်ပြထားသည်။

- (၁) Cycling (on/off) နည်း (with or without multiple compressors)
- (၂) Cylinder unloader နည်း
- (၃) Hot gas bypass နည်း နှင့်
- (၄) Speed control နည်း တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၃-၅၀ Multiple compressors cycling (on/off) နည်း

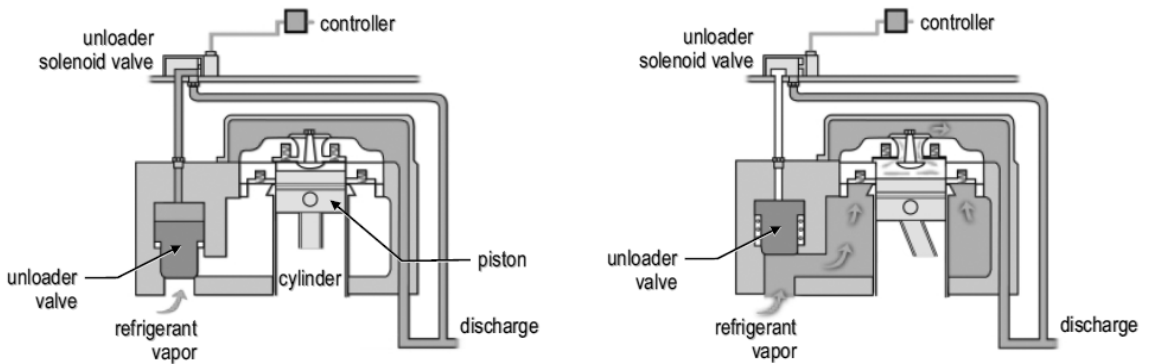
၁၃.၉.၁ Cycling (on/off) With or Without Multiple Compressors

Compressor တစ်လုံးထက်ပိုများသည့် chiller များတွင် compressor ကို ရပ်နားခြင်း(off)ဖြင့်လည်း capacity control ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ဥပမာ- compressor လေးလုံးပါဝင်သည့် chiller တွင် capacity control လုပ်ရန် stage လေးခု သို့မဟုတ် step လေးခု (25%-50%-75%-100%) ရရှိနိုင်သည်။ ဆလင်ဒါ လေးလုံးပါသည့်(four-cylinder) compressor တွင် stage လေးခု သို့မဟုတ် step လေးခု(25%-50%-75%-100%) ရရှိနိုင်သည်။ ဆလင်ဒါ လေးလုံးပါသည့်(four-cylinder) compressor နှစ်လုံးပါရှိသည့် chiller တွင် capacity control လုပ်ရန် အဆင့်(၈)ခု ရရှိနိုင်သည်။

Reciprocating chiller တစ်လုံးတွင် compressor အရေအတွက် များလေ သို့မဟုတ် ဆလင်ဒါ အရေအတွက်များလေ capacity control လုပ်ရန် ပိုချောမွေ့လေ ဖြစ်သည်။

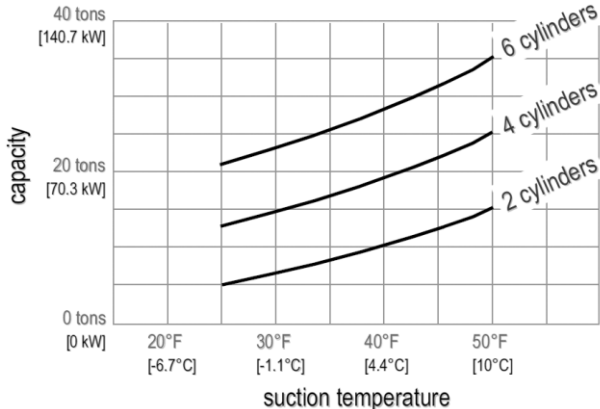
Compressor များကို on/off လုပ်၍ cycling လုပ်ခြင်းသည် ကုန်ကျစရိတ် သက်သာပြီး စွမ်းအင် ရွှေ့တာနိုင်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။ သို့သော် အချိန်တိုအတွင်း compressor များကို အကြိမ်များစွာ မောင်းခြင်း၊ ရပ်နားခြင်းကြောင့် အချိန်မတိုင်မီ ပျက်စီးနိုင်သည်။ ထိုသို့ ပျက်စီးခြင်းများကို ကာကွယ်ရန် ရပ်တန့်ပြီးနောက် ပြန်မောင်းသည့်အခါတွင် အချိန် အနည်းငယ်ခြားထားခြင်း၊ compressor စတင်မောင်းပြီးနောက် ချက်ချင်း မရပ်တန့် စေရန် အနည်းဆုံး မောင်းချိန် သတ်မှတ်ပေးထားခြင်း စသည့် ကာကွယ်မှုများပါရှိရမည်။ ထို့အချက်များကြောင့် reciprocating chiller များတွင် chilled water temperature မတည်ငြိမ်ခြင်း(fluctuation) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Unloader များသည် ပင်စတင်(piston)မှ ဖိသိပ်ခြင်း(compress) မပြုလုပ်အောင် suction valve ကို မပေးသည့် ကိရိယာများဖြစ်သည်။ Hermetic compressor ကို refrigerant ဖြင့် အေးအောင်ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် ဆလင်ဒါ အားလုံးကို unload လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ဆလင်ဒါ unloading နည်းသည် cycling နည်းလောက် energy efficiency မကောင်းနိုင်ပေ။



ပုံ ၁၃-၅၁ Unloader valve ပိတ်နေပုံ

ပုံ ၁၃-၅၂ Unloader valve ဖွင့်နေပုံ



ပုံ ၁၃-၅၃ Cylinder unloader နည်း ဖြင့် လျော့ချနိုင်သည့် capacity

၁၃.၉.၂ Cylinder unloader နည်း

Suction valve ပိတ်ထားသည့်နည်း

ဆလင်ဒါများစွာပါသော(multi-cylinder) compressor များတွင် suction valve ကို ပိတ်ထားခြင်းဖြင့် swept volume ကို လျော့နည်းစေကာ ဆလင်ဒါများ compression မလုပ်အောင် ပြုလုပ်ထားခြင်းဖြင့် capacity ကို လျော့ချနိုင်သည်။

Plunger အကြားတွင် ရှိနေသည့် ဖိအား(gas pressure)များ တူညီသည်။ Plunger ကို ဖွင့်နေသည့် အနေအထားဖြစ်အောင် စပရိန်(spring)က ပြုလုပ်ပေးသည်။ Solenoid valve က energize ဖြစ်သည့်အခါ needle valve သည် အပေါ်တွင်(upper port) ရှိနေသည်။ Unloading plunger chamber သည် discharge pressure port

မှ တစ်ဆင့် discharge pressure သက်ရောက်ခြင်း ခံရသည်။ Discharge နှင့် suction pressure ကွာခြားချက်ကြောင့် plunger အောက်သို့ နိမ့်ဆင်းသွားသည်။ suction port ကို valve plate ဖြင့် ဖုံးအုပ်သွားသောကြောင့် unloaded cylinder များအတွင်းသို့ suction vapour မဝင်ရောက် နိုင်တော့ပေ။

Cylinder Unloaders

Cooling capacity 10 tons [35 kW] ထက် ပိုကြီးမားသည့် reciprocating compressor များတွင် cylinder unloader ကို တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။ Cooling capacity လျော့နည်းစေရန်အတွက် cylinder များကို ဖိသိပ်ခြင်း မပြုလုပ်(deactivate)အောင် cylinder unloader များက ပြုလုပ်ပေးသည်။

ဆလင်ဒါ(cylinder) အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာမည့် gas များကို ပိတ်ဆို့ရန် unloader valve ကို လျှပ်စစ်ဓာတ်အားဖြင့် မောင်းသည်။ Cooling load လျော့နည်းသည့်အခါ electronic controller မှ solenoid valve ကို ဖွင့်ပေးရန် အချက်(signal) ပေးလိုက်သည်။ Solenoid valve သည် compressor discharge မှ ဖိအား မြင့်သည့် (pressurized) refrigerant vapor များကို unloader valve ထိပ်သို့ ရောက်အောင် လမ်းကြောင်းပြောင်း(divert) ပေးလိုက်သောကြောင့် unloader valve ပိတ်သွားပြီး cylinder အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာမည့် refrigerant vapor များ ရပ်တန့်သွားသည်။

ပင်စတင်(piston)သည် အထက်သို့တက်ခြင်း၊ အောက်သို့ဆင်းခြင်းဖြင့် ဆလင်ဒါ(cylinder) အတွင်း၌ ရွေ့လျားနေသော်လည်း ဖိသိပ်ခြင်း(compression) မပြုလုပ်ပေ။ Load များလာသည့်အခါ solenoid valve ပိတ်ရန် အချက်(signal) ပေးလိုက်သည်။ ဖိအားမြင့်သည့်(pressurized) refrigerant vapor များ unloader valve ထိပ်မှ ဆလင်ဒါ(cylinder) အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်နိုင်သည်။

Suction valve ကို ပွင့်နေအောင် လုပ်ထားပေးမည့် mechanisms ကို cylinder unloader ဟု ခေါ်ဆိုနိုင်သည်။ Suction valve အမြဲပွင့်နေသောကြောင့် ဖိသိပ်ခြင်း(compression) မဖြစ်ပေါ်နိုင်တော့ပေ။ နောက်ထပ် cylinder unloader တစ်မျိုးမှာ ဖိအားမြင့်သည့်(compressed) refrigerant များကို suction ဘက်သို့လမ်းလွှဲ(divert) ပေးသည့် နည်းဖြစ်သည်။

Suction temperature မြင့်တက်လေ compressor ၏ capacity များလေဖြစ်သည်။ Suction temperature မြင့်တက်ချိန်တွင် suction pressure မြင့်တက်နေလိမ့်မည်။ ဖိအားမြင့်သည့် refrigerant သည် ပို၍ သိပ်သည်းသောကြောင့်(denser) compression cycle တစ်ခုအတွင်း၌ ပိုများသည့် ထုထည်ကို ဖိသိပ်နိုင်ခြင်း ဖြစ်သောကြောင့် capacity ပိုများခြင်း ဖြစ်သည်။

ဘားကို မ,တင်ထားသည့်နည်း(Valve-Lifting Method)

ဘားကို မ,တင်ထားသည့်နည်း(valve-lifting method)တွင် ring plate valve များကို အသုံးပြုကြသည်။ Ring plate suction valve များသည် crown တွင် တည်ရှိပြီး မ,တင်ထားသည့်နည်း အမျိုးမျိုးကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ ချောဆီ ဖိအား(lubricating oil)ကို solenoid valve များဖြင့် ထိန်းပေးသည်။ ဆလင်ဒါများစွာပါရှိသည့်စက်များ(multi-cylinder machines)မှ ဆလင်ဒါ(cylinder) တချို့ကို unload လုပ်ပေးခြင်းဖြင့် စွမ်းရည်(capacity)ကို လျော့နည်းစေနိုင်သည်။ ထိုကဲ့သို့ ဆလင်ဒါ(cylinder) များကို unload လုပ်ထားခြင်းကို compressor စတင် မောင်းသည့် အချိန်၌လည်း ပြုလုပ်ထားခြင်းဖြင့် starting current ကို လျော့နည်းစေသည်။ Compressor သည် ဝန်အပြည့်ဖြင့် မောင်းချိန်(fully loaded) မတိုင်ခင် ချောဆီဖိအား(oil pressure)ကို မြင့်တက်စေသည်။

သေးငယ်သည့်စက်များတွင် cylinder head ၏ inlet နှင့် outlet port များကို bypass လုပ်ပေးနိုင်သည့် valve များ တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ သို့မဟုတ် cylinder head များ၏ အရွယ်အစားလိုသလို ပြောင်းနိုင်သည့် variable clearance pocket များ ပြုလုပ်ထားသည်။ Compressor ၏ အပြင်ဘက်၌ ပိုက်များတပ်ဆင်၍ bypass လုပ်ခြင်းဖြင့်လည်း capacity လျော့နည်းစေနိုင်သည်။

၁၃.၉.၃ Hot gas bypass နည်း

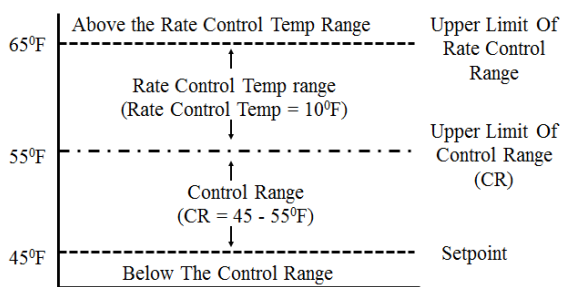
ဆလင်ဒါများ၌ discharge ဘက်မှ ဖိအားမြင့်သည့်(high pressure) hot gas များကို condenser ဆီသို့ မရောက်စေဘဲ suction ဘက်သို့ လမ်းလွဲသည့်နည်း ဖြစ်သည်။ တပ်ဆင်ထားသည့် solenoid valve များသည် refrigerant flow ကို လမ်းလွဲပေးခြင်း သို့မဟုတ် bypass လုပ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ Pressure differential သို့မဟုတ် "lift" ကို လျှော့ချနိုင်ပြီး evaporator အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာမည့် refrigerant gas flow ကို လည်း လျှော့နည်း စေသည်။

Hot gas bypass နည်းသည် low suction pressure ကို အခြေခံ၍ capacity control လုပ်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။ နောက်ဆုံး သို့မဟုတ် အနည်းဆုံး unloading stage သို့ ရောက်ပြီးနောက်မှသာ hot gas bypass နည်းကို အသုံးပြုသင့်သည်။ Hot gas bypass နည်းသည် အနည်းဆုံး cooling load ကို ပေးနိုင်သော်လည်း စွမ်းအင် ချွေတာမှု မပြုလုပ်နိုင်ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် စက်များသည် unload မလုပ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် အလွန် အလွန်နိမ့်သည့် cooling load များအတွက်သာ hot gas bypass လုပ်ရန်သင့်လျော်သည်။ စင်ကာပူနိုင်ငံတွင် comfort air conditioning များအတွက် hot gas bypass လုပ်ခြင်းကို ခွင့်မပြုပေ။

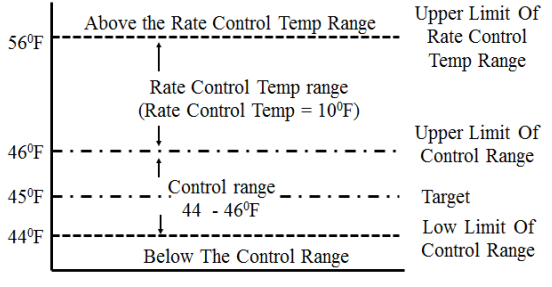
၁၃.၉.၄ Speed Control နည်း

Two speed electric motor သို့မဟုတ် inverter များ တပ်ဆင်၍ မြန်နှုန်းကို လျှော့ချခြင်းဖြင့်လည်း capacity လျှော့နည်းစေနိုင်သည်။ မြန်နှုန်း(speed) လျှော့ချရာတွင် lubrication system ကောင်းစွာ အလုပ် လုပ်နေ စေရန်အတွက် သတိပြုသင့်သည်။ မြန်နှုန်း(speed) အလွန်နိမ့်ပါက ချောဆီဖိအား(oil pressure) အလွန် နိမ့်ဆင်း သွားကာ system တစ်ခုလုံး ပျက်စီးသွားနိုင်သည်။

၁၃.၉.၅ Return Water Control နှင့် Leaving Water Control



ပုံ ၁၃-၅၄ Return chilled water control



ပုံ ၁၃-၅၅ Leaving chilled water control

၁၃.၁၀ Reciprocating Compressor Startup Sequence

Tabel 13-1 Reciprocating Compressor Startup Sequence	
0 Seconds	
	Start initiated with unit switch
	2 minute timer timed out
	Anti-recycle timer timed out
	Compressor starts
	Anti-recycle timer starts again
4 Seconds	
	Motor current >14% and < 115%
30 Seconds	
	Oil pressure => 20 psid

	Suction pressure > 50% of cutout
60 Seconds	
	Compressor loads first step
90 Seconds	
	Second compressor starts
120 Seconds	
	Compressor loads next step
180 Seconds	
	Compressor Loads next stage
240 Seconds	
	Suction pressure > cut out
	Oil pressure > 25 psid

Compressor တစ်လုံးနှင့် တစ်လုံးသည် ထုတ်လုပ်သူ၊ တည်ဆောက်ပုံ၊ configuration စသည်တို့ အမျိုးမျိုး ကွဲပြားခြားနားကြသောကြောင့် အထက်ပါ အချိန်(timing)နှင့် operating parameter တန်ဖိုးများ ကို ဥပမာ အဖြစ်သာ ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။

၁၃.၁၁ Reciprocating Refrigeration Systems Testing Standards

Engineering testing နှင့် သက်ဆိုင်သည့် standard တချို့ကို ဖော်ပြထားသည်။	
Ratings	
	ASHRAE Standard 23
	ARI Standard 520
U.L. 60 Hz Approval testing	
	Housing burst test
	Low side 720 psig
	High side 2250 psig
	U.L. standard 465 rain test
	U.L. Max continuous current test

-End -

Contents

၁၃.၁ Introduction..... 1

၁၃.၂ တည်ဆောက်ပုံ(၃)မျိုး..... 2

 ၁၃.၂.၁ Enclosed Motor သို့မဟုတ် Hermetic Compressor 2

 ၁၃.၂.၂ Semi-Hermetic Type..... 2

 ၁၃.၂.၃ Open Compressor 2

၁၃.၃ Reciprocating Refrigeration System Components and Accessories..... 6

 ၁၃.၃.၁ Cylinder and Cylinder Arrangement 6

 ၁၃.၃.၂ Arrangement 6

၁၃.၃.၃ Piston and Piston Ring	
၁၃.၃.၄ Cylinder Block and Piston	
၁၃.၃.၅ Connection Rods	
၁၃.၃.၆ Valves and Valve Plates.....	
၁၃.၃.၇ Crankshaft.....	
၁၃.၃.၈ Crank Shaft Seal.....	
၁၃.၃.၉ Suction and Discharge Valves	
၁၃.၃.၁၀ Crankcase Heater	
၁၃.၃.၁၁ Liquid Receiver.....	
၁၃.၃.၁၂ Liquid Suction Heat Exchanger (LSHE)	
၁၃.၃.၁၃ Filter Dryer and Strainer	
၁၃.၃.၁၄ Reed Valve Plate	
၁၃.၃.၁၅ Service Valves.....	
၁၃.၄ အလုပ်လုပ်ပုံ (Compression Process)	16
၁၃.၄.၁ Clearance Area.....	
၁၃.၄.၂ Multi- Cylinder Compressors	
၁၃.၄.၅ Cooling and Protection	
၁၃.၆ Compressor Efficiency	22
၁၃.၇ Reciprocating Chiller.....	24
၁၃.၇.၁ Types of Reciprocating Refrigeration Systems.....	
၁၃.၇.၂ Liquid Overfeed Reciprocating Refrigeration Systems.....	
၁၃.၇.၃ Real Cycle of a Single-Stage Reciprocating Refrigeration System.....	
၁၃.၈ Reciprocating Refrigeration System Oil Lubrication.....	28
၁၃.၈.၁ Strainers ၊ Lubrication and Crankcase Heater	
၁၃.၉ Capacity Control of Reciprocating Compressors	29
၁၃.၉.၁ Cycling (on/off) With or Without Multiple Compressors	
၁၃.၉.၂ Cylinder unloader နည်း	
၁၃.၉.၃ Hot gas bypass နည်း	
၁၃.၉.၄ Speed Control နည်း.....	
၁၃.၉.၅ Return Water Control နှင့် Leaving Water Control	

၁၃.၁၀ Reciprocating Compressor Startup Sequence 33

၁၃.၁၁ Reciprocating Refrigeration Systems Testing Standards..... 34

Chapter-14 Screw Compressors and Chillers

၁၄.၁ Screw Compressors

၁၈၇၈ခုနှစ်ကတည်းက screw compressor များကို တီထွင်နိုင်ခဲ့ကြသော်လည်း screw နှစ်ခုကို တိကျသည့် tolerance ဖြင့် ထုတ်လုပ်နိုင်သည့် နည်းပညာ အားနည်းမှုကြောင့် စီးပွားဖြစ် မထုတ်လုပ်နိုင်ခဲ့ပေ။ Screw compressor ဒီဇိုင်းကို Dr Willis Carrier က ပထမကမ္ဘာစစ် ပြီးခါစတွင် တီထွင်ခဲ့သည်။

ယခုအခါ chiller ထုတ်လုပ်သူများသည် reciprocating chiller များ အစား screw chiller ကို ထုတ်လုပ်လာကြသည်။ Screw compressor များတွင် reciprocating compressor ထက် စွမ်းဆောင်ရည်(performance) သာလွန်ခြင်း နှင့် efficiency ပိုကောင်းခြင်း ၊ ယုံကြည်စိတ်ချရမှု(reliability) မြင့်မားခြင်း စသည့် အားသာချက်များစွာ ရှိသည်။ Screw compressor များသည် နောင်တွင် အလွန်အသုံးများမည့် compressor အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။

Screw compressor များသည် positive displacement compressor များ ဖြစ်ကြသည်။ Refrigeration လုပ်ငန်းများတွင် single screw နှင့် twin screw compressor နှစ်မျိုးလုံးကို တွင်ကျယ်စွာ အသုံးပြုကြသည်။ Reciprocating compressor များကို အသုံးပြုလျှင် အပူချိန် -35°C အထိသာရရှိနိုင်သော်လည်း screw compressor များကို အသုံးပြုလျှင် အပူချိန် -40°C မှ -50°C အထိ ရရှိနိုင်သည်။ အငယ်ဆုံး 15 HP screw compressor အထိ ဝယ်ယူ ရရှိနိုင်သည်။

Refrigeration လုပ်ငန်းခွင် screw compressor နည်းပညာများ တိုးတက်လာခြင်းကြောင့် အောက်ပါ အကျိုးကျေးဇူးများ ရရှိနိုင်သည်။

- (၁) စွမ်းဆောင်ရည်(performance) နှင့် efficiency ပိုကောင်းခြင်း
- (၂) ယုံကြည်စိတ်ချရမှု(reliability) မြင့်မားခြင်း
- (၃) ဈေးနှုန်း ချိုသာခြင်း၊ ကုန်ကျစရိတ်(costs) နည်းခြင်း
- (၄) လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်း (moving parts) အနည်းငယ်သာ ပါဝင်ခြင်း
- (၅) တုန်ခါမှု(vibration) နည်းခြင်း နှင့်
- (၆) Refrigerant ဆုံးရှုံးမှု(loss) နည်းခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

Screw compressor များသည် reciprocating compressor များနှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်း(moving parts) အနည်းငယ်သာ ပါဝင်သောကြောင့် ယုံကြည်စိတ်ချရမှု(reliability) အလွန် မြင့်မားသည်။ သက်တမ်းကြာရှည်ခံသည်။

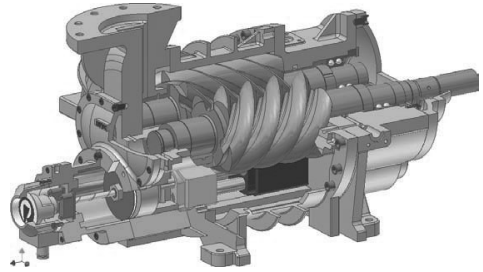
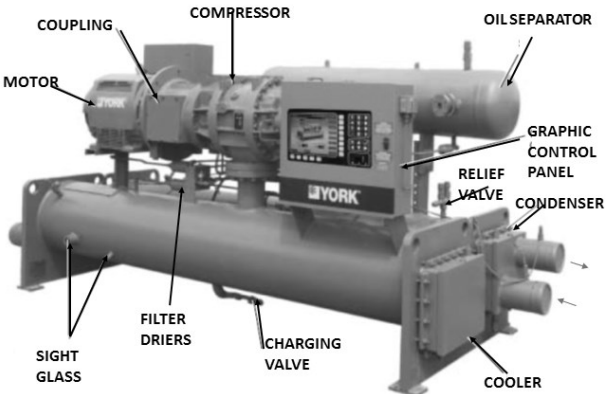


ပုံ ၁၄-၁ Screw compressor open motor



ပုံ ၁၄-၂ Screw compressor semi-hermetic motor

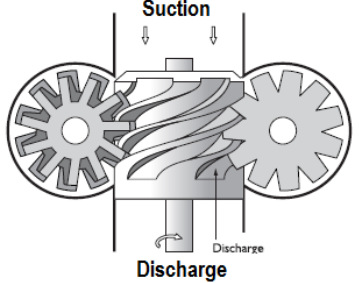
Industrial refrigeration လုပ်ငန်းများတွင် process chiller များအဖြစ်၊ high-temperature screw compressor များ အဖြစ် အသုံးပြုရန် အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။ Oil separator နှင့် oil reservoir တို့ကို အတူတကွ တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် တပ်ဆင်ချိန် လျော့ချနိုင်သောကြောင့် အချိန်ကုန်သက်သာခြင်း၊ ဈေးနှုန်းချိုသာခြင်းနှင့် နေရာယူမှု နည်းခြင်း စသည့် အကျိုးများ ရရှိနိုင်သည်။ 50 မှ 140 HP အထိ ကြီးမားသည့် screw compressor များကို ဈေးကွက်တွင် ရရှိနိုင်သည်။ Screw compressor များကို R-134a ၊ R-407C နှင့် R-22 ဖြင့် တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။ R-404A ၊ R-507A တို့ကို special application များတွင် အသုံးပြုသည်။



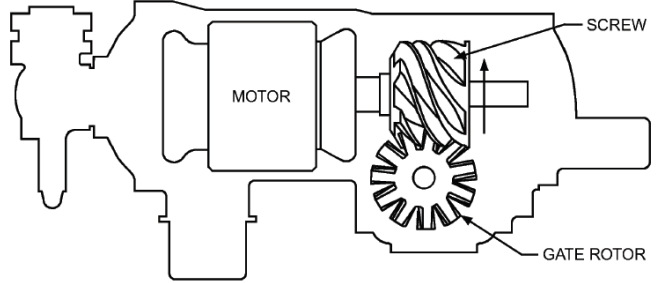
ပုံ ၁၄-၃ Screw compressor (York YS model)

၁၄.၁.၁ Single Screw Compressors

Single screw နှင့် multiple screw ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ Single screw တွင် main rotor တစ်ခုနှင့် ချိတ်ထားသည့် gate rotor တစ်ခုပါဝင်သည်။ Gate rotor ကို main rotor shaft မှ မောင်းပေးသည်။ မော်တာ လည်သည့်အခါ gate rotor မှ အသွားများက screw ကို ရွှေ့လျားစေပြီး ဝင်ရောက်လာသည့် refrigerant များသည် အသွား ကြားတွင် ပိတ်မိသွားသည်။ ထို့နောက် groove volume လျော့နည်း သွားပြီး refrigerant များ ဖိသိပ် ခံရသည်။ Gate rotor နှစ်ခုပါရှိ သောကြောင့် screw တစ်ခုနှင့် တစ်ခု လွတ်လပ်စွာ လှုပ်ရှားနိုင်သည်။ Single screw compressor များတွင် သက်တမ်း ကြာရှည်ခံသည့် ဘယ်ရင်(bearing) နှင့် centrifugal economizer ပါရှိသည်။



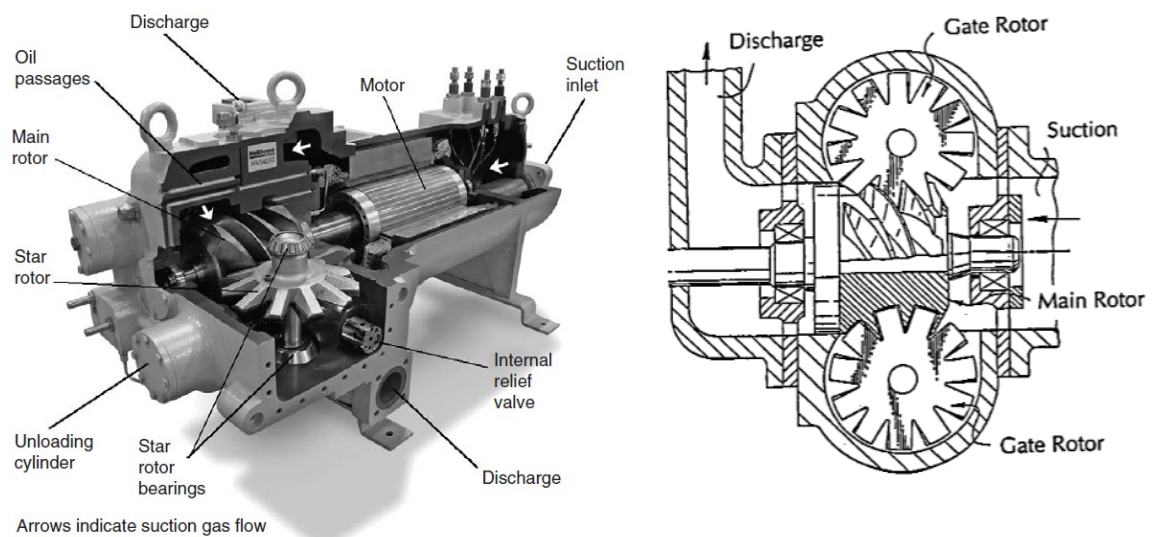
ပုံ ၁၄-၄ Single screw



ပုံ ၁၄-၅ Gate rotor တစ်ခုပါသည့် semihermetic single screw compressor

Economizer တွင် intermediate pressure chamber ပါဝင်သည်။ Centrifugal separator ကြောင့် ခွဲထုတ်ခြင်းခံရသည့် flash gas များသည် pressure chamber အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားသောကြောင့် efficiency ပိုကောင်းလာသည်။

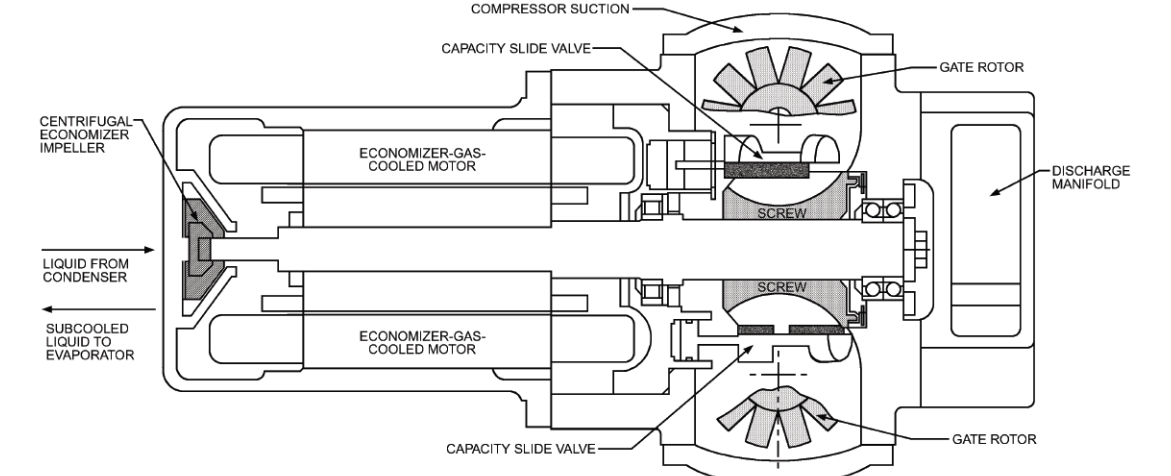
Single screw compressor များတွင် slide valve ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် groove volume လျော့နည်းနိုင်သည်။ ထို့အပြင် compressor displacement ပြောင်းလဲနေသောကြောင့် ဖိသိပ်နိုင်သည့် ထုထည်(volume of gas compressed)ပြောင်းလဲနေသည်။ Single screw များတွင် သီးခြားအလုပ်လုပ်နိုင်သည့် slide valve တစ်ဖက်တစ်ချက်စီတွင် ပါရှိသောကြောင့် part-load energy performance ပိုကောင်းသည်။



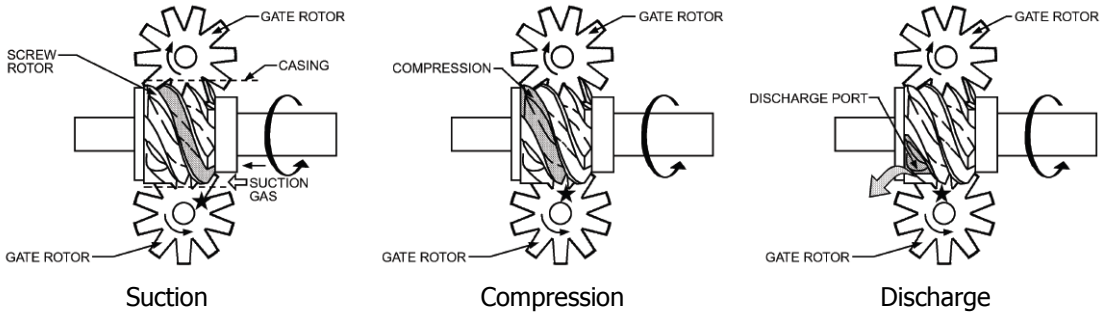
ပုံ ၁၄-၆ Gate rotor တစ်ခုသာပါဝင်သည့် single screw ပုံ ၁၄-၇ Gate rotor နှစ်ခု ပါဝင်သည့် single screw

ပုံ(၁၄-၆)တွင်ပြထားသည့် single screw compressor တွင် screw တစ်ခုနှင့် ကြယ်ပုံသဏ္ဍာန် လည်နေသည့် ခွေးသွားစိတ်များပါသည့် ဂီယာ(star gear or gate rotor)တစ်ခုတို့ ပါဝင်သည်။ Star gear ကို star rotor သို့မဟုတ် gate rotor ဟုလည်း ခေါ်သည်။

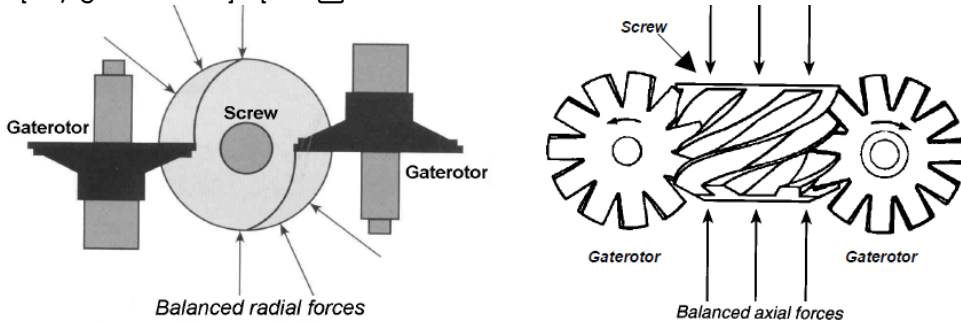
Screw အသွားများကို ပုံသဏ္ဍာန်(geometry) အမျိုးမျိုးဖြင့် တည်ဆောက်နိုင်သော်လည်း လက်ရှိ ထုတ်လုပ်နေသည့် စက်များတွင် flute ခြောက်ခု ပါရှိသည့် rotor နှင့် ခွေးသွားစိတ်(၁၁)ခု ပါရှိသည့် ကြယ်ပုံသဏ္ဍာန် ဂီယာတို့ ပါဝင်သည်။ ပုံ(၁၄-၇) နှင့် (၁၄-၈)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း screw ဘေးတစ်ဖက်စီတွင် ကြယ်ပုံသဏ္ဍာန် ဂီယာနှစ်ခု ပါရှိသည့် screw ဒီဇိုင်း မျိုးလည်း ရှိသည်။ ကြယ်ပုံသဏ္ဍာန် ဂီယာများက screw ကို မောင်းပေးသည်။ Screw compressor များ တည်ဆောက်ပုံ ကွဲပြားကြသော်လည်း ရော့ဆီပတ်လမ်း(oil circuit)များ အလုပ်လုပ်ပုံ တူညီကြသည်။



ပုံ ၁၄-၈ Gate rotor နှစ်ခုပါဝင်သည့် semihermetic single screw compressor

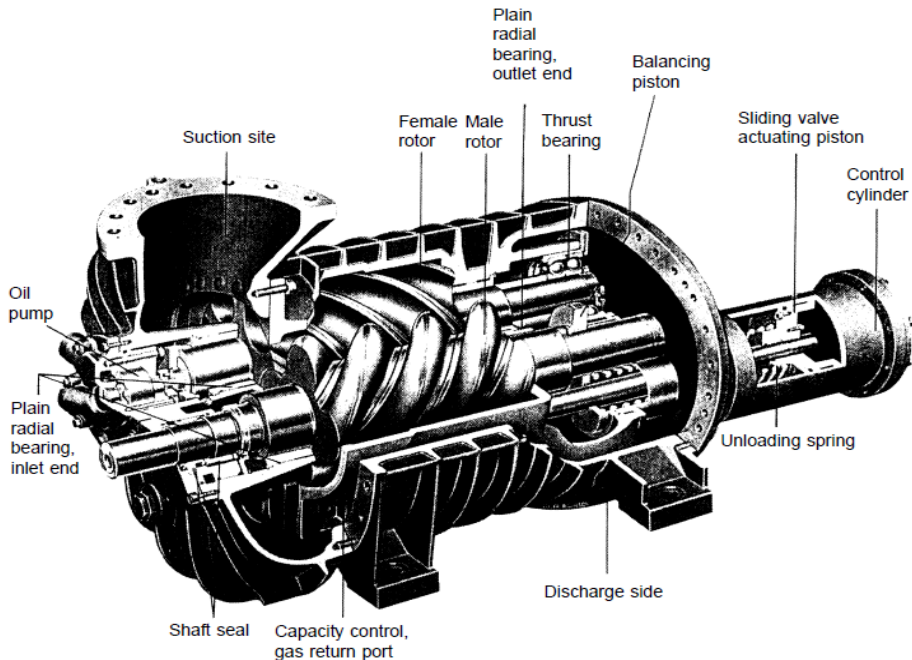


ပုံ ၁၄-၉ Gate rotor နှစ်ခုပါသည့် single screw compressor ၏ sequence of compression



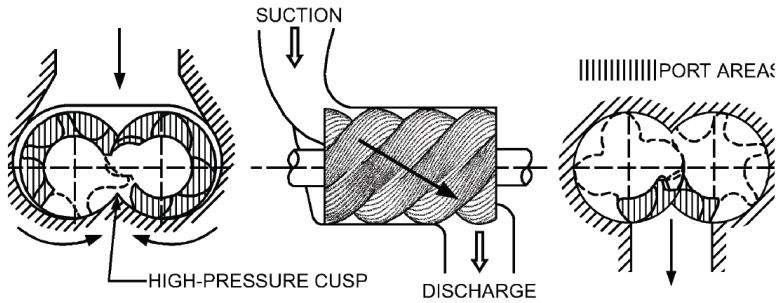
ပုံ ၁၄-၁၀ Gate rotor နှစ်ခု ပါဝင်သည့် single screw ၏ balanced radial forces and balanced axial forces

၁၄.၁.၂ Twin Screw Compressors

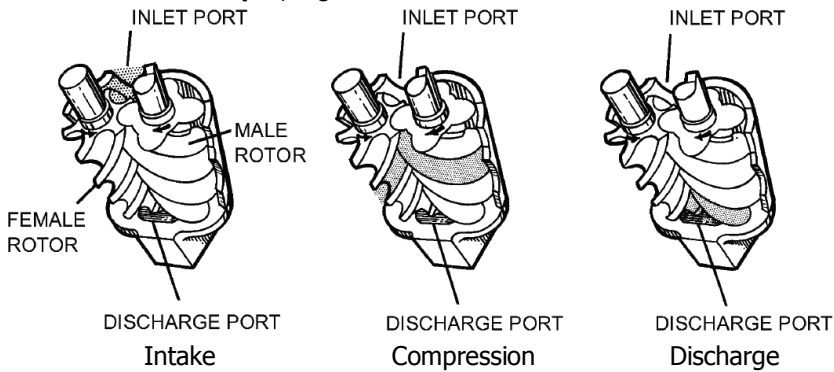


ပုံ ၁၄-၁၁ Twin screw compressor

Twin screw အမျိုးအစားသည် multiple screw compressor အမျိုးအစားတွင် ပါဝင်ပြီး အသုံးအများဆုံးသော compressor များ ဖြစ်ကြသည်။ Twin screw များသည် double helical rotary screw compressor များ ဖြစ်ကြသည်။ Male နှင့် female ဟူ၍ အတူတကွ တွဲချိတ်ထားသည့် helically grooved rotor နှစ်ခု ပါဝင်သည်။ Male screw သို့မဟုတ် female screw ကို မော်တာဝင်ရိုးနှင့် ချိတ်ဆက်ထားပြီး တခြားတစ်ခုမှာ အမောင်းခံ (driven) ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၄-၁၂ Twin screw compressor



ပုံ ၁၄-၁၃ Twin screw compressor compression process

Compressor ၏ အဝင်ဘက်(suction side)တွင် male rotor နှင့် female rotor အကြား ဟ,နေသည့် နေရာသို့ gas များ ဝင်ရောက်လာသည်။ Rotor လည်ပတ်ခြင်းကြောင့် လိမ်နေသည့် screw အသွား အကြားတွင် gas များ ပိတ်မိသွားသည်။ Rotor အဆက်မပြတ်လည်ပတ်နေမှုကြောင့် screw အသွားနှစ်ခုအကြား လွတ်နေသည့် နေရာ တဖြည်းဖြည်း ကျဉ်းမြောင်းလာသည်။ ထို့နောက် ဖိအားမြင့်သည့် gas များသည် rotor ၏ အဆုံးမှ ထွက်သွားသည်။

Twin screw များတွင် capacity control ပြုလုပ်ရန် rotor ၏ အထွက်(discharge)ဘက်အနီးတွင် တပ်ဆင် ထားသည့် slide valve ပါဝင်သည်။ Slide valve သည် gas တချို့ကို compressor ၏ suction ဘက်သို့ ပြန်ပို့ ပေးသည့်နည်းဖြင့် bypass ပြုလုပ်ပေးသည်။ Twin screw compressor တွင် helically grooved rotors (a pair of inter-meshing screws) ပါဝင်ပြီး gear pump ကဲ့သို့ အလုပ်လုပ်သည်။

Male screw ကို မော်တာနှင့် ချိတ်ဆက်ထားပြီး compressor ကို မောင်းသည်။ Suction သို့မဟုတ် discharge valve များ မပါရှိပေ။ ဂီယာသွားနှင့် ဆလင်ဒါနံရံ(gear teeth and cylinder wall)အကြားရှိ compression chamber အတွင်းသို့ gas များ စုပ်ယူခြင်းခံရသည်။ Helical movement မှ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် တွန်းအားကြောင့် gas များသည် rotor တစ်လျှောက် ရွေ့လျားသွားသည်။ Oil flooding နည်းဖြင့် ချောမွတ်(lubricating)အောင် ပြုလုပ်သည်။ ချောဆီများသည် refrigerant gas များ မယိုမိမ့်အောင် seal အနေဖြင့် ကာကွယ် တားဆီးပေးသည်။

၁၄.၂ Screw Chillers

Screw chiller များတွင် အောက်ပါ subsystem များ ပါရှိသည်။

- (၁) Screw Compressor
- (၂) Driving Motor & Power Supply System
- (၃) Oil Reservoir & Oil Separation System
- (၄) Oil Cooling & Filtering System
- (၅) Microprocessor Control Panel and Control System
- (၆) Suction and Discharge Valves and Strainer
- (၇) Hydraulic System
- (၈) Lubrication System

Table 14- screw compressor ၏ အားသာချက်များ(advantages) နှင့် အားနည်းချက်များ(disadvantages)

Advantages	Disadvantages
Long maintenance intervals	High initial cost
Available in large capacity	Factory-level service requirements
Slide valve with infinite control	Inefficient unloading
Few moving parts	Large package size

Screw compressor များသည် positive displacement compressor များ ဖြစ်ကြသည်။ Refrigerant vapor များကို ဖိသိပ်(compress) ရန်အတွက် "Helical" ပုံသဏ္ဍာန် rotor ကို အသုံးပြုသည်။ အပြန်အလှန် ချိတ်ဆက် (intermesh)ထားသည့် rotor များ အကြားနေရာ(interlobe space)၌ ပိတ်ခြင်း(closing off)နှင့် ပွင့်ခြင်း (exposing) ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ ပွင့်သွားသည့်အခါ refrigerant များကို စုပ်ယူသွားသည်။ Rotor သည် အဆက်မပြတ် လည်နေသောကြောင့် refrigerant သည် အကြားနေရာ(interlobe space) အတွင်း၌ ပိတ်မိပြီး ဖိသိပ်ခြင်း ခံရသည်။ အကြားနေရာ(interlobe space)၏ ထုထည် (volume) တဖြည်းဖြည်း ကျဉ်းလာသောကြောင့် ဖိအား မြင့်တက် လာသည်။ Rotor ၏ အဆုံးတစ်ဖက်သို့ ရောက်ချိန်တွင် ဖိအားမြင့်သည့် refrigerant များ ထွက်သွားသည်။

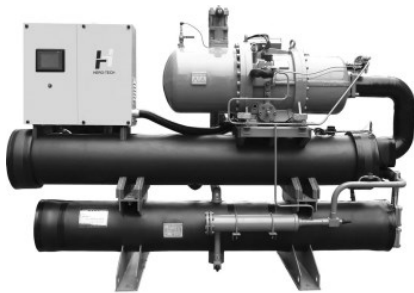
Single configuration နှင့် twin configuration ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။

- (က) Single screw compressor တွင် main screw rotor နှင့် gate rotor တစ်ခု သို့မဟုတ် နှစ်ခု ပါဝင်သည်။ Main screw rotor ကို လျှပ်စစ်မော်တာ(electric motor)ဖြင့် မောင်းလေ့ရှိသည်။
- (ခ) Twin screw compressor တွင် သေချာစွာ ချိန်သားကိုက်အောင် ပြုလုပ်ထားသည့် male rotor နှင့် female rotor ပါဝင်သည်။ အခွံ(enclosure)တစ်ခု အတွင်း၌ တိကျမှု ကောင်းစွာ အံဝင်ခွင်ကျ ဖြစ်အောင် တပ်ဆင် ထားပြီး ဆန့်ကျင်ဘက်သို့ လည်စေ(counter rotating)သည်။ Rotor တစ်ခုသည် မောင်းခြင်းခံရပြီး တခြား rotor တစ်ခုသည် မောင်းသည့် rotor ဖြစ်သည်။ Twin screw compressor များသည် control လုပ်နိုင်စွမ်း ပိုကောင်းကြသည်။ Operating efficiency မကျစေဘဲ suction pressure အမျိုးမျိုးဖြင့် မောင်းနိုင်သည်။ Air cooled နှင့် water cooled နှစ်မျိုးလုံး ရနိုင်သည်။ Refrigeration capacity 750RT အထိ ရနိုင်သည်။

ဖိအားမြင့်မြင့် ရနိုင်ခြင်း၊ လှုပ်ရှားနေသည့်အစိတ်အပိုင်း(moving part) အနည်းငယ်သာ ပါရှိခြင်း၊ အရွယ်အစား ကျစ်လစ်ခြင်း(compact) သေးငယ်ခြင်း၊ ပေါ့ပါးခြင်းတို့သည် အားသာချက်များဖြစ်သည်။ တူညီသည့် cooling capacity ရရှိရန်အတွက် reciprocating compressor နှင့် centrifugal compressor များထက်စာလျှင် ဆူညံသံ နိမ့်ခြင်း၊ တုန်ခါမှု ကင်းခြင်း၊ ရိုးရှင်းခြင်း(simplicity)၊ ယုံကြည်စိတ်ချမှု(reliability) မြင့်မားခြင်း၊ robustness ဖြစ်ခြင်း တို့ကြောင့် လူကြိုက်များသည်။ အချိန်ကြာမြင့်စွာ မရပ်နားဘဲ မောင်းနိုင်ခြင်း၊ ပြုပြင်ထိန်းမှု အနည်းငယ်သာ လိုအပ်ခြင်း စသည့် အားသာချက်များ ရရှိအောင် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ထားသည်။



ပုံ ၁၄-၁၄ Screw chiller



ပုံ ၁၄-၁၅ Screw chiller

Screw compressor များသည် unload လုပ်သည့်အခါ surge ဖြစ်ပေါ်လေ့မရှိပေ။ မြန်နှုန်း(speed) လျော့ကျ သွားသည့်အခါတွင် ဖြစ်ပေါ်လာမည့် အလွန်မြင့်သည့် lift ကိုလည်း ခံနိုင်ရည်ရှိသည်။ အားနည်းချက်များမှာ ဈေးနှုန်း မြင့်မားခြင်းဖြစ်သည်။ Screw chiller များသည် cooling load နည်းလျှင် reciprocating chiller များထက်

ပိုဈေးကြီးသည်။ Cooling load အလွန်များလျှင် screw chiller များသည် centrifugal chiller များထက် ပို၍ ဈေးကြီးသည်။

၁၄.၃ Rotary Compressor (Helical-Rotary Compressor) အလုပ်လုပ်ပုံ

Screw type compressor များတွင် အထူးပြုလုပ်ထားသော helical rotor တစ်စုံကို အသုံးပြုကြသည်။ စက်ဖြင့် အတိအကျ ခုတ်စားထားသည့် compressor cylinder အတွင်း လည်ပတ်နေသည်။ Compressor များကို မောင်းရန် external drive တစ်မျိုးမျိုးကို အသုံးပြုသည်။ Hermetic type အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။

Rotor များသည် shaft တစ်ခုတည်း မဟုတ်ချေ။ တစ်ခုသည် "male screw" ဖြစ်၍ ကျန်တစ်ခုသည် "female screw" ဖြစ်သည်။ Male screw rotor ကို မော်တာဖြင့် မောင်းပေးသည်။ Lobe လေးခု ပါရှိသည်။ Femal screw rotor သည် male screw rotor ဖြင့် ချိတ်ဆက်ထားသည်။ Inter lobe ခြောက်ခု ရှိပြီး ဆလင်ဒါအတွင်း rotor နှစ်ခု စလုံးကို တပ်ဆင်ထားသည်။

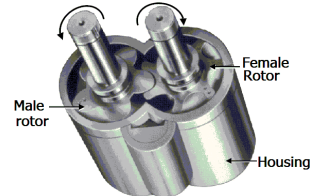
Rotary compressor များကို နှစ်မျိုးနှစ်စား ခွဲခြားနိုင်သည်။ Blade များသည် shaft နှင့်အတူ လိုက်လည်သည့် rotating blade အမျိုးအစားနှင့် တည်ငြိမ်နေသော blade အမျိုးအစားဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ Suction line မှ အပူချိန် နိမ့်သော အငွေ့များကို စုပ်ယူပြီး blade ၏ ပွင့်နေသော နောက်ဘက်နေရာမှ ဝင်ရောက်သည်။ Blade များ အဆက် မပြတ် လည်ပတ်နေခြင်းကြောင့် အငွေ့များကို ဖိသိပ်ပေးပြီး exhaust port သို့ ရောက်သည့်တိုင် တွန်းပေးသည်။

ဖိအား နိမ့်သည့်(low side)ဘက်မှ ဓာတ်ငွေ့များသည် compressor အတွင်းသို့ စုပ်ယူခြင်း ခံရသည်။ Intake stroke တွင် ဓာတ်ငွေ့များကို စုပ်ယူခြင်း ခံရသည်။ ထို့နောက် exhaust stroke တွင် အလိုရှိသည့် ဖိအားအထိ ရောက်အောင် ဖိသိပ်ခြင်း ခံရသည်။ ထို့ကြောင့် compressor ၏ စွမ်းအင် သုံးစွဲမှုနည်းသည်။

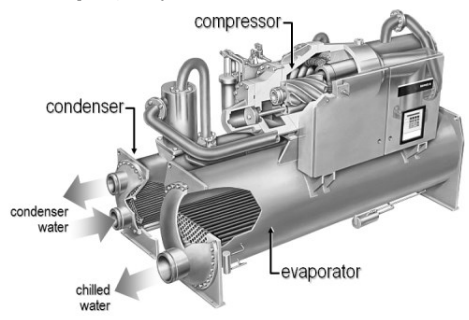
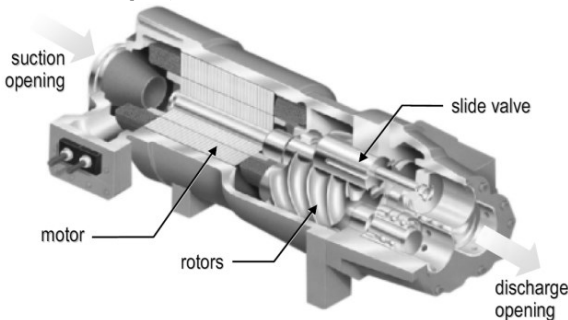
Impeller(roller)သည် အဆက်မပြတ် လည်ပတ်နေသည်။ Blade အကြားရှိနေရာသည် ဓာတ်ငွေ့များ၏ ထုထည် နှင့် ညီမျှသည်။ ဓာတ်ငွေ့များပိတ်မိနေသည့် blade အကြားရှိ နေရာ သေးငယ်သွားသောကြောင့် ဖျစ်ညှစ်ပြီး ဖိအားနှင့် အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။ နောက်ဆုံးတွင် ဓာတ်ငွေ့များသည် exhaust port ကို ဖြတ်၍ compressor ၏ ဖိအားမြင့်သည့်(high pressure side)ဘက်သို့ တွန်းပို့ခြင်းခံရသည်။ ဖိသိပ်နေစဉ်(during compressioion) ထွက်လာ သည့် ဓာတ်ငွေ့ ထုထည်မဟာ တူညီကြသောကြောင့် constant volume machine ဟု သတ်မှတ်သည်။



ပုံ ၁၄-၁၆ Helical-rotary screw



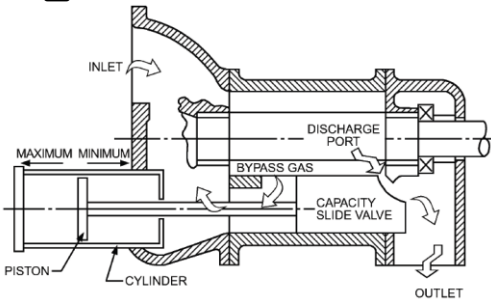
ပုံ ၁၄-၁၇ Helical-rotary screw



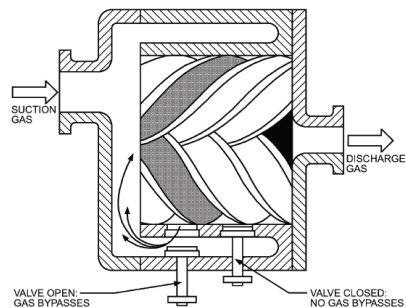
ပုံ ၁၄-၁၈ Screw compressor and screw chiller

သေးငယ်သည့် အိမ်သုံး compressor မှ ကြီးမားသည့် industrial plant များအထိ တွင်ကျယ်စွာ အသုံးပြု ကြသည်။ စက်ရုံသုံး compressor များမှ rotar နှင့် vane များ ပျက်သည့်အခါ ပြန်လည်ပြုပြင်(repair)ရန် ဖြစ်နိုင် သော်လည်း တိကျမှုနှင့် သေချာမှု ရရှိရန် အထူး လိုအပ်သည်။ Screw compressor တွင် ပြဿနာ ဖြစ်ပေါ်ပါက

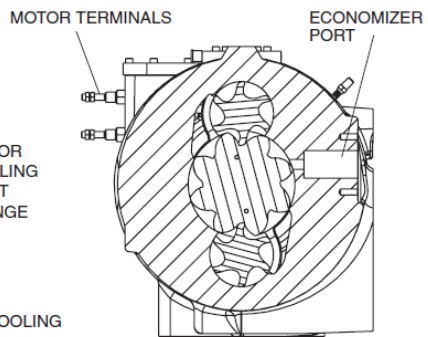
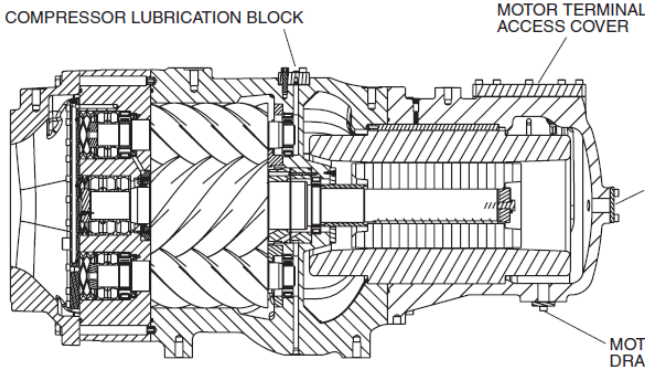
ကုန်ကျစရိတ် များသောကြောင့် ပြုပြင်လေ့မရှိပေ။ Rotary compressor ၏ အဓိက အားသာချက်များမှာ လည်ပတ် ရာတွင် ငြိမ်သက်မှုရှိခြင်းနှင့် ဖိသိပ်ခြင်း(compression)ပြုလုပ်ရာတွင် ဖိအားဆောင့်တက်မှု(pulsation) မဖြစ်ပေါ်ခြင်း တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၄-၁၉ Slide valve unloading mechanism



ပုံ ၁၄-၂၀ Lift valve unloading mechanism



ပုံ ၁၄-၂၁ 23XRV screw compressor (Variable Speed Drive) twin screw အသွားများ

Rotary ဆလင်ဒါများကို cast iron ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ တစ်ခုချင်း၏ အတွင်းဘက် မျက်နှာပြင်များနှင့် အပိတ် မျက်နှာပြင်များကို စက်ဖြင့် "သ"၍ honning၊ lapping စသည်တို့ ပြုလုပ်ထားသည်။ ဆလင်ဒါတိုင်းတွင် intake နှင့် exhaust အပေါက်များပါရှိပြီး တချို့ model များတွင် ချောဆီ လိုင်းများ ပါရှိသည်။ Hermetic compressor ဖြစ်ပြီး ရေခဲသေတ္တာနှင့် လေအေးပေးစက် နှစ်ခုလုံးတွင် အသုံးပြုသည်။

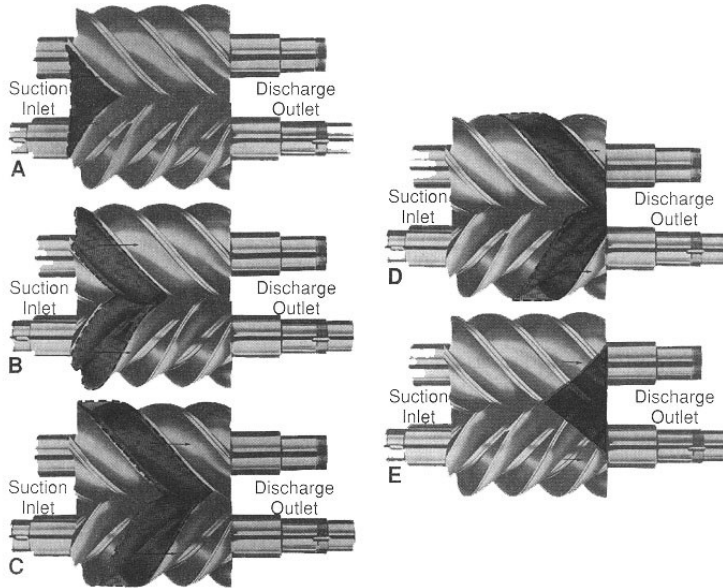
Rotating blade compressor တို့တွင် blade နှစ်ခုထက် ပိုများနိုင်သည်။ ထို blade များကို သွန်းသံ(cast-iron) ၊ စတီး(steel) ၊ အလူမီနီယံ(aluminum) ၊ ကာဗွန် (carbon) စသည်တို့ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ Compressor ၏ စွမ်းရည်မှာ blade ၏ နှုတ်ခမ်းအစွန်းများနှင့် ဆလင်ဒါတို့ ပွတ်တိုက်ခြင်းပေါ် မူတည်သည်။ Blade များသည် မြောင်းများအတွင်း အတိအကျ အဝင်ခွင့်ကျ ရှိနေလျှင် ဆလင်ဒါမျက်နှာပြင်နှင့် တစ်သားတည်းကဲ့သို့ ဖြစ်နေလိမ့်မည်။

၁၄.၃ Screw Chiller Refrigerant Circuit

၁၄.၄ Screw Compressor အလုပ်လုပ်ပုံ

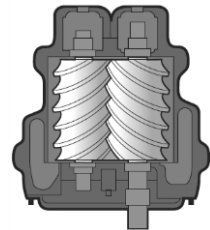
Screw compressor များကို ဂီယာပန့်(gear pump)များအဖြစ် ယူဆနိုင်သည်။ ဓာတ်ငွေ့(gas)များကို တွန်းပို့(pump)ရန် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့်အတွက် swept volume အများဆုံးရရှိအောင် နှင့် clearance volume မရှိဘဲ rotor နှစ်ခု အဝင်ခွင့်ကျ ချိတ်ဆက်မိနေစေရန် rotor profile ကို ပြုလုပ်ထားသည်။ Inlet valve နှင့် outlet valve များ မလိုအောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည်။

ပုံ(၁၄-၂၅)တွင် ပြထားသကဲ့သို့ refrigerant အငွေ့များသည် တစ်ဖက်စွန်းမှ ဝင်လာပြီး အတွင်းတွင် ဖိညှစ်ခံရပြီး အခြားဘက်အစွန်းမှ ထွက်သွားသည်။ အဖို rotor ၏ lobe လေးခုရှိ၍ အမ rotor မှ lobe ခြောက်ခု ရှိသဖြင့် အဖို rotor မှာ ပိုမို လည်ပတ်ရသည်။ Rotor ၏ helix များသည် အငွေ့များကို စဉ်ဆက်မပြတ် reciprocating compressor ကဲ့သို့ ဖိအားပေးသည်။ မောင်းနှင်ချိန်တွင် တုန်ခါမှု အနည်းငယ် ဖြစ်ပေါ်သည်။



ပုံ ၁၄-၂၂ Screw compressor အလုပ်လုပ်ပုံ

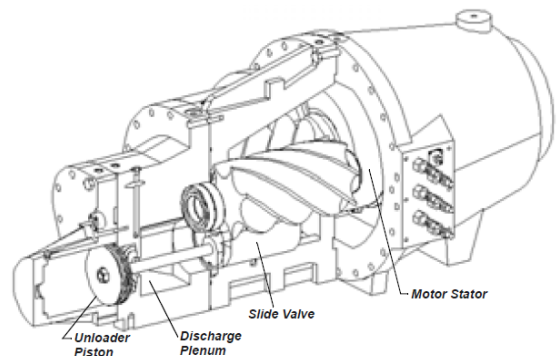
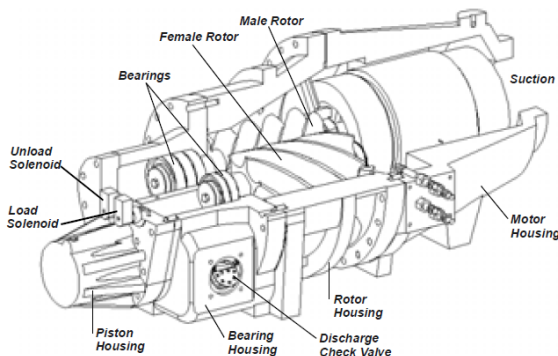
- A - Compressor interlobe spaces being filled
- B - Beginning of compression
- C - Full compression of trapped vapor
- D - Beginning of discharge of compressed vapor
- E - Compressed vapor fully discharged from interlobe spaces



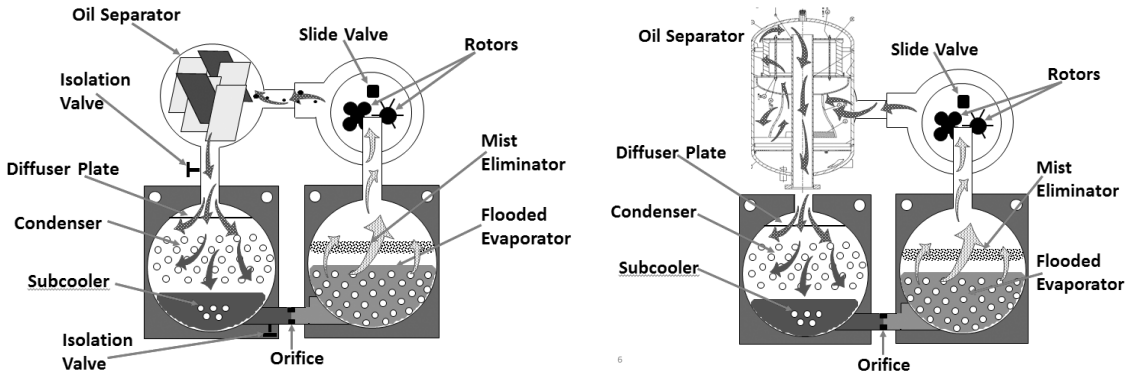
ဝင်ပေါက်(inlet port)နှင့် ထွက်ပေါက်(outlet port)ကို ဘေးဘက်တွင် မထားဘဲ ထိပ်ဘက်တွင် တည်ရှိအောင် helix pitch ကို ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည်။ ဝင်ပေါက်(inlet port) သို့မဟုတ် gas port ကို solid portion ဖြင့် stroke တစ်ခု နှင့်နောက်ထပ် stroke တစ်ခု သီးခြားဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် inlet သို့မဟုတ် outlet valve မလိုအပ်ပေ။

ပုံ(၁၄-၂၃)တွင် screw compressor rotor ကို ဖော်ပြထားသည်။ ဘယ်ဘက်ရှိ rotor သည် male rotor ဖြစ်ပြီး ညာဘက်ရှိ rotor သည် female rotor ဖြစ်သည်။ အပြိုင် shaft နှစ်ချောင်းဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် ပုံစံတူ meshing rotor နှစ်ခုဖြစ်သည်။ ပုံ(၁၄-၁၆)တွင် အပြိုင် shaft နှစ်ချောင်းပေါ်တွင် profile တူသည့် screw အသွား ပြုလုပ်ထားသည်။ Meshing rotor နှစ်ခုက casing အတွင်း၌ အံဝင်ခွင်ကျ ဖြစ်အောင် ပြုလုပ် တပ်ဆင်ထားသည်။

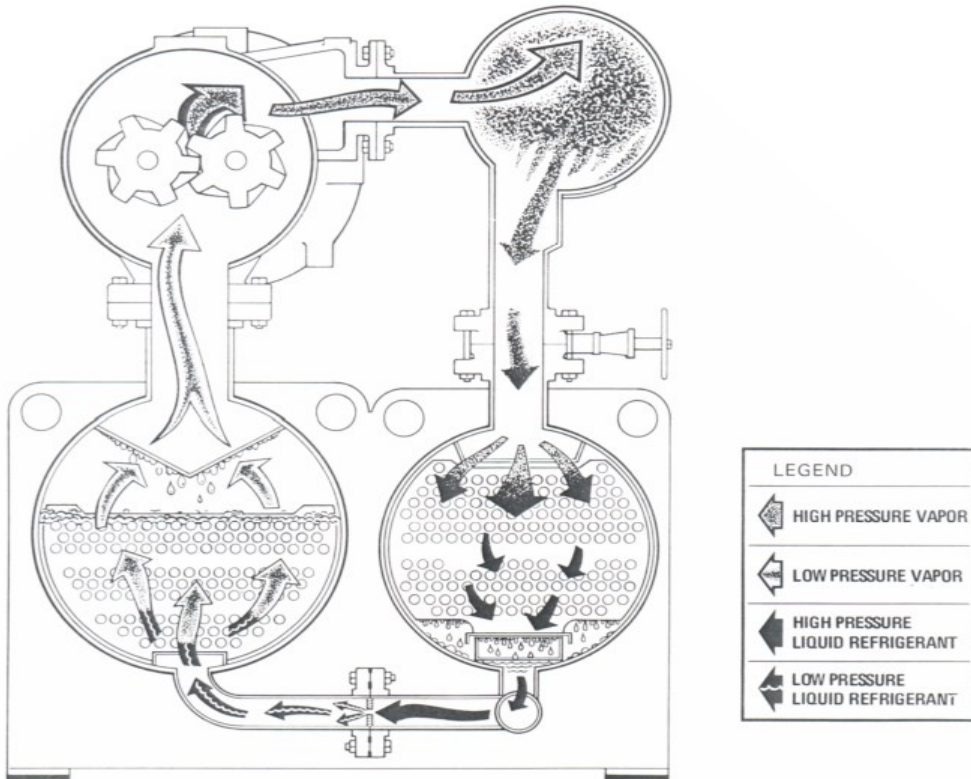
ပုံ ၁၄-၂၃ Twin screw compressor rotors



ပုံ ၁၄-၂၄ Screw compressor ၏ တစ်လုံး၏ အစိတ်အပိုင်းများ



ပုံ ၁၄-၂၅ Water-cooled screw chiller

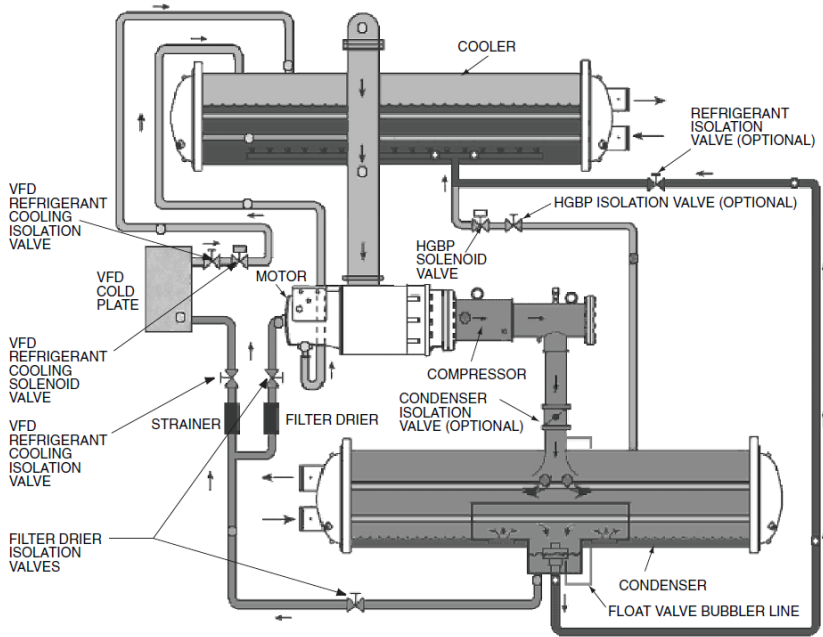


ပုံ ၁၄-၂၆ Screw chiller refrigerant circuit

Groove နှစ်ခုအကြား လွတ်နေသည့် နေရာမှ gas များ ဝင်ရောက်လာသည်။ ဝင်ရိုး(shaft)လည်သည့်အခါ ဝင်ပေါက်(inlet port)နှင့် screw အသွား(profile)အကြားတွင် ဝင်ရောက်လာသည့် gas များ ပိတ်မိသွားသည်။ ဆက်လက်၍ male rotor လည်ပတ်သည့်အခါ pocket ၏ ထုထည် လျော့နည်းသွားပြီး gas များကို ဖိသိပ်လိုက်သည်။ နောက်ဆုံးတွင် rotor လည်ပတ်နေခြင်းကြောင့် အထွက်ပေါက်(exhaust port) ပွင့်သွားပြီး တခြား ထိပ်တစ်ဖက်မှ ဖိအားမြင့်သည့် gas များ ထွက်သွားသည်။ Rotor အရွယ်အစားအမျိုးမျိုးနှင့် lobe အရေအတွက် အမျိုးမျိုးကို အသုံးပြု နိုင်သည်။ Male rotor သည် မော်တာနှင့် ဆက်နေပြီး female rotor ကို မောင်းပေးသည်။

ချောဆီ(lubrication)လုံလောက်အောင် ရရှိရန် အလွန် အရေးကြီးသည်။ လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်းများ ချောမွတ်(lubrication)နေရန်၊ အေးစေရန်(cooling) နှင့် sealing ဖြစ်စေရန်အတွက် ချောဆီများကို barrel တစ်လျှောက် ထည့်သွင်း(inject)ပေးသည်။ Discharge gas တွင် အတူ ရောပါလာသည် ချောဆီများကို ခွဲထုတ်ရန်

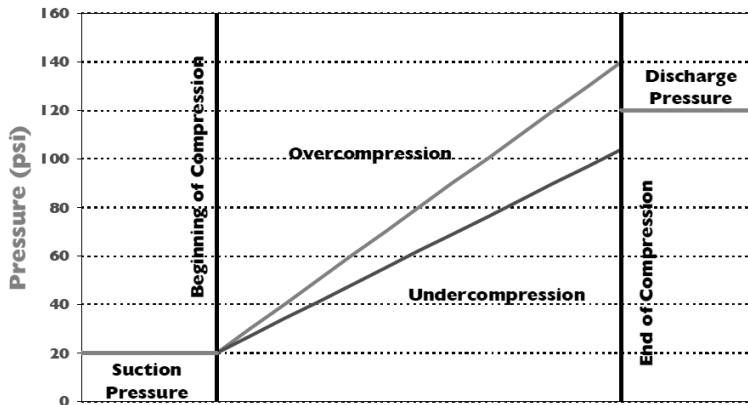
လိုအပ်သည်။ ခွဲထုတ်ပြီးနောက် အအေးခံ၊ သန့်စင်ပြီး lubrication circuit အတွင်းသို့ ပြန်ထည့်ပေးရသည်။ ချောဆီများ နှင့် lubrication အကြောင်းကို အခန်း(၁၂)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၄-၂၇ Refrigerant flow schematic (without optional flash economizer)

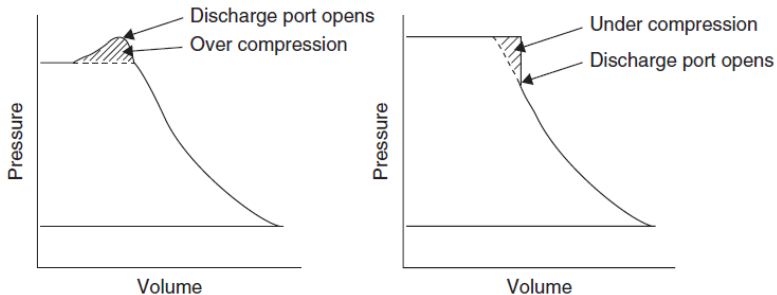
Volumetric Efficiency

Overcompression and Undercompression



Compression Process

ပုံ ၁၄-၂၈ Diagram of overcompression and undercompression



ပုံ ၁၄-၂၉ Compressor ၏ overcompression နှင့် undercompression

ဖိအားအချိုး (pressure ratio) များလာလေ volumetric efficiency လျော့နည်းလေ ဖြစ်သည်။ သို့သော် screw compressor ဖြစ်ပေါ်သည့် volumetric loss သည် reciprocating compressor များတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် volumetric loss ထက် နည်းသည်။

Screw compressor များတွင် clearance volume မရှိသောကြောင့် volumetric efficiency loss မရှိပေ။ Reciprocating compressor များ၌ ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသော re-expansion မရှိသောကြောင့် volumetric efficiency loss မရှိပေ။ Suction ဘက်သို့ refrigerant များ ယိုစိမ့်ခြင်း (leakage) ကြောင့်သာ volumetric loss အနည်းငယ် ဖြစ်ပေါ်သည်။ Sealing အတွက် ချောဆီကို အသုံးပြုသည်။ ချောဆီထဲတွင် refrigerant များ ပျော်ဝင်နေသောကြောင့် ချောဆီများ ယိုစိမ့်သွားသည့်အခါ refrigerant များ ပါသွားသောကြောင့် volumetric loss ဖြစ်ပေါ်သည်။ Compressor အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် gas များ၏ အပူချိန် မြင့်မားသောကြောင့်လည်း volumetric efficiency loss ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

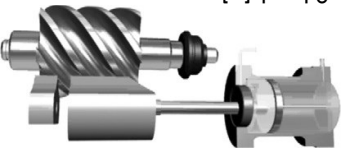
ယိုစိမ့်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် ထုထည်လျော့နည်းမှု (leakage loss) သည် tip speed နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။ သေးငယ်သည့် compressor များ၏ efficiency ကောင်းစေရန်အတွက် ပိုမြင့်သည့် မြန်နှုန်း (speed) ဖြင့် လည်ပတ်ရန် လိုအပ်သည်။

Screw compressor များအားလုံးအတွက် built-in volume ratio ဟူသည့်သီးသန့် ဝေါဟာရ တစ်မျိုး ရှိသည်။ Built-in volume ratio ဆိုသည်မှာ ဝင်ရောက်လာသည့် ဓာတ်ငွေ့များအားလုံးကို ကြိုတင် သတ်မှတ် ထားသည့် ထုထည်သို့ လျှော့ချလိုက်သည့် အချိုးဖြစ်သည်။

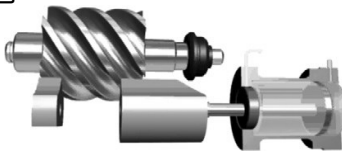
Gas များသည် အထွက်ပေါက် (discharge port) သို့ ရောက်သည့်အခါတွင် condenser pressure ထက် ပိုများသည့် အခါ၌ compressor အပြင်ဘက်သို့ ထွက်သွားသည်။ Condenser pressure ထက် နိမ့်နေလျှင် screw အတွင်းသို့ ပြန်ဝင်ရောက် လိမ့်မည်။

Built-in volume ratio နှင့် working pressure ratio တို့ ကိုက်ညီနေချိန်တွင် screw compressor မှ သုံးစွဲသည့် စွမ်းအင် (absorbed power) သည် အနည်းဆုံး (optimum) ဖြစ်သည်။ ပုံ (၄-၁၈) တွင် ဖိအား လွန်ကဲခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဆုံးရှုံးမှု (over compression losses) နှင့် ဖိအား မလုံလောက်မှုကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဆုံးရှုံးမှု (under compression loss) ကို ဖော်ပြထားသည်။

Screw compressor များ ဖိအားလွန်ကဲခြင်း (over-compression) နှင့် ဖိအား မလုံလောက်ခြင်း (under-compression) တို့ကြောင့် efficiency ကျဆင်းနိုင်သည်။ ဖိအားမလုံလောက်ခြင်း (under-compression) ဖြစ်သည့် အခါ အထွက်ပေါက် (discharge port) သည် ပွင့်နေသောကြောင့် compression pocket အတွင်းသို့ gas များ နောက်ပြန်စီးခြင်း (back flow) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ အထွက်ပေါက် (discharge port) ၏ အရွယ်အစား ပြောင်းလဲလျှင် peak efficiency ဖြစ်ပေါ်သည့်နေရာ ပြောင်းလဲသွားလိမ့်မည်။ အသုံးပြုလိုသည့် လုပ်ငန်းနှင့် ကိုက်ညီသည့် screw compressor ၏ volume ratio ကို မှန်ကန်စွာ ရွေးချယ်ရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၁၄-၃၀ Full load တွင် side valve ပိတ်နေပုံ



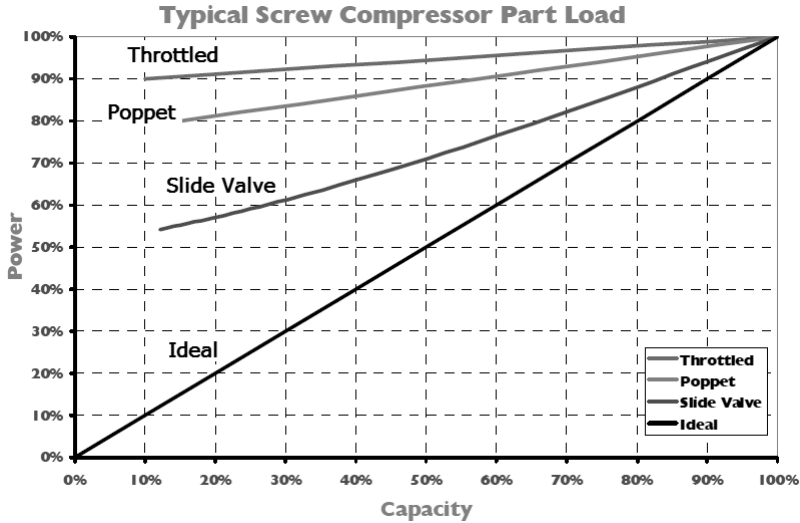
ပုံ ၁၄-၃၁ Minimum load တွင် side valve ပွင့်နေပုံ

၁၄.၅ Capacity Control

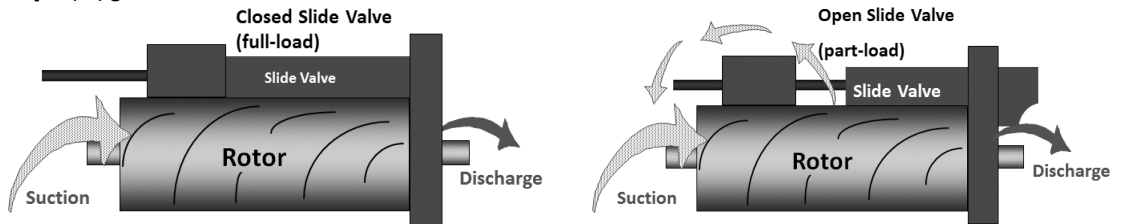
Screw compressor များကို capacity control လုပ်နိုင်သည့် နည်းလမ်း လေးမျိုးရှိသည်။

- (၁) Slide Valve
- (၂) Poppet valve
- (၃) Inlet (suction) throttling နှင့်
- (၄) Motor speed တို့ဖြစ်သည်။

Screw compressor များ အားလုံးနည်းပါးသည် slide-valve unloading နည်းဖြင့် control capacity လုပ်ကြသည်။ တချို့သော screw chiller ထုတ်လုပ်သူများသည် poppet-valve unloading နည်းနှင့် inlet throttling နည်းကို အသုံးပြုကြသည်။ Rotary screw compressor များသည် positive displacement compressor များ ဖြစ်ကြ သောကြောင့် suction throttling ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် compressor ထဲသို့ ဝင်ရောက်လာမည့် refrigerant gas ပမာဏကို လျော့ချနိုင်သည်။



ပုံ ၁၄-၃၂ Screw compressor part-load performance curves for various capacity-control methods



ပုံ ၁၄-၃၃ Closed slide valve

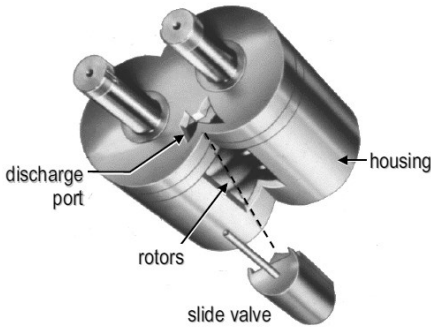
ပုံ ၁၄-၃၄ Open slide valve

Modulating control နည်းကို အသုံးပြု၍ စီးနှုန်း(flow rate)ကို control လုပ်၍ capacity control လုပ်နိုင်သည်။ Slide valve ကို အဖွင့်အပိတ် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် screw compressor ၏ capacity ကို control လုပ်နိုင်သည်။ Slide valve ကို compressor ၏ suction side တွင်ရှိပြီး refrigerant စီးဆင်းနှုန်း(flow rate)ကို ထိန်းချုပ်နိုင်သည်။ Slide valve သည် rotor bore နှင့် အပြိုင်ရွေ့လျား(sliding action) နိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားသည့် hot gas bypass control valve ဖြစ်ပြီး compressor ၏ ဖိအားမြင့်သည့်ဘက်(discharge)တွင် တည်ရှိသည်။ Compressor အတွင်းသို့ load နှင့် ကိုက်ညီသည့် discharge gas များ ဝင်ရောက်သွားအောင် slide valve က ဆောင်ရွက်ပေးသည်။

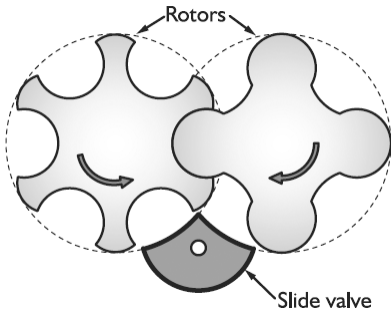
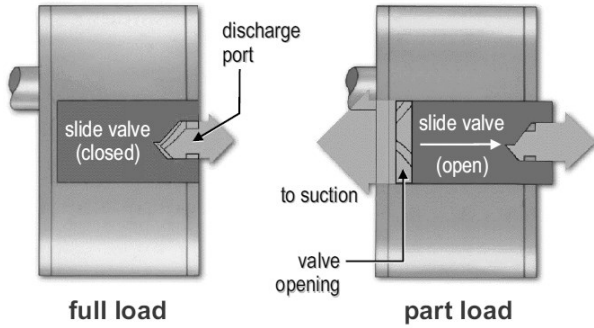
Capacity ကို control လုပ်ပေးရုံသာမက load ပြောင်းလဲမှုများနှင့် ကိုက်ညီအောင် compressor discharge port နေရာကို ထိန်းညှိ(adjust)ပေးသည်။ "axial discharge port" သည် full-load efficiency ကို မကျဆင်းစေပဲ part load performance ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။

ပုံ(၁၄-၃၀) နှင့် ပုံ(၁၄-၃၁) တို့သည် twin screw compressor တစ်လုံး၏ capacity reduction slide valve ဖြစ်သည်။ Slide valve သည် oil pressure ကို အသုံးပြု၍ ရွေ့လျားသည်။

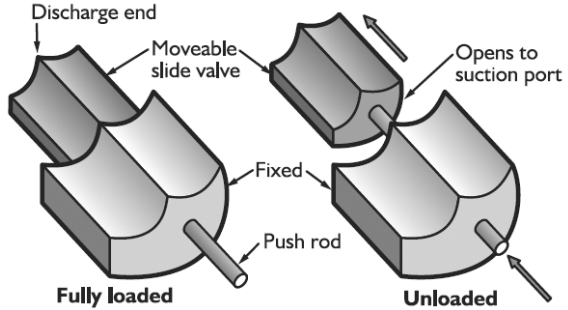
Screw compressor များတွင် sliding block သို့မဟုတ် sliding valve ကို အသုံးပြုသည်။ Sliding valve သည် barrel wall ကို ပိတ်လိုက်ခြင်းဖြင့် ဖိအားမြင့်သည့် gas အချို့ ကို suction ဘက်သို့ ပြန်ရောက်စေသည်။ Part load အခြေအနေတွင် volume ratio ကို တူညီနိုင်သမျှ တူညီနေအောင် ထိန်းထားနိုင်သည်။



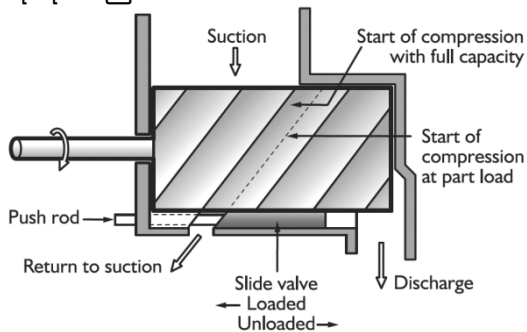
ပုံ ၁၄-၃၅ Closed slide valve and open slide valve



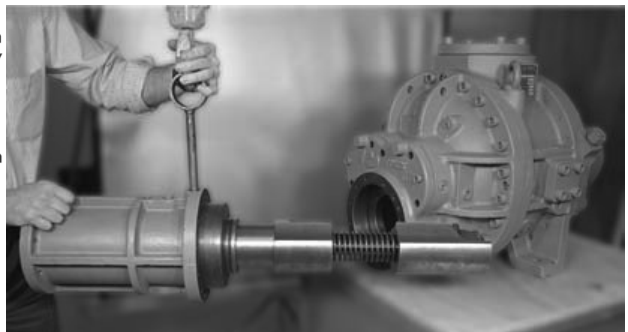
ပုံ ၁၄-၃၆ Screw compressor and slide valve mechanism



Screw compressor များ၏ capacity ကို control လုပ်နိုင်သည့် ဒီဇိုင်း နှင့် နည်းလမ်း(method) များစွာ ရှိသည်။ Single screw အမျိုးအစားတွင် sliding valve နှစ်ခုပါရှိသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ sliding valve အစား lifting valve များကိုလည်း အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ Maximum capacity ၏ 10% အထိရောက်အောင် ကောင်းစွာ control လုပ်နိုင်သည်။



ပုံ ၁၄-၃၇ Diagram of slide valve unloading



ပုံ ၁၄-၃၈ Photograph of slide valve

၁၄.၅.၁ Slide Valve

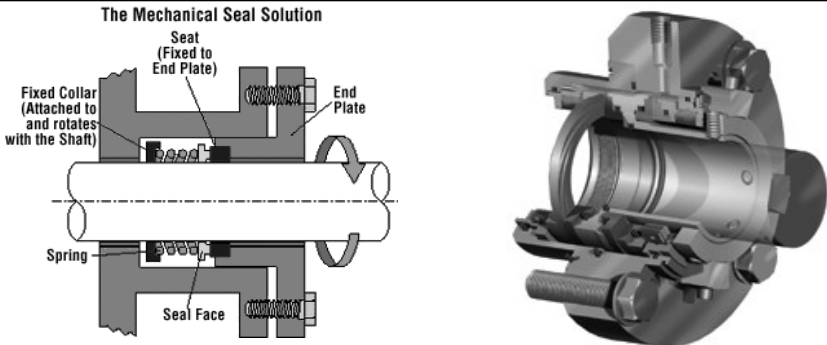
Helical-rotary compressor များတွင် slide valve သည် အဓိက အစိတ်အပိုင်းတစ်ခု အဖြစ်ပါဝင်သည်။ Slide valve ၏ တည်ရှိရာနေရာ(position)ကို လိုက်၍ compressor မှ ဖိသိပ်(compression)ပေးသည့် refrigerant vapor ထုထည်(volume) ပမာဏ လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ ဖိသိပ်ခြင်း(compression)ကို ဖြစ်စေသည့် rotor ၏ အရှည်(length)သည် slide valve ၏ တည်ရှိရာနေရာ(position)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲသည်။ ထို့ကြောင့် slide valve ၏ တည်ရှိရာနေရာ(position)ကို ရွေ့ပြောင်းခြင်းဖြင့် ဖိသိပ်(compression)ပေးသည့် refrigerant vapor ထုထည် (volume) ပမာဏကို ပြောင်းလဲကာ လိုအပ်သည့် cooling load ပမာဏနှင့် ကိုက်ညီစေသည်။

ပုံ (၁၄-၃၃)တွင် full load အခြေအနေ၌ side valve ပိတ်နေပုံကို ဖော်ပြထားပြီး ပုံ(၁၄-၃၄)တွင် part load အခြေအနေ၌ side valve ပွင့်နေပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

၁၄.၅.၂ VSD Controls

Carrier နှင့် York ကုမ္ပဏီတို့သည် VSD ဖြင့် မောင်းသည့် screw chiller များကို စတင် ထုတ်လုပ် လာကြသည်။ Carrier ကုမ္ပဏီမှ ထုတ်လုပ်သည့် 23XRV မော်ဒယ် water-cooled screw chiller တွင် Variable Speed Drive (VSD) ဖြင့် မောင်းသည့် screw compressor တပ်ဆင်ထားသည်။ York ကုမ္ပဏီမှ ထုတ်လုပ်သည့် YCAV မော်ဒယ်သည် Variable Speed Drive (VSD) ဖြင့် မောင်းသည့် air cooled screw chiller ဖြစ်သည်။

Screw compressor များအတွက် efficient အဖြစ်ဆုံး capacity control လုပ်နည်းသည် VFD နည်းဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၄-၃၉ Oil seal (YS screw chiller)

၁၄.၆ Oil System

ချောဆီများခွဲထုတ်ခြင်း (oil separation)၊ အအေးခံခြင်း (cooling) နှင့် သန့်စင်ခြင်း (filtering) စသည်တို့ကြောင့် screw compressor များ၏ အလုပ်လုပ်ပုံ ရှုပ်ထွေးသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ external oil cooler များအစား liquid injection ကို အသုံးပြုသည်။

Screw compressor chiller များမှ oil system အတွင်းရှိ ချောဆီများကို အောက်ပါနည်းများဖြင့် အေးအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်

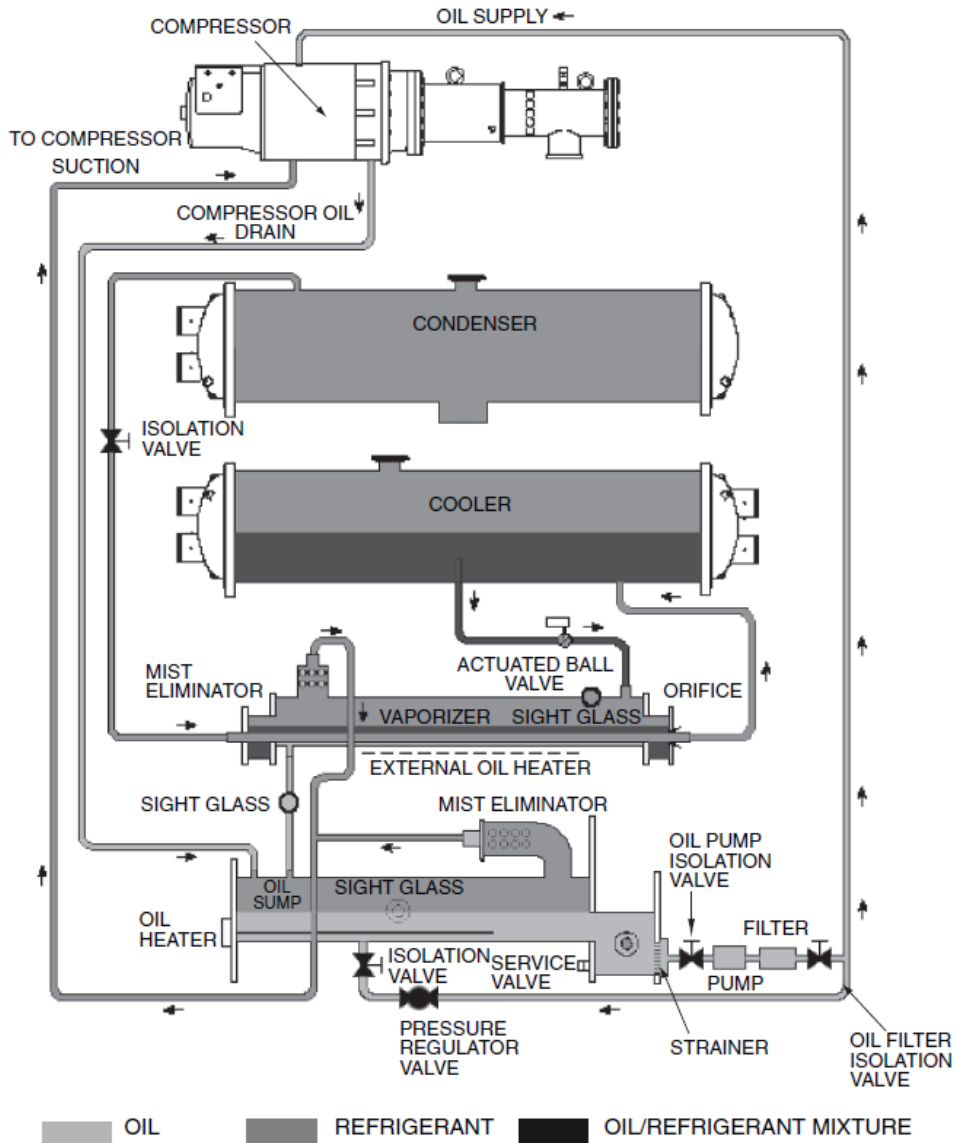
- (၁) Liquid injection
- (၂) Thermosiphon
- (၃) Water or glycol cooling
- (၄) Direct cooling

တချို့သော စီးပွားရေးလုပ်ငန်းသုံး screw compressor များတွင် oil circuit ကို အတူတကွဖြစ်အောင် (built-in) ထုတ်လုပ်ကြသည်။ ပုံ(၁၄-၄၀) တွင် ဘယ်ဘက်ရှိ connection မှ တစ်ဆင့် suction gas များ ဝင်ရောက် လာသည်။ မော်တာ နှင့် compressor ကို ဖြတ်သွားပြီးနောက် ညာဘက်တွင် ရှိနေသည့် multi-stage separator အတွင်းသို့ရောက်ရှိသည်။ ထို့နောက် discharge connection မှ ထွက်သွားသည်။

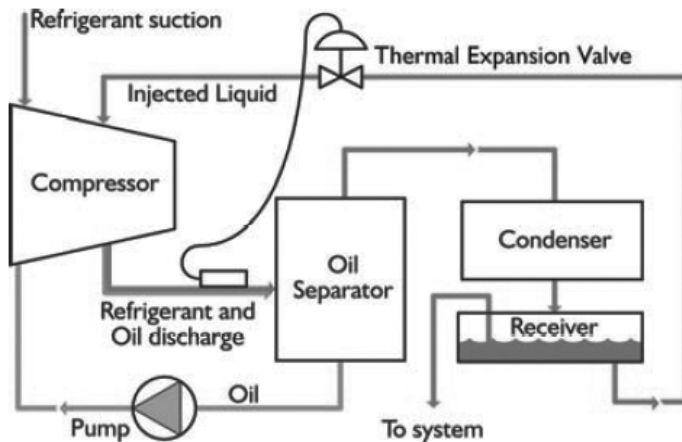
ပုံ(၁၄-၄၀) သည် screw compressor တစ်ခု၏ ဖြတ်ပိုင်းပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Oil injection စနစ် ပါဝင်သည်။ ချောဆီများကို rotor နှစ်ခုအကြားနေရာနှင့် rotor နှင့် ဆလင်ဒါကြား နေရာများသို့ ပို့ပေးသည်။ ထို့ပြင် compressor အေးစေရန် အကူအညီ ပေးသည်။ စွမ်းရည် အလွန်ကောင်းသည်။ ထို့ကြောင့် refrigerant များ အမျိုးမျိုးဖြင့် အသုံးပြုနိုင်သည်။ လည်ပတ်မှု မြင့်မားသဖြင့် bearing များ ကောင်းမွန်ရန် အထူးလိုအပ်သည်။



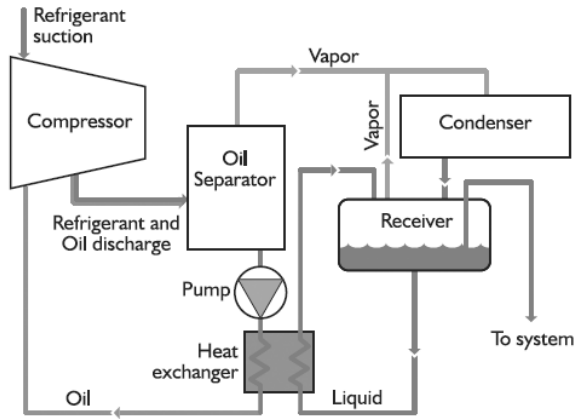
ပုံ ၁၄-၄၀ Semi-hermetic screw compressor with built-in oil separation



ပုံ ၁၄-၄၁ Screw chiller oil circuit

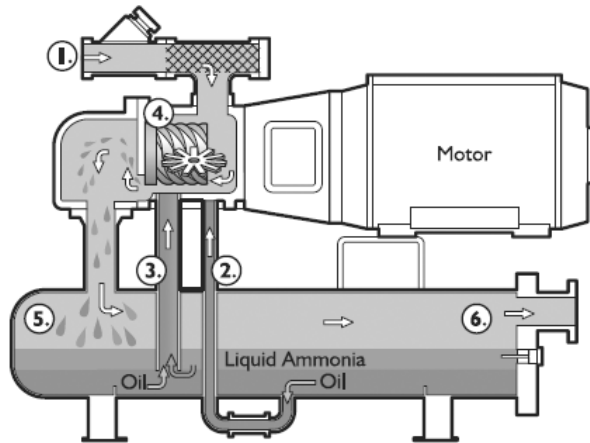


ပုံ ၁၄-၄၂ Diagram of liquid-injection cooling system (oil cooling)



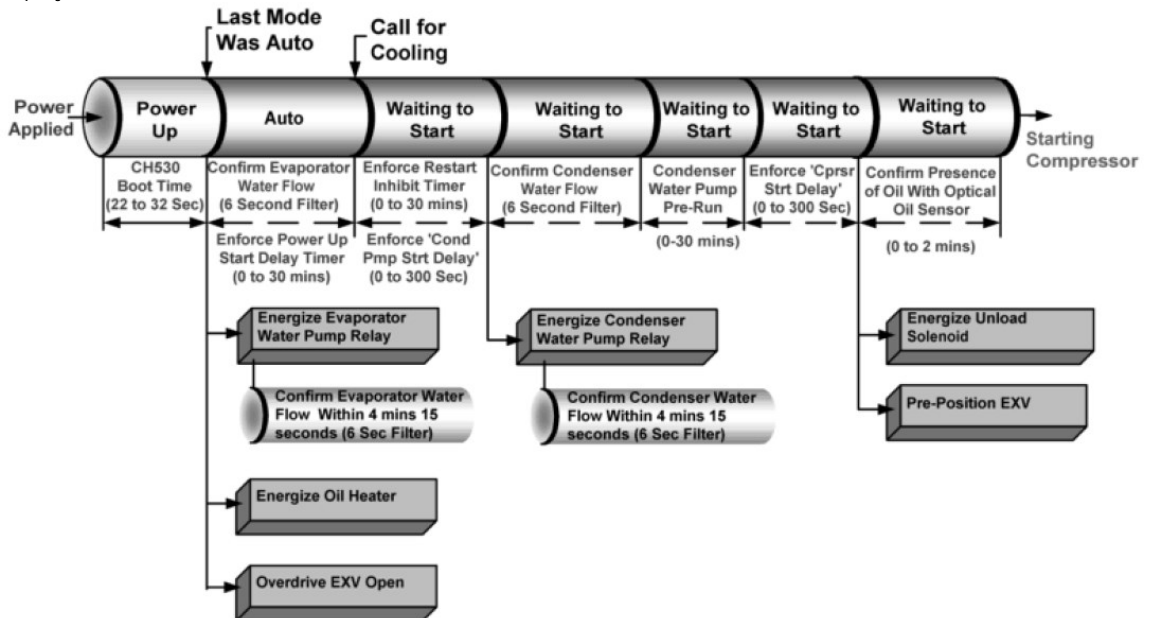
ပုံ ၁၄-၄၂ Diagram of thermosiphon cooling system (oil cooling)

1. System suction
2. Suction oil injection to bearings and seals
3. Oil and liquid injection to compressor
4. The single screw compresses the gas.
5. Separation of gas, liquid ammonia, and oil
6. Discharge to condensers



ပုံ ၁၄-၄၄ Diagram of direct-contact cooling (oil cooling)

၁၄.၇ Power Up to Starting



ပုံ ၁၄-၄၅ Trane RTHD screw chiller - power up to starting compressor

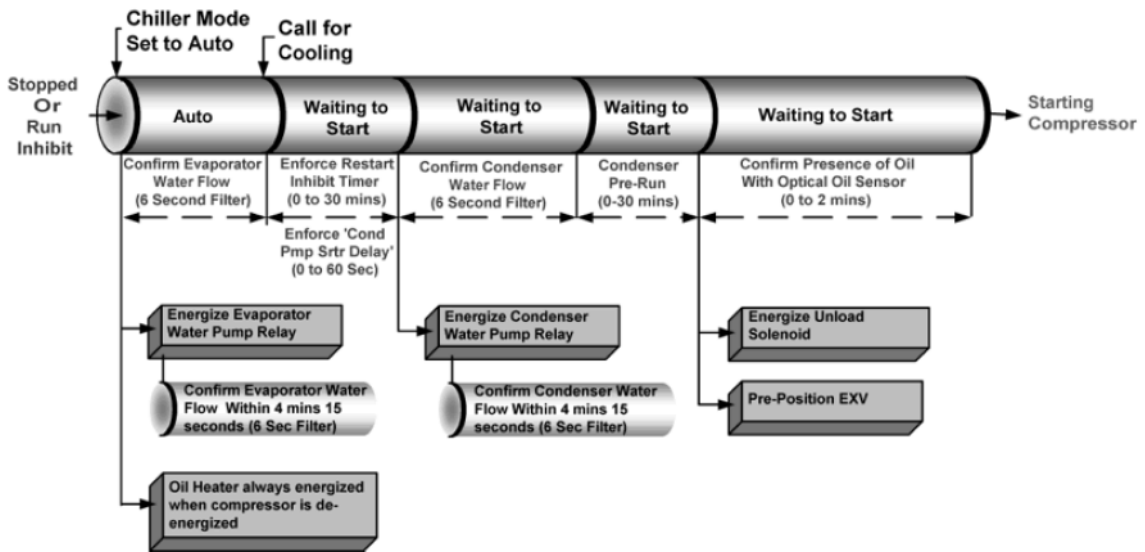
၁၄.၇.၁ Trane RTHD screw chiller Power Up to Starting

လျှပ်စစ်ဓာတ်အားစပေး(power up) ပြီးနောက် compressor စတင်မောင်း(starting)သည်အထိ အဆင့်များကို အချိန်နှင့် တကွ ဖော်ပြထားသည့် diagram ဖြစ်သည်။ Compressor စတင်မောင်း(starting) အတွက် လိုအပ်သည့် အချက်တချို့နှင့် ကြာမည့်အချိန်ကို ဖော်ပြထားသည်။

- (၁) No motor restart inhibit
- (၂) Evaporator and condenser water flowing
- (၃) Power up start delay setpoint set to 0 minutes
- (၄) Adjustable stop to start Timer set to 5 seconds
- (၅) Need to cool

The above conditions would allow for a minimum power up to starting compressor time of 95 seconds.

၁၄.၇.၂ Stopped to Starting



ပုံ ၁၄-၄၆ ရပ်တန့်ပြီးနောက်(stopped) ပြန်မောင်းရန်အတွက်(starting) အဆင့်များ နှင့် ကြာချိန်

ရပ်တန့်ပြီးနောက်(stopped) ပြန်မောင်းရန်အတွက်(starting) အဆင့်များ နှင့် ကြာချိန်

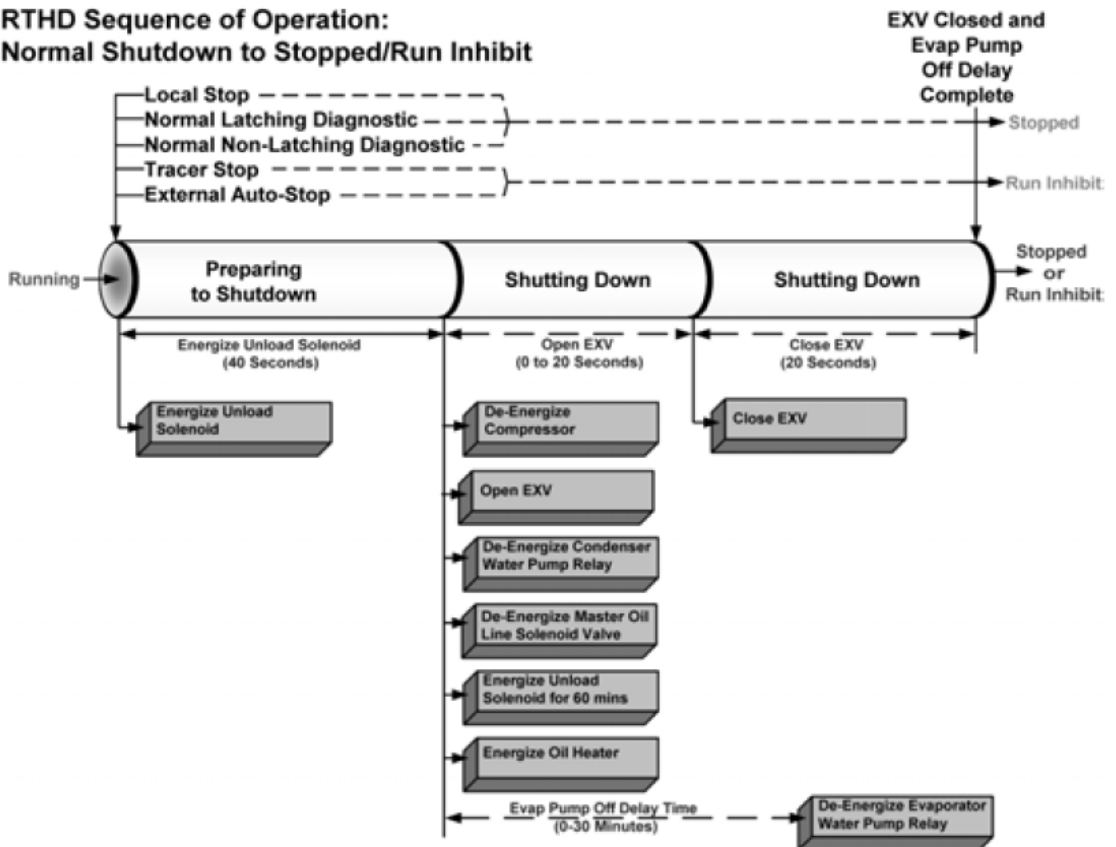
- (၁) No motor restart inhibit
- (၂) Evaporator and Condenser Water flowing
- (၃) Power up Start Delay Timer has expired
- (၄) Adjustable Stop to Start Timer has expired
- (၅) Need to cool

အထက်ပါအချက်များနှင့်ပြည့်စုံပြီးနောက် စက္ကန့် (၆၀) ကြာလျှင် Compressor စတင်မောင်း(start)လိမ့်မည်။

၁၄.၇.၃ Normal Shutdown to Stopped

Chiller များတွင် ပုံမှန်ရပ်တန့်ခြင်း(normal shutdown) နှင့် ပုံမှန်မဟုတ်သည့် ရပ်တန့်ခြင်း(abnormal shutdown) ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ မောင်းနေရာမှ ပုံမှန်ရပ်တန့်(normal shutdown) ရန်အတွက် လိုအပ်သည့် အဆင့်များကို ဖော်ပြထားသည်။

**RTHD Sequence of Operation:
Normal Shutdown to Stopped/Run Inhibit**



ပုံ ၁၄-၄၇ မောင်းနေရာမှ ပုံမှန်ရပ်တန့်(normal shutdown) ရန်အတွက် လိုအပ်သည့် အဆင့်များ

EVAPORATOR SCREEN

Leaving Chilled Liquid Temperature	2.1 °C	Leaving Chilled Liquid Temperature Setpoints	
Return Chilled Liquid Temperature	6.2 °C	Setpoint	2.0 °C 5.6 °C Remote Range
Small Temperature Difference	1.7 °C	Shutdown	0.5 °C 1.5 °C Offset
Evaporator Pressure	408.2 kPaG	Restart	2.0 °C 0.0 °C Offset

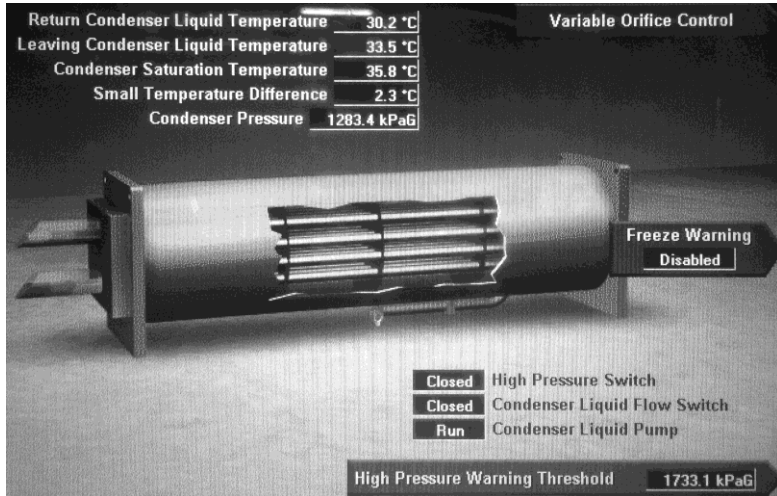
Evaporator Saturation Temperature	0.7 °C	0.4 °C	Evaporator Refrigerant Temperature
Chilled Liquid Flow Switch	Closed		
Chilled Liquid Pump	Run		

Ice Storage **Off**

Sensitivity **Normal**

Local Leaving Chilled Liquid Temperature	Leaving Chilled Liquid Temperature Cycling Offset	Brine Low Evaporator Cutout	303.4 kPaG
Setpoint	Range	Shutdown	Restart
2.0 °C	5.6 °C	1.5 °C	0.0 °C
Refrigerant	Enabled		

ပုံ ၁၄-၄၈ လည်ပတ်နေသည့် screw chiller တစ်လုံး၏ evaporator data များ

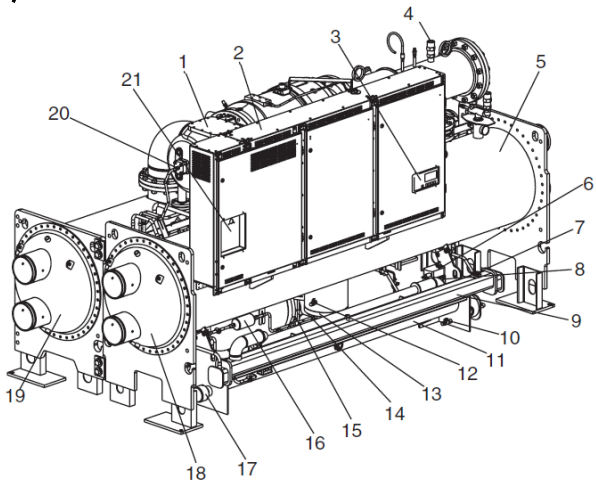


ပုံ ၁၄-၄၉ လည်ပတ်နေသည့် screw chiller တစ်လုံး၏ condenser data များ



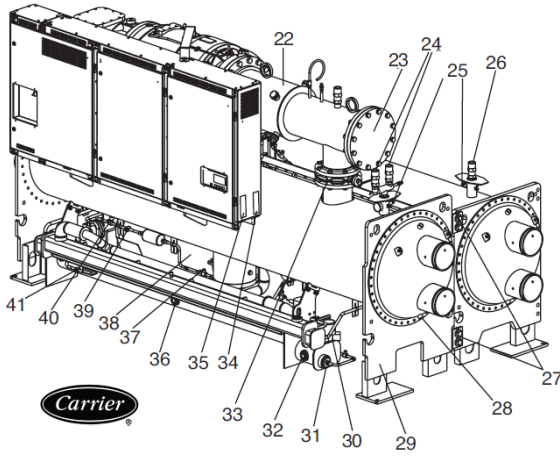
ပုံ ၁၄-၅၀ လည်ပတ်နေသည့် screw chiller တစ်လုံး၏ compressor data များ

၁၄.၈ 23XRV Water Cooled Screw Compressor (VSD)



- 1 — Motor Terminal Cover Plate
- 2 — Variable Frequency Drive
- 3 — International Chiller Visual Controller (ICVC)
- 4 — Discharge Pipe/Relief Valve
- 5 — Condenser
- 6 — Oil Reclaim Actuator
- 7 — Vaporizer Sight Glass
- 8 — Oil Filter Assembly (Hidden)
- 9 — Vaporizer
- 10 — Oil Sump Charging/Drain Valve
- 11 — Oil Sump
- 12 — Condenser Refrigerant Pumpout Valve
- 13 — Condenser Float Chamber
- 14 — Cooler Inlet Isolation Valve
- 15 — ASME Nameplate, Economizer (Hidden)
- 16 — Filter Drier
- 17 — Oil Sump Heater
- 18 — Condenser Supply/Return End Waterbox
- 19 — Cooler Supply/Return End Waterbox
- 20 — Motor Cooling Supply Line
- 21 — VFD Circuit Breaker/Disconnect

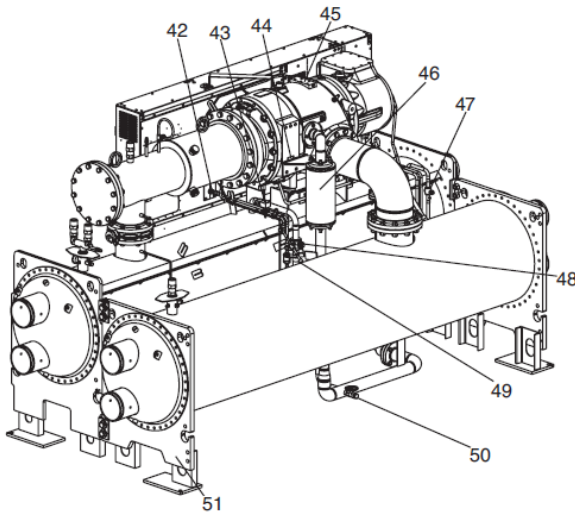
ပုံ ၁၄-၅၁ VSD ဖြင့်မောင်းသည့် screw chiller (23XRV) component locations



Typical 23XRV Component Locations

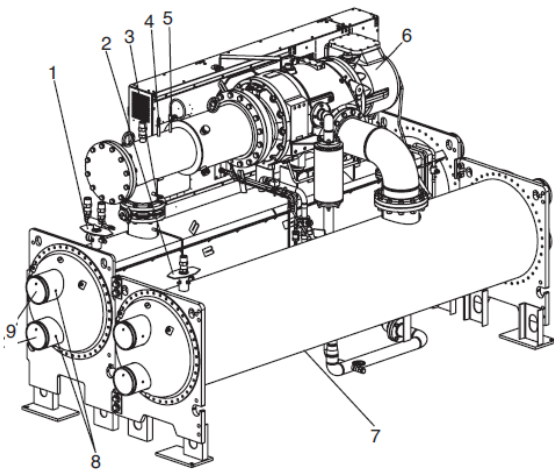
- 22 — Discharge Pipe Assembly
- 23 — Compressor Discharge Check Valve Access Cover
- 24 — Condenser Relief Valves with Three-Way Valve
- 25 — Refrigerant Charging Valves
- 26 — Cooler Relief Valve
- 27 — Tubesheet Mounting Brackets
- 28 — Typical Waterbox Drain Coupling
- 29 — ASME Nameplate, Condenser
- 30 — Oil Pump
- 31 — Oil Pump Inlet Strainer
- 32 — Strainer Housing Sight Glass
- 33 — Discharge Isolation Valve (Option or Accessory)
- 34 — Machine Electrical Data Nameplate
- 35 — Refrigeration Machine Nameplate
- 36 — Oil Sump Sight Glass
- 37 — Filter Drier Isolation Valve with Schrader
- 38 — Economizer
- 39 — Motor Cooling Sight Glass
- 40 — Filter/Drier Isolation Valve
- 41 — Vaporizer Drain Sight Glass

ပုံ ၁၄-၅၂ 23XRV screw compoessor တစ်လုံး၌ ရှိသည့် component များ



- 42 — VFD Cold Plate Refrigeration Inlet Connection (Outlet Hidden)
- 43 — VFD Refrigerant Cooling Solenoid Valve
- 44 — Compressor Nameplate
- 45 — Compressor Lubrication Block
- 46 — Economizer Muffler
- 47 — Vaporizer Condenser Gas Isolation Valve
- 48 — Hot Gas Bypass Isolation and Trim Valve
- 49 — VFD Cooling Refrigerant Strainer
- 50 — Cooler Refrigerant Pumpout Valve
- 51 — ASME Nameplate, Cooler

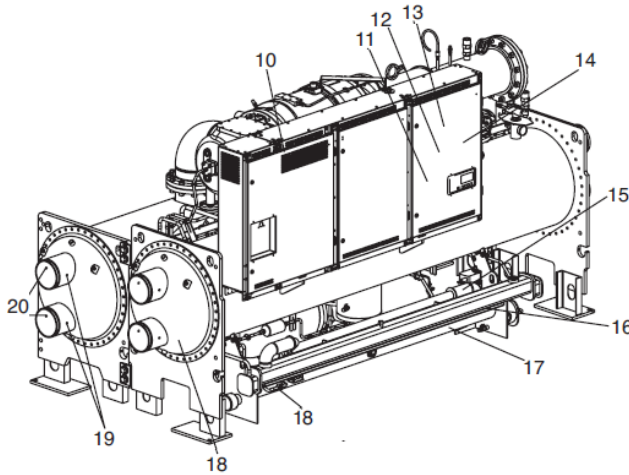
ပုံ ၁၄-၅၃ 23XRV screw compoessor တစ်လုံး၌ ရှိသည့် component များ



Typical 23XRV Sensor Locations

- 1 — Condenser Pressure
- 2 — Evaporator Pressure
- 3 — Compressor Discharge Temperature
- 4 — Compressor Discharge Pressure
- 5 — Compressor Discharge High Pressure Switch
- 6 — Compressor Motor Winding Temperature (Hidden)
- 7 — Evaporator Refrigerant Liquid Temperature (Hidden)
- 8 — Condenser Liquid Temperature
- 9 — Condenser Liquid Flow (Optional)

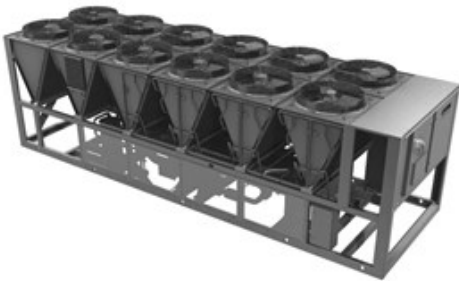
ပုံ ၁၄-၅၄ 23XRV screw compoessor တစ်လုံး၌ ရှိသည့် component များ



- 10 — Inductor Temperature Switch (Inside VFD Enclosure)
- 11 — VFD Rectifier Temperature (Inside Power Module)
- 12 — VFD Cold Plate Temperature (Inside VFD Enclosure)
- 13 — VFD Inverter Temperature (Inside Power Module)
- 14 — Humidity Sensor (Inside VFD Enclosure)
- 15 — Oil Pressure Leaving Filter (Hidden)
- 16 — Oil Sump Pressure (Hidden)
- 17 — Oil Sump Temperature (Hidden)
- 18 — Vaporizer Temperature
- 19 — Evaporator Liquid Temperature
- 20 — Evaporator Liquid Flow (Optional)

ပုံ ၁၄-၅၅ 23XRV screw compressor ရှိ sensor များ တည်ရှိရာ နေရာ(location)

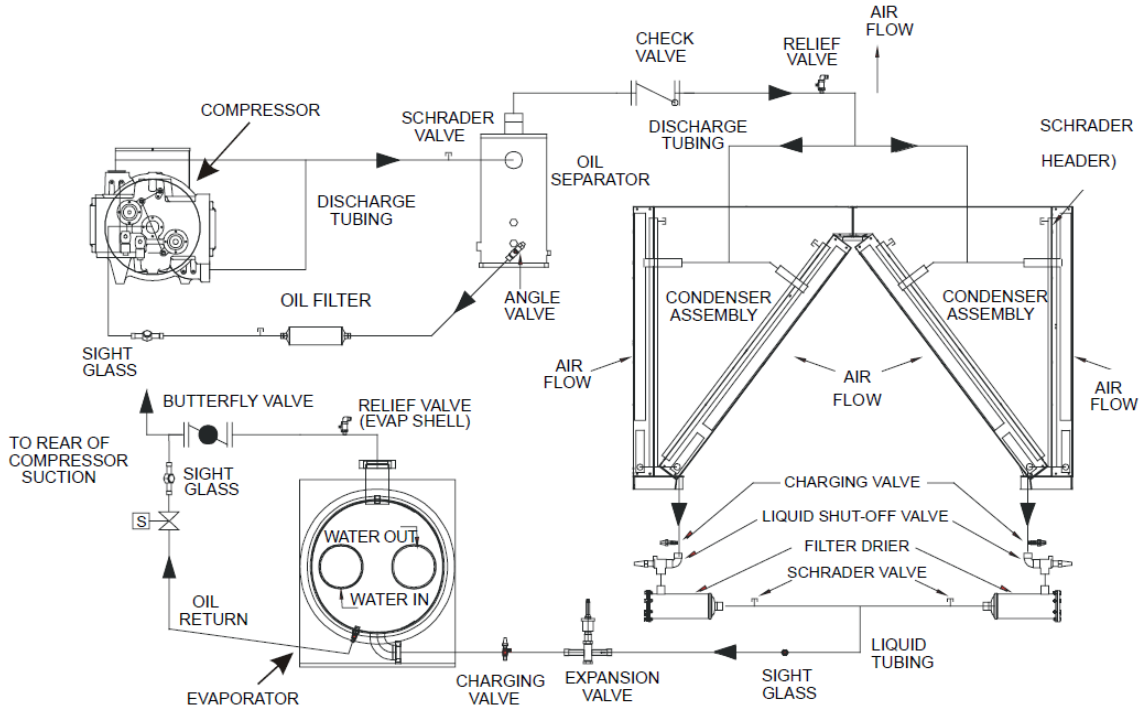
၁၄.၉ Air Cooled VSD Screw Chillers



ပုံ ၁၄-၅၆ Air cooled VSD screw chiller



ပုံ ၁၄-၅၇ Air cooled VSD screw chiller



ပုံ ၁၄-၅၈ Air cooled rotary screw chiller piping schematic

- End-

Contents

၁၄.၁ Screw Compressors..... 1

 ၁၄.၁.၁ Single Screw Compressors.....

 ၁၄.၁.၂ Twin Screw Compressors.....

၁၄.၂ Screw Chillers..... 5

၁၄.၃ Screw Chiller Refrigerant Circuit..... 8

၁၄.၄ Screw Compressor အလုပ်လုပ်ပုံ 8

၁၄.၅ Capacity Control12

 ၁၄.၅.၁ Slide Valve.....

 ၁၄.၅.၂ VSD Controls 15

၁၄.၆ Oil System15

၁၄.၇ Power Up to Starting.....17

 ၁၄.၇.၁ Trane RTHD screw chiller Power Up to Starting.....

 ၁၄.၇.၂ Stopped to Starting 20

 ၁၄.၇.၃ Normal Shutdown to Stopped 22

၁၄.၈ 23XRV Water Cooled Screw Compressor (VSD).....20

၁၄.၉ Air Cooled VSD Screw Chillers22

Chapter-15 Centrifugal Compressors and Chillers

၁၅.၁ Dynamic Compressors

Centrifugal compressor များသည် dynamic compressor အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။ Centrifugal compressor များသည် စွမ်းအင်တစ်မျိုးမျိုးကို အသုံးပြု၍ gas ၏ velocity သို့မဟုတ် centrifugal force ကို မြှင့်တက်စေပြီးနောက် ဖိအားအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲပေးသည့် pump တစ်မျိုးဖြစ်သည်။ Suction gas များသည် rotor ၏ အလည်တည့်တည့်၌ ရှိနေသည့် အပေါက်(eye) အတွင်းသို့ ဝင်ရိုးအတိုင်း(axial direction) ဝင်ရောက်လာသည်။ လည်နေသည့် blade များကြောင့် tangent direction အတိုင်းထွက်သွားသည်။

ဖိသိပ်ခြင်းခံရမည့် gas ဆီသို့ ထည့်ပေးရမည့် စွမ်းအင်(energy)သည် gas ၏ အလျင်(velocity)နှင့် သိပ်သည်းဆ(density) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ သိပ်သည်းဆ(density)သည် working condition အပေါ်တွင် မူတည် နေသောကြောင့် ပြောင်းလဲနေသည်။ Centrifugal compressor တစ်လုံး၏ design performance သည် rotor ၏ tip speed အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ သိပ်သည်းဆ(density) နိမ့်သည့် gas ကို အသုံးပြုထားလျှင် tip speed သည် 300 m/s အထိ ဖြစ်နိုင်သည်။ လျှပ်စစ်မော်တာ(electric motor) မြန်နှုန်း(speed)သည် 2900 rev/min ဖြစ်လျှင် single-stage chiller ၏ impeller အရွယ်အစား(diameter)သည် နှစ်မီတာ(2 m) ဖြစ်သည်။ 2 m (6 ft) impeller သည် အလွန်ကြီးသည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။ အလိုရှိသည့် tip speed ရရှိစေပြီး impeller အရွယ်အစား သေးငယ်စေရန် ဝင်ရိုး(shaft)လည်ပတ်နှုန်းကို မြှင့်တင်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ဂီယာကို အသုံးပြု၍ ဝင်ရိုး(shaft) လည်ပတ်နှုန်းကို မြှင့်တင်ပေးနိုင်သည်။ Air-conditioning လုပ်ငန်းအတွက် အသုံးပြုသည့် single-stage centrifugal compressor ၏ rotor speed သည် 10,000 rev/min ခန့် ဖြစ်သည်။

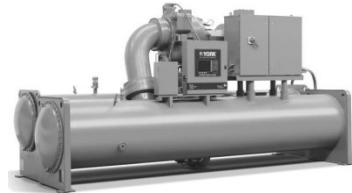
Gas များကို အဆင့် နှစ်ဆင့် သို့မဟုတ် နှစ်ဆင့်ထက်ပိုများသည့် အဆင့်များ(multi-stage)ဖြင့် ဖိသိပ် (compress) နိုင်သည်။ ဝင်ရိုး(shaft) တစ်ချောင်းတည်းပေါ်တွင် impeller များကို အတူတကွ အတန်းလိုက် တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ အဆင့်များ အားလုံးတွင် compression ပမာဏ တူညီကြသည်။

အမိုးနီယား(ammonia)ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုသည့်အဆင့်(၇)ဆင့်(seven compression stages) ပါသည့် centrifugal compressor များ တည်ဆောက်နိုင်သည်။ Tip speed မြင့်မြင့်ဖြင့် ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် လိုအပ်သောကြောင့် သေးငယ်သည့် စက်များကို စီးပွားဖြစ် ထုတ်လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ဈေးကွက်တွင် ရရှိနိုင်သည့် အသေးဆုံး centrifugal compressor ၏ capacity သည် 260 kW (74RT) ဖြစ်သည်။ Semi-hermetic compressor များ၏ capacity သည် 7,000 kW(2,000RT) ဖြစ်ပြီး open drive compressor ၏ capacity သည်

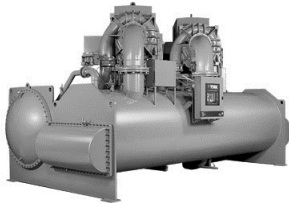
21,000 kW (6,000RT)ဖြစ်သည်။ Main bearing များကလွဲ၍ lubrication လုပ်ရန် မလိုပေ။ ချောဆီကင်းမဲ့(oil free) သည့် compressor အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ Centrifugal compressor များနှင့် တွဲ၍ အသုံးများသည့် refrigerant သည် R134a နှင့် R123 ဖြစ်သည်။



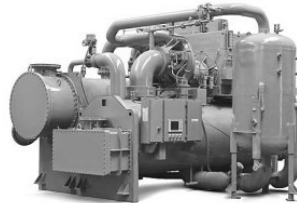
ပုံ ၁၅-၁ Model YMC² Magnetic Centrifugal



ပုံ ၁၅-၂ Model YK Single Centrifugal Compressor



ပုံ ၁၅-၃ Model YD (Dual Centrifugal Compressor)



ပုံ ၁၅-၄ Model CYK (Compound Compressor)

Centrifugal compressor များ၏ pumping characteristic သည် positive displacement compressor များနှင့် မတူညီကြပေ။ Centrifugal compressor များသည် ဖိအား(discharge pressure) မြင့်မြင့်ထုတ်ပေးရန် လိုအပ်သောကြောင့် gas များ နောက်ဘက်သို့ ပြောင်းပြန်ဝင်ရောက်ခြင်း(reverse flow) ဖြစ်နိုင်သည်။ Centrifugal compressor များ၏ performance သည် condensing condition အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Head pressure နည်းလျှင် capacity များများ ရရှိနိုင်ပြီး Coefficient of Performance(COP) ကောင်းနိုင်သော်လည်း head pressure မြင့်တက်လာလျှင် efficiency နှင့် rated capacity ကျဆင်းသွားလိမ့်မည်။

Capacity သည် blade များ၏ ထောင့်(angle) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ဖိအား(pressure) အလွန် များလွန်းသောကြောင့် နောက်ပြန်စီးမှု(reverse flow)ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ နောက်ပြန်စီးခြင်း(reverse flow)ကြောင့် impeller နှင့် drive motor ပေါ်တွင် အားများစွာ သက်ရောက်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ထိုသို့ဖြစ်ခြင်းကို တတ်နိုင်မျှ ရှောင်လွှဲရန် head pressure မြင့်မားစေမည့် အခြေအနေများ မဖြစ်ပေါ်အောင် စီမံထားရန် လိုအပ်သည်။ Condenser system များကို ကောင်းစွာထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

အချိန်တိုအတွင်း centrifugal chiller များ မကြာခင် ရပ်တန့်ခြင်း၊ ပြန်မောင်းခြင်း လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ Full flow ၏ 10-15% အထိ လျော့ချနိုင်သည်။ Variable Speed Drive များ ဈေးနှုန်းချိုသာလာသောကြောင့် centrifugal chiller များ ၏ efficiency ပိုကောင်းလာသည်။ Variable geometry ဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည့် centrifugal compressor ကို ပုံ(၁၅-၅)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

Centrifugal compressor များကို ကြီးမားသော refrigerating စနစ်များတွင် အသုံးပြုကြသည်။ Compressor သည် အငွေ့များကို circular path အတိုင်း ဖိသိပ်(compress)ရင်း အပြင်သို့ရောက်သွားစေသည်။ ဓာတ်ငွေ့သည် compressor အလယ်ဗဟိုအနီး၏ အိမ်အတွင်းသို့ဝင်လာသည်။ Radial blade (impeller)မှ ရိုက်ခတ်သောအား (centrifugal force)ကြောင့် blade တစ်လျှောက် ရွေ့လျားသွားသည်။ ထို့နောက် ဖိအား တဖြည်းဖြည်း မြင့်တက် လာသည်။ Steam turbine သို့မဟုတ် gas turbine engine အလုပ်လုပ်ပုံနှင့် ဆန့်ကျင်ဘက်ဖြစ်သည်။

ရိုးရှင်း၍ အားသာချက်များသည်။ ဗားများ၊ ဆလင်ဒါများနှင့် ပင်စတင်များ မပါရှိချေ။ ပွန်းတီးနိုင်သော main bearing များသာ အဓိက ပါဝင်သည်။ လည်ပတ်မှုများလေး၊ compressor ၏ စွမ်းရည်ပိုကောင်းလေ ဖြစ်သည်။

ပုံ(၁၅-၁၂)တွင် two stage centrifugal compressor ကို ဖြတ်ပိုင်းပုံဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ Motor ကို stage နှစ်ခုကြားတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ ဘယ်ဘက်မှဝင်၍ ညာဘက်မှ ထွက်သွားသည်။ အလုပ် လုပ်ပုံမှာ ပထမ impeller

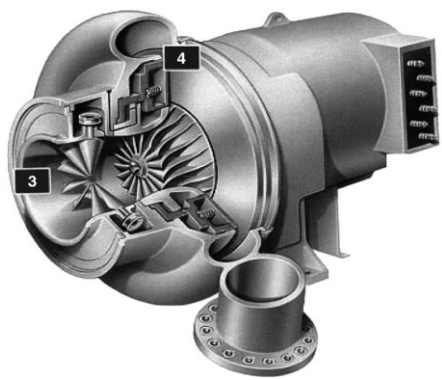
ဖိအား မြင့်လာသော ဓာတ်ငွေ့များကို နောက်ထပ် impeller တစ်ခု၏ ဗဟိုမှ စတင်ဝင် ရောက်စေပြီး ထပ်မံ ဖိအား မြှင့်တင် ပြန်သည်။ ထိုကဲ့သို့ impeller များအဆင့်ဆင့် ဖြတ်သန်းစေခြင်းဖြင့် လိုအပ်သည် ဖိအား ရရှိနိုင်သည်။

ပုံ(၁၅-၅)တွင် လျှပ်စစ် မော်တာ သို့မဟုတ် steam turbine ဖြင့် မောင်းသည့် hermetic centrifugal compressor တစ်လုံးကို ဖော်ပြထားသည်။ Compressor ၏ stator ကို cast iron ဖြင့် ပြုလုပ်သည်။ Rotor သို့မဟုတ် impeller ကို compressor shaft တွင် key လိုင်း ဖော်၍ တပ်ဆင်ထားသည်။ Key ကို steel ဖြင့် ပြုလုပ်သည်။ သတ်မှတ်ထားသော gas velocity ထက် မကျော်လွန် စေရန်အတွက် အထူးဒီဇိုင်းပြုလုပ်ထားသည့် ဓာတ်ငွေ့ trapping pocket ပါရှိသည်။

၁၅.၂ Centrifugal Compressors

ကြီးမားသည့် chiller များတည်ဆောက်လိုသည့်အခါ ၊ ဖိအားနိမ့်နိမ့် နှင့် flow များများရရန် လိုအပ်သည့်အခါ များတွင် positive displacement compressor များအစား Centrifugal compressor များကို အသုံးပြုကြသည်။ 350 မှ kW-20 MW range (100RT မှ 5,600RT) capacity ထုတ်ပေးနိုင်သည့် centrifugal chiller များကို ဈေးကွက်တွင် ဝယ်ယူ ရရှိနိုင်သည်။ Centrifugal compressor များကို အသုံးပြု၍ multistage refrigeration system များ တည်ဆောက်နိုင်သည်။ R-123 ၊ R-22 နှင့် R-134a ကို အသုံးပြုထားသည့် centrifugal compressor များ ရရှိ နိုင်သည်။ Multistage centrifugal compressor များကို cast iron နှင့် cast steel casings တို့ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ Compressor မှ အထွက်ဖိအား(discharge pressure)သည် 40 bar ခန့် ဖြစ်သည်။

အမိုးနီယား(ammonia)ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုထားသည့် centrifugal compressor များ တွေ့မြင်ရန် ခဲယဉ်းသည်။ ကြေးသည် အမိုးနီယားနှင့် ဓာတ်ပြုနိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထုတ်လုပ်သူများ အပေါ်တွင်မူတည်၍ single stage ၊ multistage ၊ open ၊ semi-hermetic သို့မဟုတ် hermetic ဒီဇိုင်း စသည့် အချက်များ ကွဲပြားသည်။ Centrifugal compressor များတွင် ရရှိနိုင်သည့် compression ratio per impeller ကို ကန့်သတ်ထားသည်။ Temperature lift မြင့်မြင့် လိုအပ်သည့်အခါမျိုးတွင် multistage ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Centrifugal compressor ၏ operating principle သည် centrifugal pump နှင့် တူညီသည်။



Labelled 3 - showing inlet guide vanes

Labelled 4 - moveable wall diffuser

ပုံ ၁၅-၅ Centrifugal compressor with variable geometry, showing inlet guide vanes and moveable wall diffuser (Carrier)

ကြီးမားသည့် refrigeration system များ တွင် pressure ratio နိမ့်နိမ့် ဖြင့်မောင်းသည့်အခါ operate with adiabatic compression efficiency သည် 80% အထိ ရနိုင်သည်။ Reciprocating ၊ scroll သို့မဟုတ် screw compressor စသည့် positive displacement compressor များနှင့် မတူညီသည့် အချက်များမှာ centrifugal compressor သည် rotational speed(rpm) နှင့် tip speed ကို တွဲ၍ ဖိအားကွာခြားမှု(pressure difference) ဖြစ်ပေါ်အောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။

Centrifugal compressor များသည် dynamic compression အမျိုးအစား ဖြစ်ကြသည်။ Rotating mechanical element နှင့် flowing fluid နှစ်ခုအကြားတွင် angular momentum များ အဆက်မပြတ် ဖလှယ်နေခြင်း

(exchange) ဖြစ်သည်။ Centrifugal pump ကဲ့သို့ပင် centrifugal compressor များတွင် မြန်နှုန်း မြင့်မြင့်ဖြင့် လည်နိုင်သည့် impeller ပါဝင်သည်။ Refrigerant များသည် လည်နေသည့် impeller အတွင်းသို့ ဝင်ရိုး(axial direction)အတိုင်း ဝင်ရောက်လာသည်။ လည်နေသည့် ဝင်ရိုးကို ထောင်မှန်ချိုး၍ (radial အတိုင်း) higher velocity ဖြင့် ထွက်သွားသည်။ Refrigerant ၏ velocity မြင့်သောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် dynamic pressure သည် impeller အပြင်ဘက်ရှိ diffuser နေရာတွင် static pressure အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။

Impeller တစ်ခုတည်းသာ ပါရှိသည့် centrifugal compressor များကို single stage compressor ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ နှစ်ခု သို့မဟုတ် နှစ်ခုထက် ပိုများသည့် impeller များပါရှိသည့် centrifugal compressor များကို multi stage compressor ဟုခေါ်ဆိုသည်။ Multistage compressor များတွင် ပထမ impeller မှ ထွက်သည့် discharge gas များသည် ဒုတိယ impeller အတွင်းသို့ suction gas အဖြစ် ဝင်ရောက်သည်။ Multiple stage centrifugal များတွင် economizer များ တပ်ဆင်နိုင်သည်။ Liquid line (intermediate pressures) မှ flash gas များကို ဖောက်ယူ၍ တခြား stage များဆီသို့ ထည့်ပေးခြင်းကြောင့် energy efficiency အလွန်ကောင်းနိုင်သည်။

Reciprocating compressor များကဲ့သို့ပင် centrifugal compressor များကို open ၊ semi hermetic ၊ hermetic စသည်ဖြင့် ရရှိနိုင်သည်။ Open centrifugal compressor များတွင် မော်တာသည် casing အပြင်ဘက်တွင် တည်ရှိပြီး မော်တာဝင်ရိုးသည် casing အတွင်းသို့ seal မှ တစ်ဆင့် ဝင်ရောက်သည်။ Hermetic centrifugal compressor များ၏ မော်တာ နှင့် compressor တို့သည် housing တစ်ခုအတွင်း၌ ရှိနေသည်။ မော်တာကွိုင် (winding) တစ်ခုလုံးသည် refrigerant နှင့် ထိတွေ့နေသည်။

Compressor မှ ထုတ်ပေးသည့် discharge pressure သည် impeller ၏ tip velocity နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။ တူညီသည့် ဖိအား(pressure)ရရှိရန်တွင် impeller အရွယ်အစား(diameter) သေးငယ်လျှင် မြန်နှုန်း (speed) မြင့်မြင့်ဖြင့် မောင်းရန် လိုအပ်သည်။ Compression stage များလျှင် impeller အရွယ်အစား(diameter) ငယ်ငယ်သာ လိုအပ်သည်။ တချို့ထုတ်လုပ်သူများသည် သေးငယ်သည့် impeller အရွယ်အစား(diameter)ကို အသုံးပြုရန်အတွက် gear drive ကို အသုံးပြုသည်။ တချို့ ထုတ်လုပ်သူများသည် ကြီးမားသည့် impeller သို့မဟုတ် multiple stage ကို အသုံးပြုကြသည်။ ကြီးမားသည့် impeller နှင့် multiple stage နှစ်မျိုး စလုံးကို တွဲ၍ အသုံးပြု နိုင်သည်။ Gear drive ကို အသုံးပြုသည့် high speed စက်များတွင် မော်တာဝင်ရိုးသည် impeller ဝင်ရိုးနှင့် ဂီယာဘောက်မှ တစ်ဆင့် ချိတ်ဆက်သည်။ အထက်ပါ ဒီဇိုင်းများအားလုံးတွင် အားနည်းချက်၊ အားသာချက်များ ကိုယ်စီရှိသည်။ Direct drive machine များသည် လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်း(moving part) အနည်းငယ်နှင့် bearing အနည်းငယ်သာ ပါဝင်သည့် ရိုးရှင်းသည့် စက်များဖြစ်ကြသည်။

Industrial refrigeration များတွင် multistage centrifugal compressor များကို အသုံးပြုသည်။ Centrifugal chiller များသည် စီးနှုန်းများများ(high flow)၊ ထုထည် လိုသလို ပြောင်းလဲ(variable volume)နိုင်ပြီး ပုံသေဖိအား(constant head)ကို ထုတ်ပေးနိုင်သည့် စက်များ ဖြစ်ကြသည်။

Table 15-1 Centrifugal compressor ကို reciprocating နှင့် screw compressor တို့ဖြင့် နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားပုံ

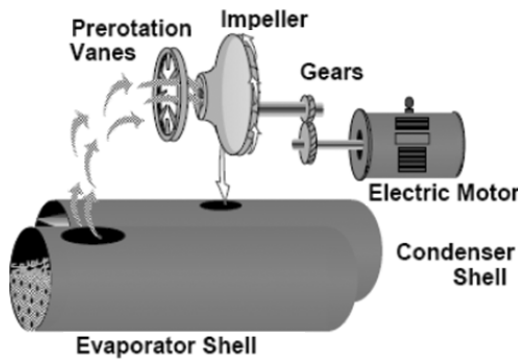
	Centrifugal	Screw	Reciprocating
Classification	Aerodynamic	Positive Displacement	Positive Displacement
Comp. Head	Constant	Variable	Variable
Volume	Variable	Variable	Constant
Flow	High	Medium	Low
Motion	Rotating	Rotating	Reciprocating
Capacity Control	Continuously	Continuously	Step Control

Centrifugal chiller များတွင် centrifugal compressor ၊ evaporator သို့မဟုတ် liquid cooler ၊ condenser ၊ throttling device ၊ piping connection နှင့် control တို့ ပါဝင်သည်။ တချို့သော centrifugal chiller

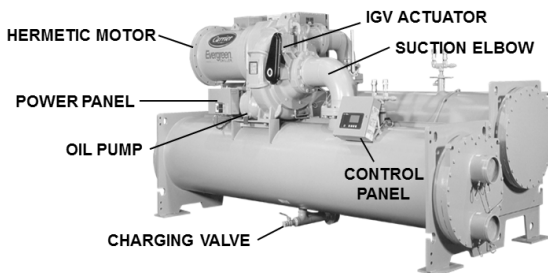
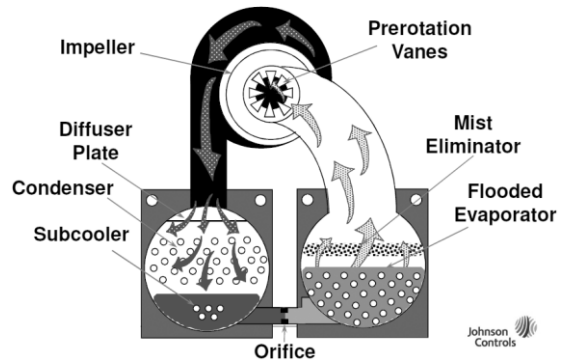
များတွင် purge unit နှင့် flashing cooler(economizer)တို့ အပိုအဖြစ် ပါဝင်သည်။ Centrifugal compressor သည် turbomachine တစ်မျိုးဖြစ်သည်။ Velocity pressure မှ static pressure သို့ ပြောင်းစေခြင်းဖြင့် total head lift များလာအောင် ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ တစ်ဆင့်ထားသည့် impeller များ အရေအတွက် ပေါ်တွင် မူတည်၍ single-stage ၊ two-stage နှင့် three-stage compressor များအဖြစ် ရှိနိုင်သည်။

$$\text{Compression ratio} = \frac{\text{Discharge Pressure}}{\text{Suction Pressure}}$$

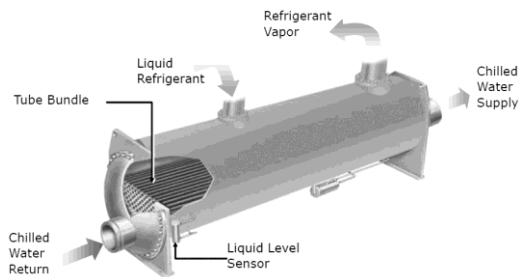
Single-stage centrifugal compressor တစ်လုံး၏ compression ratio သည် (၄)ထက် နည်းလေ့ ရှိသည်။ Impeller များကို အတန်းလိုက်(series) တစ်ဆင့်ခြင်းဖြင့် compression ratio ကို (၄)ထက် ပိုများအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Evaporating temperature 40°F(4.4°C) နှင့် condensing temperature 100°F (37.8°C) အတွင်း မောင်းမည့် HCFC-123(R123)ကို အသုံးပြုထားသည့် single-stage centrifugal compressor တစ်လုံး၏ compression ratio သည် 3.59 ဖြစ်သည်။ Two-stage သို့မဟုတ် three-stage centrifugal compressor များသည် single-stage centrifugal compressor များထက် total head lift ပိုများနိုင်ရုံသာမက refrigeration system ၏ COP လည်း ပိုကောင်းသည်။



ပုံ ၁၅-၆ Centrifugal chiller အလုပ်လုပ်ပုံ



ပုံ ၁၅-၇ Carrier centrifugal chiller



ပုံ ၁၅-၈ Flooded evaporator cut-away

Refrigerant သည် အငွေ့(Vapor)အနေဖြင့် inlet vane များမှ တစ်ဆင့် first-stage impeller အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သည်။ Impeller သည် အငွေ့(vapor)များကို ဖိသိပ်(compress)ပြီး second-stage impeller ဆီသို့ diffuser မှ တစ်ဆင့် ထွက်သွားစေသည်။ Second-stage impeller အတွင်း၌ ထပ်မံ၍ ဖိသိပ်(compress)ပြီး အပူချိန် မြင့်တက်လာသည့် refrigerant အငွေ့(vapor)များ volute အတွင်း၌ စုဝေးနေစေသည်။ Refrigerant များ သွားရာ လမ်းကြောင်း၏ ဧရိယာသည် တဖြည်းဖြည်းကျယ်လာပြီး velocity pressure မှ static pressure အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ Evaporating pressure မှ condensing pressure သို့ မြင့်တက်သွားစေရန်အတွက် compressor မှ အလွန်မြင့်သည့် head lift ဖြစ်ပေါ်အောင် ပြုလုပ်ပေးရန် လိုသည်။

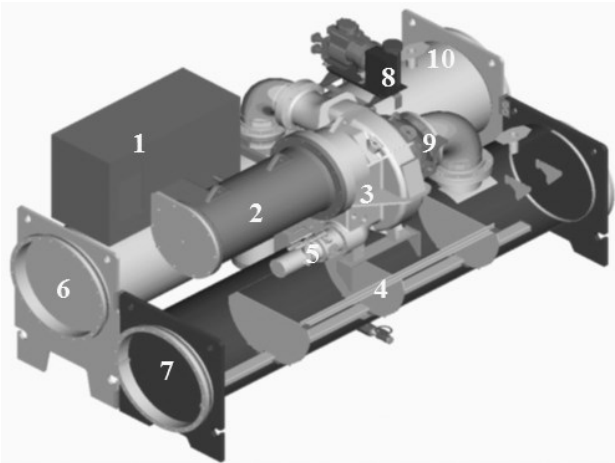
Second-stage impeller ၏ အထွက်(exit)နေရာတွင် hot gas discharge velocity သည် saturated vapor ၏ acoustic velocity နှင့် တူညီလှနီးပါး ဖြစ်သွားသည်။ လေထုဖိအား(atmospheric pressure)အောက်

အပူချိန် 80°F (26.7°C) အခြေအနေတွင် HCFC-123 ၏ acoustic velocity သည် 420 ft/s (128 m/s) ဖြစ်ပြီး HCFC-22 ၏ acoustic velocity သည် 600 ft/s (183 m/s) ဖြစ်သည်။

Centrifugal compressor များ၌ အလွန်မြန်သည့် peripheral velocity နှင့် rotating speed (from 1800 to 50,000 rpm) ရရှိရန် လိုအပ်သည်။ Centrifugal chiller များ၏ refrigeration capacity သည် မှ 100 tons (350 kW) မှ 10,000 tons(35,000 kW)အတွင်း ဖြစ်သည်။ သေးငယ်သည့် centrifugal chiller များကို စီးပွားဖြစ် ထုတ်လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ Centrifugal chiller များသည် turbomachine များဖြစ်သောကြောင့် positive displacement chiller များထက်စာလျှင် ထုထည်စီးနှုန်းများများ(higher volume flow) မောင်းနိုင်သည်။

Centrifugal chiller များသည် ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(design condition)ဖြင့် မောင်းနေချိန်တွင် (operating) isentropic efficiency သည် အများဆုံး 0.83 ခန့်အထိ ရရှိနိုင်သည်။ Part-load အခြေအနေတွင် 0.6 ခန့် အထိ ကျဆင်းသွားနိုင်သည်။ Centrifugal chiller များ၏ volumetric efficiency သည် 1.0 နီးပါး ရနိုင်သည်။

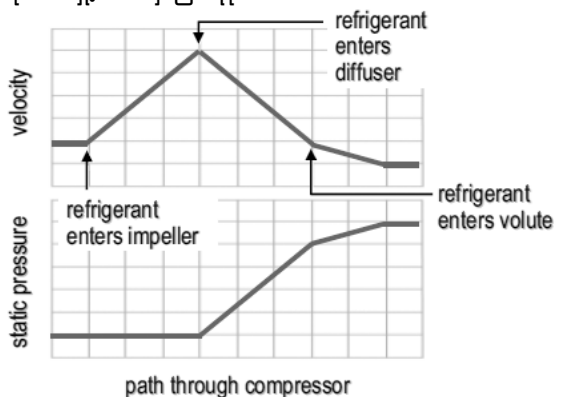
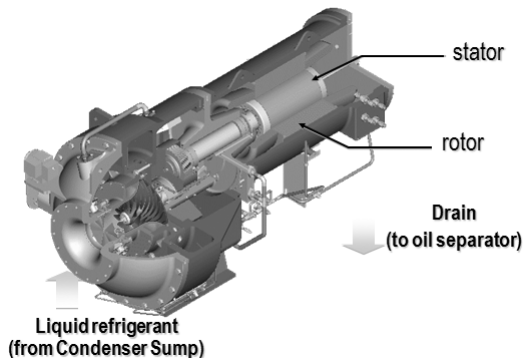
Centrifugal chiller များသည် inlet vane များကို အသုံးပြု၍ ချောမွတ်သည့်(stepless) capacity control ရနိုင်သည်။ Inlet vane များကို တွင်ကျယ်စွာ အသုံးပြုကြသည်။ Inlet Guide Vane(IGV) ဟုလည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။ Direct steam turbine ဖြင့်မောင်းသည့် centrifugal chiller နှင့် အင်ဂျင်ဖြင့် မောင်းသည့်(engine drive) centrifugal chiller များတွင် မြန်နှုန်း(speed) ကို ပြောင်းလဲပေးခြင်းဖြင့် capacity control ပြုလုပ်နိုင်သည်။ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားဖြင့် မောင်းသည့် electric chiller များတွင် Variable Speed Drive(VSD) ဖြင့် speed ကို ပြောင်းလဲပေးနိုင်သည်။ တချို့သော centrifugal chiller များတွင် Variable Speed Drive(VSD) နှင့် Inlet Guide Vane(IGV) ကို တွဲ၍ အသုံးပြုကြသည်။



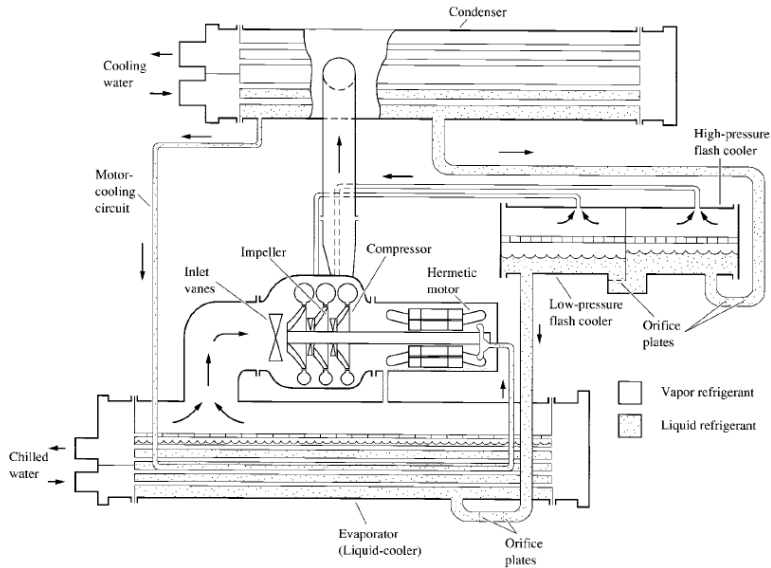
Evergreen chiller components

1. VFD or starter
2. Semi-hermetic motor
3. Compressor
4. Refrigerant distribution
5. Oil pump/lubrication system
6. Condenser
7. Cooler
8. Refrigerant transfer compressor
9. Inlet guide vanes
10. Relief valves

ပုံ ၁၅-၉ 19XR Evergreen Carrier centrifugal chiller ကို အရှေ့ဘက်မှ မြင်ရပုံ

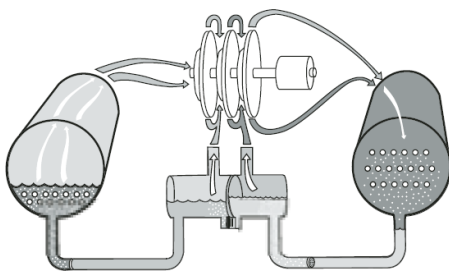


ပုံ ၁၅-၁၀ Carrier 19XR centrifugalhermetic compressor

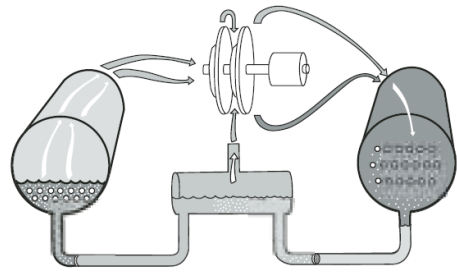


ပုံ ၁၅-၁၁ Two-stage centrifugal compressor တစ်လုံး

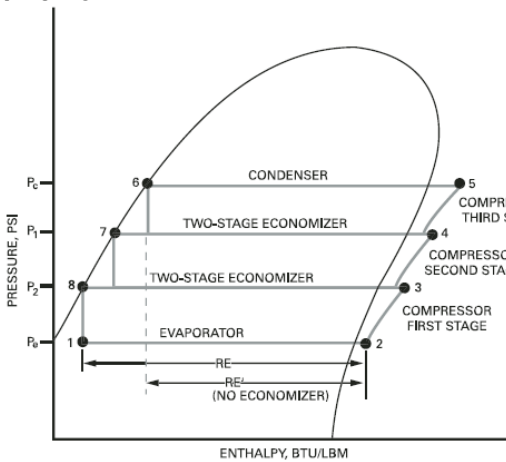
Refrigeration capacity 1200 tons (4220 kW) ထက်နည်းသည့် centrifugal chiller များတွင် hermetic အမျိုးအစား compressor များကို တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ အလွန်ကြီးမားသည့် centrifugal chiller များတွင် open type compressor များကို အသုံးပြုကြသည်။



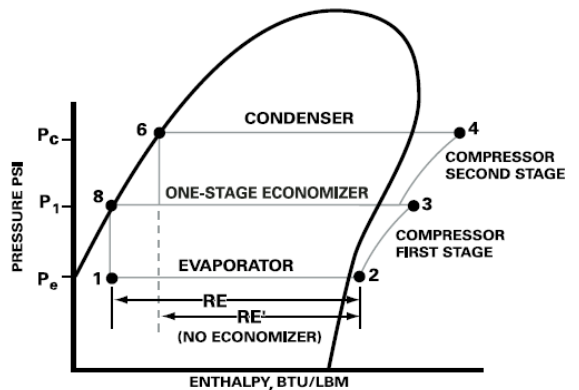
ပုံ ၁၅-၁၂ (က) Three stage refrigerant flow



ပုံ ၁၅-၁၂ (ခ) Two stage refrigerant flow



ပုံ ၁၅-၁၃ (က) Three stage P-H diagram



ပုံ ၁၅-၁၃ (ခ) Two stage refrigerant flow P-H diagram

Centrifugal chiller များတွင် head lift ရရှိရန် အလွန်မြန်သည့် peripheral velocity ဖြင့်မောင်းပေးရသည်။ မော်တာဖြင့် တိုက်ရိုက်ချိတ်ဆက်ပြီးမောင်းနိုင်သလို၊ ဂီယာဘောက်ဖြင့် မြန်နှုန်း မြှင့်တင်၍လည်း မောင်းနိုင်သည်။ Direct-drive compressor များတွင် အရွယ်အစား ကြီးမားသည့် impeller များ တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။

အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် direct-drive ဖြစ်၍ မော်တာမြန်နှုန်းနှင့် compressor တူညီနေသောကြောင့် peripheral velocity များအောင် impeller diameter ကြီးအောင် လုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Direct-drive ဖြစ်သောကြောင့် စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှု(energy loss)နည်းသည်။ Compressor စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု ၏ 2% မှ 3% အထိ လျော့နည်းနိုင်သည်။

Centrifugal compressor များသည် ယုံကြည်စိတ်ချရမှု(reliability) မြင့်မားပြီး energy-efficient ဖြစ်သောကြောင့် အလွန်ကြီးမားသည့် central air conditioning system များ၏ water-cooled chiller များတွင် အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။

၁၅.၂.၁ Centrifugal Compressor Theory

Centrifugal compressor များသည် aerodynamic အမျိုးအစား သို့မဟုတ် turbineအမျိုးအစား စက်များ ဖြစ်ကြသည်။ Centrifugal compressor များသည် scroll ၊ reciprocating ၊ screw စသည့် positive displacement compressor များနှင့် အလုပ်လုပ်ပုံ မတူညီကြပေ။ Gas များ ထဲသို့ kinetic energy ထည့်သွင်း ပြီးနောက် pressure energy အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်သည်။ Centrifugal compressor များ၏ lift characteristics အလွန် ကောင်းသည်။ စီးနှုန်း(flow rate)များများ ရနိုင်ခြင်း နှင့် efficiency ကောင်းခြင်းတို့သည် အားသာချက်များ ဖြစ်ကြသည်။

Centrifugal compressor များ၏ အလုပ်လုပ်ပုံကို ဥပမာဖြင့် ဖော်ပြရမည်ဆိုလျှင် ဘောလုံးတစ်လုံးကို ကြိုးဖြင့် ချည်၍ လေထဲတွင် ဝှေ့ရမ်းပြီးနောက် အမြင့်တစ်နေရာသို့ ပို့လွှတ်လိုက်သည်နှင့် တူသည်။ ဝှေ့ရမ်းခြင်းကြောင့် angular momentum ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ ဘောလုံးအလေးချိန်(molecular weight)၊ ကြိုးအရှည်(length of the string) (wheel diameter ကို ရည်ညွှန်းသည်။) နှင့် rotational speed (rpm)တို့ကြောင့် angular momentum ဖြစ်ပေါ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

Compressor မှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် lift သည် tip speed နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။ Table 15-2 တွင် centrifugal compressor များ၌ အသုံးများသည့်(common) refrigerant များ ၏ အချက်အလက်များကို ဖော်ပြထားသည်။ Lift သည် chilled water temperature၊ condenser water temperature နှင့် approach temperature တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Chiller အားလုံးအတွက် lift သဘောတရားသည် အတူတူပင်ဖြစ်သည်။ Tip speed သည် 4% ခန့်သာ ကွာခြားမှုရှိသည်။ Tip speed သည် 650 fps ဖြစ်သည်။ Tip speed 650 fps ရရှိရန် အတွက် သေးငယ်သည့် imperller မြန်မြန် လည်ပတ်သည်ဖြစ်စေ၊ ကြီးမားသည့် imperller နှေးနှေး လည်ပတ်သည် ဖြစ်စေ အတူတူပင်ဖြစ်သည်။

Chiller တစ်လုံးမှ cooling မည်မျှ ထုတ်ပေးသည်ဆိုသည်မှာ compressor မှ တွန်းပေးသည့် refrigerant စီးနှုန်းပမာဏ(cfm) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် chiller တစ်လုံးမှ cooling capacity သည် compressor မှ တွန်းပေးသည့် refrigerant စီးနှုန်း(flow rate)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Table 15-2 Refrigerant Properties

Refrigerant	HCFC 123	HFC 134a	HCFC 22
Condenser pressure - psig @ 100°F	6.10	124.1	195.9
Evaporator pressure - psig @ 40°F (Inches of Mercury)	(18.1)	35.0	68.5
Net refrigerant effect -BTU/lb	66.0	68.0	73
Refrigerant circulated- lbs/min./ton	3.08	3.00	2.78
Gas flow - cfm/ton	18.15	3.17	1.83
Head - BTU/lb	7.73	8.34	9.0
Tip Speed- ft./sec.	656	682	707
Ozone Depletion Potential - ODP	0.02	0.00	0.05

Table 15-3 တွင် အသုံးများသည့် refrigerant များ၏ ဒေတာများကို ဖော်ပြထားသည်။ HFC-134a ကို အသုံးပြုလျှင် 1 RT ရရန်အတွက် 3 cfm လိုအပ်ပြီး HCFC-123 အသုံးပြုလျှင် 1 RT ရရန်အတွက် 17 cfm လိုအပ်သည်။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် HFC-134a ၏ သိပ်သည်းဆ (density) ပိုများသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

Centrifugal compressor များ၏ အရေးအကြီးဆုံး design parameter တစ်ခုမှာ refrigerant gas ၏ impeller inlet velocity ကို Mach 1 ထက် နိမ့်အောင် ပြုလုပ်ထားရန်လိုအပ်သည်။ Mach number 0.9 နီးပါးခန့်တွင် ဒီဇိုင်းလုပ်လေ့ရှိသည်။ အောက်တွင် 1000 ton chiller ကို refrigerant သုံးမျိုးတို့၏ design parameter များကို ဖော်ပြထားသည်။

Table 15-3 Compressor design parameters

Refrigerant	HFC 134a	HCFC 22	HCFC 123
Chiller size (tons)	1000	1000	1000
Compressor Gas Flow Rate (cfm/ton)	2.68	1.74	17.08
Compressor Gas Flow Rate (cfm)	2680	1,740	17,080
Tip Speed (fps)	653	678	629
Wheel Speed (rpm)	11,884	19,464	3550 @60hz
Wheel diameter (in)	12.6	8	40.6
Acoustic Velocity @ 50°F (fps)	484	535	417
Minimum. Inlet Diameter. (in)	4.6	3.5	13.0

HCFC-123 ဖြင့်မောင်းသည့် centrifugal compressor များ သည် မော်တာနှင့် တိုက်ရိုက်ဆက်(direct-coupled)ထားသည်။ Compressor speed သည် ပုံသေ 3550 rpm ဖြစ်သည်။ Direct-drive ၏ အားသာချက်မှာ gearbox သုံးရန် မလိုအပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Variable Frequency Drive(VFD)ကို အသုံးပြုထားခြင်း မရှိလျှင် tip speed fine tuning ပြုလုပ် မဖြစ်နိုင်ပေ။ သင့်လျော်မှန်ကန်သည့် tip speed ရရှိရန်အတွက် wheel diameter သည် လက်မ ၄၀.၆(40.6 inches) ဖြစ်ရမည်။

HFC-134a သို့မဟုတ် HCFC-22 ဖြင့် မောင်းသည့် centrifugal compressor များတွင် ဂီယာဘောက်(gear box) တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ သေးငယ်သည့် compressor (5 inch diameter wheels) များသည် မြန်နှုန်း 30,000 rpm ခန့် ရရှိနိုင်သည်။ Impeller ပေါ်တွင် သက်ရောက်နေသည့်အား(stress)သည် tip speed နှစ်ထပ်ကိန်း (square)နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။ Rpm နှင့် မသက်ဆိုင်ပေ။ ကြီးမားသည့် wheel နှေးနှေးလည်သည့်အခါ သက်ရောက်ခြင်း ခံရသည့် stress နှင့် သေးငယ်သည့် wheel မြန်မြန် လည်သည့် သက်ရောက်ခြင်း ခံရသည့် stress တူညီသည်။

HCFC-123 များအတွက် wheel diameter ကို အလွန်ကြီးမားအောင် ပြုလုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ Wheel diameter သေးငယ်အောင်ပြုလုပ်ရန်အတွက် two stage သို့မဟုတ် three stage compressor များ တည်ဆောက် နိုင်သည်။ ပုံ(၁၅-၁၂)တွင် two-stage compressor တစ်လုံး၏ ဖြတ်ပိုင်း(cut away)ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ compressor efficiency ပိုကောင်းစေရန်အတွက် refrigerant economizer များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ ပုံ(၁၅-၁၂)တွင် economizer ပါဝင်သည့် two-stage compressor တစ်လုံး၏ P-H diagram ကို ဖော်ပြထားသည်။

၁၅.၂.၂ Centrifugal Chiller အမျိုးအစားများ

Centrifugal chiller ၏ အဓိက အစိတ်အပိုင်းများ(main components)နှင့်သက်ဆိုင်သည့် configuration ကို လိုက်၍ အမျိုးအစား ခွဲခြားနိုင်သည်။

- (၁) Single-stage သို့မဟုတ် multistage
- (၂) Air-cooled ၊ water-cooled သို့မဟုတ် double-bundle condenser

- (၃) Open ၊ semi-hermetic သို့မဟုတ် hermetic
- (၄) Direct-drive သို့မဟုတ် gear-drive
- (၅) Inlet guide vane သို့မဟုတ် variable-speed drive ဖြင့် capacity control လုပ်ခြင်း

အထက်တွင်ဖော်ပြခဲ့သည့်အတိုင်း centrifugal compressor များတွင် peripheral velocity များများ ရရှိရန် လိုအပ်သောကြောင့် သေးငယ်သည့် centrifugal machine များကို တည်ဆောက်သည့်အခါ စီးပွားရေးအရ တွက်ခြေကိုက်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ Refrigeration capacity 100RT မှ 10,000RT (315kW မှ 31,560 kW)အတွင်းသာ ဈေးကွက်တွင် ဝယ်ယူနိုင်သည်။

၁၅.၃ System Components

၁၅.၃.၁ Evaporator

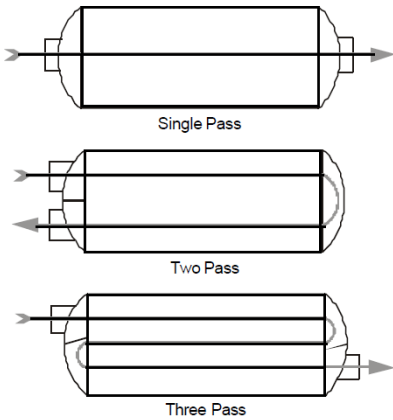
Flooded shell-and-tube evaporator များသည် အရွယ်အစားကျစ်လစ်ခြင်း(compact size)နှင့် heat-transfer characteristics ကောင်းမွန်ခြင်းတို့ကြောင့် centrifugal chiller များနှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။

၁၅.၃.၂ Condenser

Condensing pressure နိမ့်ခြင်း နှင့် capacity control လုပ်ရန် လွယ်ကူခြင်းတို့ကြောင့် horizontal shell-and-tube type condenser များကို centrifugal chiller များတွင် အသုံးပြုကြသည်။ ရေပေါပေါများများ မရရှိနိုင်သည့် နေရာများတွင် air-cooled centrifugal chiller ကို အသုံးပြုကြသည်။

၁၅.၃.၃ Vessel Pass Arrangements

Pass အရေအတွက်သည် tube အတွင်းရှိ water velocity နှင့် သက်ဆိုင်သည်။ Velocity ပိုများခြင်းကြောင့် tube အတွင်းရှိ water side heat transfer ပိုကောင်းနိုင်သည်။ Velocity ပိုများခြင်းကြောင့် Log Mean Temperature Difference(LMTD) လျော့နည်းသည်။ Chiller efficiency ပိုကောင်းသည်။ Fluid ၏ ဖိအား ကျဆင်းမှု(pressure drop) များလိမ့်မည်။



Laminar flow မဖြစ်ပေါ်စေရန်အတွက် Reynolds number 7500 ထက် မနည်းအောင် ထိန်းထားရန် လိုအပ်သည်။ Reynolds number တန်ဖိုးတွက်ယူခြင်းသည် ရှုပ်ထွေးခက်ခဲသည့် ကိစ္စ ဖြစ်သောကြောင့် အကြမ်းအားဖြင့် Reynolds number 7500 ထက် မနည်းစေရန် tube အတွင်းရှိ fluid velocity ကို 3 fps ထက် ပိုများစေရမည်။ Fluid velocity အလွန်များပါကလည်း tube အတွင်း၌ erosion ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Tube များ ကြာရှည်ခံရန် အတွက် fluid velocity သည် 3 fps မှ 12 fps အတွင်း ထားရှိ သင့်သည်။

ပုံ ၁၅-၁၄ Pass arrangement

၁၅.၃.၄ Flash Cooler

Flash cooler များကို economizer များဟု၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ Refrigeration effect ပိုကောင်းစေရန် liquid refrigerant ကို saturated condition အခြေအနေတွင် အေးစေရန်အတွက် intermediate pressure တွင် refrigerant တချို့ကို flash လုပ်ပေးဖြင့် refrigeration effect ပိုများနိုင်သည်။ Two-stage compressor များတွင် single-stage flash cooler တစ်ခုကို အသုံးပြုသည်။ Three-stage compressor အတွက် two-stage flash cooler တစ်ခုကို အသုံးပြုသည်။ ပုံ(၁၅-၁၂)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

၁၅.၃.၅ Orifice Plates or Float Valves

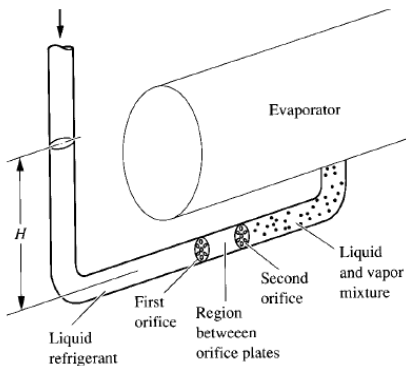
Centrifugal chiller များတွင် refrigerant စီးနှုန်းကို control လုပ်ရန် orifice plates (arranged in series) သို့မဟုတ် float valve များကို throttling device များအဖြစ် အသုံးပြုသည်။ ပုံ(၁၅-၁၅) တစ်ခုထက်ပိုများသည့် (multiple) orifice များကို throttling device အဖြစ် အသုံးပြုထားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Condenser အတွင်း၌ အလိုရှိသည့် liquid refrigerant ၏ ဖိအားရရှိအောင် liquid cooler အတွင်းသို့ စီးဝင်သည့် refrigerant ပမာဏကို control လုပ်သည်။

Full-load ဖြင့် မောင်းနှင်ချိန်တွင် ပထမ orifice plate မတိုင်ခင် liquid pressure ကို ထိန်းထားပေးသည်။ Liquid refrigerant သည် ပထမ orifice plate ကို ဖြတ်၍ စီးဆင်းသွားပြီးနောက် ဖိအားကျဆင်း(pressure drop) သွားသည်။ Orifice plate နှစ်ခုအကြားရှိ ဖိအားသည် liquid ၏ saturated pressure ထက်ပိုများ နေသေးသည်။ ဒုတိယ orifice plate သည် refrigerant flow ကို ထပ်မံ၍ ထိန်းပေးသည်။ Variable orifice ဖြင့်လည်း refrigerant flow ကို control လုပ်နိုင်သည်။ ပုံ(၁၅-၁၆)တွင် variable orifice တပ်ဆင်ထားသည့် centrifugal chiller တစ်လုံးကို ဖော်ပြထားသည်။

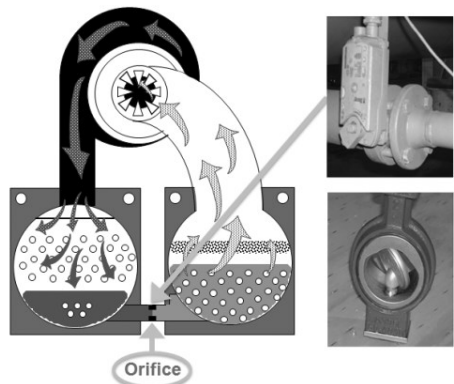
Refrigeration load နည်းသွားလျှင် condensing pressure နိမ့်ခြင်း နှင့် evaporating pressure မြင့်တက်ခြင်းကြောင့် centrifugal chiller ၏ condenser နှင့် evaporator အတွင်း၌ refrigerant ပမာဏ နည်းနည်းသာ လည်ပတ်ရန် လိုအပ်သည်။ Condensing pressure နိမ့်ပြီး hydrostatic head နည်းသောကြောင့် condenser အတွင်း၌ liquid refrigerant ဝေါ်သို့ သက်ရောက်နေသည့် ဖိအားလျော့နည်းသွားသည်။ Orifice plate နှစ်ခုအကြားရှိ fluid pressure သည် liquid refrigerant ၏ saturated pressure ထက်နည်းသောကြောင့် flashing ဖြစ်ပေါ်သည်။ liquid နှင့် vapor နှစ်မျိုးလုံး second orifice plate ကို ဖြတ်၍ စီးဆင်းသည်။ ထို့ကြောင့် refrigerant ၏ စီးနှုန်း(flow rate)ကျဆင်းသွားသည်။ Orifice plate ကို throttling device အဖြစ်အသုံးပြုလျှင် လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်း(moving part) များ မပါဝင်သောကြောင့် စိတ်ချရမှု(reliable) ပိုများလာလိမ့်မည်။

၁၅.၃.၆ Variable Orifice

Variable orifice ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် Chiller များမောင်းနှင်သည့် အခြေအနေသည် ဒီဇိုင်းအခြေအနေ မဟုတ်သည့်အခါများတွင် performamnce ပိုကောင်းနိုင်သည်။ Liquid လိုင်းတွင် modulating valve တပ်ဆင်၍ အကောင်းဆုံး refrigerant control ဖြစ်အောင် variable orifice ဖြင့် control လုပ်နိုင်သည်။ Refrigerant အရည် ပမာဏကို တိုင်းနိုင်သည့် sensor တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် condenser အတွင်း၌ optimum liquid level ဖြစ်အောင် ထိန်းထားနိုင်သည်။



ပုံ ၁၅-၁၅ Orifice plates



ပုံ ၁၅-၁၆ YK centrifugal chiller compressor variable orifice

၁၅.၃.၇ Purge Unit

Refrigeration system အတွင်းမှ none condensable gas များ နှင့် ရေငွေ့(moisture)များကို ဖယ်ထုတ် ပစ်ရန်အတွက် purge unit များကို အသုံးပြုသည်။ Non condensable gas များသည် လေ(air)နှင့် ရေခိုး

ရေငွေ(moisture)များ ဖြစ်ကြသည်။ ရေငွေ(moisture) နှင့် refrigerant ရောနှောသွားသောကြောင့် ဒုက္ခပေးနိုင်သည့် အက်စစ်(harmful acids)များ အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားနိုင်သည်။ Non condensable gas များသည် condenser အတွင်း၌ စုဝေးနေကြလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် condensing temperature မြင့်မားလာပြီး စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု (power consumption) များလာလိမ့်မည်။ System efficiency ပိုကောင်းစေရန် နှင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption) နည်းစေရန် အတွက် ထုတ်ပစ်ရန်(purge)ရန် လိုအပ်သည်။

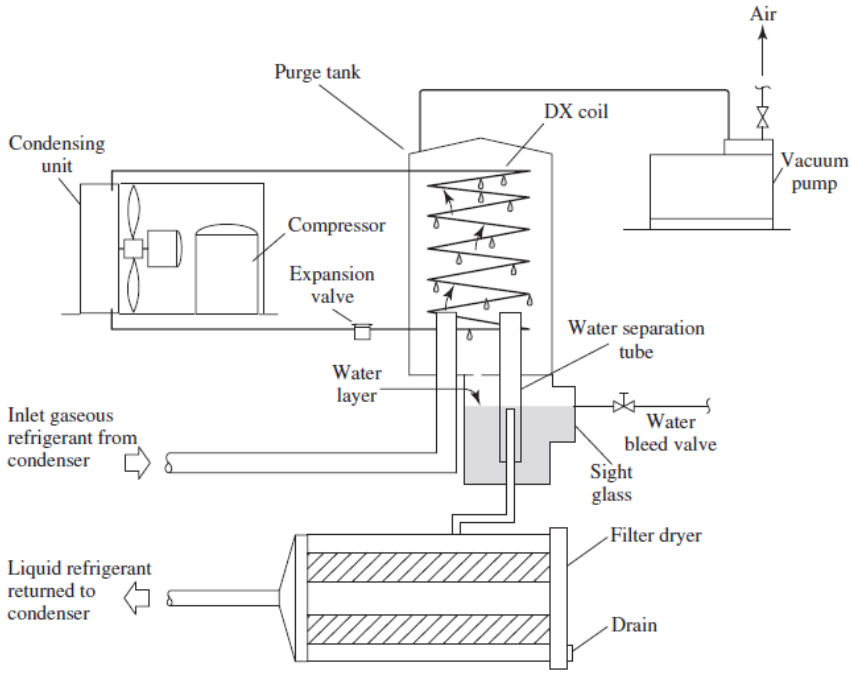
Purge unit အသုံးပြုရမည့်နေရာများမှာ

- (၁) Refrigerant pressure သည် လေထုဖိအား(atmospheric pressure) ထက် နိမ့်သည့် low pressure refrigerant refrigeration system များတွင်သာ purge unit ကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။
- (၂) Suction pressure သည် လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ထက်နိမ့်သည့် refrigeration system များတွင်သာ purge unit ကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။
- (၃) Refrigeration system အစိတ်အပိုင်းတချို့ကို ပြုပြင်ရန်၊ စစ်ဆေးရန် အတွက် ဖွင့်ပြီးနောက် ကောင်းစွာ evacuate လုပ်ခြင်း သို့မဟုတ် purging လုပ်ခြင်းတို့ကို သေချာစွာ ပြုလုပ်လေ့မရှိပေ။ Purge unit သည် refrigeration system များကို optimum efficiency အမြဲရနေစေရန်အတွက် မရှိမဖြစ် လိုအပ်သည့် ကိရိယာ ဖြစ်သည်။

Purge unit သည် အလွန်ဈေးကြီးသည့် ကိရိယာမဟုတ်ပေ။ ကုန်ကျစရိတ်အနည်းဆုံးဖြင့် အကောင်းဆုံး efficiency ပေးနိုင်သည့်အရာဖြစ်သည်။

Purge တပ်ဆင်ရမည့်နေရာ(Connecting Point)

Air cooled condenser သို့မဟုတ် evaporative condenser system - များ၌ receiver သည် အေးသည့်နေရာတွင် ရှိနေလျှင် purge connection သည် receiver အပေါ်ဘက်(top)တွင် တည်ရှိသည်။ Receiver သည် ပူနွေးသည့်နေရာတွင် ရှိနေလျှင် purge connection သည် air cooled သို့မဟုတ် evaporative condenser များ၏ liquid အပေါ်ဘက်(top)တွင် ဖြစ်ရမည်။ Water cooled condenser system များတွင် purge connection သည် water cooled condenser ၏ အပေါ်တွင် တည်ရှိသည်။ Receiver မရှိခဲ့လျှင် purge connection သည် receiver အပေါ်ဘက်(top)တွင် ဖြစ်ပြီး liquid inlet မှ ဝေးသည့်နေရာ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၅-၁၇ Centrifugal chiller တစ်လုံးတွင် purge unit တပ်ဆင်ထားပုံ ဒီအတိပြီး

အပူချိန်(evaporating temperature) 40°F(4.4°C)တွင် HCFC-123 ၏ saturated pressure သည် 5.8 psia(40 kPa abs) ဖြစ်သောကြောင့် လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ထက် နိမ့်သည်။ လေ(air)နှင့် carbon dioxide စသည့် non condensable gas များ evaporator အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာနိုင်သည်။ Condenser ကို centrifugal chiller ၏ အပေါ်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ ယိုစိမ့်မှု(leak)ကြောင့် ဝင်ရောက်လာသည့် non condensable gas များသည် condenser ၏ အပေါ်ဘက်(upper part)တွင် စုဝေး နေလေ့ရှိသည်။

Non condensable gas များ ဝင်ရောက်လာမှုကြောင့် evaporator နှင့် condenser တွင် refrigerant စီးနှုန်း(flow) နှင့် အပူစီးကူးနှုန်း(rate of heat transfer) လျော့နည်းသွားနိုင်သည်။ Condenser ဖိအား မြင့်တက်လာနိုင်သည်။ ထိုအကြောင်းများကြောင့် refrigeration capacity လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။ စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု(power consumption) မြင့်မားလာလိမ့်မည်။

သုတေသီတို့၏ သက်သေပြချက်အရ 60% load ဖြင့် မောင်းနှင်ချိန်တွင် refrigerant ထဲ၌ non condensable gas များ 3% ရောနှော ပါဝင်နေပါက compressor ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှုန်း (power consumption) 2.6%ခန့် မြင့်မားလာလိမ့်မည်။ အချိန်မှန် purge လုပ်ရန် အတွက် purge unit များကို တပ်ဆင်ထားသည်။ Non condensable gas များ chiller အတွင်းမှ ထွက်သွားအောင် ပြုလုပ်ခြင်းကို purge လုပ်သည် ဟုခေါ်သည်။

ဘဠုရုနစ်များတွင် purge unit ကို တီထွင်ခဲ့ကြသည်။ Purge unit တွင် DX coil ပါရှိသည့် purge tank ၊ condensing unit ၊ vacuum pump နှင့် filter dryer တို့ပါဝင်သည်။ Purge tank အတွင်းရှိ DX coil ကြောင့် refrigerant ၏ အပူချိန်နှင့် ဖိအား နိမ့်ဆင်းသွားသည်။ Condensing unit သည် DX coil မှ အပူများကို စွန့်ထုတ်ပေးသည်။ Vacuum pump သည် non condensable gas များကို purge လုပ်ပေးသည်။ Filter dryer သည် ရေခိုးရေငွေ(moisture) များနှင့် အမှုိုက်(dirt)များကို စုပ်ယူဖယ်ရှားပေးသည်။

Condenser ၏ အပေါ်ပိုင်း(upper part)တွင် စုဝေးနေသည့် non condensable gas များသည် purge tank (low-temperature နှင့် low-pressure)အောက်ပိုင်း၌ ဆက်ထားသည့် ပိုက်မှ တစ်ဆင့် tank အတွင်းသို့ စီးဝင်သည်။ DX coil မှ အအေးဓာတ်ကြောင့် refrigerant အငွေ့များသည် အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ အရည်များအဖြစ် tank ၏ အောက်ခြေတွင် ရှိနေသည်။ Refrigerant အတွင်းရှိနေသည့် ရေခိုးရေငွေ(moisture) များကို water separation tube ဖြင့် ခွဲထုတ်သည်။ Non condensable gas များသည် ရေ နှင့် refrigerant အရည်ထက် ပေါ့ပါးသောကြောင့် tank အပေါ်ပိုင်းတွင် စုဝေးနေသည်။ Non condensable gas များကို purge vacuum pump မှ စုပ်ယူပြီး လေထဲ(atmosphere) စွန့်ထုတ်ပေးသည်။ Purge vacuum pump အချိန်မှန် (periodically) မောင်းပေးသည်။ Chiller ရပ်နားထားချိန်၌လည်း purge unit ကို မောင်းနှင်သည်။

Purge unit ၏ efficiency သည် 0.0049 lb of refrigerant loss per lb of air purged (0.49 percent) ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် purge unit သည် လေတစ်ပေါင်ကို purge လုပ်ရန်အတွက် refrigerant 0.0049 lb ဆုံးရှုံးလိမ့်မည်။ Purge unit မော်ဒယ်အဟောင်းများ၏ refrigerant ဆုံးရှုံးမှု သည် 0.1 to 0.75 lb of refrigerant per lb of air purged ဖြစ်သည်။ တစ်ခါတစ်ရံ ထိုထက်ပိုဆိုးသည်။ Efficiency ပိုကောင်းသည့် air purge unit ကို အသုံးပြုလျှင် refrigerant ဆုံးရှုံးမှုလျော့နည်းကာ ozone depletion ဖြစ်မှုလည်း နည်းပါးလိမ့်မည်။ HCFC chiller များကြောင့် ဖြစ်ရသည့် အိုဇုန်းလွှာပျက်စီးခြင်းသည် HFC chiller များထက် ပိုဆိုးပါးသည်။ နှစ်နာရီပြည့်တိုင်း (၅)မိနစ်ခန့် purge လုပ်သည်။ Drum pressure မြင့်တက်ခဲ့သော် မကြာခဏ purge လုပ်သည်။

Purge လုပ်နည်း(Methods)

Manual purge နည်းသည် ဈေးအနည်းဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ Refrigerant များစွာ လေလွင့်ဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်နိုင်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် non condensable gases များသည် refrigerant နှင့် ရောနှော နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ကုန်ကျစရိတ် စုပေါင်းသော် စီးပွားရေးအရ တွက်ခြေမကိုက်ပေ။ သဘာဝဝန်းကျင်ကို ထိခိုက်နိုင်သည်။ Thermal drum refrigerated purge နည်းသည် အသုံးအများဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ ရှေးယခင်အချိန်က compressor type purge နည်းကို အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။ Refrigerant များများ ပြန်လည် ရယူလို(recovery)သည့် အခါတွင် double

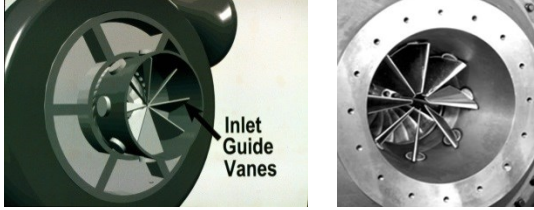
drum purge unit ကို အသုံးပြုသည်။ Low temperature refrigeration system များတွင် double drum purge unit ကို အသုံးပြုသည်။

Purge unit အလုပ်လုပ်ပုံ

Refrigerant နှင့် non condensable gas တို့သည် thermal drum အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားပြီးနောက် refrigerant vapor သည် အရည်အဖြစ်သို့ပြောင်းလဲသွားပြီး system တွင်းသို့ ပြန်ရောက်သွားသည်။ Drum အတွင်း၌ non condensable gas များ တဖြည်းဖြည်း စုဝေးလာပြီး ဖိအားမြင့်တက်လာသည်။ သတ်မှတ်ထားသည့် ဖိအားသို့ ရောက်သည့်အခါ pressure regulating valve ဖွင့်သွားပြီး non condensable gas များကို လေထု(atmosphere) အတွင်းသို့ ထုတ်လွှတ်လိုက်သည်။ ရေငွေ့(moisture)များသည် refrigerant vapor နှင့် အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားလိမ့်မည်။ ထိုရေများကို ဖောက်ထုတ်ပစ်နိုင်သည်။



ပုံ ၁၅-၁၈ (က) Impeller



(c) Inlet guide vane

၁၅.၄ Water Cooled Centrifugal Chiller အလုပ်လုပ်ပုံ

ပုံ(၁၅-၁၂)တွင် three-stage hermetic , direct-drive compressor တို့ဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည့် water-cooled centrifugal chiller တစ်လုံးပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

HCFC-123 chiller တွင် စီးဆင်းပုံ(flow process) အဆင့်ဆင့်ကို ဖော်ပြထားသည်။ Liquid cooler မှ vapor refrigerant ကို compressor မှ စုပ်ယူသည်။

- (၁) Vapor refrigerant များသည် first-stage impeller အတွင် inlet vane ကို ဖြတ်၍ ဝင်ရောက်သွားသည်။
- (၂) First-stage impeller အတွင်းမှ hot gas နှင့် flash cooler မှ flashed vapor တို့ (second-stage) ရောနှောသွားသည်။
- (၃) ထို mixture သည် second-stage impeller အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သည်။
- (၄) Second-stage impeller မှ hot gas များသည် high-pressure (first-stage) flash cooler မှ flashed vapor နှင့် ရောနှောသွားသည်။
- (၅) ထို mixture သည် third-stage impeller အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သည်။
- (၆) Third-stage impeller မှ ထွက်လာသည့်(discharged)သည့် hot gas သည် water-cooled condenser အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားသည်။
- (၇) Hot gas သည် superheated အပူချိန်မှ saturated အပူချိန်သို့ ကျဆင်း(desuperheated) သွားသည်။ Condenser အတွင်း၌ အရည်အဖြစ်(condense) ပြောင်းလဲကာ subcooled အပူချိန်သို့ ကျဆင်းသွားသည့်
- (၈) Liquid refrigerant အနည်းငယ်ကို hermetic motor အား အေးစေရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။
- (၉) Liquid refrigerant အများစုသည် multiple-orifice throttling device ကို ဖြတ်၍ high-pressure flash cooler အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သည်။ Refrigerant အနည်းငယ်သည် second-stage impeller မှ ထွက်လာသည့် hot gas နှင့် ရောနှောသွားသည်။
- (၁၀) High-pressure flash cooler မှ ထွက်လာသည့် liquid refrigerant အများစုသည် multiple-orifice throttling device ကို ဖြတ်၍ low-pressure flash cooler အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သည်။ Refrigerant အနည်းငယ်သည် first-stage impeller မှ ထွက်လာသည့် hot gas နှင့် ရောနှော သွားသည်။
- (၁၁) Low-pressure flash cooler မှ ထွက်လာသည့် liquid refrigerant အများစုသည် multiple-orifice throttling device ကို ဖြတ်၍ evaporator အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သည်။

(၁၂) Evaporator အတွင်း၌ liquid refrigerant များသည် အပူများကို စုပ်ယူ၍ အငွေ့(vapor)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားကာ refrigeration effect သို့မဟုတ် cooling effect ဖြစ်ပေါ်သည်။

၁၅.၅ Performance Rating Conditions

Centrifugal chiller တစ်လုံး၏ cooling capacity ကို အောက်ပါ အခြေအနေများအတိုင်း တူညီသည့် အခါမှသာ ARI Standard 550/590-98 အရသတ်မှတ်(rate)နိုင်သည်။

Evaporator မှ ထွက်လာသည့် chiller water temperature

- 100 percent load : 44°F (6.7°C)
- 0 percent load : 44°F (6.7°C)
- Chilled water flowrate: : 2.4 gpm/ton (0.43 L/s kW)

Table 15-4

Percent load	Weighting of part-load, percent	Water-cooled ECWT, °F (°C)	Air-cooled EDB, °F (°C)	Condenser EWB, °F (°C)
100	1	85 (29.4)	95 (35.0)	75 (23.9)
75	42	75 (23.9)	80 (26.7)	68.75 (20.4)
50	45	65 (18.3)	65 (18.3)	62.5 (17.0)
25	12	65 (18.3)	55 (12.8)	56.25 (13.5)

Condenser water flow rate	3.0 gpm/ton (0.054 L/s per kW)
Fouling factor in evaporator:	water side 0.0001 h ft ² °F/Btu (0.000018 m ² C/W), air side 0
Fouling factor in condenser:	water side 0.00025 h ft ² °F/Btu (0.000044 m ² C/W), air side 0

Integrated Part Load Value (IPLV) သည် the centrifugal chiller ၏ standard rating condition များကို အခြေခံ၍ အောက်ပါပုံသေနည်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

$$IPLV = \frac{1}{\frac{0.01}{A} + \frac{0.42}{B} + \frac{0.45}{C} + \frac{0.12}{D}}$$

where A, B, C, D = kW/ton or COP at 100, 75, 50, and 25 percent load, respectively.

အကယ်၍ centrifugal chiller ၏ လက်ရှိမောင်းနှင်သည့် operating condition သည် standard rating condition နှင့် မတူညီလျှင် အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည့် အချက်များကို အခြေခံ၍ ခန့်မှန်းတွက်ချက်နိုင်သည်။

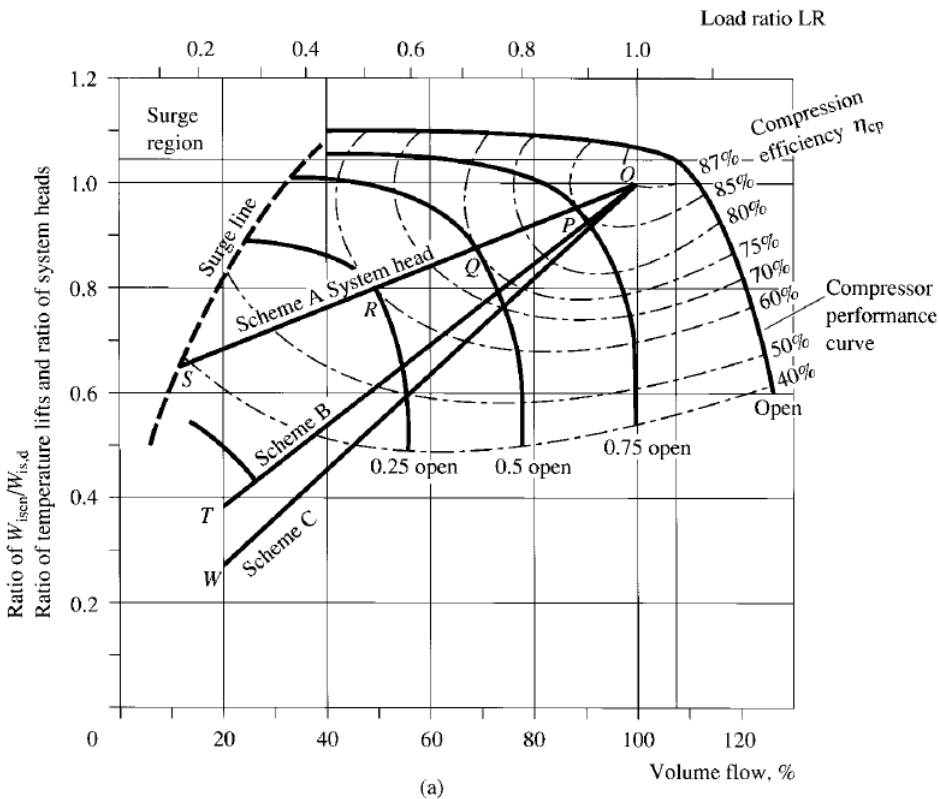
- (က) Chilled water leaving temperature သည် 40°F(4.4°C) နှင့် 50°F(10°C) အတွင်းဖြစ်လျှင် chilled water leaving temperature ကို 1°F(0.56°C) မှှင့်တင်လျှင် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု 1.5 percent လျော့နည်းပြီး cooling capacity ပိုများလာ လိမ့်မည်။ ထိုနည်းတူ 1°F(0.56°C) လျော့ချနိုင်လျှင် စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု 1.5 percent ပိုများပြီး cooling capacity ပိုလျော့နည်းသွား လိမ့်မည်။
- (ခ) Entering condenser water temperature သည် 80°F(26.7°C)မှ 90°F(32.2°C) အတွင်း ဖြစ်လျှင် entering condenser water temperature 1°F(0.56°C)မှှင့်တင်လျှင် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု 0.6 percent ပိုများပြီး cooling capacity 1.0 percent လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။ ထိုနည်းတူ 1°F(0.56°C) လျော့ချနိုင်လျှင် စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု 0.6 percent လျော့နည်းပြီး cooling capacity 1.0 percent ပိုများသွား လိမ့်မည်။
- (ဂ) Hermetic compressor ဖြင့်မောင်းသည့် cooling capacity 150tons(527kW) မှ 2000tons(7032kW) အတွင်း ထုတ်ပေးနိုင်သည့် water-cooled centrifugal chiller များကို ဈေးကွက်တွင် ဝယ်ယူရရှိ နိုင်သည်။

Cooling capacity 150tons(527kW) မှ 10,000 tons(35,160 kW) အတွင်း ထုတ်ပေးနိုင်သည့် open compressor ဖြင့်မောင်းသည့် water-cooled centrifugal chiller များကို ဈေးကွက်တွင် ဝယ်ယူ ရရှိ နိုင်သည်။

(ဃ) Hermetic compressor များကို vaporized liquid refrigerant ဖြင့် အေးအောင် ပြုလုပ်သောကြောင့် တခြားသော motor cooling system များ ပါရှိရန် မလိုအပ်ပေ။

Open compressor များတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် bearing seal အကြားမှ refrigerant ယိုစိမ့်မှု(leakage) ဖြစ်နိုင်ခြေ လျော့နည်းသည်။ သို့သော် liquid refrigerant 2% မှ 4% ခန့်ကို ဖော်တာ အအေးခံရာတွင် အသုံးပြုရသည်။ ထို့ကြောင့် ရရှိနိုင်သည့် cooling capacity လျော့နည်းသွားသည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု (energy consumption) မြင့်မားလာသည်။

Chiller တစ်လုံး၏ average part-load efficiency ကို ဖော်ပြရန်အတွက် IPLV ကို တီထွင် အသုံးပြုသည်။ AHRI မှ average part-load efficiency ကို ဖော်ပြရန်အတွက် Standard 550/590-98 ကို ပြဌာန်းထားသည်။ Chiller များကို တစ်လုံးတည်းတွေ့မြင်ရန် အလွန်ခဲယဉ်းသည်။ များသောအားဖြင့် multi chiller operation ကို တွေ့မြင်ရလေ့ရှိသည်။ လက်တွေ့တွင် multi chiller operation သည် single-chiller operation နှင့် မတူညီကြပေ။



ပုံ ၁၅-၁၉(က)FIGURE 13.10 Compressor map of a single-stage centrifugal compressor:
(a) constant speed, inlet vane modulation;

၁၅.၆ Centrifugal Compressor Performance Map

Centrifugal compressor များ၏ performance ကို ဖော်ပြရန်အတွက် compressor performance map ကို အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ အတိုခေါက်အားဖြင့်လည်း “compressor map” ဟုခေါ်သည်။ Centrifugal fan များတွင် ဖော်ပြလေ့ရှိသည့် fan curve နှင့် တူညီသည်။ Compressor map တွင် volume flow ၊ specific work သို့မဟုတ် power input ၊ efficiency ၊ surge region နှင့် opening of the inlet vane စသည်တို့ ပါဝင်သည်။

Volume flow နှင့် system head တို့ကို တွဲ၍ ဖော်ပြသည့် curve ကို "compressor performance curve" ဟုခေါ်သည်။ Compressor curve ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ Centrifugal compressor များကို မြန်နှုန်းပုံသေ (constant speed)ဖြင့် မောင်းနှင်သလို variable speed ဖြင့်လည်း မောင်းနှင်သည်။

၁၅.၆.၁ Centrifugal Compressor Map at Variable Speed

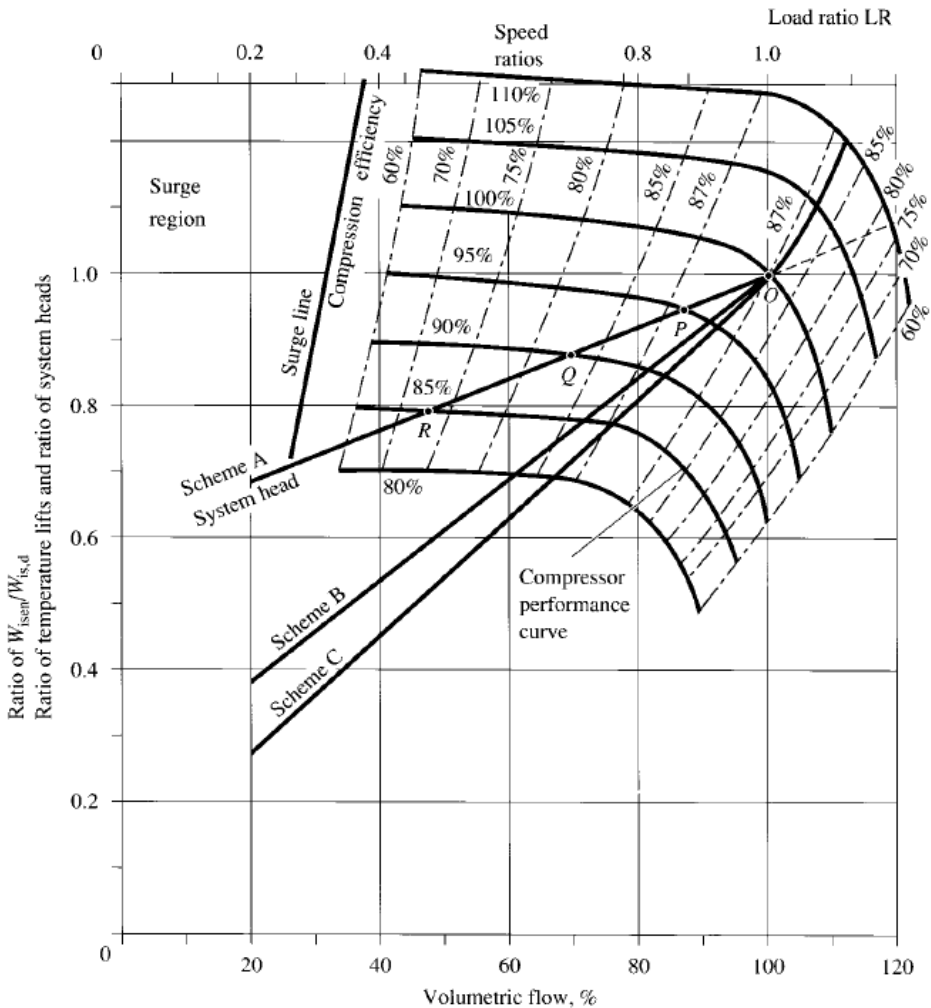
Variable Speed Drive (VSD)ဖြင့် မောင်းသည့် single-stage centrifugal compressor ၏ compressor map ကို ပုံ(၁၅-၁၉၁)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

အဓိက ခြားနားချက်များမှာ

- (၁) Variable speed chiller များတွင် compressor curve များသည် 105%၊ 100%၊ 80%၊ စသည့် မြန်နှုန်း(rotating speed) တစ်ခုချင်းစီ၏ performance curver များဖြစ်ကြသည်။ Constant speed chiller များတွင် inlet vane opening(%) များအတွက် performance curver များဖြစ်ကြသည်။
- (၂) Head သို့မဟုတ် lift နိမ့်လျှင် surge ဖြစ်သည့်နေရာ(region) ပိုကျယ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် surge ဖြစ်ခြေ ပိုများသည်။

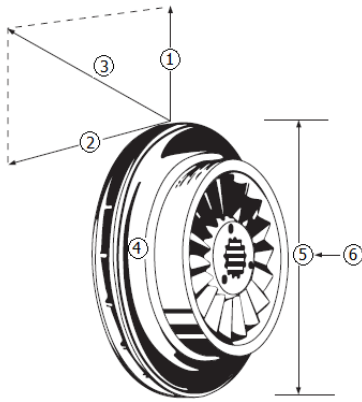
Load Ratio

$$Load Ratio (LR) = \frac{Q_{ref,acutal}}{Q_{ref,desing}}$$



(b)

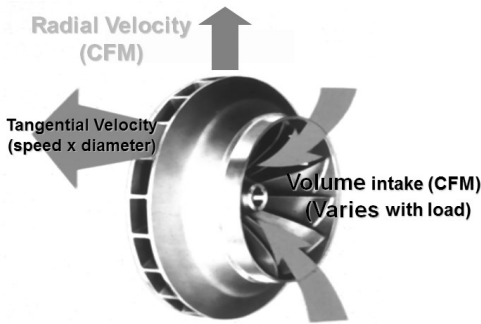
ပုံ ၁၅-၁၉(ခ) Compressor map of a single-stage centrifugal compressor: (b) variable speed



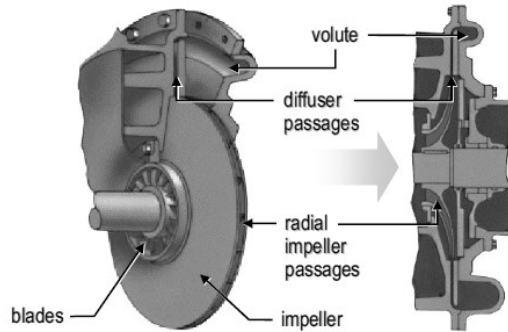
- 1 - $V_r = f(Q)$
- 2 - $V_t = f(D, RPM)$
- 3 - $V = \text{Resultant}$
- 4 - RPM
- 5 - D
- 6 - Q

$$\text{Tip Speed} = \pi \times D \times \text{RPM}$$

ပုံ ၁၅-၂၀ Radial velocity component (V_r) နှင့် Tangential velocity component (V_t)



ပုံ ၁၅-၂၀ Impeller



ပုံ ၁၅-၂၂ Impeller assembly

၁၅.၆.၁ Velocity components

Compressor မှ ထွက်လာသည့် gas ၏ velocity တွင် radial velocity component (V_r) နှင့် tangential velocity component (V_t) ဟူ၍ velocity component နှစ်ခုပါဝင်သည်။

(၁) Radial velocity component (V_r)

Radial velocity component (V_r) သည် refrigerant gas flow (Q) နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျသည်။ Radial velocity component (V_r) များလေ refrigerant gas စီးနှုန်း (flow) များလေ ဖြစ်သည်။

(၂) Tangential velocity component (V_t)

Tangential velocity component (V_t) သည် impeller အရွယ်အစား (diameter D) နှင့် အပတ်ရေ (rotational speed -rpm) တို့နှင့် သက်ဆိုင်သည်။ Centrifugal chiller ၏ lift သည် tangential velocity component (V_t) နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျသည်။ Tangential velocity component (V_t) များလေ centrifugal chiller ၏ lift မြင့်လေ ဖြစ်သည်။

Radial velocity component (V_r) နှင့် tangential velocity component (V_t) တို့ နှစ်ခုပေါင်းသည့်အခါ resultant vector (V) ရရှိသည်။ Resultant vector (V) သည် impeller tip မှ ထွက်သွားသည့် velocity ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် tip speed သို့မဟုတ် tip velocity ဖြစ်သည်။

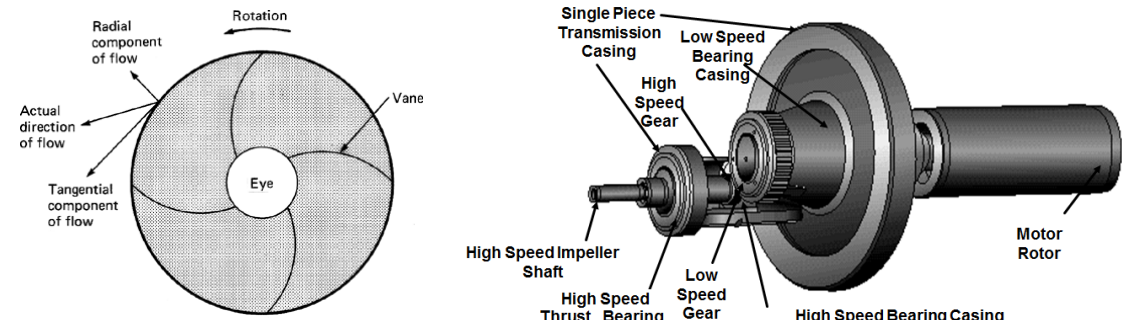
Resultant vector (V) သည် volute ထဲတွင် static pressure အဖြစ်သို့ပြောင်းလဲနိုင်သည့် kinetic energy နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။ မြန်နှုန်းပုံသေဖြင့် မောင်းသည့် compressor တစ်လုံးတွင် V_t မပြောင်းလဲပေ။ V_r သည် cooling load ကိုလိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ Chiller unloading ဖြစ်နေချိန်တွင် evaporator နှင့် condenser အကြားရှိ pressuredifferential လျော့နည်းနေသည်။ Inlet guide vane ပိတ်နေခြင်းကြောင့် နိမ့်သည့် "head" နှင့် လျော့နည်းသည့် cooling load တို့ ကိုက်ညီသည်။ Gas flow လျော့နည်းသွားပြီး V_r လျော့နည်းသည်။

၁၅.၇ Surge of Centrifugal Compressor

Centrifugal compressor များ၏ အားနည်းချက်တစ်ခုသည် “surge” ဖြစ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Volumetric flow နည်းနည်းသာလိုအပ်ပြီး lift မြင့်မြင့် ထုတ်ပေးရန် လိုအပ်သည် အခါမျိုးတွင် “surge” ဖြစ်နိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် head နှင့် flow မကိုက်ညီခြင်း(mis match)ကြောင့် ဖြစ်နိုင်သည်။ Centrifugal compressor များ၌ part load ကို အလွန်မနည်းအောင် ကန့်သတ်ထားခြင်းဖြင့် surge မဖြစ်အောင် ကာကွယ် နိုင်သည်။ Surge ဖြစ်နေချိန်တွင် compressor အတွင်း၌ refrigerant များသည် ရှေ့သွားခြင်း၊ နောက်ပြန်ခြင်း တစ်လှည့်စီ ဖြစ်ပေါ်နေလိမ့်မည်။ ဆူညံသံ(noise)၊ တုန်ခါမှု(vibration) နှင့် အပူ(heat) များ ထွက်ပေါ်လာလိမ့်မည်။

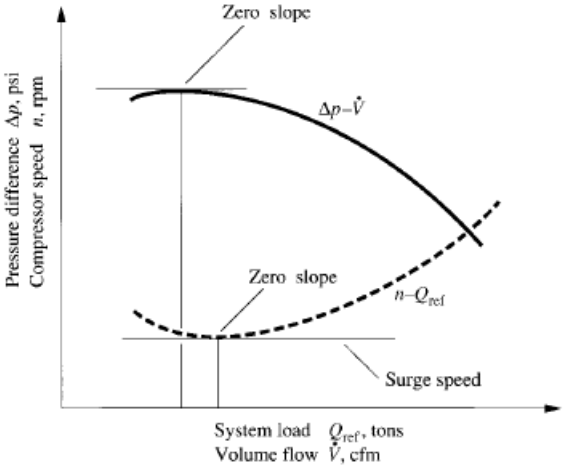
အချိန်ကြာမြင့်စွာ surge ဖြစ်နေပါက ပျက်စီးနိုင်သည်။ Surge ဖြစ်နေခြင်းကို electrical current ကို တိုင်းတာခြင်းဖြင့် အလွယ်တကူသိနိုင်သည်။ Refrigerant စီးနှုန်း(flow)များခြင်း၊ နည်းကို လိုက်၍ electrical current အတက်အကျ ဖြစ်ပေါ်နေလိမ့်မည်။ Surge မဖြစ်ပေါ်ခင် အချိန်တွင် “incipient surge” ဟုခေါ်သည့် machine gurgles နှင့် churns ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုသို့ဖြစ်ခြင်းကြောင့် compressor မထိခိုက်နိုင်သော်လည်း မလိုလားအပ်သည့် တုန်ခါမှုများ ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။ Incipient surge ဖြစ်ပေါ်ချိန်တွင် electrical current မြင့်တက်ခြင်း ကျဆင်းခြင်း ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

Surge ဆိုသည်မှာ centrifugal compressor သို့မဟုတ် centrifugal fan များ မောင်းသည်အခါတွင် လုံလောက်သည့် discharge pressure မထုတ်ပေးနိုင်ခြင်း၊ မတည်မငြိမ်ဖြစ်ခြင်း၊ အလွန်တုန်ခါမှုများခြင်း နှင့် အသံဆူညံခြင်း တို့ဖြစ်သည်။ Compressor ၏ curve တစ်လျှောက် pressure flow characteristics မတည်ငြိမ်ခြင်း (fluctuate up and down)ကြောင့် ဖိအား(pressure) နှင့် flow များခြင်း၊ နည်းခြင်း နှင့် အလွန်အသံဆူညံခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။

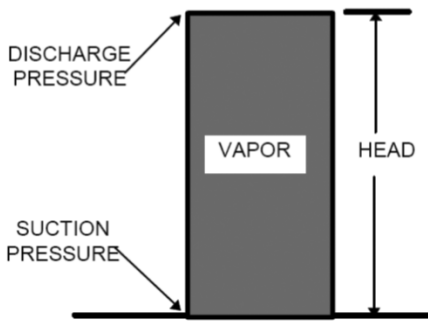


ပုံ ၁၅-၂၀ Centrifugal compressor head (lift)

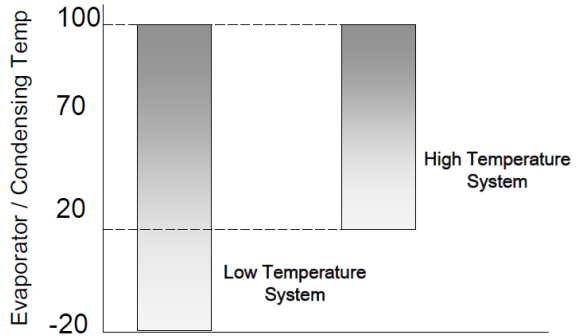
ပုံ ၁၅-၂၁ Impeller drive assembly



ပုံ ၁၅-၂၅ Compressor surge.



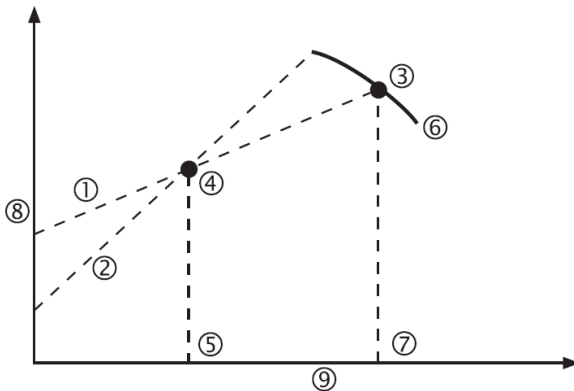
ပုံ ၁၅-၂၆ Centrifugal compressor head (lift)



ပုံ ၁၅-၂၇ Cooling system "lift"

Suction pressure နှင့် discharge pressure ကွာခြားချက်(difference)ကို "head" ဟုခေါ်သည်။ Head သည် lift နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျသည်။ Head သည် refrigerant ၏ aerodynamic ဂုဏ်သတ္တိများ(properties) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Pressure lift ဆိုသည်မှာ centrifugal compressor ကြောင့် မြင့်တက်လာသည့် total pressure ဖြစ်သည်။ ပုံ(၁၅-၂၅)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း variable-speed centrifugal compressor များ၌ zero slope ဖြစ်ပေါ်သည့် curve နေရာတွင် surge စတင်ဖြစ်ပေါ်သည်။ မျဉ်းပြတ်လိုင်းသည် compressor speed(n) versus refrigeration load (Qref)ဖြစ်သည်။ လိုအပ်သည့် pressure lift နှင့် volume flow ရရန် minimum speed ထက်နိမ့်သည့် မြန်နှုန်း(speed)ဖြင့် မောင်းလျှင် surge ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။



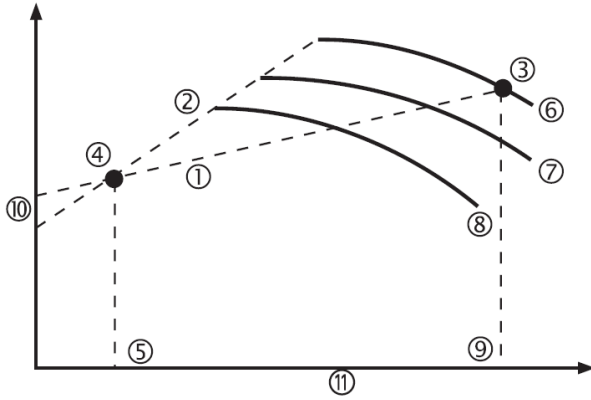
- 1 - Load Line
- 2 - Surge Line
- 3 - A
- 4 - B
- 5 - 40%
- 6 - 90° Vanes
- 7 - 100%
- 8 - Compressor Head
- 9 - Refrigerant Gas Flow

ပုံ ၁၅-၂၈ Typical single-stage compressor performance curve

၁၅.၇.၁ Two-Stage Compressors Surge Less and Later

တူညီသည့် head ကို ရရှိရန် two-stage compressor ၏ အရွယ်အစား(diameter)သည် single stage compressor ၏ အရွယ်အစား(diameter)ထက်သေးငယ်သည်။ Component Vt သည် stage တိုင်းတွင် တူညီသည်။ Single stage compressor နှင့် two-stage compressor နှစ်မျိုးစလုံးတွင် Vr တူညီကြသည်။ ထို့ကြောင့် two-stage compressor တွင် unloading capability ပိုကောင်းသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် two-stage compressor သည် single stage compressor ထက်စာလျှင် surge ဖြစ်နိုင်ခြေနည်းသည်။ အချိန်အနည်းနောက်ကျပြီးမှ surge ဖြစ်လေ့ ရှိသည်။

Load လိုင်း နှင့် surge ဧရိယာတို့၏ ဖြတ်မှတ်(intersection point B)သည် surge နိုင်သည့်နေရာဖြစ်သည်။ Single-stage compressor တွင် ဖြတ်မှတ်(intersection point B)သည် part load မြင့်သည့်နေရာတွင် ရှိသောကြောင့် surge ဖြစ်နိုင်ခြေ ပိုများခြင်းဖြစ်သည်။ Two-stage compressor တွင် surge ဖြစ်နိုင်ခြေ နည်းသောကြောင့် မောင်းနိုင်သည့်နေရာ ပိုကျယ်သည်။



- 1 - Load Line
- 2 - Surge Line
- 3 - A
- 4 - B
- 5 - 20%
- 6 - 90°
- 7 - 80°
- 8 - 70° Vanes
- 9 - 100%
- 10 - Compressor Head
- 11 - Refrigerant Gas Flow

ပုံ ၁၅-၂၉ Typical two-stage compressor performance curve

Three-stage centrifugal compressor ၌ surge ဖြစ်နိုင်သည့်နေရာ(surging region)သည် two-stage သို့မဟုတ် single-stage centrifugal compressor တို့၏ surge ဖြစ်နိုင်သည့်နေရာ(surging region)ထက် ပိုသေးငယ်သည်။ Inlet guide vane ကို အသုံးပြု၍ control လုပ်သည့် single-stage centrifugal compressor ၏ surge ဖြစ်နိုင်သည့်နေရာ(surging region)သည် variable-speed compressor surge ဖြစ်နိုင်သည့် နေရာ (surging region)ထက် ပိုသေးငယ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် variable-speed compressor သည် inlet guide vane ကို အသုံးပြု၍ control လုပ်သည့် single-stage centrifugal compressor ထက် ပို၍ surge ဖြစ်နိုင်သည်။ Two-stage သို့မဟုတ် single-stage centrifugal compressor သည် three-stage centrifugal compressor ထက် ပို၍ surge ဖြစ်နိုင်သည်။

Surge ဖြစ်ခြင်းကြောင့် compressor ၏ အစိတ်အပိုင်းများ(components) ပျက်စီးနိုင်သည်။ Centrifugal compressor အားလုံးကို surge ဖြစ်နိုင်သည့်နေရာ(surging region)တွင် မည်သည့် အခါမျှ မမောင်းသင့်ပေ။

၁၅.၇.၂ Prevention of Surge

Surge ဖြစ်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်အတွက် load နည်းချိန်တွင် entering condenser water temperature ကို နိမ့်နိုင်သမျှ နိမ့်အောင် ပြုလုပ်ထားရန်လိုသည်။ System သည် အချိန်ကြာမြင့်စွာ sure ဖြစ်ပေါ်နေပါက အောက်ပါ ဆိုးကျိုးများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်ပါသည်။

- (၁) အထွက်ဖိအားများလာခြင်း (high discharge pressure)
- (၂) အဝင်ဖိအားနည်းသွားခြင်း (low suction pressure)
- (၃) အပူလွန်ခြင်း (PRV'S close unit will overheat)
- (၄) အဝင်အပူချိန်မြင့်မားခြင်း (high suction temperature)
- (၅) ဗားအလုပ်မလုပ်ခြင်း (Hot gas valve will not work)
- (၆) Low suction trap နှင့်
- (၇) Thrust ကြောင့် ဘယ်ရင်များပျက်စီးခြင်း (Bearing damage because of thrust) တို့ဖြစ်သည်။

၁၅.၇.၃ Rotating stall and Surge of Centrifugal Chillers

Rotating stall သည် aerodynamic disturbance ဖြစ်ပြီး စီးနှုန်း(flow)နည်းသွားသောကြောင့် သော်လည်းကောင်း (load နည်းသွားသောကြောင့် flow နည်းရခြင်း ဖြစ်သည်။) သို့မဟုတ် head မြင့်မြင့် လိုအပ်သောကြောင့် သော်လည်းကောင်း (temperature lift များသောကြောင့် head မြင့်မြင့် လိုအပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။)၊ နှစ်မျိုးစလုံးကြောင့်သော်လည်းကောင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Rotating stall ဖြစ်ခြင်းကြောင့် impeller သို့မဟုတ် diffuser

အတွင်း၌ refrigerant နောက်ပြန်စီးခြင်း(reverse flow) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Stall ဖြစ်နေချိန်တွင် condenser နှင့် evaporator pressure gauge များတွင် ပုံမှန်အတိုင်း တည်ငြိမ်စွာ ဖော်ပြနေလိမ့်မည်။

Surge

Surge ဖြစ်ခြင်းသည် refrigerant များ နောက်ပြန်စီးခြင်း(reverse flow)ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် condenser အတွင်းမှ refrigerant များ compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ပြီးနောက် evaporator အတွင်းသို့ ရောက်ရှိသွားခြင်း ဖြစ်သည်။ နောက်ပြန်စီးခြင်း(reverse flow)ကြောင့် condenser pressure ကျဆင်းသွားသည်။ Evaporator pressure မြင့်တက်သွားသည်။ Head pressure ကျဆင်းသွားပြီး refrigerant များကို ပုံမှန်အတိုင်း စီးဆင်းစေပြန်သည်။ ထိုအခါ condenser pressure ပြန်မြင့်တက်လာပြီး evaporator pressure ကျဆင်းသွားသည်။ ထို့နောက် နောက်ပြန်စီးခြင်း(reverse flow) တဖန်ဖြစ်ပေါ်ပြန်သည်။ ပုံမှန် စီးခြင်းနှင့် နောက်ပြန်စီးခြင်း တစ်လှည့်စီ ဖြစ်ပေါ်နေလိမ့်မည်။

Rotating stall သုံးမျိုးရှိသည်။

- (၁) Impeller stall
- (၂) Vane-diffuser stall နှင့်
- (၃) Vane less-diffuser stall တို့ ဖြစ်သည်။

အောက်ပါအချက်များ အပေါ်တွင် မူတည်၍ centrifugal chiller တစ်လုံး stall သို့မဟုတ် surge ဖြစ်ပေါ်သည်။

- (က) Flow
- (ခ) The head temperature
- (ဂ) Compressor geometry
- (ဃ) Position of PRV နှင့်
- (င) Impeller tip speed တို့ဖြစ်သည်။

၁၅.၇.၄ Impeller and Vane-diffuser stall

Operating point (flow နှင့် head) သည် surge point နှင့် နီးကပ်လျှင် impeller stalls နှင့် vane diffuser stall ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Flow သို့မဟုတ် head အနည်းငယ် ပြောင်းလဲရုံဖြင့် အချိန်မရွေး stall ဖြစ်လိမ့်မည်။

၁၅.၇.၅ Vane less-diffuser stall

Surge ဖြစ်သည့်နေရာ(surge point) မှ အလွန်ဝေးကွာသည့်နေရာတွင် vane less-diffuser stall ဖြစ်ပေါ်သည်။ တချို့ centrifugal chiller များသည် အချိန်ကြာရှည်စွာ vane less-diffuser stall ဖြစ်ပေါ်ပြီး မောင်းနေလေ့ ရှိတတ်ကြသည်။

Vane less-diffuser stall ဖြစ်ပေါ်သည် အကြောင်းများမှာ

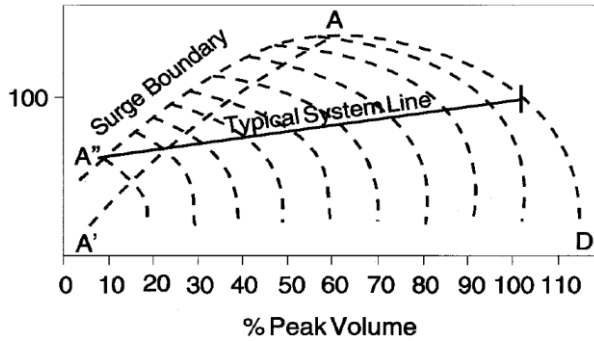
- (က) Head သို့မဟုတ် mass flow ပြောင်းလဲစေသည့် အရာများကြောင့် stall ဖြစ်နိုင်သည်။
- (ခ) သတ်မှတ်ထားသည့် lift သို့မဟုတ် ဒီဇိုင်း lift ထက် ပိုများသည့်အခါ stall ဖြစ်နိုင်သည်။

Surge tips

Load နည်းနေချိန်တွင် entering condenser water temperature နိမ့်နိုင်သမျှ နိမ့်အောင်ပြုလုပ်ပါ။ ထို့ကြောင့် compressor စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption) နည်းပြီး surging ဖြစ်ခြင်းမှ ကာကွယ်နိုင်လိမ့်မည်။

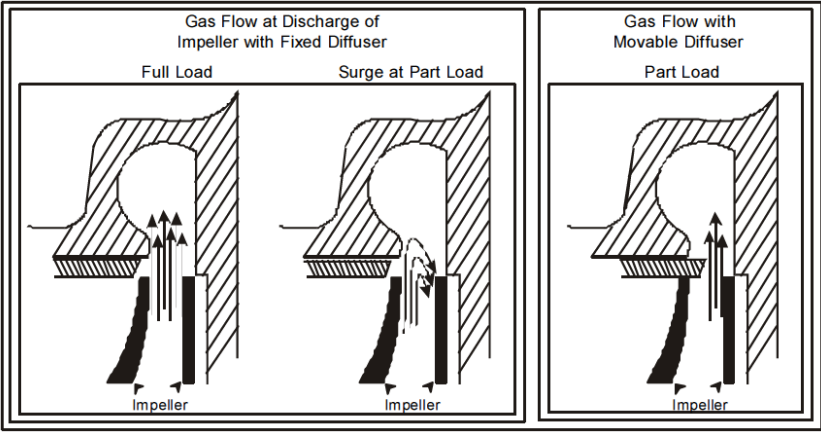
၁၅.၇.၇ Compressor Surge and Stall

ပုံ(၁၅-၃၀)တွင် compressor တစ်လုံး၏ curve ကို ဖော်ပြထားသည်။ Fan curve ကဲ့သို့ပင် ဘယ်ဘက်ပိုင်း (left)သည် compressor ၏ unstable operation ဖြစ်သည်။ Operation point သည် ဘယ်ဘက်ပိုင်း(left)တွင် ကျရောက်နေလျှင် refrigerant သည် စီးဆင်းနေခြင်း မရှိတော့ဘဲ cooling effect လည်း ထုတ်ပေးနိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ Shaft မှ တစ်ဆင့်ထည့်ပေးလိုက်သည့် အလုပ်စွမ်းအား(work) သည် အပူ(heat) များအဖြစ် ပြောင်းလဲပြီး compressor ထိခိုက်ပျက်စီးနိုင်သည်။



ပုံ ၁၅-၃၀ Compressor performance map

Compressor မှ တွန်းပို့လိုက်သည့် refrigerant များသည် အပြင်သို့မရောက်ဘဲ နောက်ပြန် စီးဆင်းချိန်၌ surge စတင် ဖြစ်ပေါ်သည်။ စက္ကန့်အနည်းငယ်ခန့် ပြောင်းပြန်စီးဆင်းမှု(reverse flow) ဖြစ်ပေါ်ပြီး ဖိအား ပြန်လည် မြင့်တက်လာကာ အရှေ့သို့ ပုံမှန် စီးဆင်းပြန်သည်။ ထိုသို့ဖြစ်ခြင်းသည် stall ဖြစ်ခြင်းထက် ပို၍ အန္တရာယ်များသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် compressor shaft ၏ thrust bearing အပေါ်တွင် ဆန့်ကျင်ဘက် အားများ သက်ရောက်ခြင်း(reverses loads) ခံရသောကြောင့် ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၅-၃၁ Compressor movable diffuser geometry

Load နည်းသည့် အခြေအနေများတွင် lift မြင့်တက်လာပါက surge ဖြစ်နိုင်သည်။ ဒီဇိုင်း အပူချိန်များထက် condenser water supply temperature မြင့်တက်လာခြင်း နှင့် chilled water supply temperature နိမ့်နိမ့် လိုအပ်ခြင်း တို့ကြောင့် temperature lift မြင့်တက်လာပြီး surge ဖြစ်နိုင်သည်။

Centrifugal chiller တစ်မျိုးတည်းသာ part load အခြေအနေတွင် surge ဖြစ်နိုင်သည်။ ပုံ(၁၅-၃၁)တွင် impeller မှ refrigerant gas များ ထွက်သွားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Full capacity တွင် impeller နှင့် volute အကြားရှိ နေရာလွတ်(gap)သည် လုံးဝပွင့်နေသည်။ Chiller capacity နည်းသွားချိန်တွင် refrigerant စီးနှုန်း(flow rate) ကျဆင်းသွားလိမ့်မည်။ Refrigerant သည် impeller မှသင့်လျော်သည့် tip speed ထွက်သွားနေလိမ့်မည်။ သို့သော် refrigerant စီးနှုန်းနည်းပြီး discharge ဧရိယာသည် အလွန်ကျယ်နေသောကြောင့် stall ဖြစ်နိုင်သည်။ ထိုပြဿနာကို ဖြေရှင်းရန်အတွက် moveable discharge geometry ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Moveable diffuser ကို အသုံးပြု၍ refrigerant စီးနှုန်း(flow rate) နည်းသွားသည့်အခါ discharge ဧရိယာကို ကျဉ်းအောင်ပြုလုပ်ပြီး surge ဖြစ်ခြင်းမှ ကာကွယ်နိုင်သည်။

၁၅.၈ Capacity Control of Centrifugal Chillers

Centrifugal compressor များ ၏ capacity ကို နည်းသုံးမျိုးဖြင့် control လုပ်နိုင်သည်။ Inlet Guide Vane(IGV) သို့မဟုတ် prerotation vanes (PRV)သည် အသုံးအများဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ Impeller အဝင်ပေါက်

နေရာတွင် adjustable vane များကို တပ်ဆင်ထားသည်။ ဝင်ရောက်လာသည့် refrigerant များကို လည်နေသည့် လမ်းကြောင်းအတိုင်း ထပ်တူဖြစ်အောင် လှည့်ပေးသည်။

ဒုတိယနည်းသည် impeller ၏ မြန်နှုန်းကို လျော့ချပေးခြင်းဖြစ်သည်။ Impeller ၏ မြန်နှုန်းကို လျော့ချပေးခြင်းနှင့် inlet guide vane နည်းတို့ကို အတူတွဲ၍လည်း အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ Low-pressure side (evaporator) မှ refrigerant များကို high-pressure side (condenser) ဆီသို့ တွန်းပို့ရန်အတွက် လုံလောက်သည့် pressure differential (lift) ရှိရန်လိုအပ်သည်။ Lift သည် impeller ၏ speed နှင့်သက်ဆိုင်သည်။ Lift နည်းသည်ဆိုခြင်းမှာ evaporator အပူချိန် နှင့် condenser အပူချိန် ကွာခြားမှုနည်းခြင်း ဖြစ်သည်။ Lift နည်းနည်းသာ လိုအပ်သည့်အခါတွင် impeller ကို နှေးနှေးမောင်းရုံသာ လိုသည်။ Impeller ကို သတ်မှတ်ထားသည့် မြန်နှုန်းထက် လျော့မမောင်းရန် မဖြစ်နိုင်သောကြောင့် capacity ထပ်မံလျော့နည်း လိုလျှင် inlet guide vanes ကို ပိတ်ပေးရသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် impeller ကို အနိမ့်ဆုံးမြန်နှုန်းသို့ လျော့ချပြီးနောက် inlet guide vanes ကို ပိတ်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။ Variable speed drive ဖြင့် မောင်းသည့် centrifugal compressor များကို water temperature reset ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် energy efficient အဖြစ်ဆုံးသော part-load performance ရရှိနိုင်သည်။

VSD နှင့် inlet guide vane အတူတွဲ၍ control လုပ်သည့် centrifugal compressor များတွင် refrigerant စီးနှုန်း(flow rate) ပိုများနေခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Refrigerant စီးနှုန်း(flow rate)လျော့ချရန်အတွက် inlet vane များကို အသုံးပြုသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် မြန်နှုန်း(speed) လျော့ချခြင်းကြောင့် centrifugal compressor များတွင် surge ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Danfoss မှ ထုတ်လုပ်သည့် Turborcor compressor တွင် magnetic bearing များ တပ်ဆင်ထားပြီး variable speed control ဖြင့်မောင်းသောကြောင့် rotational imbalances ဖြစ်ခြင်း လျော့နည်းသည်။ ချောဆီ အသုံးပြုရန် မလိုအပ်ပေ။ ဝင်ရိုးသည် သံလိုက်စက်ကွင်း(magnetic field)အပေါ်တွင် ပေါလောပေါ်(float)နေသည်။ Bearing များတွင် ပွတ်တိုက်မှုမရှိခြင်း(frictionless)ကြောင့် compressor ၏ efficiency ပိုကောင်းသည်။ အသံ တိတ်သည်။ ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းမှု (maintenance)နည်းသည်။ ချောဆီမရှိခြင်းကြောင့် heat transfer efficiency ပိုကောင်းသည်။

တတိယနည်းသည် Hot Gas ByPass (HGBP) ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ တခြား compressor များကဲ့သို့ပင် compressor မှ ထွက်လာသည့် hot gas များကို suction ဘက်သို့ ပြန်ပို့ခြင်းဖြင့် capacity လျော့ချနိုင်သည်။ Hot Gas ByPass (HGBP) ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် part-load အခြေအနေတွင် စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving) မဖြစ်နိုင်ပါ။ အလွန်နည်းသည့် turndown လိုအပ်သည့်အခါမျိုး နှင့် စက်ကို အချိန်တိုအတွင်း ရပ်ခြင်း၊ မောင်းခြင်း လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်သည့် အခါမျိုးတို့တွင် အသုံးပြုသည်။

Head control လုပ်နိုင်သည့်တခြားသော ကိရိယာတစ်မျိုးမှာ suction damper သို့မဟုတ် suction valve ဖြစ်သည်။ Suction valve သည် artificial head ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ Artificial head ဆိုသည်မှာ head တန်ဖိုးများ စေရန် ရည်ရွယ်၍ suction valve ကို ပိတ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Head အတုတစ်မျိုး ဖန်တီးခြင်းဖြစ်သည်။ Refrigeration လုပ်ငန်းများတွင် suction valve control အလွန်အသုံးနည်းသည်။

Centrifugal compressor များတွင် refrigerant ထုထည်စီးနှုန်း(volume flow)ကို modulating လုပ်ခြင်းဖြင့် capacity control ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Centrifugal compressor များ၏ refrigerant gas flow ကို adjustable inlet guide vanes ၊ preswirl သို့မဟုတ် prerotation vanes ဖြင့် ထိန်းချုပ်ထားသည်။ ပြင်ပမှ actuator တစ်ခုဖြင့် inlet guide vane များ ပိတ်ခြင်း၊ ဖွင့်ခြင်း ပြုလုပ်ပေးသည်။ Vane များသည် axial shaft ပတ်လည်တွင် တည်ရှိပြီး လည်နိုင်သည်။ Vane များလုံးဝ ဖွင့်(fully open)နေချိန်တွင် gas များ impeller အတွင်းသို့ များစွာ ဝင်ရောက်နိုင်သည်။

Axial shaft တစ်လျှောက်တွင် vane များ လည်နိုင်သည်။ Vane များ လည်သွားခြင်းကြောင့် impeller အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် gas များ၏ ဦးတည်ရာလမ်းကြောင်းပြောင်းသွားသည်။ Inlet vane များ လုံးဝ ပွင့်နေသည့်အချိန်(fully open)တွင် gas များသည် impeller အတွင်းသို့ (၉၀)ဒီဂရီထောင့် ချိုး၍ ဝင်ရောက်လာသည်။ Inlet vane စပိတ်သည့်အခါ impeller အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် ဦးတည်ရာလမ်းကြောင်း နှင့် impeller လည်နေသည့်ဘက်တို့ တူညီသည်။ ထိုသို့တူညီခြင်းကို "preswirl" condition ဟုခေါ်သည်။ Inlet vane စပိတ်ခြင်းကြောင့် စီးနှုန်း(flow rate)ကျဆင်းသွားသည်။ Centrifugal compressor တွင် refrigerant flow နည်းအောင် inlet vane ပိတ်ခြင်း သို့မဟုတ် "throttling" လုပ်ခြင်းကြောင့် refrigerant flow နည်းသွားသည်။

Centrifugal compressor များတွင် operation တည်ငြိမ်ရန်(stable)အတွက် အနိမ့်ဆုံးထုထည်စီးနှုန်း (minimum volumetric rate flow) သတ်မှတ်ထားသည်။ Compressor များတွင် surge ဖြစ်နိုင်သည့် envelope ကွာခြားသည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် volumetric flow rate 40% မှ 60% တွင် ဖြစ်နိုင်သည်။ Surge ဖြစ်ခြင်းကို ကာကွယ်ရန်အတွက် hot gas bypass ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Capacity control ပြုလုပ်ရန်အတွက် speed control နည်းကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Variable frequency drive များတပ်ဆင်၍ မော်တာမြန်နှုန်း(motor speed)ကို လိုသလို ပြုလုပ်ပြီး control capacity လုပ်နိုင်သည်။ Variable frequency drive ကို speed control ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် efficiency ပိုကောင်းလာနိုင်သည်။

Compressor speed သည် refrigerant စီးနှုန်းနှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျသည်။ Refrigerant စီးနှုန်းသည် capacity နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျသည်။ သို့သော် pressure (lift)သည် compressor ၏ မြန်နှုန်း နှစ်ထပ်ကိန်း (square of the speed) ဖြစ်သည်။

Difference Between Centrifugal Compressors and Centrifugal Fans

Part-load operation တွင် centrifugal compressor များ၏ capacity ကို control လုပ်ရန် အောက်ပါ နည်းများကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

- (၁) Inlet guide vane များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။
- (၂) Compressor မြန်နှုန်း(speed)ကို လျော့ချရန်အတွက် variable speed drive ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။
- (၃) Inlet guide vane နှင့် variable speed control နှစ်မျိုးကို အတူတကွ တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။
- (၄) တာဘိုင်ဖြင့်မောင်းသည့်(gas-turbine-driven) အလွန်ကြီးမားသည့် centrifugal chiller များတွင် ရေနွေးငွေ့ (steam) ပမာဏ သို့မဟုတ် မြန်နှုန်း(speed)ကို လျော့ချ ပေးနိုင်သည်။

Hot-gas bypass နည်းသည် စွမ်းအင်ချွေတာခြင်း(energy saving) မပြုလုပ်နိုင်သောကြောင့် စင်ကာပူ နိုင်ငံတွင် comfort cooling system များအတွက် ခွင့်မပြုပေ။ စက်မှုလုပ်ငန်းများတွင် ခွင့်ပြုသည်။

Centrifugal compressor နှင့် centrifugal fan တို့သည် centrifugal turbomachinery များဖြစ်ကြသည်။ Part-load operation တွင် inlet vane နည်းနှင့် variable-speed drive နည်းတို့ဖြင့် capacity control ပြုလုပ် နိုင်သည်။ Centrifugal chiller များတွင် refrigerant effect ရရှိရန် evaporating pressure မှ condensing pressure အထိ မြင့်တက်သွားအောင် လုပ်ရသည့် lift သည် system head ဖြစ်သည်။ Refrigerant flow ၏ friction နှင့် dynamic losses ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)သည် system head ၏ သေးငယ်သော အစိတ်အပိုင်းသာ ဖြစ်သည်။ Part-load operation တွင် refrigerant volume flow ကို လျော့ချခြင်း သည် system head အပေါ်အကျိုးသက်ရောက်မှု သိပ်မများပေ။ Part-load operation တွင် system head ကို ပြောင်းလဲစေသည့် အဓိကအချက်မှာ condensing pressure နှင့် evaporating pressure ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။ Condensing pressure သည် entering condenser water temperature အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Water-cooled condenser များကို အသုံးပြုလျှင် entering condenser water temperature သည် ပြင်ပအပူချိန်(outdoor wet-bulb temperature) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

၁၅.၈.၁ Required System Head at Part-Load Operation

Part-load operation တွင် refrigerant volume flow နည်းသွားသောကြောင့် condensing နှင့် evaporating surface area သည် လိုအပ်သည်ထက် ပိုများသွားသည်။ ထို့ကြောင့် condensing temperature ကျဆင်းသွားပြီး evaporating temperature မြင့်တက်သွားသည်။ များသောအားဖြင့် cooling load နည်းရသည့် အကြောင်းတစ်ခုမှာ ပြင်ပအပူချိန်(outdoor wet-bulb temperature)နိမ့်သွားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ပုံ(၁၅-၃၂)ထည့်ရန်

၁၅.၈.၂ Capacity Control Using Inlet Vanes

Inlet vane များသည် impeller အဝ(inlet)တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် pivoted movable vanes များ ဖြစ်ကြသည်။ ပုံ(၁၅-၁၈)တွင် inlet guide vane တစ်စုံ၏ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Three-stage centrifugal chiller တွင် impeller သုံးခုပါရှိပြီး chiller performance ပိုကောင်းစေရန် inlet vane သုံးစုံပါရှိသည်။ Impeller တစ်ခု အတွက် inlet vane တစ်စုံတပ်ဆင်ထားသည်။ Vane များကို link ဖြင့် ချိတ်ဆက်ထားသောကြောင့် vane အားလုံးကို တစ်ပြိုင်နက် လှည့်နိုင်သည်။

Inlet guide vane များကို ပိတ်လိုက်လျှင် vapor refrigerant များ၏ volume flow လျော့နည်းသွားမည်။ Fluid ၏ absolute velocity မှ tangential component သည် အပေါင်းတန်ဖိုး(positive value) ဖြစ်သည်။

ပွင့်နေသည့်အကျယ်(opening angle)လျော့နည်းလာလေ compression efficiency ကျဆင်းလေ ဖြစ်သည်။ အဝ(inlet)၌ ရှိသော refrigerant vapor သည် inlet area လျော့နည်းသွားသည့်အခါ radial entry မှ သွေဖီ(deviate) သွားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

Load ratio များသည့်အချိန်တွင် compression efficiency သည် အသင့်အတင့်ဖြစ်သည်။ Load ratio နည်းသွားသည့်အချိန်တွင် compression efficiency ကျဆင်းသွားသည်။ Head lift နှင့် vapor refrigerant စီးနှုန်း ကျဆင်းသွားသောကြောင့် shaft power လျော့နည်းသွားသည်။

Single-stage centrifugal compressor များတွင် inlet vane ကိုအသုံးပြု၍ capacity control လုပ်သည့် အခါ အောက်ပါအချက်များကို သတိပြုသင့်သည်။

- (၁) Entering condenser water temperature သည် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့်အတိုင်းဖြစ်နေလျှင် load ratio သည် 0.12 သို့ ကျဆင်းသွားသည့်အခါ operating curve သည် surge line နှင့် ထိလိမ့်မည်။
- (၂) Load ratio 0.1 ကျဆင်းတိုင်း condenser water temperature 2.5°F(1.4°C)လျော့နည်းသည်။ Load ratio 0.5 တွင် compression efficiency သည် 50 percent ထက် နည်းသွားသည်။

၁၅.၈.၃ Inlet Guide Vane (Pre-Rotation Vane)

Inlet Guide Vane(IGV)ကို Pre-Rotation Vane (PRV) ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ Constant speed motor များနှင့် တွဲ၍ တပ်ဆင်ကြသည်။ Partial load operation တွင် စွမ်းအင်ချွေတာ(saving energy) နိုင်သည်။ Inlet guide vane သည် impeller ၏ အဝ(suction inlet)တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Inlet guide vane ကို control panel မှ တစ်ဆင့် အလိုလျောက် ထိန်းချုပ်(automatic control)ပေးသည်။

Inlet Guide Vane(IGV)၏ ဆောင်ရွက်ပုံကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

- (၁) Inlet Guide Vane(IGV)၏ နေရာပြောင်းလဲခြင်း သို့မဟုတ် ပွင့်ခြင်း၊ ပိတ်ခြင်းကြောင့် refrigerant gas များ ဝင်ရောက်လာသည့် လမ်းကြောင်းသည် impeller wheel လည်သည့်ဘက်နှင့် တူညီသည်။
- (၂) Partial load operation တွင် inlet guide vane သည် ပိတ်နေသည့် ပုံဖြစ်နေသည်။ Impeller အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် suction gas ၏ လမ်းကြောင်း ပြောင်းလဲသောကြောင့် refrigerant gas ၏ အလျင်

(velocity) specific volume နှင့် ဖိအား(pressure) ပြောင်းလဲသည်။

- (၃) Centrifugal impeller ၏ လည်ပတ်နှုန်းမပြောင်းလဲဘဲ centrifugal chiller ၏ capacity နှင့် performance ပြောင်းလဲသည်။
- (၄) Inlet guide vane ၏ ထောင့်(angle) ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် cooling load နှင့် ကိုက်ညီသည့် operating condition အမျိုးမျိုး ပြောင်းလဲနိုင်သည်။

သီအိုရီအရ inlet guide vane များသည် compressor ကို surge မဖြစ်စေဘဲ capacity ကို 10% အထိ လျော့ချပေးနိုင်သည်။ Centrifugal compressor ၏ turn down ratio သည် compressor ၏ performance curve ၊ “refrigeration system” operating line နှင့် Mach number အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Inlet guide vane ကို variable speed control နည်း နှင့် hot gas bypass နည်း တို့ဖြင့် တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။

၁၅.၈.၄ Capacity Control by Variable Speed

Centrifugal chiller များတွင် variable speed drive တပ်ဆင်ထားသည့်အခါ centrifugal compressor ၏ rotating speed ပြောင်းလဲသည်။ Rotating speed လျော့နည်းလျှင် lower head နှင့် volume flow အတွက် performance curve အသစ်ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

- (၁) Load ratio သည် 0.5 ခန့်ဖြစ်လျှင် variable speed control လုပ်သည့် centrifugal compressor ၏ compression efficiency သည် 75 percent ထက် ပိုများသည်။
- (၂) Entering condenser water temperature သည် design လုပ်ထားသည့်အတိုင်း ဖြစ်နေလျှင် load ratio သည် 0.27 သို့ ကျဆင်းသွားသည့်အခါ operating curve သည် surge line နှင့် ထိလိမ့်မည်။

Centrifugal compressor များ သတ်မှတ်ထားသည့် မြန်နှုန်း(speed)တစ်ခု အတွက် compressor curve တစ်ခုရှိသည်။ တခြားမြန်နှုန်း(speed)သို့ ပြောင်းလဲခြင်းဖြင့် compressor curve အသစ်တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်သည်။ မြန်နှုန်း(speed)များ ပြောင်းလဲခြင်းဖြင့် compressor curve များစွာဖြစ်ပေါ်ပြီး compressor map ဖြစ်ပေါ်သည်။

ထို့အတူပင် သတ်မှတ်ထားသည့် မြန်နှုန်း(speed)တစ်ခု အတွက် compressor curve တစ်ခုရှိပြီး surge point တစ်ခု တည်ရှိသည်။ မြန်နှုန်း(speed)များ ပြောင်းလဲခြင်းဖြင့် compressor curve များစွာဖြစ်ပေါ်ပြီး surge point များ ဖြစ်ပေါ်သည်။ surge point များကို လိုက်ဆက်ခြင်းဖြင့် surge line ဖြစ်ပေါ်သည်။

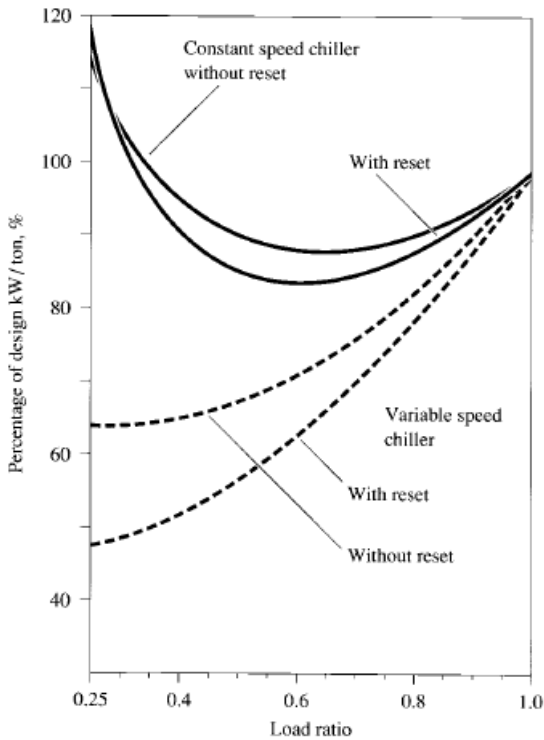
Compressor speed ကို ပြောင်းလဲခြင်းဖြင့် curve များသည် map အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ Centrifugal compressor သည် surge line ၏ ညာဘက်နေရာတွင် partial load point အနေဖြင့် မောင်းနှင်သည်။ Speed control ဆိုသည်မှာ compressor curve ကို ရွှေ့ခြင်း(shifting)ဖြစ်သည်။ လိုအပ်သည့် new head နှင့် volume အရ partial load condition ဖြင့် မောင်းနှင်သည်။

Compressor ၏ speed ကို မြှင့်တင်ခြင်းဖြင့် ဒီဇိုင်း head ထက် ပိုမြင့်သည့် head ဖြင့် မောင်းနှင်သည်။ သို့သော် လက်ရှိမောင်းနေသည့် flow သည် surge point ထက် နိမ့်သည့်အခါ surge ဖြစ်နိုင်သည်။ Surge line ဆိုသည်မှာ surge ဖြစ်နိုင်သည့် အမှတ်(surge point)များ ကို ဆက်သွယ်လိုက်ခြင်းဖြင့် ရရှိသည့် မျဉ်းဖြစ်သည်။

Variable speed control အဖြစ်မောင်းနှင်သည့် driver အမျိုးအစားများမှာ steam turbine ၊ gas turbine ၊ inverter motor နှင့် gas engine တို့ဖြစ်သည်။

၁၅.၈.၅ Comparison Between Inlet Vanes and Variable Speed

Inlet vane modulation နည်းသည် ရိုးရှင်းပြီး၊ အစဦးကုန်ကျစရိတ်(initial cost) သက်သာသည့်နည်း ဖြစ်သည်။ Load ratio နည်းလျှင် throttling device ကဲ့သို့ ဆောင်ရွက်ပေးသည်။

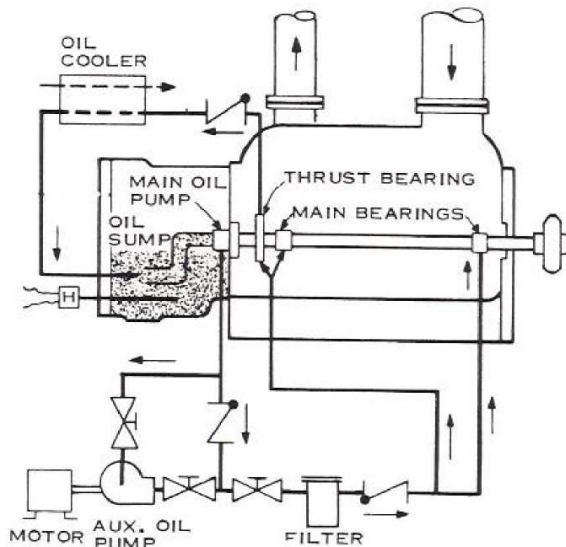


Dynamic losses နှင့် friction losses ဖြစ်ပေါ်မှု များသော ကြောင့် variable-speed compressor နှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုများပြီး efficiency ညံ့သည်။ Single-stage centrifugal compressor များတွင် inlet vane ကို အသုံးပြုလျှင် ဖြစ်ပေါ်သည့် surge region သည် variable-speed compressor ထက် သေးငယ် သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် single-stage centrifugal compressor များတွင် inlet vane ကို သုံး၍ capacity control လုပ်လျှင် variable-speed ထက် surge ဖြစ်နိုင်ခြေ နည်းသည်။ Load ratio 0.3 ထက် နည်းမှသာ surge ဖြစ်နိုင်သည်။ Two stage သို့မဟုတ် three stage centrifugal compressor များတွင် surge ဖြစ်နိုင်ခြေ ပိုနည်းသည်။

Variable-speed drive compressor များ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုသည် constant-speed compressor ထက် 10%မှ 15 % ပိုနည်းသည်။ ပုံ(၁၅-၃၃)တွင် inlet vanes and variable-speed compressor နှင့် constant speed centrifugal compressor တို့ကို နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားသည်။

ပုံ ၁၅-၃၃ Comparison between constant-speed and variable-speed centrifugal chiller.

၁၅.၉ Oil System



ပုံ ၁၅-၃၄ Centrifugal compressor တစ်လုံး၏ oil lubrication system ကို ရိုးရှင်းသည့် diagram ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

Centrifugal compressor များတွင် စီးဆင်းသည့် ချောဆီပမာဏသည် screw compressor တွင် စီးဆင်းသည့် ချောဆီပမာဏထက် နည်းသည်။ ပုံ(၁၅-၃၄)တွင် centrifugal compressor တစ်လုံး၏ oil lubrication system ကို ရိုးရှင်းသည့် diagram ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ ။ ချောဆီကို water cooled ၊ refrigerant cooled ၊ air cooled သုံးမျိုးမှ တစ်မျိုးကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ စက်မှုလုပ်ငန်းများတွင်(industrial) အသုံးပြုသည့် စက်များတွင် three-

way valve ကို အသုံးပြု၍ dual oil cooler များ တပ်ဆင်ကြသည်။ Main oil pump သည် shaft mounted pump ဖြစ်လျှင် compressor full speed သို့မဟုတ်ခင်အချိန်တွင် ချောဆီ လုံလောက်စေရန် auxiliary oil ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

၁၅.၁၀ Functional Controls and Optimizing Controls

Chiller control တွင် safety control ၊ diagnostic နှင့် optimizing control တို့ ပါဝင်သည်။

Functional control သက်ဆိုင်သည့် လုပ်ငန်းများမှာ

- (၁) Chilled water leaving temperature ကို control လုပ်ခြင်း
- (၂) Air purge နှင့် သက်ဆိုင်သည့် လုပ်ငန်းများ အားလုံး ကို control လုပ်ခြင်း
- (၃) Oil pressure ၊ low-temperature freezing protection at the evaporator ၊ high condensing temperature control ၊ motor overheating နှင့် time delaying စသည့် safety နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ကိစ္စများအားလုံးကို control လုပ်ခြင်း
- (၄) Condenser water flow ၊ chilled water flow ၊ electric current နှင့် refrigerant chilled water temperatures and pressures စသည်တို့၏ status နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ကိစ္စများအားလုံးကို control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

၁၅.၁၁.၁ Chilled Water Leaving Temperature Control

Centrifugal chiller များတွင် chilled water leaving temperature control ကို အလွန်အသုံးများသည်။ Continuous modulation control နည်းဖြစ်သည်။ Evaporator ၏ အထွက် chilled water ပိုက်တွင် temperature sensor တပ်ဆင်ထားသည်။ Controller သည် inlet guide vane အဖွင့်၊ အပိတ်ကိုသော်လည်းကောင်း၊ compressor motor ၏ မြန်နှုန်းကို လိုသလို ပြောင်းလဲ၍သော်လည်းကောင်း control လုပ်ပေးသည်။

Centrifugal chiller ၏ capacity များစေရန် refrigerant volumetric flow များများ လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် inlet guide vane ကို ဖွင့်ပေးသည် သို့မဟုတ် မော်တာမြန်နှုန်းကို မြှင့်ပေးသည်။ Capacity နည်းစေရန် inlet guide vane ကို ပိတ်ပေးသည် သို့မဟုတ် မော်တာမြန်နှုန်းကို လျော့ချပေးသည်။ နှစ်မျိုးလုံးကို တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။

Chilled water leaving temperature setpoint ကို တစ်သမတ်တည်း ပုံသေမထားဘဲ သင့်လျော်သလို ပြောင်း၍ ပြန်သတ်မှတ် ပေးခြင်းကို "reset" လုပ်သည်ဟုခေါ်ဆိုသည်။ Outdoor temperature နိမ့်ကျသွားလျှင် သော်လည်းကောင်း load ratio နည်းသွားလျှင်သော်လည်းကောင်း chilled water leaving temperature ကို မြင့်အောင် ပြောင်း၍ ပြန်သတ်မှတ်(reset)ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Chilled water return temperature မှ load ratio ကို တွက်ယူနိုင်သည်။ Chilled water return temperature နိမ့်လာလေ load ratio နည်းလေဖြစ်သည်။

Temperature reset လုပ်ခြင်းကို ဥပမာဖြင့် ဖော်ပြရသော် outdoor temperature သည် 80°F(26.7°C) ထက်မြင့်နေသမျှကာလပတ်လုံး reset လုပ်ရန် မလိုအပ်ပေ။ 80°F(26.7°C) ထက် နိမ့်သည့်အချိန်မှ စ၍ temperature reset လုပ်ရမည်။ 1°F(0.56°C) ကျဆင်းတိုင်း chilled water supply temperature ကို 0.3°F (0.17°C) မြင့်တင်ပေးရမည်။ Outdoor temperature 50°F(10°C) ရောက်သည့်အချိန်အထိသာ temperature reset လုပ်ပေးရမည်။

၁၅.၁၁.၂ Condenser Water Temperature Control

Centrifugal chiller နှင့် cooling tower အပြန်အလှန် ဆက်စပ်နေသည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု (power consumption)နည်းစေရန် condenser water entering temperature ကို အနိမ့်ဆုံးဖြစ်အောင် လျော့ချပေးရန်

လိုအပ်သည်။ Condenser water temperature တစ်သမတ်တည်း ပုံသေ ဖြစ်မနေစေသင့်ပေ။ Outdoor wet-bulb temperature အပေါ်တွင် မူတည်၍ ပြောင်းလဲနေသင့်သည်။ [BAS]

၁၅.၁၂ Sequence of Operation of a Typical Centrifugal Chiller

ရှုံး၊ ကျောင်း၊ ရှော့ပင်းစင်တာ အစရှိသည့် အဆောက်အဦများတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် chiller များကို ညအချိန်တွင် ရပ်နားထားသည်။ ဆေးရုံ၊ စက်ရုံ နှင့် ဟိုတယ်များတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် chiller များကို အချိန်ပြည့် (၂၄)နာရီ မရပ်မနားမောင်းကြသည်။ ညအချိန် chiller ရပ်နားထားစဉ် chilled water အပူချိန် မြင့်တက် လာသည်။

ရပ်နားထားသည့် centrifugal chiller များကို မောင်းသည့်အခါ အောက်ပါ အစီအစဉ်များ(sequence of operations)အတိုင်း စတင်မောင်းရသည်။

- (၁) Chiller အတွင်း၌ chilled water စီးဆင်းနေကြောင်း သေချာရန်အတွက် chilled water flow sensor တပ်ဆင်ထားသည်။ Chilled water pump စတင်မောင်းပြီးသည့်နောက် chilled water flow sensor က စီးဆင်းနေကြောင်းသေချာ(activated) မှ chiller စမောင်းနိုင်သည်။
- (၂) Chiller အတွင်း၌ condenser water စီးဆင်းနေကြောင်း သေချာရန်အတွက် condenser water flow sensor တပ်ဆင်ထားသည်။ Condenser water pump စတင်မောင်းပြီးသည့်နောက် condenser water flow sensor က စီးဆင်းနေကြောင်းသေချာ(activated) မှ chiller စမောင်းနိုင်သည်။ Condenser water pump နှင့် cooling tower fan ကို interlock လုပ်ထားသည်။
- (၃) Chiller စတင်မောင်းရန်အတွက် control panel မှ oil pump စမောင်းရန် signal ထုတ်ပေးသည်။ Oil pressure ကို သိနိုင်ရန် pressure sensor တပ်ဆင်ထားသည်။ Oil pressure မြင့်တက်လာမှ chiller စမောင်းသည်။
- (၄) Short-cycling protection timer မှ သတ်မှတ်ထားသည့် အချိန်ပြည့်အောင် စောင့်ဆိုင်းရသည်။
- (၅) Inlet guide vane များ ပွင့်နေလျှင် ပိတ်ရန် အမိန့်(command)ပေးသည်။ ပိတ်နေကြောင်း သေချာမှ chiller စမောင်းနိုင်သည်။
- (၆) Oil pressure သည် သတ်မှတ်ထားသည့်ဖိအားရောက်ပြီး အချိန် စက္ကန့် (၂၀)ခန့်ကြာမှ compressor motor starter အား စတင်ရန် အမိန့်(command) ပေးသည်။
- (၇) ဖော်တာကို အောင်မြင်စွာမောင်းပြီးနောက် "run normal" ဟူသည့် စာသားဖြင့် ဖော်ပြသည်။ အကြောင်း တစ်စုံတစ်ခုကြောင့် မောင်း၍ မရပါက compressor အား ရပ်တန့်(shuts down)ရန် အမိန့်(command) ပေးသည်။ ပြုပြင်ခြင်း၊ reset လုပ်ပြီးနောက် နောက်တစ်ကြိမ် စတင်မောင်းရန်အသင့် ဖြစ်သည်။
- (၈) "Run normal" operation တွင် current limit ၊ condenser high-pressure limit နှင့် evaporator low-temperature cutout စသည့်တို့၏ တန်းဖိုးများကို သတ်မှတ်ထားသည့် တန်းဖိုးနှင့် နှိုင်းယှဉ်ကာ စောင့်ကြည့်နေသည်။ သတ်မှတ်ထားသည့် တန်းဖိုးထက် ပိုများပါက inlet vane ကို တဖြည်းဖြည်း ပြန်ပိတ်သည်။ Surge ဖြစ်ခဲ့လျှင် head relief relay ကို energized ဖြစ်စေသည်။ အချိန် (၁၅)မိနစ် ကြာသည့်တိုင် surge ဖြစ်နေလျှင် compressor အား ရပ်တန့်(shuts down)ရန် အမိန့်(command) ပေးသည်။
- (၉) ပြင်ပမှ chiller အား ရပ်တန့်ရန် signal ရရှိသည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် "preparing to shut down" ဆိုသည့် စာတန်းကို ဖော်ပြသည်။ Inlet guide vane များ စတင်၍ ပိတ်သည်။ သို့မဟုတ် variable-speed drive သည် မြန်နှုန်း အပတ်ရေကို လျော့ချသည်။ Oil pump သည် အချိန်(၁၀)မိနစ်ခန့် ဆက်မောင်းနေလိမ့်မည်။ Compressor အား ရပ်တန့်(shuts down)သွားလိမ့်မည်။ အချိန်(၁၀)မိနစ်ကြာပြီးနောက် oil pump ရပ်တန့်သွားလိမ့်မည်။

၁၅.၁၃ System Balance at Full Load

ဒီဇိုင်းအခြေအနေ (design condition) တွင် evaporator ၏ အရွယ်အစားသည် compressor ထက် ပိုကြီးနေပါက compressor က စုပ်ယူနိုင်သည့် ပမာဏထက်ပိုများသည့် liquid refrigerant များသည် evaporator အတွင်း၌ အငွေ့ပျံ (vaporized) လိမ့်မည်။ Suction vapor ၏ သိပ်သည်းဆ (density) ပိုများလာသောကြောင့် evaporating pressure တဖြည်းဖြည်းမြင့်တက်လာပြီး mass flow rate ပိုများလာလိမ့်မည်။ Compressor က စုပ်ယူသည် mass flow rate သည် evaporator အတွင်း၌ refrigerant အငွေ့ပျံ (vaporized) သည် mass flow rate နှင့် တူညီသည်။

ပြောင်းပြန်အားဖြင့် compressor capacity သည် evaporator ထက် ပိုကြီးမားနေပါက evaporator အတွင်းမှ evaporized refrigerant များကို liquid refrigerant vaporized ထက် ပိုစုပ်ယူလိမ့်မည်။ Evaporating pressure နှင့် temperature တဖြည်းဖြည်းကျဆင်းလာပြီး centrifugal compressor ၏ suction vapor flow rate သည် evaporator အတွင်းရှိ vaporized refrigerant ၏ mass flow rate နှင့် တူညီသွားလိမ့်မည်။ **ဒီရောက်ပြီး**

ဒီဇိုင်းအခြေအနေ (design condition) တွင် condenser ၏ အရွယ်အစားသည် compressor ထက် ပိုကြီးနေပါက condenser အတွင်း၌ compressor ထုတ်ပေးနိုင်သည့် ပမာဏထက် ပိုများသည့် hot gas များ အရည် အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားလိမ့်မည်။ Condensing pressure နှင့် temperature တဖြည်းဖြည်းကျဆင်းသွားလိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် condenser water entering temperature မပြောင်းလဲသောကြောင့်ဖြစ်သည်။ Log-mean temperature နည်းသွားသောကြောင့် condensing capacity ကျဆင်းသွားနိုင်သည်။ Mass flow rate of hot gas condensed in the condenser နှင့် centrifugal compressor discharge အကြားတွင် ညီမျှသည့် အခြေအနေတစ်ခု သို့ရောက်ရှိလိမ့်မည်။

ပြောင်းပြန်အားဖြင့် compressor capacity သည် condenser ထက် ပိုကြီးမားနေပါက condenser အတွင်းသို့ condensed လုပ်နိုင်သည့် ပမာဏထက် ပိုများသည့် hot gas များဝင်ရောက်လာလိမ့်မည်။ Condensing pressure နှင့် temperature မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် log-mean temperature မြင့်တက်လာပြီး condenser capacity ပိုများလာလိမ့်မည်။ ထို့အတူ head lift လည်း မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ Centrifugal compressor မှ ထွက်လာသည့် hot gas များ၏ volume flow rate လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။

၁၅.၁၃.၁ Evaporating and Condensing Temperatures at Part-Load Operation

တခြားသော အခြေအနေများ အားလုံးတူညီနေလျှင် evaporator ၏ heat-transfer surface area များလေ evaporating temperature ပိုမြင့်လေ ဖြစ်သည်။ Condenser ၏ heat-transfer surface area များလေ condensing temperature ပိုနိမ့်လေဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် condenser ၏ heat-transfer surface area များလေ temperature lift ပိုနိမ့်လေဖြစ်သည်။ [Box]

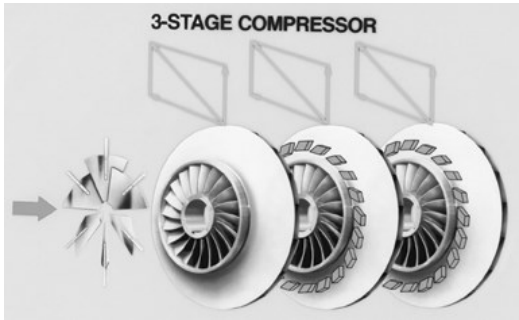
Evaporator

Evaporator သည် building မှ heat များကို ဖယ်ထုတ်သည့် heat exchanger တစ်ခုဖြစ်သည်။ Evaporator အတွင်း၌ refrigerant သည် building မှ heat များကို စုပ်ယူလိုက်သည့်အခါ အပူချိန်မြင့်တက်လာကာ စတင်ဆူပွက်လာပြီး အရည်အဖြစ်မှ အငွေ့ အဖြစ်သို့ပြောင်းလဲသွားသည်။ Flooded type evaporator နှင့် falling film type evaporator ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ Flooded type evaporator သည် ပို၍ energy efficient ဖြစ်သည်။ Flooded type evaporator သည် tube များအတွင်း၌ chilled water စီးဆင်းပြီး shell အတွင်း၌ refrigerant များ ရှိနေသည်။

Pressure-Enthalpy Diagram (Chapter 2 or 3 to send)

Pressure-Enthalpy (P-H) diagram သည် refrigeration cycle ကို ရှုထောင့်တစ်မျိုးမှ လေ့လာခြင်းဖြစ်သည်။ Refrigeration process များအားလုံးကို ဂရပ်ဖြင့်ပုံဖော်၍ လေ့လာသည့်နည်း(graphical method) ဖြစ်သည်။

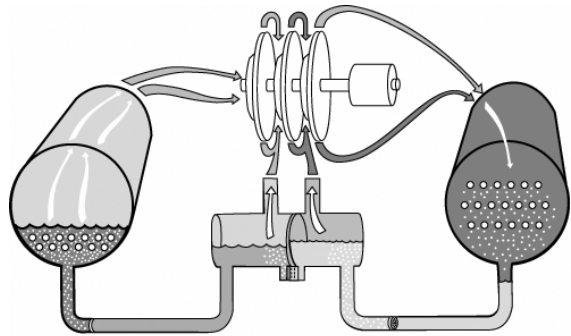
Three Stage Centrifugal Chiller



ပုံ ၁၅-၁၈(က) Three stage compressor



ပုံ ၁၅-၂၃ Impeller



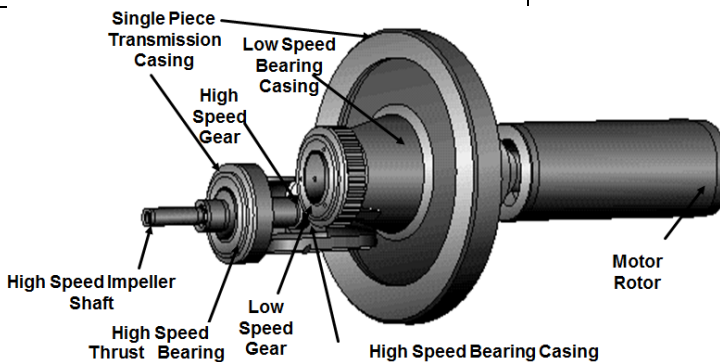
Three Stage Refrigerant Flow

ပုံ ၁၅-၁၈(ခ) Three stage refrigerant flow

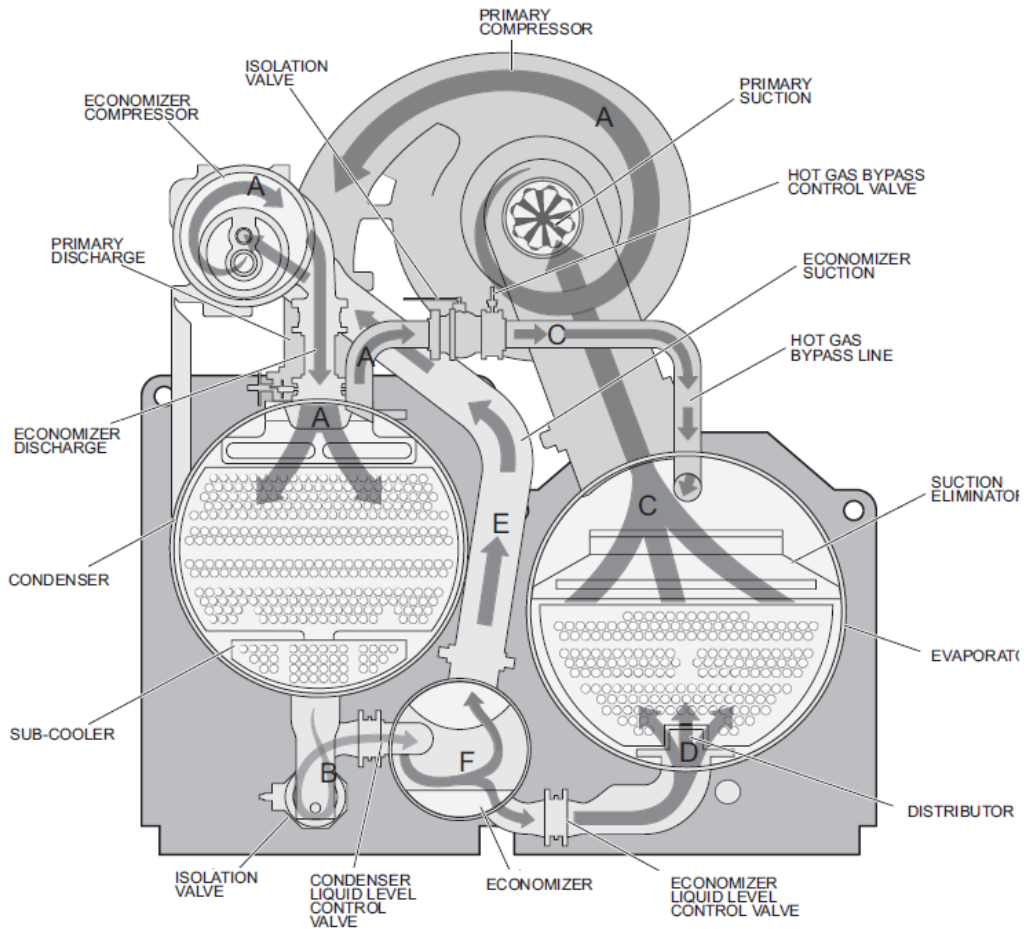


ပုံ ၁၅-၂၄ Impeller

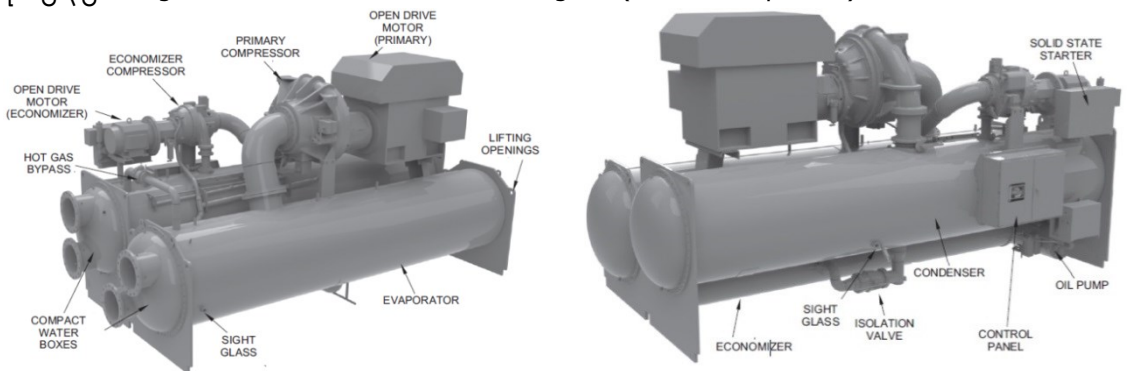
YKEP Refrigerant Flow-Thru Cross-Section Diagram (Flooded Evaporator)	
Legend	
High pressure vapor	A
High pressure liquid refrigerant	B
Low pressure vapor	C
Low pressure liquid refrigerant	D
Intermediate pressure vapor	E
Intermediate pressure liquid refrigerant	F



ပုံ ၁၅-၂၅ 19XRV Dynaglide Transmission Assembly

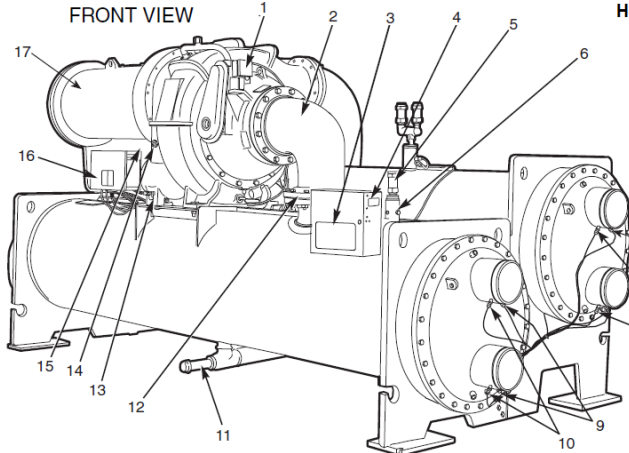


ပုံ ၁၅-၃၅ Refrigerant Flow-Thru Cross-Section Diagram (Flooded Evaporator)



ပုံ ၁၅-၃၆

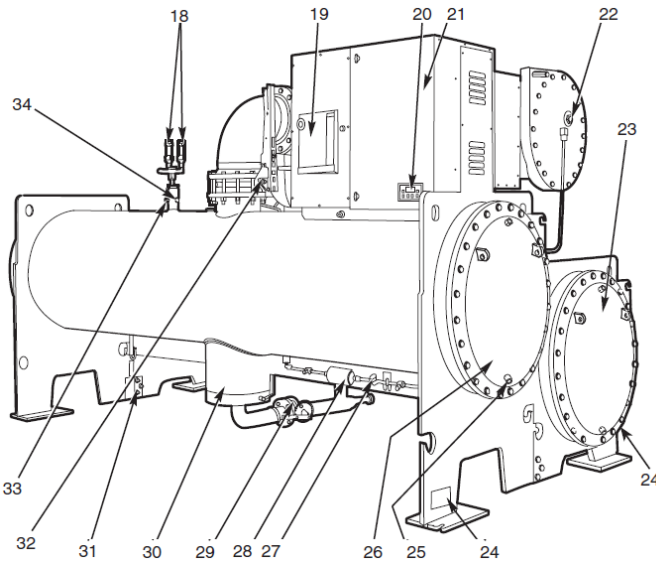
၁၅.၁၄ Typical 19XR Components



Hermetic Centrifugal Liquid Chillers (Model: 19XR, XRV)

LEGEND

- 1 — Guide Vane Actuator
- 2 — Suction Elbow
- 3 — Chiller Visual Controller/ International Chiller Visual Control (CVC/ICVC)
- 4 — Chiller Identification Nameplate
- 5 — Cooler, Auto Reset Relief Valves
- 6 — Cooler Pressure Transducer
- 7 — Condenser In/Out Temperature Thermistors
- 8 — Condenser Waterflow Device (ICVC Inputs available)
- 9 — Cooler In/Out Temperature Thermistors
- 10 — Cooler Waterflow Device (ICVC Inputs available)
- 11 — Refrigerant Charging Valve
- 12 — Typical Flange Connection
- 13 — Oil Drain Charging Valve
- 14 — Oil Level Sight Glasses
- 15 — Refrigerant Oil Cooler (Hidden)
- 16 — Auxiliary Power Panel
- 17 — Compressor Motor Housing



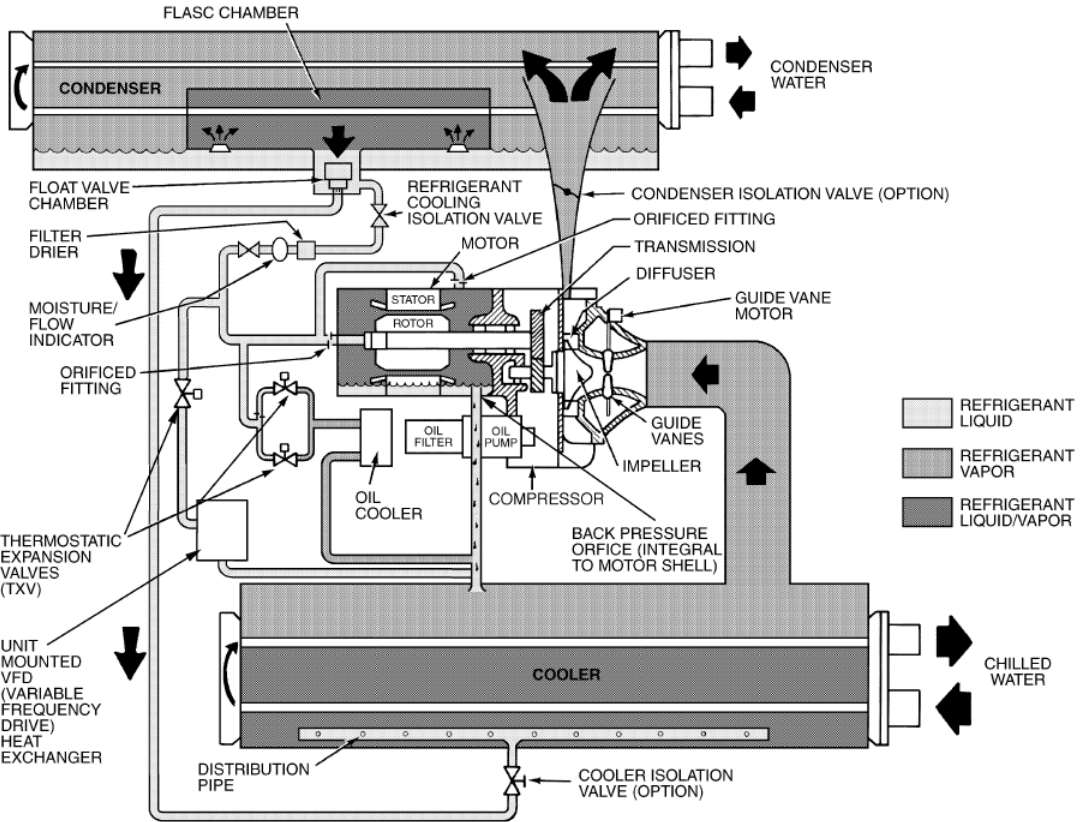
Hermetic Centrifugal Liquid Chillers (19XR, XRV)

LEGEND

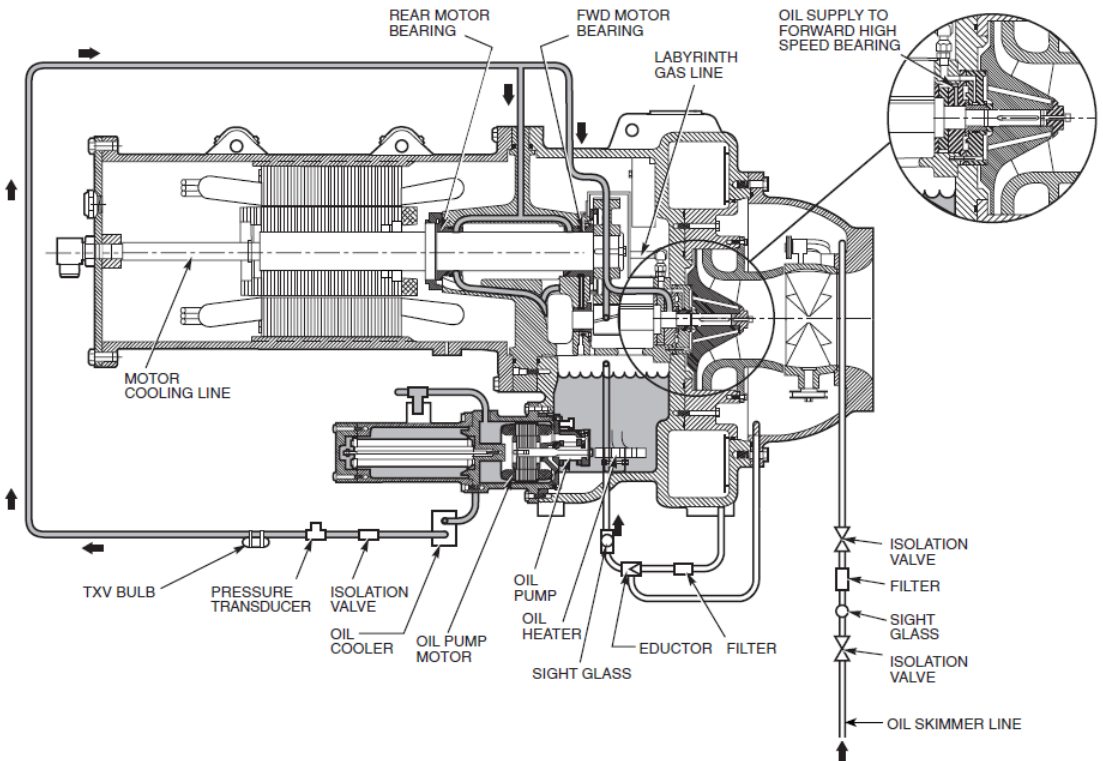
- 18 — Condenser Auto. Reset Relief Valves
- 19 — Compressor Motor Circuit Breaker
- 20 — Solid-State Starter Control Display
- 21 — Unit-Mounted Starter (Optional) Solid-State Starter Shown
- 22 — Motor Sight Glass
- 23 — Cooler Return-End Waterbox Cover
- 24 — ASME Nameplate (One Hidden)
- 25 — Typical Waterbox Drain Port
- 26 — Condenser Return-End Waterbox Cover
- 27 — Refrigerant Moisture/Flow Indicator
- 28 — Refrigerant Filter/Drier
- 29 — Liquid Line Isolation Valve (Optional)
- 30 — Linear Float Valve Chamber
- 31 — Vessel Take-Apart Connector
- 32 — Discharge Isolation Valve (Optional)
- 33 — Pumpout Valve
- 34 — Condenser Pressure Transducer



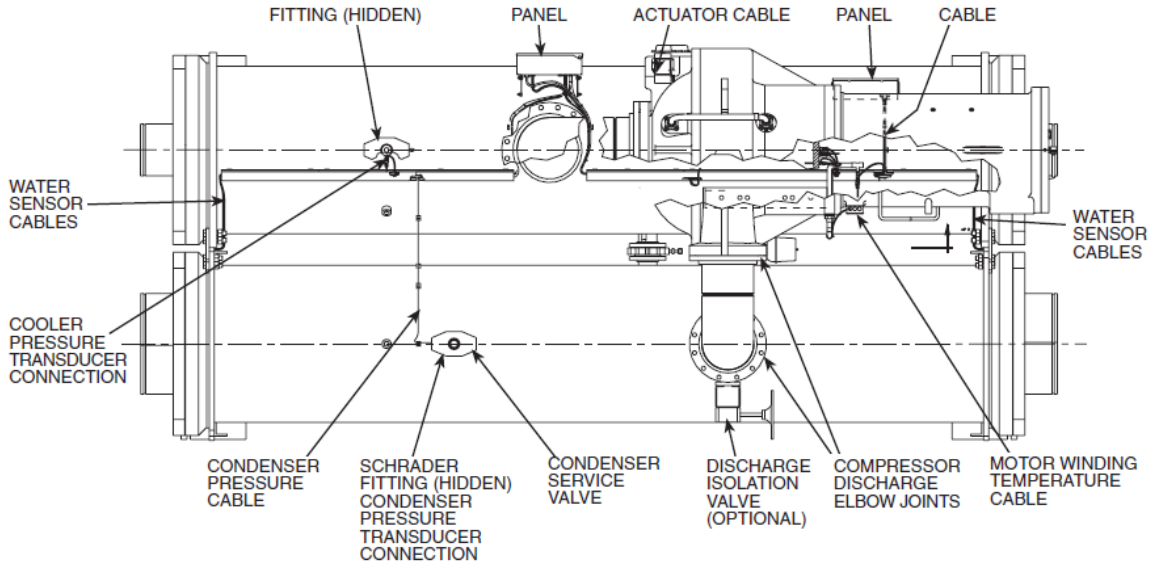
ပုံ ၁၅-၃၇



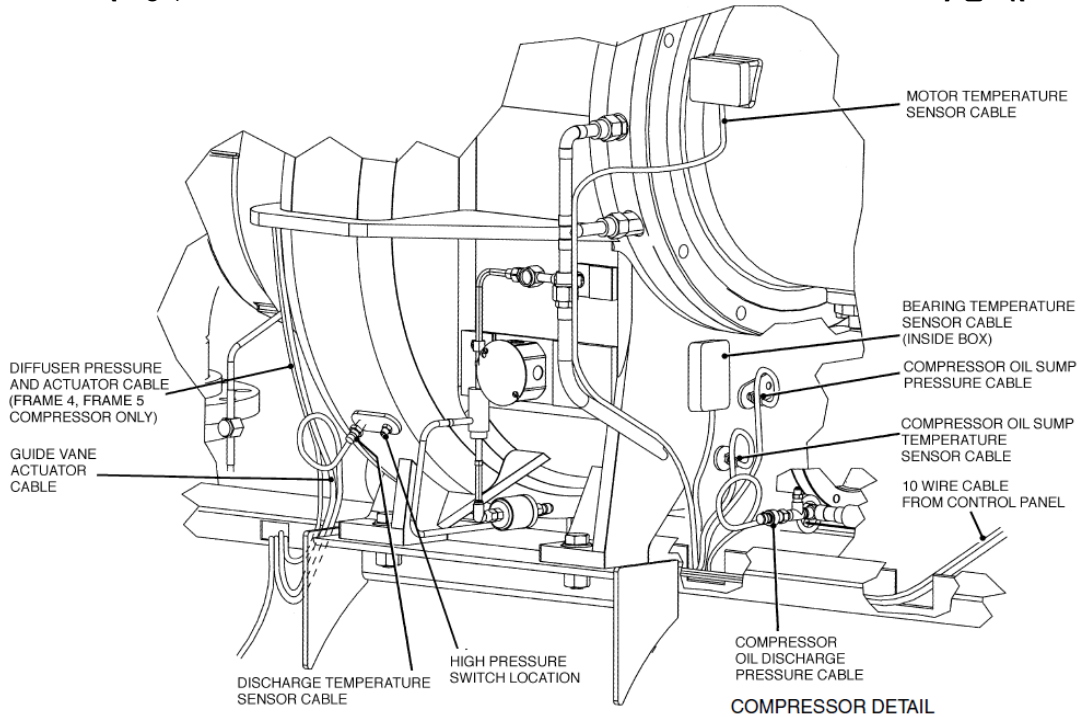
ပုံ ၁၅-၃၈ Hermetic Centrifugal Liquid Chillers (Model 19XR,XRV) Refrigerant Motor Cooling and Oil Cooling Cycles



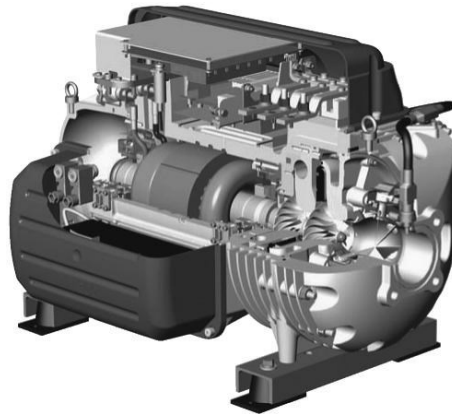
ပုံ ၁၅-၃၉ Hermetic Centrifugal Liquid Chillers (Model 19XR,XRV) Lubrication System



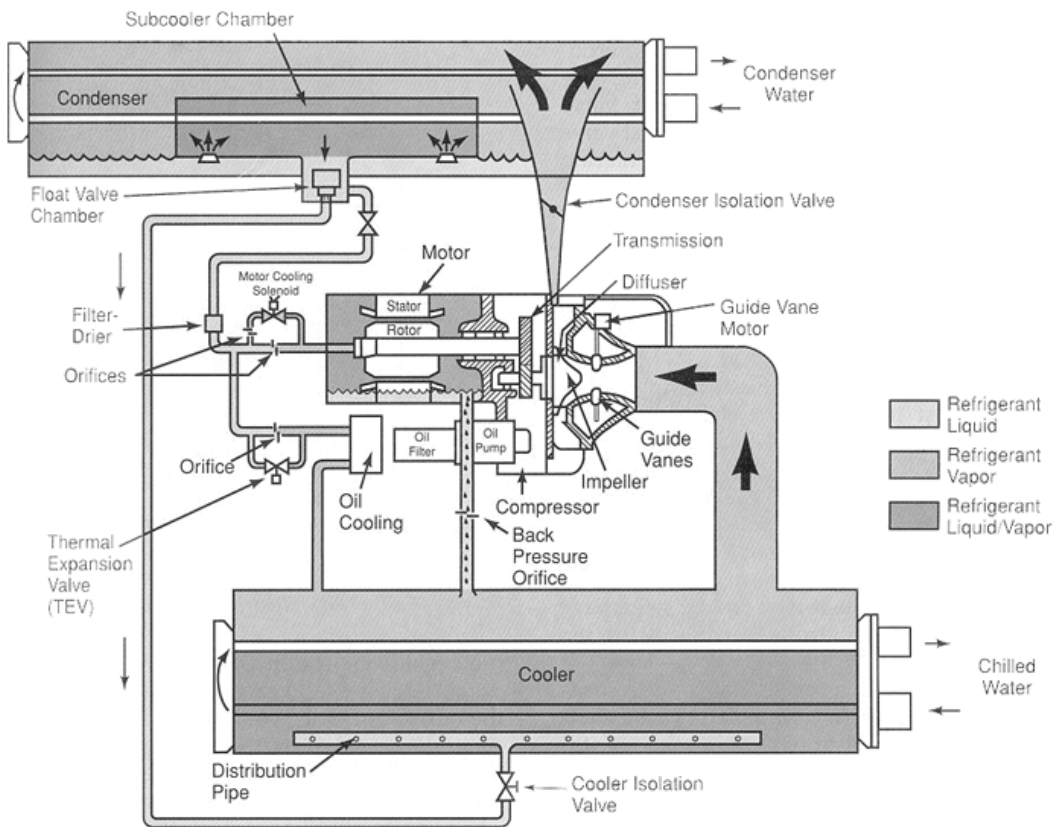
ပုံ ၁၅-၄၀ Hermetic Centrifugal Liquid Chillers (Model 19XR,XRV) အပေါ်ဘက်မှ မြင်ရပုံ



ပုံ ၁၅-၄၀ 19XR controls နှင့် sensor များ တပ်ဆင်ထားရာနေရာ



ပုံ ၁၅-၄၂ Figure 4.29 Centrifugal compressor with variable high-speed DC drive and magnetic bearings (Danfoss)



ပုံ ၁၅-၄၃ hermetic centrifugal single-stage chiller တစ်လုံး၏ refrigeration cycle



သေးပုံ(၁၅-၄၄)သည် Magnetic bearing ကို အသုံးပြုထားသောကြောင့် ချောဆီကင်းသည့် (oil-free) compression နည်းဖြစ်သည်။ lubrication system မပါဝင်ပေ။ York မှ ထုတ်လုပ်သည့် YMC2 ဖော်ဒယ် variable speed drive ဖြင့်မောင်းသည့် Magnetic bearing centrifugal chiller ဖြစ်သည်။ သံလိုက် စက်ကွင်း(magnetic field)ပြင်းအား ပေါ်တွင် ဝင်ရိုးကိုတင်ထားသောကြောင့် ပွတ်တိုက်မှု အား လုံးဝ မဖြစ်ပေါ်ပေ။

ပုံ ၁၅-၄၄ YMC2 model chiller

Subcooling for Centrifugal Chillers

R22 and R134a တို့ ၏sub-cooling ဖြစ်သည့် ပုံစံ တူညီဟုဆိုနိုင်သည်။

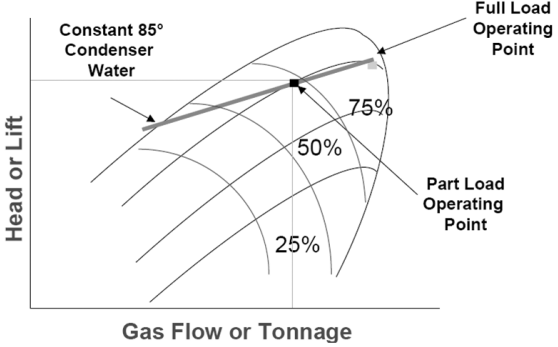
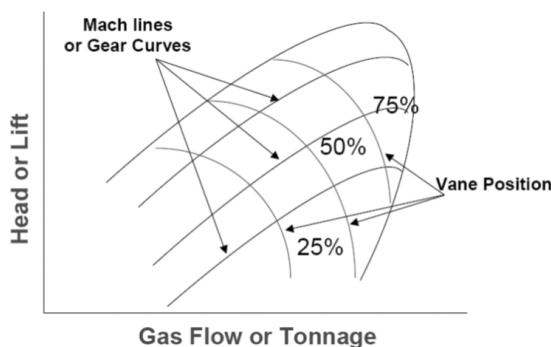
Condenser water flow rate များလေ အပူချိန်ခြားနားချက် (temperature difference) နည်းလေဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် condenser water flow rate များလေ sub-cooling ဖြစ်ပေါ်မှု နည်းလေဖြစ်သည်။ Condenser water flow rate နည်းလေ sub-cooling ဖြစ်ပေါ်မှု များလေဖြစ်သည်။

Sub-cooling ဆိုသည်မှာ condenser အတွင်း၌ refrigerant အပူချိန်ကို saturation temperature ထက် နိမ့်အောင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Refrigerant saturation temperature သည် ထိုအခိုက်တွင် ဖြစ်ပေါ်နေသည့် refrigerant ဖိအား အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

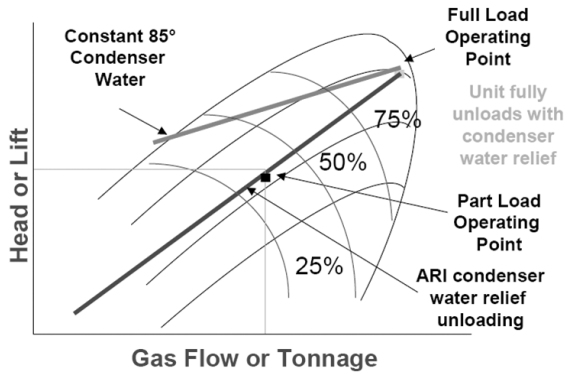
Condenser saturation temperature တန်ဖိုးမှ entering condenser water temperature တန်ဖိုး နှုတ်၍ ရသည့် တန်ဖိုးသည် maximum sub-cooling available တန်ဖိုးနှင့် တူညီသည်။

$$\text{Maximum sub-cooling available} = \text{condenser saturation temperature} - \text{entering condenser water temperature}$$

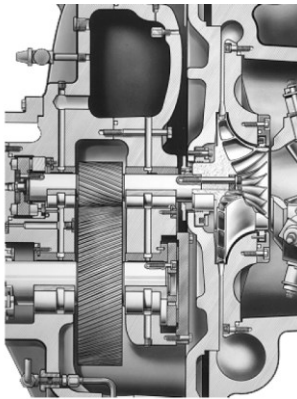
Subcooling ဖြစ်ပေါ်ရန် သာ အရေးကြီးသည်။ Subcooling ဖြစ်ပေါ်သည့် တန်ဖိုး(value) အနည်း၊ အများသည် အဓိက ကြည့်သည့်အချက် မဟုတ်ပေ။ Centrifugal chiller များ၌ subcooling ဖြစ်ပေါ်သည့် ပမာဏ (degrees of subcooling)သည် 2°F မှ 8°F အတွင်းဖြစ်နိုင်သည်။ Subcooling ဖြစ်ပေါ်သည့် ပမာဏ(degrees of subcooling)သည် condenser water flow rate၊ flow direction၊ chiller load နှင့် pass arrangement တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Subcooling ဖြစ်ပေါ်သည့် ပမာဏ(degrees of subcooling) မျှဖြစ်ပေါ်လျှင် ကောင်းသည် ဆိုသည့် သတ်မှတ်ချက် အတိအကျ မရှိပေ။ Operating condition နှင့် သင့်လျော်သည့် subcooling ဖြစ်ပေါ်သည့် ပမာဏ(degrees of subcooling) ဖြစ်ရန်သာ လိုအပ်သည်။



ပုံ ၁၅-၄၅ Compressor map_GS

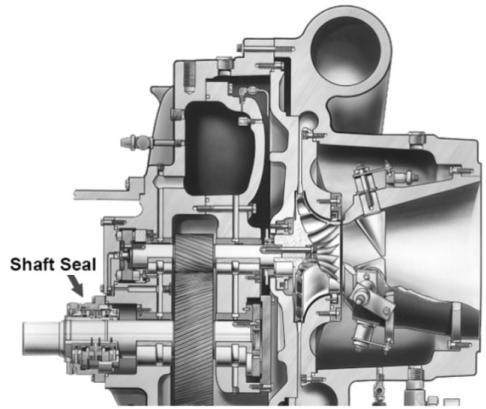


ပုံ ၁၅-၄၆



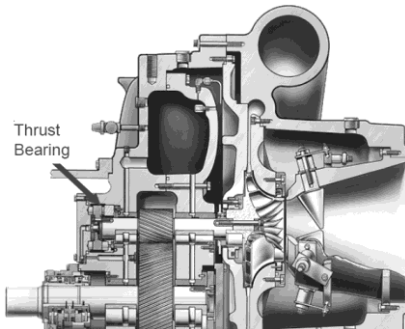
ပုံ(၁၅-၄၇)

Journal Bearings in Centrifugal Compressors



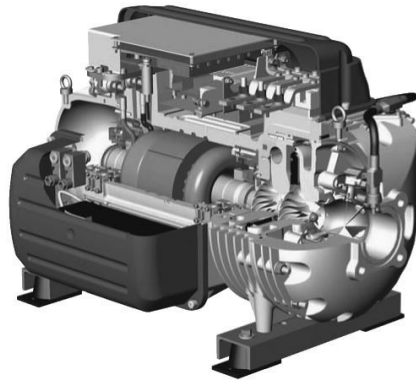
ပုံ(၁၅-၄၈)

Centrifugal compressors shaft seal



ပုံ(၁၅-၄၉)

Thrust Bearings in Centrifugal Compressors



ပုံ(၁၅-၅၀)

Figure 23–62 Oil-free centrifugal compressor with variable-frequency drive (VFD), onboard digital electronic controls, and magnetically levitated bearings. Courtesy Danfoss Torbocor Compressors, Inc.

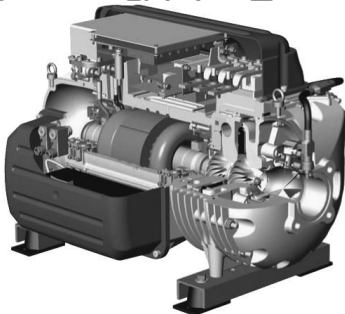


MAGNETIC BEARINGS LEVITATE THE ROTOR SHAFT

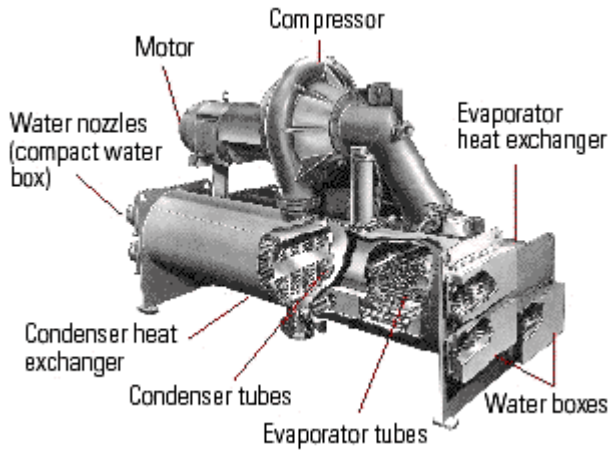
ပုံ(၁၅-၅၁)Figure 23–63 (A) Rotor shaft, centrifugal impellers, and magnetically levitated bearings. (B) Rotor shaft shown cushioned on magnetically levitated bearings. (A) and (B) Courtesy Danfoss Torbocor Compressors, Inc.

၁၅.၁၅ Turbo Compressors

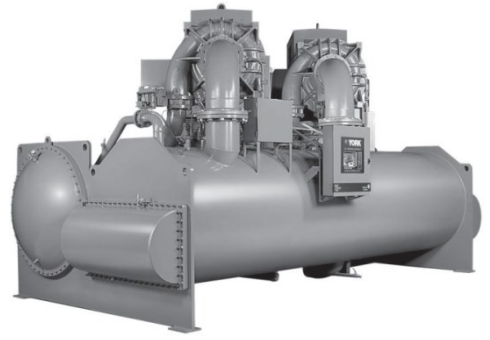
Refrigeration နည်းပညာတွင် turbo compressor များကို centrifugal compressor များအဖြစ် သတ်မှတ်ကြသည်။ efficiency သိပ်မကောင်းပေ။ tip speed ကိုလိုသလောက် မြှင့်တက်၍ မရနိုင်သောကြောင့် discharge pressure လိုသလောက် မရနိုင်ပေ။ impeller များ ထပ်ထားပြီး compression pressures မြင့်မားအောင်ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Air conditioning and water chilling system များတွင် အသုံးများသည်။



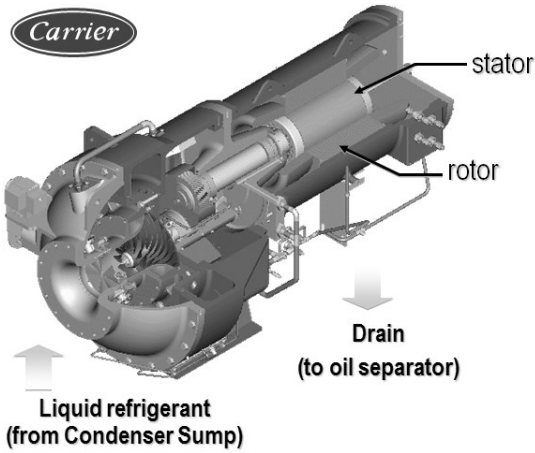
ပုံ(၁၅-၅၂)Figure 23–62 Oil-free centrifugal compressor with variablefrequency drive (VFD), onboard digital electronic controls, and magnetically levitated bearings. Courtesy Danfoss Torbocor Compressors, Inc.



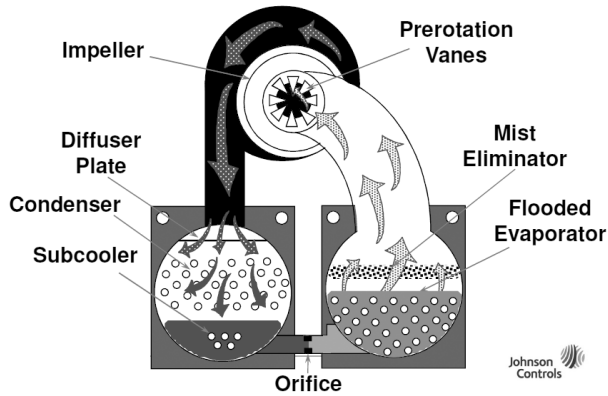
ပုံ ၁၅-၅၃ Centrifugal chiller



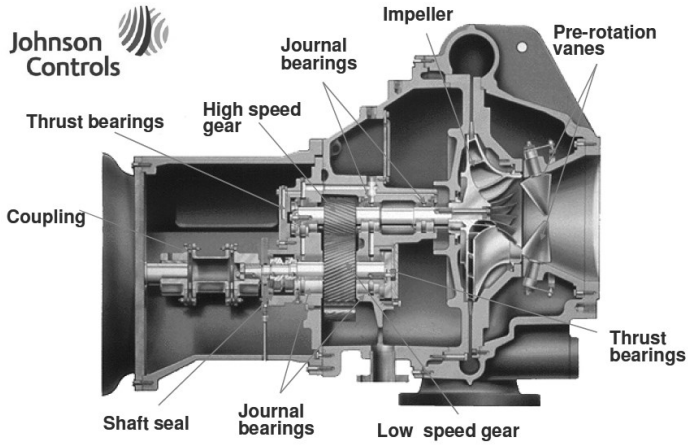
ပုံ ၁၅-၅၄ Centrifugal compound chiller



ပုံ ၁၅-၅၅ Carrier 19XR Centrifugal Hermetic Compressor



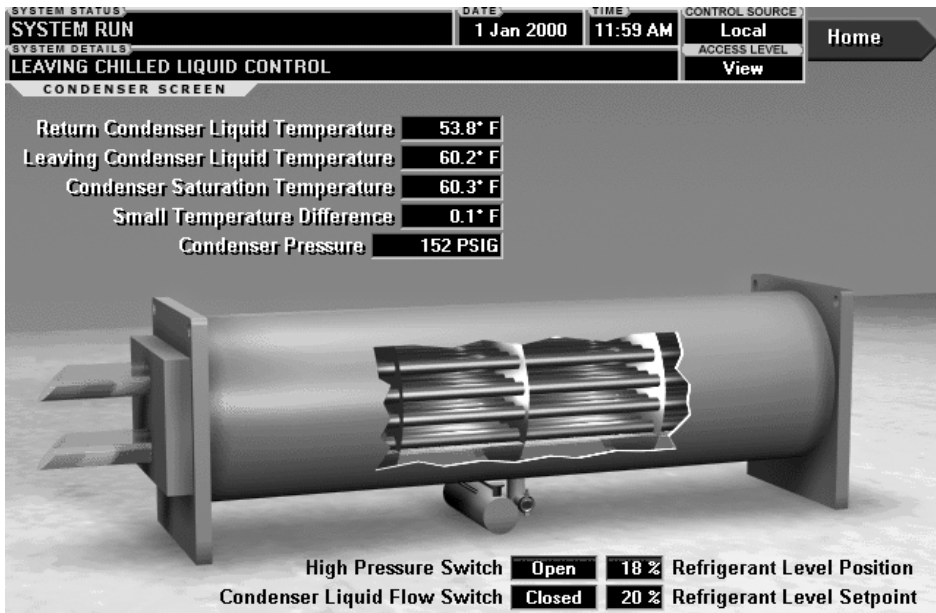
ပုံ ၁၅-၅၆ YK centrifugal chiller



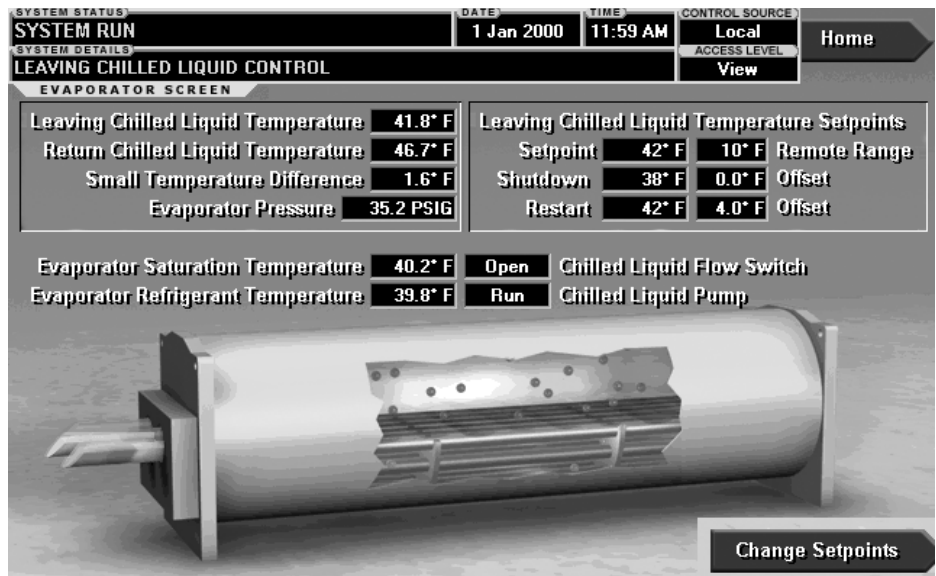
ပုံ ၁၅-၅၇ YK centrifugal chiller compressor

SYSTEM STATUS		DATE	TIME	CONTROL SOURCE	
SYSTEM RUN		1 Jan 2000	11:59 AM	Local	Home
SYSTEM DETAILS				ACCESS LEVEL	
LEAVING CHILLED LIQUID CONTROL				View	
SYSTEM SCREEN					
Discharge Temperature	98.1° F	Oil Sump Temperature	123.7° F		
% Full Load Amps	55%	Oil Pressure	34.3 PSID		
Current Limit	100%				
Condenser Liquid Temperature			Chilled Liquid Temperature		
Leaving	60.2° F	Leaving	41.8° F		
Return	53.8° F	Return	46.7° F		
		Setpoint	45° F		
Condenser Pressure	57.8 PSIG	Evaporator Pressure	35.2 PSIG		
Condenser Saturation	60.3° F	Evaporator Saturation	40.2° F		

ပုံ ၁၅-၅၈ YK centrifugal chiller compressor



ပုံ ၁၅-၅၉ YK centrifugal chiller compressor



ပုံ ၁၅-၆၀ YK centrifugal chiller compressor

Contents

၁၅.၁ Dynamic Compressors 1

၁၅.၂ Centrifugal Compressors 3

 ၁၅.၂.၁ Centrifugal Compressor Theory 1

 ၁၅.၂.၂ Centrifugal Chiller အမျိုးအစားများ 1

၁၅.၃ System Components 10

 ၁၅.၃.၁ Evaporator 10

 ၁၅.၃.၂ Condenser..... 10

၁၅.၃.၃ Vessel Pass Arrangements 10

 ၁၅.၃.၄ Flash Cooler 10

 ၁၅.၃.၅ Orifice Plates or Float Valves 10

 ၁၅.၃.၆ Variable Orifice 10

 ၁၅.၃.၇ Purge Unit..... 10

၁၅.၄ Water Cooled Centrifugal Chiller အလုပ်လုပ်ပုံ..... 14

၁၅.၅ Performance Rating Conditions 15

၁၅.၆ Centrifugal Compressor Performance Map 16

 ၁၅.၆.၁ Centrifugal Compressor Map at Variable Speed..... 16

 ၁၅.၆.၂ Velocity components 16

၁၅.၇ Surge of Centrifugal Compressor 19

 ၁၅.၇.၁ Two-Stage Compressors Surge Less and Later 19

 ၁၅.၇.၂ Prevention of Surge..... 19

 ၁၅.၇.၃ Rotating stall and Surge of Centrifugal Chillers 19

 ၁၅.၇.၄ Impeller and Vane-diffuser stall 19

 ၁၅.၇.၅ Vane less-diffuser stall..... 19

 ၁၅.၇.၆ Compressor Surge and Stall 19

၁၅.၈ Capacity Control of Centrifugal Chillers..... 23

 ၁၅.၈.၁ Required System Head at Part-Load Operation 23

 ၁၅.၈.၂ Capacity Control Using Inlet Vanes..... 23

 ၁၅.၈.၃ Inlet Guide Vane (Pre-Rotation Vane):..... 23

 ၁၅.၈.၄ Capacity Control by Variable Speed 23

 ၁၅.၈.၅ Comparison between Inlet Vanes and Variable Speed..... 23

၁၅.၉ Oil System 28

၁၅.၁၀ Functional Controls and Optimizing Controls 29

 ၁၅.၁၀.၁ Chilled Water Leaving Temperature Control..... 29

 ၁၅.၁၀.၂ Condenser Water Temperature Control..... 29

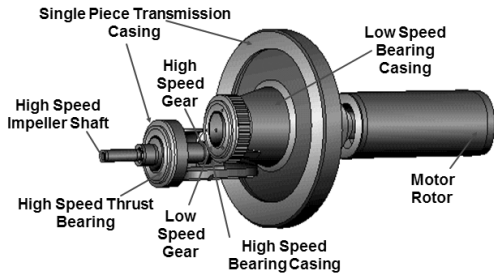
၁၅.၁၂ Sequence of Operation of a Typical Centrifugal Chiller.....30

၁၅.၁၃ System Balance at Full Load.....31

 ၁၅.၁၃.၁ Evaporating and Condensing Temperatures at Part-Load Operation.....

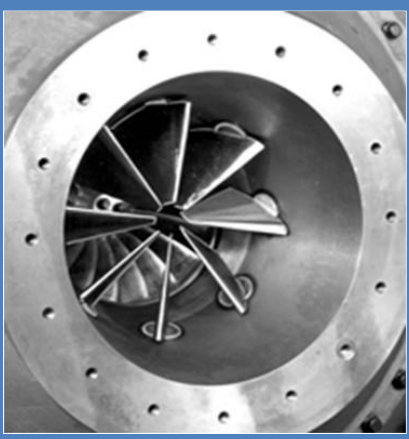
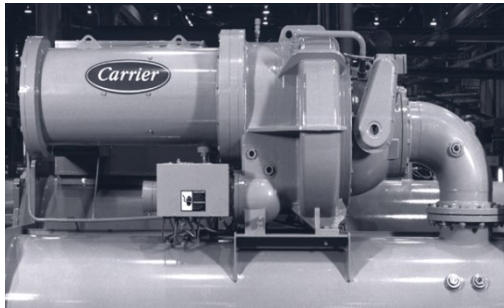
၁၅.၁၄ Typical 19XR Components.....34

 ၁၅.၁၅ Turbo Compressors

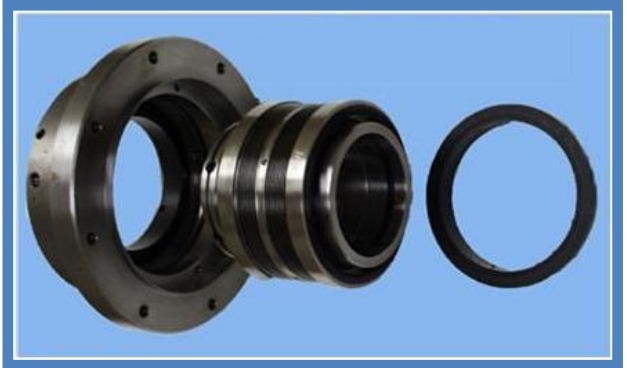



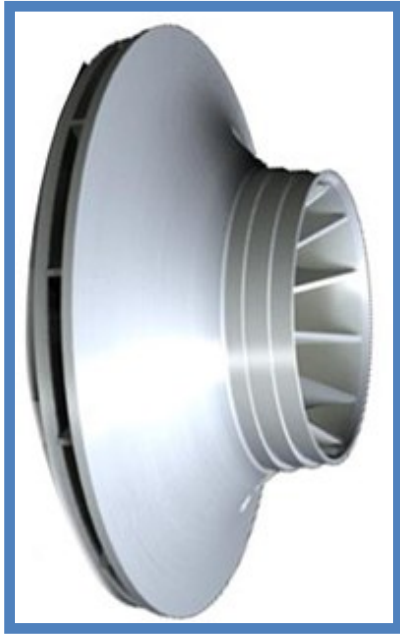
ပုံ ၇- Semi-Hermetic Motor

ပုံ ၇- Inlet guide vane



PRVs

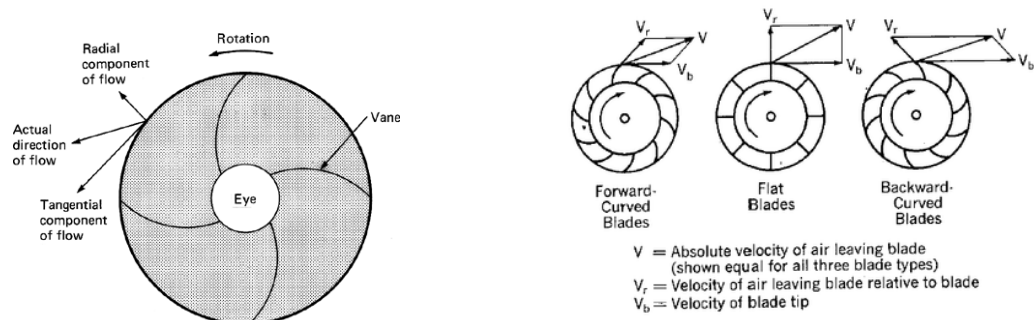


	
<p>GEARS</p>	<p>IMPELLER</p>

surge is the high discharge pressure, which is a fault condition. Because of nature of compression process, the flow through the compressor can become unstable if the compressor is required to produce a pressure rise in excess of its design limit. Typically the faults are:

- (o) Excessive fouling of the condenser,
- (j) A partial failure of the condenser coolant flow,
- (p) Or accumulation of a non condensable gas in the condenser

To prevent surge from occurring, internal hot gas bypass may be used to allow capacity to be reduced while maintaining sufficient gas flow through the compressor. Alternatively, a variable frequency drive option could be considered to vary compressor speed in relation to control capacity. Generally, speed control improves efficiency over inlet vane control down to about 55% of rated capacity; while inlet vane control is more efficient below 55% of rated capacity.

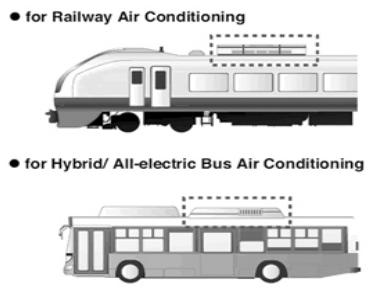


Chapter-16 Scroll Compressors and Chillers

ACMV နှင့် HVAC တွင် scroll ၊ single blade (fixed vane) ၊ rotating vane နှင့် screw (helical-rotary) စသည့် rotary compressor များကို အသုံးပြုကြသည်။ အငယ်စားလုပ်ငန်းများအတွက် single blade နှင့် rotating vane compressor များကို အသုံးပြုကြသည်။ Efficiency ပိုကောင်းခြင်း၊ part-load performance ကောင်းခြင်း နှင့် operating characteristics သာလွန်ခြင်းတို့ကြောင့် အရွယ်အစားသေးငယ်သည့် chiller (400 tons capacity အထိ) များတွင် reciprocating compressor များအစား scroll compressor များကို တစ်စထက်တစ်စ ပို၍ အသုံးပြုလာကြသည်။



ပုံ ၁၆-၁ Scroll compressor



ပုံ ၁၆-၂ ရထားနှင့် ကားများတွင် scroll compressor တပ်ဆင်ပုံ

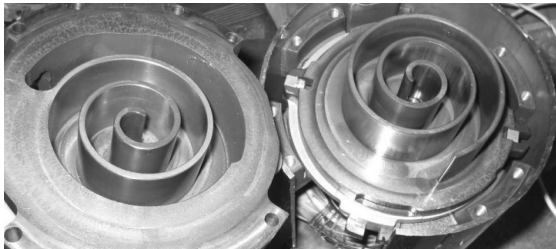
၁၆.၁ Rotary Compressors

Rotary compressor များကို ဒီဇိုင်း configuration လေးမျိုးဖြင့် တွေ့မြင်နိုင်သည်။

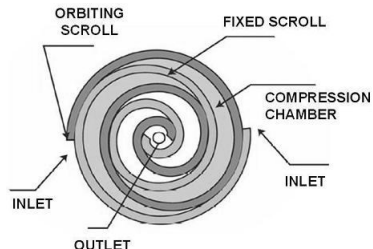
- (၁) Rolling piston
- (၂) Rotating vane
- (၃) Screw နှင့်
- (၄) Scroll တို့ ဖြစ်သည်။

Rotary motion သို့မဟုတ် circular motion ဖြင့် ဖိသိပ်ခြင်း (compression) ပြုလုပ်သောကြောင့် rotary compressor များ ဟုခေါ်ဆိုသည်။ Rotor လည်ပတ်နေအောင် eccentric shaft ဖြင့် မောင်းပေးသည်။ ဆလင်ဒါ (cylinder) နှင့် rotor အကြားရှိ ဝင်ပေါက် (suction port) မှ တစ်ဆင့် gas များ ဝင်ရောက်လာသည်။ Rotor လည်နေသောကြောင့် gas များကို ဖိသိပ်သည်။ တခြားတစ်ဖက်တွင် ရှိသည့် ထွက်ပေါက် (discharge port) မှ

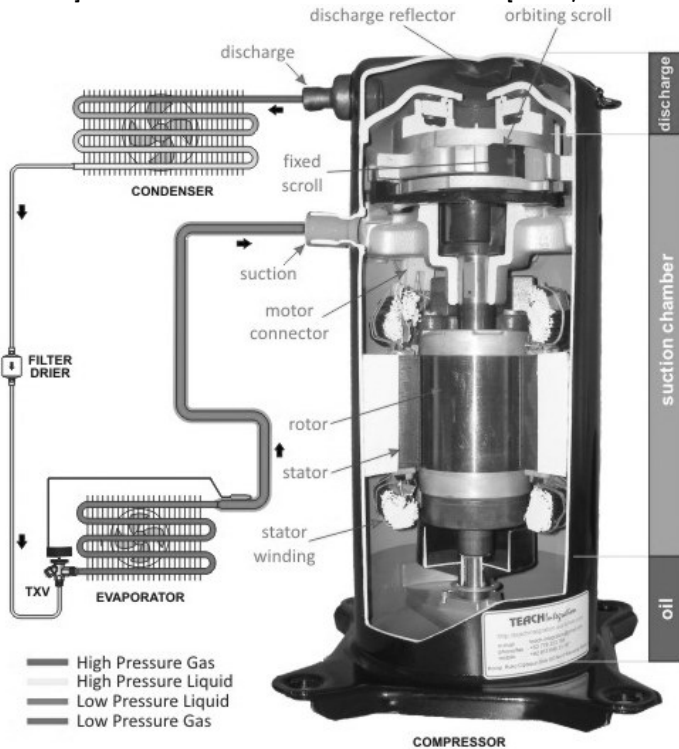
တစ်ဆင့် ဖိအား မြင့်သည့် gas များထွက်သွားသည်။ Rotary compressor များကို domestic refrigeration များတွင် အလွန် အသုံးများသည်။



ပုံ ၁၆-၃ Fixed scroll နှင့် orbitingscroll



ပုံ ၁၆-၄ Scroll mechanism



ပုံ ၁၆-၅ Scroll compressor နှင့် refrigeration circuit

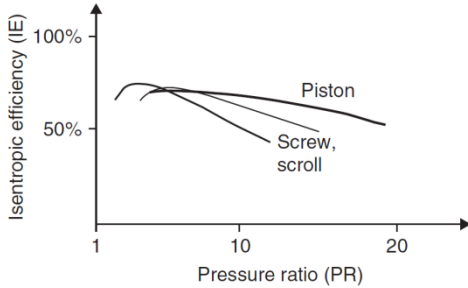
၁၆.၂ Scroll Compressor

Scroll mechanism အကြောင်းကို နှစ်ပေါင်းများစွာက စတင် သိရှိခဲ့ကြသော်လည်း ၁၉၀၅ ခုနှစ်တွင် ပြင်သစ်နိုင်ငံ၌ မူပိုင်ခွင့်(patent) ပြုလုပ်ခဲ့သည်။ နှစ်ပေါင်းများစွာကြာမှသာ ထုတ်လုပ်သည့်နည်းပညာများ တိုးတက်လာသောကြောင့် စီးပွားဖြစ် ထုတ်လုပ်ရောင်းချနိုင်ခဲ့ကြသည်။ Scroll compressor များသည် reciprocating compressor များကဲ့သို့ပင် refrigerant vapor များကို pocket တစ်ခုအတွင်း၌ ပိတ်မိနေစေပြီး ထုထည်ကို တဖြည်းဖြည်း လျော့ချခြင်းဖြင့် ဖိအား မြင့်တက်စေခြင်းဖြစ်သည်။

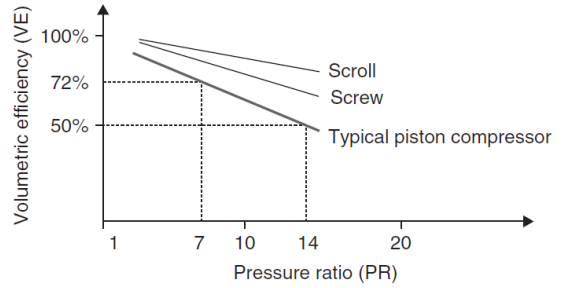
Scroll compressor နှင့် screw compressor တွင် တူညီသည့် အချက်များစွာရှိသည်။ Scroll နှင့် screw တွင် built in volume ratio ရှိသောကြောင့် Isentropic Efficiency(IE) curve နှစ်ခုသည် ပုံသဏ္ဍာန် တူညီကြသည်။ Clearance volume မရှိသောကြောင့် re-expansion loss မဖြစ်ပေါ်ပေ။ အဓိကကွာခြားချက်မှာ compression pocket များကို sealing လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Screw တွင် rotor နှင့် casing အကြားနေရာတွင် seal ဖြစ်ပြီး scroll တွင် contacting seal ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် scroll နှစ်ခုသည် pocket boundary နေရာတွင် ထိကပ်နေခြင်းဖြင့် seal လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Orbiting motion ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် velocity သည် rotating motion

ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် velocity ထက် နှေးသောကြောင့် scroll compressor များ တွင် contacting seal ကို အသုံးပြုနိုင်ခြင်း ဖြစ်သည်။

ထို့အပြင် အဝင်ပေါက်(suction port) နှင့် အထွက်ပေါက်(discharge port) နေရာသို့ ဆက်သွယ်ထားသည့် တိုက်ရိုက် လမ်းကြောင်း(direct path) မရှိသောကြောင့် ယိုစိမ့်မှု ဖြစ်ပေါ်နိုင်သော်လည်း အလွန်နည်းသည်။ Heat transfer loss အလွန်နည်းသည်။ ပုံ(၁၆-၇)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း တခြားသော compressor များနှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် Volumetric Efficiency (VE) characteristic ပိုကောင်းသည်။



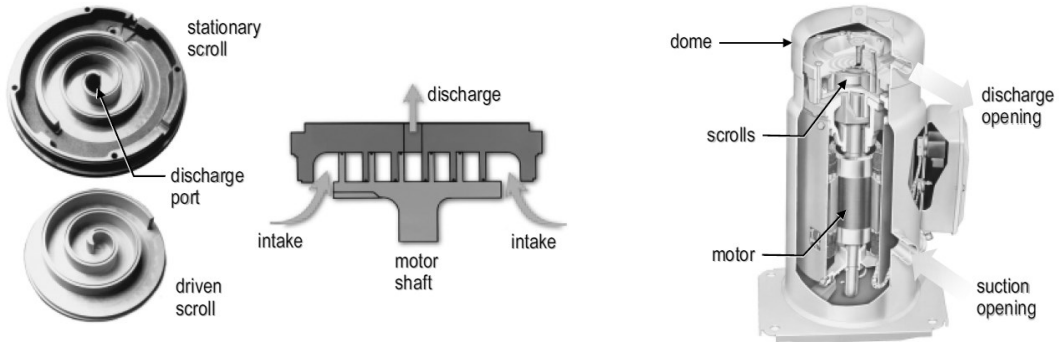
ပုံ ၁၆-၆ Typical IE characteristics for various compressor types



ပုံ ၁၆-၇ Typical VE characteristics for various compressor types

ထိုအချက်များကြောင့် displacement volume နည်းနည်းသာလိုအပ်သည့်အခါ scroll compressor များသည် screw compressor များထက် ပိုမိုသာလွန်ပြီး၊ စွမ်းဆောင်ရည် ပိုကောင်းသည်။ ထုတ်လုပ်သူများက စီးပွားရေးအရ တွက်ခြေကိုက်သည့် အရွယ်အစားများကိုသာ ထုတ်လုပ်ကြသည်။

ပုံ(၁၆-၁၀)တွင် scroll compressor ၏ gas compression process ကို ဖော်ပြထားသည်။ Scroll Compressor များ အားလုံးကို hermetic အမျိုးအစား(type) အဖြစ်သာ ထုတ်လုပ်ကြသည်။ Air-conditioning လုပ်ငန်းများအတွက် reciprocating အမျိုးအစား hermetic compressor များထက် ပိုကောင်းသည့်အချက်များစွာ ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် သေးငယ်သည့် scroll compressor များကို စီးပွားဖြစ် အမြောက်အများ ထုတ်လုပ်ကြသည်။



ပုံ ၁၆-၈ Scroll compressor

Scroll compressor များသည် positive displacement machine များဖြစ်ကြသည်။ အခွေ ပုံသဏ္ဍာန် ဖြစ်နေသည့်အရာနှစ်ခု(two scroll elements)ဖြင့် refrigerant gas များကို ဖိသိပ် သောကြောင့် scroll compressor ဟုခေါ်သည်။ Scroll တစ်ခုသည် ပတ်လမ်းအတွင်း၌ အမြဲရွေ့လျားနေပြီး ကျန်တစ်ခုသည် အမြဲရပ်နေသည်။ ရွေ့လျားနေသည့် scroll ကို "orbiting" ဟုခေါ်ပြီး ရပ်နေသည့် scroll ကို "fixed scroll" ဟုခေါ်သည်။ ရပ်နေသည့် scroll ၏ အလည်နေရာကို ဗဟိုပြု၍ အဝိုင်းပတ်အတိုင်း(offset circular path)လည်ပတ်နေသည်။

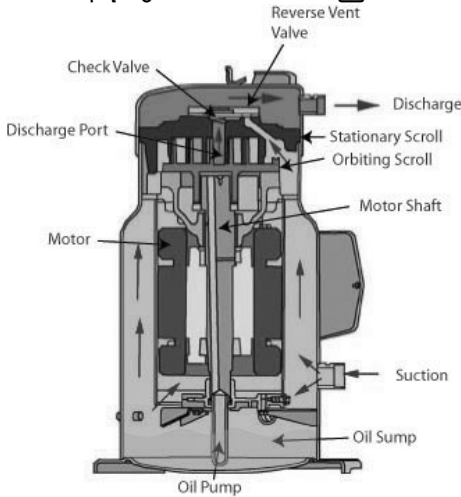
ထိုoffset circular path အတိုင်း ရွေ့လျားနေသောကြောင့် scroll နှစ်ခုအကြားတွင် compression pocket များဖြစ်ပေါ်လာသည်။ ဖိအားနိမ့်သည့် suction gas များသည် pocket အကြားတွင် ပိတ်မိနေသည်။ ရွေ့လျားမှုကြောင့် pocket သည် အလည်နေရာသို့ ရွေ့လျားနေပြီး ထုထည် လျော့နည်းလာသည်။ အလည်ဗဟိုရှိ

Chillers and Chilled Water Systemsကောင်းထက်ညွန့်

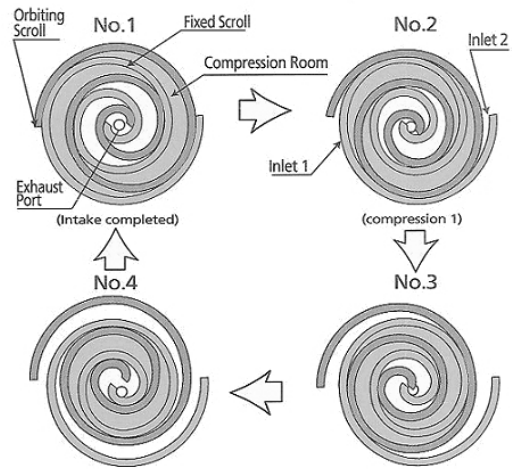
discharge port သို့ရောက်သည့်အခါ အမြင့်ဆုံး ဖိအားဖြစ်ပေါ်သည်။ Compression process အတွင်း၌ pocket ပေါင်းများစွာ အဆက်မပြတ် ဖြစ်ပေါ်သည်။

Scroll ၏ အပြင်ဘက်ပိုင်း(outer portion)တွင် suction process နှင့် အတွင်းဘက်ပိုင်း(inner portion) တွင် discharge process အဆက်မပြတ် ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ အဆက်မပြတ်(continuous process) ဖြစ်ပေါ် နေသောကြောင့် scroll compressor ကို မောင်းသည့်အခါ အလွန်သိမ့်မွေ့ညင်သာသည်။

အဆက်မပြတ်(continuous process)မောင်းနေသောကြောင့် suction valve များ နှင့် discharge valve များ တပ်ဆင်ထားရန် မလိုအပ်ပေ။ Compressor ကို ရပ်တန့်(switched off) လိုက်သည့် အခိုက်အတန့်၌ နောက်ပြန်မောင်းခြင်း(running backwards) မဖြစ်ပေါ်အောင် check valve ကို discharge port ၏ အနီးကပ်ဆုံး အပေါ်ဘက်နေရာတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။

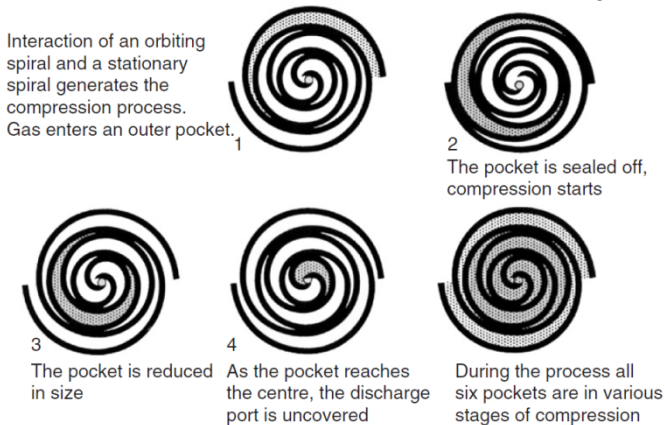


A: Cutaway diagram of a scroll compressor



B: Scroll mechanism ရွေ့လျားပုံ

ပုံ ၁၆-၉ Basic compression representation of a scroll compressor တစ်လုံး၏ compression ပြုလုပ်ပုံ

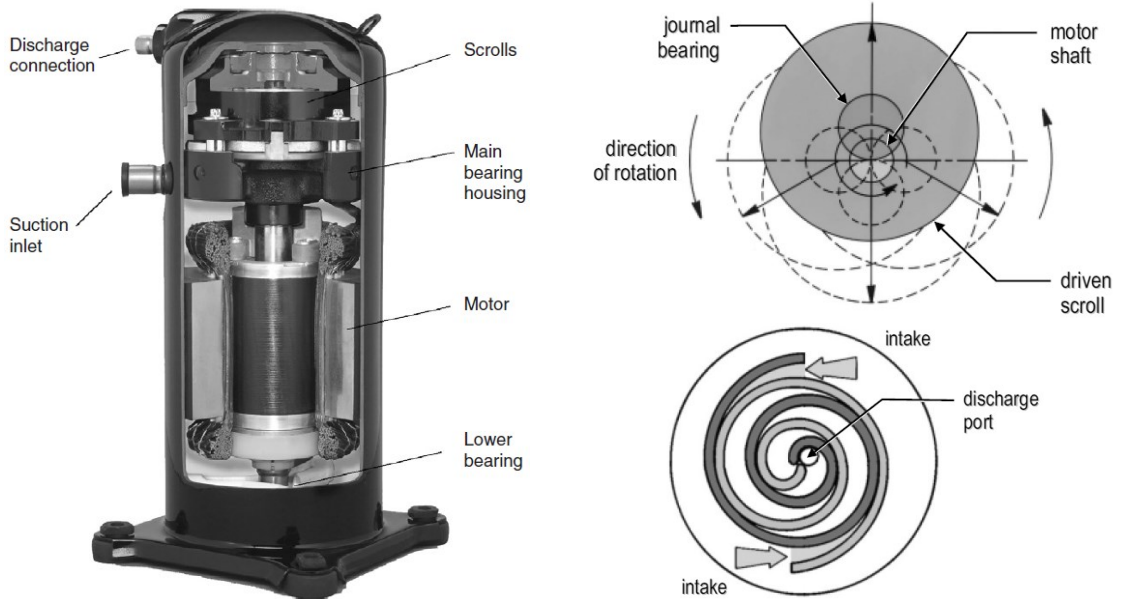


ပုံ ၁၆-၁၀ Scroll gas compression process (Emerson Climate Technologies)

Scroll compressor ၏ volumetric curve သည် မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း(flat)ဖြစ်နေသောကြောင့် cooling capacity ပိုများများ ရနိုင်သည်။ မောင်းသည့်အခါ အသံဆူညံမှုအလွန်နည်းသည်။ လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်း အနည်းငယ်သာ ပါဝင်သောကြောင့် စိတ်ချရမှု(reliability) ပိုကောင်းသည်။

Scroll compressor သည် liquid floodback ဖြစ်ပေါ်ခြင်း၊ ဝန်မပါဘဲစတင်မောင်းခြင်း(unloaded starting) နှင့် ဖိအား အလွန်များခြင်း၊ နည်းခြင်း စသည့် fault အခြေအနေများတွင် ခံနိုင်ရည်မြင့်မားသည်။ အမှားခံနိုင်သည်။ Compression process အတွင်းသို့ ချောဆီများ ထည့်သွင်းပေးရန် မလိုအပ်ပေ။ သို့သော် bearing နှင့် thrust

surface များတွင် ချောဆီ လုံလောက်အောင် ရရှိရန် အထူးလိုအပ်သည်။ အပေါ်ဘက်ရှိ drive bearing မှ ချောဆီများကို ထည့်ပေးသည်။ ဝင်ရိုး(shaft)လည်ပတ်နေသောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် centrifugal force ဖြင့် တခြားနေရာများသို့ ချောဆီများ ပျံ့နှံ့သွားသည်။



ပုံ ၁၆-၁၁ Scroll gas compressor and scroll mechanism

Variable Speed Drive(VSD) များဖြင့် scroll compressor ကို capacity control ပြုလုပ်နိုင်သည်။ နောက်ဆုံးပေါ် capacity control ပြုလုပ်နည်းသည် scroll နှစ်ခုကို ကွာသွားအောင် ခွဲခြားထားသည့်နည်း ဖြစ်သည်။ Scroll နှစ်ခုကို ဝင်ရိုးအတိုင်း ကွာသွားအောင်ပြုလုပ်လိုက်လျှင် capacity သည် သုညနီးပါး ကျဆင်းသွားသည်။ မော်တာသည် မြန်နှုန်းပုံသေဖြင့် မောင်းနှင်သော်လည်း စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု အလွန်နည်းသွားသည်။ ထိုအချိန်တွင် ဖိအားမြင့်သည့်ဘက်(high-pressure side)မှ gas များ ပြန်မဝင်ရောက်နိုင်အောင် discharge valve ဖြင့် တားဆီးထားနိုင်သည်။ Cooling capacity လိုအပ်သည့်အခါ scroll နှစ်ခုကို ပုံမှန်နေရာသို့ ရောက်အောင်ပြု လုပ်နိုင်သည်။

တိကျအောင်တွန်းနိုင်သည့် hydraulic piston ဖြင့် axial movement ရအောင်ပြုလုပ်ပြီး မရွေ့လျားနိုင်သည့် (fixed)scroll ကို ကွာအောင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Controller မှ ထုတ်ပေးသည့် pulse width modulated signal ဖြင့် hydraulic piston ကို control လုပ်သည်။ Control cycle တစ်ခုလုံး၏ကြာချိန်သည် ၈၀၀နဲ့(၂၀)ခန့်ဖြစ်သည်။ Loaded period သည် cooling load လိုအပ်ချက်ကိုလိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ Cycle time သည် အလွန် တိုတောင်းသောကြောင့် အဆက်မပြတ်မောင်းနှင်သကဲ့သို့သာ ထင်ရပြီး capacity လျော့ချနိုင်ခြင်း ဖြစ်သည်။

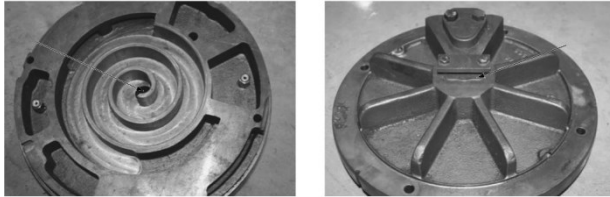
Refrigeration လုပ်ငန်း သို့မဟုတ် အပူချိန် နိမ့်နိမ့် (low-temperature) လိုအပ်သည့်လုပ်ငန်းများ အတွက် screw compressor များတွင် သေးငယ်သည့် discharge port ပါရှိခြင်းကြောင့် အလွန်မြင့် pressure ratio ရရှိနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် lower temperature application များတွင် အသုံးဝင်သည်။

Reciprocating compressor များတွင် တပ်ဆင်လေ့ရှိသည့် discharge valve ကို တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် ဖိအားနိမ့်ကျခြင်း(under compression) မဖြစ်အောင် ကာကွယ်နိုင်သည်။ Capacity ပိုများစေရန် နှင့် efficiency ပိုကောင်းစေရန်အတွက် economizer ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

Reciprocating compressor များအစား scroll ကို စီးပွားရေးလုပ်ငန်း(commercial application)များတွင် အသုံးပြုနိုင်ရန်အတွက် နည်းပညာများကို ရှာဖွေခဲ့ကြသည်။ ယခင်အချိန်က ကြီးမားသည့် scroll compressor များကို တည်ဆောက်ရန် အခက်အခဲရှိသော်လည်း ယခုအခါ စီးပွားဖြစ် ထုတ်လုပ်နိုင်ပြီ ဖြစ်သည်။ Scroll နှစ်ခုပါသည့် (dual

scroll) compressor ကို တီထွင်နိုင်ခဲ့သည်။ Scroll နှစ်ခုအနက် တစ်ခုကို idling ဖြစ်အောင်ပြုလုပ်လိုက်လျှင် capacityထက်ဝက်ခန့် လျော့နည်းသွားသည်။

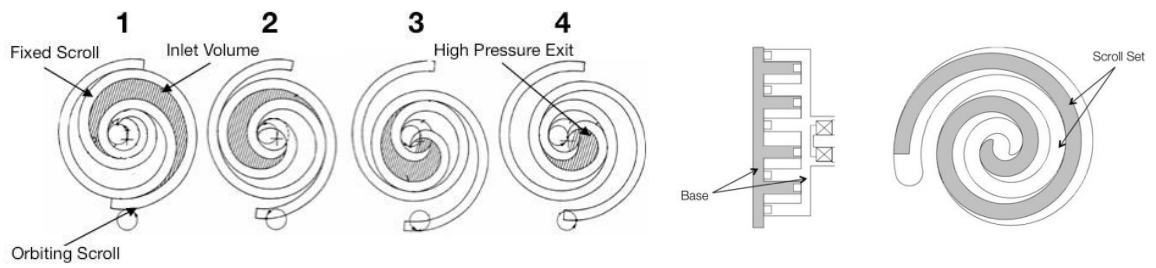
၁၆.၃ Scroll Compressorတည်ဆောက်ပုံ



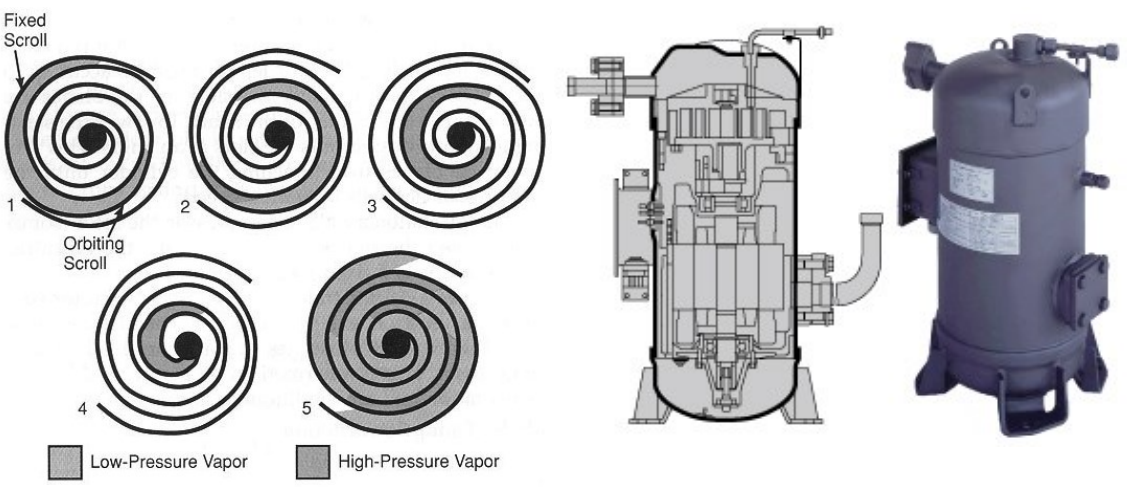
ပုံ ၁၆-၁၂(A) Nonorbiting or "fixed" scroll နှင့် orbiting scroll

ပုံ(၁၆-၁၂)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း scroll compressor တွင် stationary (fixed) တစ်ခုနှင့် orbiting scroll တစ်ခု ပါဝင်သည်။ Scroll နှစ်ခုကို မျက်နှာချင်းဆိုင် အပ်ထား(mated face-to-face)သည်။ Refrigerant vapor များ ယိုစိမ့်ခြင်း(leakage)မဖြစ်အောင် ထိနေသည့် scroll နှစ်ခု၏ ထိပ်တွင် ချောဆီလွှာ(fine layer of oil)ဖြင့် ဖုံးအုပ်ထားသည့် seal များ တပ်ဆင်ထားသည်။

အပေါ်ဖက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် scroll သည် stationary scrollသို့မဟုတ် fixed scrollဖြစ်ပြီး refrigerant gas ထုတ်ပေးမည့် အထွက်ပေါက် (discharge port) ပါဝင်သည်။ အထွက်ပေါက် Discharge port သည် အလည် နေရာတွင် တည်ရှိသည်။ အောက်ဖက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် scroll သည် electric motor ၏ ဝင်ရိုးမှ တစ်ဆင့် မောင်းပေးသည့် orbiting scroll သို့မဟုတ် driven scroll ဖြစ်သည်။ ဝင်ရိုး၏ အလယ်နေရာကို ဗဟိုပြု၍ eccentric motion သို့မဟုတ် orbiting motion ဖြင့် အမြဲ ရွေ့လျားနေသည်။ လည်ပတ်နေခြင်း(rotating) မဟုတ်ပေ။ Crankcase heater နှင့် suction-line accumulator စသည့် ကိရိယာများ ပါဝင်သည်။



ပုံ ၁၆-၁၃ Scrollmechanism ရွေ့လျားပုံ



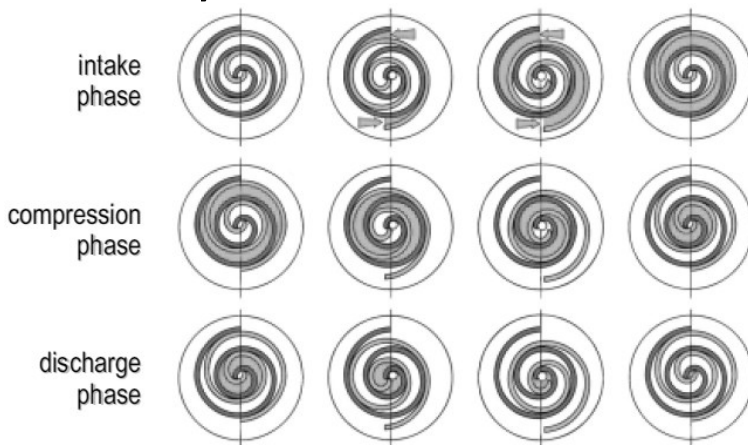
ပုံ ၁၆-၁၄ Orbiting scroll နှင့် stationary scroll တို့ interaction ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် compression ဖြစ်ပေါ်ပုံ

၁၆.၄ အလုပ်လုပ်ပုံ

Compression cycle တစ်ခု ပြီးမြောက်ရန်အတွက် ဝင်ရိုး(crankshaft)သည် သုံးပတ်ခန့် လည်ပတ်ရန် လိုအပ်သည်။

- (၁) Scrolls orbit ၏ အပြင်ဘက်၌ တည်ရှိနေသည့် အပေါက်မှ gas များ ဝင်ရောက်လာသည်။
- (၂) Orbiting motion အဆက်မပြတ် ဖြစ်ပေါ်နေသောကြောင့် အပေါက်(open passage) ပိတ်သွားပြီး(sealed off)၊ gas များသည် scroll ၏ အလယ်နေရာသို့ တွန်းပို့ခြင်း ခံရသည်။
- (၃) Gas များပိတ်မိနေသည့် pocket ၏ ထုထည်သည် တဖြည်းဖြည်း သေးငယ်လာပြီး ဖိအား မြင့်တက် လာသည်။
- (၄) Pocket ၏ အလယ်သို့ သို့ရောက်ရှိသည့်အခါ discharge pressureမြင့်တက်လာပြီး stationary scroll ရှိ အပေါက်မှ gas များထွက်သွားသည်။
- (၅) လက်တွေ့တွင် gas များသွားနိုင်သည့် လမ်းကြောင်း(passage) (၆)ခုဖြင့် တစ်ပြိုင်နက် ဖိသိပ်(compress) နေသောကြောင့် အဆက်မပြတ် အလုပ်လုပ်သကဲ့သို့ ဖြစ်နေသည်။

Intake Phase ၊ Compression Phase နှင့် Discharge Phase



ပုံ ၁၆-၁၅ Intake phase၊ compression phasesနှင့် discharge phase

Scroll compressor သည် intake phase၊ compression phasesနှင့် discharge phase စသည့် phase သုံးမျိုးဖြင့် အလုပ်လုပ်သည်။ Phase သုံးမျိုးဖြစ်ပေါ်ရန်အတွက် ဝင်ရိုး(shaft)သုံးပတ်လည်ပေးရန်လိုအပ်သည်။

Intake Phase

ပထမအပတ်လည်သည့်အခါ intake phase ဖြစ်သည်။ ဝင်ရိုး(shaft) စတင်လည်ပတ် သောကြောင့် scroll ၏ အပြင်ပိုင်းအစွန်း(edge)များ ကွဲကွာသွားပြီး၏ refrigerant vapor များ scroll နှစ်ခု အကြားရှိ လမ်းကြောင်းမှ ဝင်ရောက်လာသည်။ တစ်ပတ်ပြည့်ချိန်တွင် အစွန်း(edge)များ တစ်ခုနှင့် တစ်ခု ထိတွေ့ပြီး pocket ထဲတွင် refrigerant များ ပိတ်မိသွားသည်။

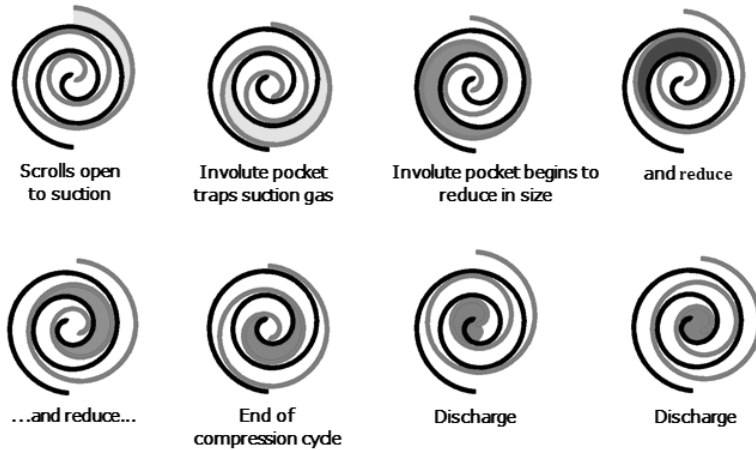
Compression Phase

ဒုတိယအပတ်လည်သည့်အခါ compression phase ဖြစ်ပေါ်သည်။ Pocket တစ်ခုချင်းစီ၏ ထုထည်သည် တဖြည်းဖြည်း ကျဉ်းမြောင်းလာပြီး ပိတ်မိနေသည့် refrigerant vapor များ၏ ဖိအား မြင့်တက်လာသည်။ ဒုတိယအပတ်ပြည့်ချိန်တွင် အမြင့်ဆုံးဖိအား နီးပါးသို့ရောက်ရှိသည်။

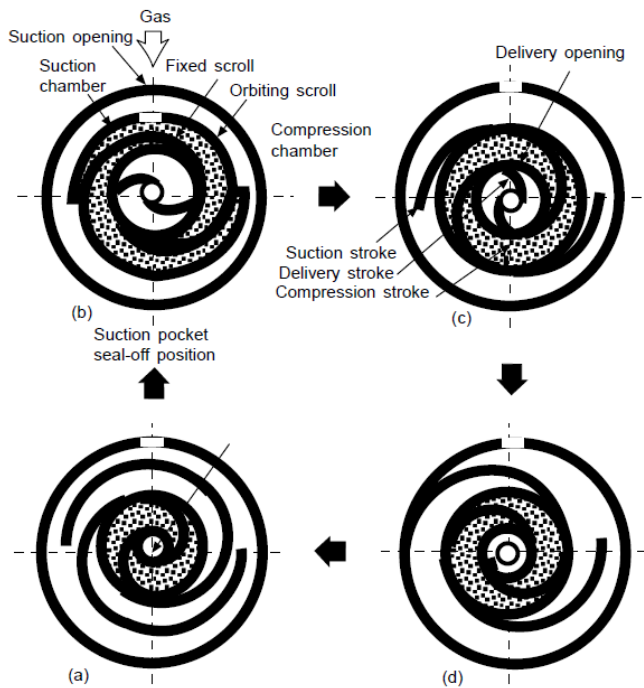
Discharge Phase

တတိယအပတ်လည်သည့်အခါ discharge phase ဖြစ်ပေါ်သည်။ Scroll ၏ အတွင်းပိုင်းရှိ အစွန်းများ ကွဲကွာသွားပြီး discharge port ပွင့်သွားကာ ဖိအားမြင့်သည့် refrigerant များ ထွက်သွားသည်။ တတိယ အပတ်ပြည့်ချိန်တွင် pocket ၏ ထုထည် မရှိသလောက်နည်းသွားပြီး ကျန်ရှိနေသည့် refrigerant vapor များကို scroll မှ ထွက်သွားအောင် တွန်းထုတ်လိုက်သည်။

Intake (compression) နှင့် discharge phase တို့သည် ပြိုင်တူအဆက်မပြတ်ဖြစ်ပေါ်နေသည်။ လမ်းကြောင်း (passage) တစ်ခုတွင် intake phase ဖြစ်ပေါ်နေချိန်တွင် ကျန်လမ်းကြောင်း (passage) များ၌လည်း compression နှင့် discharge phase ဖြစ်ပေါ်နေသည်။ အလုပ်လုပ်ပုံ အလွန်ညင်သာသည်။ ဖိအား ပုံမှန်ထုတ်ပေးနိုင်သည်။



ပုံ ၁၆-၁၆ Scroll Operation ကို နားလည်လွယ်အောင် တစ်ဆင့်ချင်းစီခွဲ၍ ဖော်ပြထားသည်။ လက်တွေ့တွင် အဆင့်များအားလုံး ပြိုင်တူ အဆက်မပြတ် အလုပ်လုပ်ကြသည်။



ပုံ ၁၆-၁ Scroll compressor

၁၆.၅ Two-Step Capacity Control for Scroll Compressors

နည်းပညာသစ်ဖြင့် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ထားသည့် scroll compressor တွင် two-step capacity control ပါရှိသည်။ Rated capacity ၏ 67% သို့မဟုတ် 100% အထိ လျော့ချပေးနိုင်သည်။ Scroll compressor၌ပါရှိသည့် Direct Current(DC) solenoid သည် first compression pocket အဆုံးရှိ bypass port သို့မဟုတ် vent ကို ဖွင့်ပေးသည်။ Direct Current(DC) solenoid ကို အခန်း (conditioned space) thermostat မှ control လုပ်ပေးသည်။ Direct Current(DC) solenoid သည် bypass port သို့မဟုတ် ventကို ပွင့်အောင်၊ ပိတ်အောင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် control

လုပ်သည်။ Bypass port သို့မဟုတ် vent ပွင့်သွားသည့်အခါ compressed gas များ suction pocket ဆီသို့ ရောက်သွားသည်။

ပထမအဆင့် bypass port သို့မဟုတ် ventကို ပိတ်သည့်အခါ effective displacement သည် 67% ခန့် လျော့ကျသွားသည်။ ဒုတိယအဆင့် ပိတ်(blocked or closed)သည့်အခါ effective displacement သည် 100% ခန့်လျော့ကျသွားသည်။ ဤနည်းဖြင့် compressor မော်တာ ရပ်နားရန် မလိုဘဲ scroll compressor ၏ unloading နှင့် loading ကို လိုသလိုဖြစ်အောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Compressor မော်တာသည် ပုံသေမြန်နှုန်းဖြင့် မောင်းသည့် high-efficiency မော်တာဖြစ်သည်။ Two-step scroll compressor သည် high-capacity mode ဖြစ်စေ၊ low-capacity mode ဖြစ်စေ မော်တာသည် ပုံသေမြန်နှုန်းဖြင့် မောင်းနေလိမ့်မည်။ မောင်းချိန် အများစုတွင် low capacity (unloaded at 67%) ဖြင့်သာ မောင်းနေလိမ့်မည်။

၁၆.၆ Scroll Compressor ၏ အားသာချက်များ Advantages

Scroll compressor တွင် အားသာချက်များစွာရှိသည်။ Compressor အတွင်းသို့ liquid refrigerant ၊ ရော့ဆီ(oil) ၊ အစိုင်အခဲငယ်များ(small solid particles) စသည်တို့ ဝင်ရောက်လာသည့်အခါ scroll များသည် ဘေးသို့ ရွေ့သွားသည်။ ဘေးတိုက်ရွေ့လျားမှု("radial" movement)ကြောင့် ဒဏ်ဖြစ်ပေါ်ခြင်းကို လျော့နည်း ပြေပျောက်စေသည်။

Liquid refrigerantဝင်ရောက်လာသည့်အခါ ထိနေသည့် scroll နှစ်ခုသည် အနည်းငယ်ကွာ သွားပြီး ဖိအားမြင့်သည့် gas များ suction ဘက်သို့ ပြန်ရောက်သွားလိမ့်မည်။ ထို့နောက် ဝင်လာသည့် liquid refrigerant များ အငွေ့ပျံသွားလိမ့်မည်။ မည်သည့် ပြဿနာမျှ မဖြစ်ပေါ်ဘဲ liquid refrigerant ဒဏ်ကောင်းစွာ ခံနိုင်သည်။

Pocket မှ gas များ ယိုစိမ့်ခြင်း မဖြစ်ပေါ်အောင် ရော့ဆီ(lubricating oil) ဖြင့် seal ဖြစ်စေသည်။ "Flank sealing" ဟုခေါ်သည်။ ယိုစိမ့်မှုနည်းခြင်းကြောင့် efficiency ပိုကောင်းသည်။ အထက်၊အောက် (up-and-down) sealingကို "axial" sealing ဟုခေါ်သည်။ Scroll compressor ထုတ်လုပ်သူများသည် axial seal အဖြစ် tip seal ပြုလုပ်သည်။ Scroll-tip seal သည် reciprocating compressor များတွင် ပါရှိသည့် piston ring ၏ လုပ်ဆောင်မှုမျိုး ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Tip seal သည် ထိနေသည့် (mating) scroll နှစ်ခုအကြားမှ gas များ မထွက်သွားအောင် တားဆီးပေးသည်။

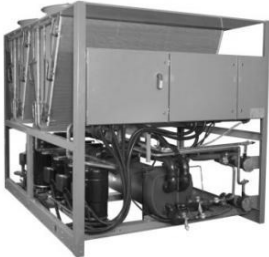
Scroll compressor များတွင် reed valve အသုံးပြုရန် မလိုအပ်သောကြောင့် valve losses မဖြစ်ပေါ်ပေ။ Discharge gas များ re-expansion မဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် high capacity နှင့် high-compression-ratio ရနိုင်သည်။ Scroll compressor များတွင် suction port နှင့် discharge port တို့၏ တည်ရှိရာနေသည် တခြားသောcompressor များနှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် ကွာဝေးသည့်ဟုဆိုနိုင်သောကြောင့် suction gas နှင့် discharge gas များ အကြားတွင် အပူစီးကူးခြင်း များစွာ မဖြစ်ပေါ်နိုင်သောကြောင့် suction gas ၏ သိပ်သည်းဆ(density) မြင့်မားကာ mass flow rate ပိုများလာ လိမ့်မည်။ Scroll compressor များတွင် ဆူညံညံ (gas-pulsation noises) နှင့် တုန်ခါမှု(vibration)အနည်းငယ်သာ ဖြစ်ပေါ်သည်။

Scroll compressor များ ရပ်နားနေချိန်တွင် ဖိအားမြင့်သည့်ဘက်(high-pressure side)မှ gas များ ဖိအားနိမ့်သည့်ဘက်(low-pressure side)သို့ မရောက်သွားစေရန်အတွက် discharge chamber တွင် check valve ပါရှိသည်။ Compressor စတင်မောင်းသည့် အချိန်တွင် ဖိအားကွာခြားချက်(pressure difference)ကြောင့် check valve ပွင့်သွားလိမ့်မည်။

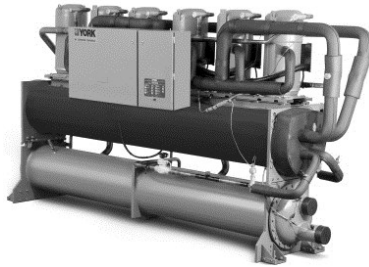
Scroll compressor များတွင် အလုပ်ဖြစ်မြောက်ရန်အတွက် stationary scroll နှင့် orbiting scroll နှစ်ခုခန့်သာ လိုအပ်သော်လည်း reciprocating compressor များ ထိုအလုပ်ကို ပြီးမြောက်ရန်အတွက် အစိတ်အပိုင်း (၁၅)ခုခန့် လိုအပ်သည်။

Scroll compressor များ reciprocating compressor ထက် သာလွန်သည့်အချက်များenergy efficiency ကောင်းခြင်း၊ စိတ်ချရခြင်း(reliability) နှင့်မောင်းသည့်အခါ အသံတိတ်ခြင်း(quieter operation)တို့ ဖြစ်သည်။ တခြားသောအချက်များကို အောက်တွင် အနှစ်ချုပ် ဖော်ပြထားသည်။

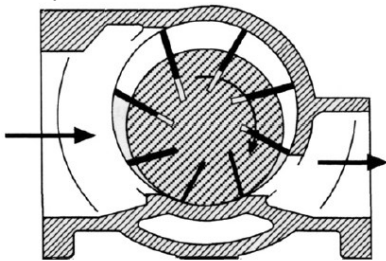
- (၁) Reciprocating compressor များတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် gasre-expansion ဖြစ်ခြင်းမျိုးကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် volumetric losse မဖြစ်ပေါ်ပေ။
- (၂) Scroll compressor များတွင် reed valve အသုံးပြုရန် မလိုအပ်သောကြောင့် valve loss မဖြစ်ပေါ်ပေ။ Reciprocating compressor များတွင် reed valve အသုံးပြုရန် လိုအပ်သောကြောင့် valve loss ဖြစ်ပေါ်သည်။
- (၃) Suction gas နှင့် discharge gas များသီးခြား ကွဲနေသောကြောင့် heat-transfer loss နည်းသည်။
- (၄) ထိနေသည့်(mating) scroll နှစ်ခုမှ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် centrifugal force သည် leak-free contact နှင့် continuous compression ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။
- (၅) Radial movement ကြောင့် high-stress ဖြစ်ပေါ်မှုကို ရှောင်လွှဲနိုင်သည်။ ထိနေသည့်(mating) scroll surface နှစ်ခုအကြားတွင် သင့်လျော်သည့် အား(contact force) ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် compressor များအတွင်းသို့ liquid refrigerant များ ဝင်ရောက်ခြင်းဒဏ် ခံနိုင်သည်။
- (၆) Scroll compressor များတွင် reed valve မပါဝင်သောကြောင့် valve noise မဖြစ်ပေါ်ပေ။ Gas-pulsation နည်းခြင်း၊ ဆူညံသံ(noises) နည်းခြင်း နှင့် တုန်ခါမှု(vibration) နည်းခြင်းတို့သည် အားသာချက်များ ဖြစ်သည်။



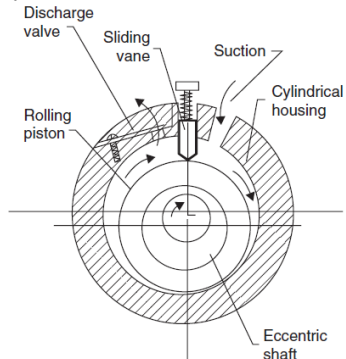
ပုံ ၁၆-၁၇(က) Air cooled scroll chiller



ပုံ ၁၆-၁၇(ခ) Water cooled scroll chiller



ပုံ ၁၆-၁၈ Sliding vane compression



ပုံ ၁၆-၁၉ Rolling piston compression

၁၆.၇ Sliding and Rotary Vane Compressor

Angular position ပြောင်းလဲမှုကြောင့် eccentric rotor နှင့် sliding vane များအကြားရှိ ထုထည်သည် လိုက်၍ ပြောင်းလဲသည်။ ကြီးမားသည့် vane compressor များတွင် blade (၈)ခု သို့မဟုတ် (၈)ခုထက်ပိုများသည်။ Inlet valve နှင့် outlet valve များ မလိုအပ်ပေ။ Centrifugal force ကြောင့် blade များသည် outer shell အတွင်းနံရံနှင့် ထိနေသည်။ Blade များ တစ်လျှောက်တွင် ချောဆီထည့်ပေးခြင်း(injection of lubricating oil)ကြောင့် seal ဖြစ်မှု ပိုကောင်းလာသည်။

Rotary vane Compressor များတွင် clearance volume မရှိပေ။ Blade များ၏ ထိပ်ဖျားတွင် သက်ရောက်သည့် အား (stress) များကြောင့် အကန့်အသတ်ဖြင့်သာ အသုံးပြုနိုင်သည်။ အထွက် ဖိအား(discharge pressure) နိမ့်နိမ့်သာ ရရန်လိုအပ်သည့် compound cycle များတွင် first stage အတွက် အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။ Refrigerant compression လုပ်ရာတွင် အသုံးနည်းသည်။

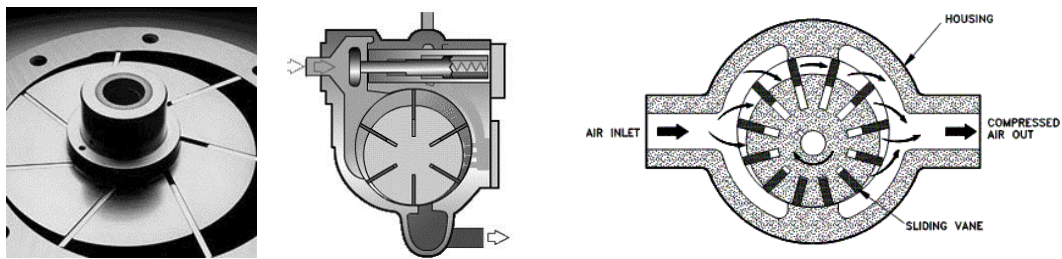
Compressorများတွင် discharge valve ပါဝင်သည်။Cooling capacity 15 kW ထက် နည်းသည့် အိမ်သုံးပစ္စည်းများ(domestic appliances) ၊ packaged air-conditioner များ နှင့် အလားတူလုပ်ငန်းများတွင် rotary vane compressor များကို အသုံးပြုကြသည်။

Single-vane (rotary) နှင့် mult-ivane ဟူ၍ vane compressor နှစ်မျိုးကွဲပြားသည်။ Rotary compressor ၌ eccentric rotor လည်နေသည့်အခါ blade များရှည်ထွက်လာသည်။ ပြီး cavity ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ Gas များသည် အဝင်ပေါက် (intake port) မှ ဝင်ရောက်လာသည်။ အဝင်ပေါက် (intake port) အနီးတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် cavity သည် ကြီးမားသည်။ Rotor လည်ပတ်နေခြင်းကြောင့် cavity တဖြည်းဖြည်းသေးလာပြီး ဖိအားမြင့်တက်လာသည်။

အိမ်သုံးရေခဲသေတ္တာ(domestic refrigerators ၊ freezers) နှင့် air conditioner များတွင် အများဆုံးအသုံးပြုသည်။ အမြင့်ဆုံးရရှိနိုင်သည့် compression ratios သည် 7:1 ဖြစ်သည်။ သေးငယ်သည့် system များနှင့် တချို့သော အမိုးနီးယား(ammonia) system များတွင် vane compressor များကို အသုံးပြုသည်။ ပုံ(၁၆-၁၈)တွင် rotary vane compressor တစ်ခု၏ ဖြတ်ပိုင်းပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

Rotary vane compressor များတွင် အောက်ပါ အားသာချက်များ ရှိသည်။

- (၁) ရိုးရှင်း(simple)ပြီးကျစ်လစ်(compact)သည့် ဒီဇိုင်းဖြစ်သည်။ လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်းအနည်းငယ်သာ ပါဝင်သည်။ ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းရန် လွယ်ကူသည်။ စိတ်ချရသည်။ အစိတ်အပိုင်း လဲရန် လွယ်ကူသည်။
- (၂) Compression ratio မြင့်မြင့်ရှိရန် အဆင့်တစ်ဆင့်(single-stage compression)သာ အသုံးပြုရန် လိုသည်။ Energy efficiency ကောင်းသည်။ ချို့ယွင်းနိုင်ခြေနည်းသည်။ ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းမှု များစွာ မလိုအပ်ပေ။
- (၃) မြန်နှုန်းနိမ့်နိမ့်(low-rotation speed)ဖြင့် ဖိအားမြင့်မြင့်(high-compression ratio)ရရှိနိုင်သောကြောင့် ဖော်တာ ဝင်ရိုးနှင့် တိုက်ရိုက် ချိတ်ဆက်နိုင်ခြင်း(direct axial coupling) ဖြစ်သည်။ Gear သို့မဟုတ် တခြားသော transmission နည်းသုံးရန် မလိုအပ်ပေ။ လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်းနည်းသောကြောင့် စွမ်းအင်လေလွင့်မှု(energy dissipation)နည်းသည်။
- (၄) မြန်နှုန်း နိမ့်နိမ့်ဖြင့်မောင်းနှင်သောကြောင့် တုန်ခါမှု(vibration) နည်းသည်။ အသံတိတ်သည်။ တိုက်စားမှု(wear) နည်းသည်။ အပူချိန် နိမ့်သည်။ အပူစွန့်ထုတ်မှု နည်းသည်။ Foundation ကောင်းရန် မလိုအပ်ပေ။
- (၅) Cycle temperature နိမ့်သည်။ စက်အပူချိန်နိမ့်သောကြောင့် တိုက်စားမှုနည်းသည်။ ချောဆီ သုံးစွဲမှု သက်သာသည်။ ယိုစိမ့်မှု(leakage) နည်းသည်။ Cooling လုပ်ငန်း စွမ်းအင် အနည်းငယ်သာ လိုအပ်သည်။
- (၆) ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance) အနည်းငယ်သာလိုအပ်သည်။ လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်း နည်းသောကြောင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု အနည်းငယ်သာလိုအပ်သည်။



ပုံ ၁၆-၂၀ Rotary vane compressor with the vanes spring loaded against each other.

Contents

၁၆.၁ Rotary Compressors.....	1
၁၆.၂ Scroll Compressor.....	2
၁၆.၃ Scroll Compressor တည်ဆောက်ပုံ	6
၁၆.၄ အလုပ်လုပ်ပုံ	7
၁၆.၅ Two-Step Capacity Control for Scroll Compressors.....	8
၁၆.၆ Scroll Compressor ၏ အားသာချက်များ Advantages	9
၁၆.၇ Sliding and Rotary Vane Compressor	10

Chapter-17 Chilled Water System Configurations

၁၇.၁ Chilled Water Plant Basics

Chilled water plant တစ်ခုတွင် အခြေခံကျသည့် စိတ်အပိုင်းများ(functional parts) ပါဝင်ကြသည်။

- (၁) Chilled water ထုတ်ပေးနိုင်သည့် chiller များ
- (၂) Air Handling Units(AHU) ၊ Fan Coil Units(FCU) ၊ CRAC units
- (၃) Chilled water distribution pumps and pipes
- (၄) Condenser water pumps, pipes, and cooling towers နှင့်
- (၅) Controls (operation of the mechanical components together as a system) တို့ ဖြစ်သည်။

၁၇.၁.၁ Chilled Water Temperatures

Comfort cooling system များအတွက် ဒီဇိုင်း chilled water supply temperature သည် 3.3°C (38°F) မှ 6.7°C (44°F) အတွင်း ဖြစ်သည်။ အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည့် အချက်များကြောင့် chilled water temperature ကို နိမ့်အောင် ပြုလုပ်ကြသည်။

- (၁) Chilled water temperature ပိုနိမ့်သောကြောင့် chilled water စီးနှုန်း(flow)ကို လျော့ချနိုင်သည်။
- (၂) Chilled water temperature ပိုနိမ့်သောကြောင့် အပူချိန် ပိုနိမ့်သည့်လေ(lower supply air temperature) ရရှိနိုင်သည်။ လေစီးနှုန်း(air flow rate)ကို လျော့ချနိုင်သည်။ Air side အတွက် ကုန်ကျစရိတ် လျော့နည်းသည်။
- (၃) Chilled water temperature ပိုနိမ့်သောကြောင့် chilled water coil ၌ ရေငွေ ဖယ်ထုတ်နှုန်း (dehumidification) ပိုကောင်းသည်။
- (၄) Chilled water temperature ပိုနိမ့်သောကြောင့် chilled water distribution system ၏ capacity ပိုများလာနိုင်သည်။
- (၅) တချို့သော system များတွင် chilled water temperature နိမ့်နိမ့်ဖြင့် မောင်းသောကြောင့် chiller များ၏ efficiency ညံ့ဖျင်းသည်။ Chilled water temperature နိမ့်သောကြောင့် chiller ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု (energy consumption) ပိုများသည်။ Chilled water flow rate ကို လျော့ချနိုင်လျှင် ပန်းအတွက် လိုအပ်သည့် စွမ်းအင် (energy)လျော့နည်းသွားပြီး system တစ်ခုလုံး၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့နည်းနိုင်သည်။
- (၆) Chilled water temperature ပိုနိမ့်သည့် system များတွင် ပိုက်များအပေါ်၌ condensation (sweating)

မဖြစ်ပေါ်စေရန် အတွက် insulation ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်ထားရန် လိုအပ်သည်။ Chilled water ကို အပူချိန် 34°F(1.1°C) အထိ ရောက်အောင် လျော့ချနိုင်သည်။ တချို့သော chiller များတွင် အဆင့်မြင့် နက်နဲသည့်(sophisticated) evaporator ဒီဇိုင်း နှင့် chiller control လုပ်နည်း(method)များကို အသုံးပြုထားသည်။

၁၇.၁.၂ Effect of Chilled Water Temperature

Chiller တစ်လုံးတွင် leaving chilled water temperature ကျဆင်းစေရန်အတွက် refrigerant temperature နှင့် pressure ကို နိမ့်ကျအောင် ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ထို့အတူ leaving chilled water temperature မြှင့်တင်လိုက်လျှင် refrigerant temperature နှင့် pressure မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် leaving chilled water temperature ပြောင်းလဲလျှင် compressor work လည်းလိုက်၍ ပြောင်းလဲသည်။ Chiller တစ်မျိုးတည်း၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption)ထက် system တစ်ခုလုံး၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုကို အလေးပေးစဉ်းစားသင့်သည်။ Leaving chilled water temperature ကို နိမ့်ချလိုက်ခြင်းကြောင့် chiller တွင် စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု ပိုများသော်လည်း pump တွင် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် chilled water temperature နိမ့်သည့်အခါ လိုအပ်သည့် စီးနှုန်း(flow rate) လျော့နည်းသွားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

၁၇.၁.၃ Effect of Chilled Water Flow Rate

Evaporator သည် heat exchanger တစ်ခုဖြစ်သောကြောင့် chilled water စီးနှုန်း(flow rate) ပြောင်းလဲလျှင် performace ပြောင်းလဲသည်။ Chilled water စီးနှုန်း(flow rate)များသောကြောင့် ရေအလျင်(water velocity) ပိုများပြီး တိုက်စားပွန်းတီးမှု(erosion)၊ တုန်ခါမှု(vibration) ၊ အသံဆူညံမှု(noise) စသည်တို့ ဖြစ်ပေါ် နိုင်သည်။ စီးနှုန်း(flow rate) မလုံလောက်သည့်အခါ heat transfer efficiency ညံ့ဖျင်း သောကြောင့် chiller performance ညံ့သည်။ စီးနှုန်း(flow rate)နည်းသောကြောင့် fouling ဖြစ်မှု ပိုများနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ထုတ်လုပ်သူများက သတ်မှတ်ပေးထားသည့် အနိမ့်ဆုံးစီးနှုန်း(minimum flow)ထက် ပိုမနည်းအောင် ဂရုစိုက်ရန် လိုအပ်သည်။

၁၇.၁.၄ Condenser Water Temperature

ယခုခေတ်တွင် ထုတ်လုပ်ထားသည့် chiller များအားလုံးကို entering condenser water temperature ပြောင်းလဲ၍ မောင်းနှင်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည်။ Design temperature မှ ခွင့်ပြုထားသည့် အနိမ့်ဆုံးအပူချိန် (lowest allowable temperature)အတွင်းသာ မောင်းနှင်သည်။ လွန်ခဲ့သည့်အချိန်က ထုတ်လုပ်ထားသည့် chiller အဟောင်းများသည် သတ်မှတ်ထားသည့် condenser water temperature အတွင်း၌သာ မောင်းနှင်သည်။

၁၇.၁.၅ Effect of Condenser Water Temperature

Chiller တစ်လုံးတွင် entering condenser water temperature မြင့်တက်လျှင် refrigerant temperature နှင့် pressure တို့လည်း မြင့်တက်လာသည်။ Entering condenser water temperature နိမ့်လျှင် refrigerant အပူချိန်(temperature) နှင့် ဖိအား(pressure) နိမ့်သောကြောင့် compressor ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption) လျော့နည်းသည်။ Entering condenser water temperature ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု (power consumption)လည်း ပြောင်းလဲ သည်။ Chiller တစ်မျိုးတည်းထက် system တစ်ခုလုံး၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု (energy consumption)ကို အလေးပေး စဉ်းစားသင့်သည်။ Entering condenser water temperature မြင့်တက်လာခြင်းကြောင့် chiller efficiency ညံ့ဖျင်းသည်။

၁၇.၁.၇ Effect of Condenser Water Flow Rate

Condenser သည် heat exchanger တစ်ခုဖြစ်သောကြောင့် ရေစီးနှုန်း(water flow rate) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ စီးနှုန်း(flow) ပိုများသောကြောင့် ရေအလျင်(water velocity) ပိုများပြီး တိုက်စားပွန်းတီးမှု (erosion)၊ တုန်ခါမှု(vibration) ၊ အသံဆူညံမှု(noise) စသည်တို့ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ စီးနှုန်း(flow rate) မလုံလောက် သောကြောင့် heat transfer efficiency ညံ့ဖျင်းသည်။ Chiller performance ညံ့ဖျင်းသည်။ Chiller စတင် မောင်းသည့် အခြေအနေများ(startup conditions)မှ လွဲ၍ condenser water flow သည် သတ်မှတ်ထားသည့် ကန့်သတ်ချက်များ (specific range of limits) အတွင်း ရှိအောင် ပြုလုပ်သင့်သည်။

အချိန်အတော်ကြာအောင် water velocity ကျဆင်းနေလျှင် condenser tube များ အတွင်း၌ ရေများ သည် ရေစေး(water hardness) ဖြစ်နိုင်သည်။ Fouling ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ရေစေး(water hardness) မဖြစ်ပေါ် စေရန် tube များအတွင်း၌ ရှိသင့်သည့် အနိမ့်ဆုံး velocity သည် 3.51 ft/s (1.07 m/s) ထက် မနည်းသင့်ပေ။

၁၇.၁.၁ Chilled Water and Condenser Water Flow Rates

Chilled water နှင့် condenser water စီးနှုန်း(flow rate)ကို လျော့ချနိုင်ခြင်းကြောင့် chilled water system တပ်ဆင်ခ(installation) နှင့် မောင်းနှင်ခ(operation) ကုန်ကျစရိတ် လျော့ချနိုင်သည်။

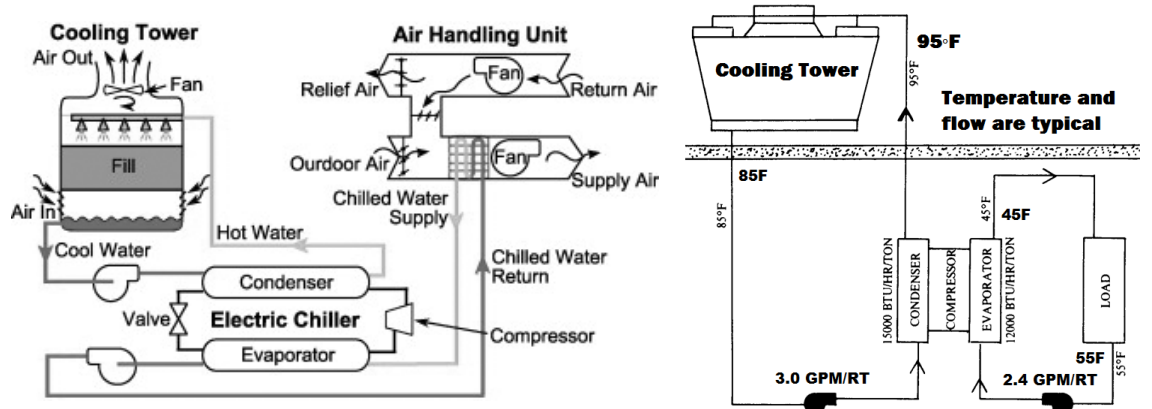
AHRI 550/590 က သတ်မှတ်ပေးထားသည့် flow rate မှာ အောက်ပါအတိုင်း ဖြစ်သည်။

- 2.4 gpm/ton [0.043 liter per second/kW] for evaporator water flow rate
- 3.0 gpm/ton [0.054 lps/kW] for condenser water flow rate

အထက်ပါ flow rate များသည် အပူချိန်ခြားနားချက်(temperature difference) 10°F(5.5°C) ကို အခြေခံ ထားသည်။ Compressor efficiency အပေါ်မူတည်၍ condenser အပူချိန်ခြားနားချက်(temperature difference) သည် 9.1°F(5.1°C) မှ 10°F(5.6°C)အတွင်း ဖြစ်သည်။

၁၇.၂ Single Chiller System

Chiller configuration အားလုံးတွင် single chiller system သည် အရိုးရှင်းဆုံးသော system ဖြစ်ပြီး ကုန်ကျစရိတ်နည်းသည့် system ဖြစ်သည်။ Chiller plant တစ်ခုလုံးတွင် chiller တစ်လုံးတည်းသာ တပ်ဆင် ထားသောကြောင့် အားနည်းချက်များ ရှိသည့် system ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၇-၁ Chiller တစ်လုံး၏ condenser water loop နှင့် chilled water loop

- (က) Chiller တစ်လုံးတည်းသာ ရှိသောကြောင့် chiller ၏ မည်သည့် အစိတ်အပိုင်း ပျက်သည်ဖြစ်စေ chilled water system တစ်ခုလုံး အလုပ် မလုပ်တော့ပေ။ ထို့ကြောင့် system တစ်ခုလုံး မောင်းမရခြင်း(break down) ဖြစ်လိမ့်မည်။ ဤကဲ့သို့ single chiller system မျိုးကို computer center များ၊ data center များ၊ ဆေးရုံများ၊ စက်ရုံများတွင် တပ်ဆင်ထားရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ထိုကဲ့သို့ မောင်းမရခြင်း(break down)မျိုး အဖြစ်မခံနိုင်သည့် လုပ်ငန်း(application)များ အတွက် multiple chillers system ကို ရွေးချယ်သင့်သည်။ Multiple chillers system များတွင် တစ်လုံး သို့မဟုတ် တစ်လုံးထက် ပိုများသည့် standby chiller များ တပ်ဆင်ထားရှိသည်။ Standby chiller များကို "redundant chiller" ဟုလည်း ခေါ်သည်။ Standby chiller ဆိုသည်မှာ လက်ရှိ မောင်းနေသည့် chiller များ အနက်မှ တစ်လုံးလုံး ချို့ယွင်း(break down)သည့်အခါ သို့မဟုတ် servicing ပြုလုပ်သည့်အခါတွင် မောင်းရန်အတွက် အသင့်စောင့်နေကြသော အရန် chiller များ ဖြစ်ကြသည်။
- (ခ) Chiller တစ်လုံးတည်းသာ ရှိသောကြောင့် load နည်းလာသည့်အခါ ထို chiller သည် low load ဖြင့် မောင်းနေ လိမ့်မည်။ Centrifugal compressor များသည် full load capacity ၏ 30% ထက် လျော့နည်းသည့်

အခြေအနေတွင် surge ဖြစ်နိုင်သည်။

Chilled water plant တစ်ခုတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် chiller အားလုံး၏ စုစုပေါင်း capacity ကို "installed capacity" ဟုခေါ်သည်။ Peak load တွင် မောင်းရန် လိုအပ်သော chiller အရေအတွက် နှင့် capacity ကို "running capacity" ဟု ခေါ်သည်။ Running capacity ကို တည်၍ "installed capacity" ဖြင့် စားလျှင် "capacity to load ratio" ကို ရသည်။

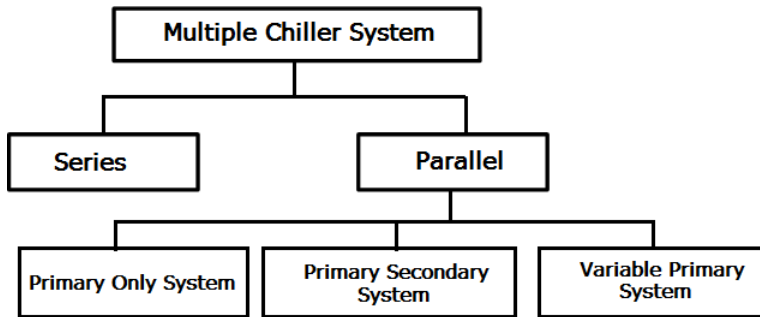
ဥပမာ- chiller plant တစ်ခုတွင် 500RT chiller (၄)လုံး တပ်ဆင်ထားလျှင် install capacity မှာ 2,000RT (500RT x 4) ဖြစ်သည်။ Peak load အချိန်တွင် 500RT chiller (၃)လုံးမောင်းရန် လိုအပ်ပါက running capacity မှာ 1,500RT (500RT x 3) ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် capacity to load ratio သည် $0.75(1,500RT/2,000RT)$ ဖြစ်သည်။

၁၇.၂.၁ Single Chiller System Advantages and Disadvantages

Table 17-1 advantages and disadvantages of single chiller system

အားသာချက်များ(Advantages)	အားနည်းချက်များ(Disadvantages)
- Lower first cost	- Inefficient at low load conditions
- Simple system for installation and control	- Lack of back-up and redundancy

၁၇.၂ Multiple Chiller System



ပုံ ၁၇-၂ Chiller configuration အမျိုးမျိုးခွဲခြားပြပုံ

တစ်လုံးထက်ပိုများသည့် chiller များတပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် system reliability ပိုကောင်းသည်။ သို့သော် သေးငယ်သည့် chiller များစွာ တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် efficiency ညံ့ဖျင်းပြီး ကုန်ကျစရိတ် ပိုများနိုင်သည်။ Chiller water cooled plant တစ်ခုတွင် chillers ၊ cooling towers ၊ chilled water pumps ၊ condenser water pumps ၊ piping ၊ accessories controls စသည်တို့အနက် chiller များသည် စွမ်းအင် အများဆုံး သုံးစွဲသည်။

Multiple chiller system configuration တွင် အခြေခံအားဖြင့် series configuration နှင့် parallel configuration ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရှိသည်။ Parallel configuration ကိုသာ အများဆုံး တွေ့ရလေ့ရှိသည်။ Chilled water plant များ၏ 95% သည် parallel configuration များ ဖြစ်ကြသည်။

Chiller တပ်ဆင်သူများ၊ chiller ထုတ်လုပ်သူများ၊ consultant များ နှင့် ကန်ထရိုက်တာ(contractor)များ အားလုံးက chiller နှင့် ပတ်သက်လာလျှင် AHRI Standard 550/590-2011 ကို ဖော်ပြထားကြသည်။ Reference လုပ်ကြသည်။ AHRI မှာ Air Conditioning , Heating and Refrigeration Institute ဖြစ်သည်။ AHRI 550/590-2011 သည် "performance rating of water chilling packages using the vapor compression cycle" ဖြစ်သည်။ AHRI 550/590-2011 ကို လိုက်နာ(comply)သည့် chiller တစ်လုံးကို တခြားသော အမျိုးအစားတူ၊ အရွယ်အစားတူ chiller များနှင့် နှိုင်းယှဉ်နိုင်သည်။

Chiller ၏ parameter များကို တစ်ပြေးညီ နှိုင်းယှဉ်၍ရအောင် စံ(standard)အဖြစ် သတ်မှတ်ထားသောကြောင့် chiller တစ်လုံးချင်းစီ၏ efficiency (kW/RT) ကောင်း၊ မကောင်း နှိုင်းယှဉ်နိုင်သည်။ Integrated Part Load Value (IPLV) နှင့် Non-standard Part Load Value (NPLV) တို့ကို နှိုင်းယှဉ်နိုင်သည်။

AHRI 550/590-2011 သည် performance ကိုသာ စံ(standard)အဖြစ် သတ်မှတ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ Chiller များ တည်ဆောက်မှုအပိုင်း(construction) နှင့် တပ်ဆင်မှုအပိုင်း(installation) စသည့် အပိုင်းတို့အတွက် ASHRAE standard 15, "Safely Code for Mechanical Refrigeration" ကို လိုက်နာရန် လိုအပ်သည်။

R22 သို့မဟုတ် R134a ကို အသုံးပြုသော chiller များ၏ condenser နှင့် evaporator တို့သည် 15 psig ထက် ပိုများသည့် ဖိအား(pressure)သက်ရောက်ခြင်း ခံရသောကြောင့် pressure vessel အဖြစ် သတ်မှတ်ခြင်း ခံရသည်။ Pressure vessel များသည် ASME(American Society of Mechanical Engineering) ၏ boiler and pressure vessel code ကို လိုက်နာ(comply)ရန် လိုအပ်သည်။ Chiller များအားလုံးသည် Underwriter Laboratory (UL) standard 465 ကို လိုက်နာ(comply)ရန် လိုအပ်သည်။

Chiller များအားလုံးသည် maximum capacity သို့မဟုတ် full load capacity ဖြင့် မောင်းသည့်အချိန် (နာရီ အရေအတွက်) အလွန် နည်းသည်။ Part load တွင် မောင်းချိန်(နာရီအရေအတွက်) ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် chiller manufacturer များ အနေဖြင့် part load operating performance ကို မဖြစ်မနေ ဖော်ပြပေးရန်လိုအပ်သည်။ Intergrated Part Load Value (IPLV) နှင့် Non-standard Part Load Value (NPLV) ဟူ၍ (၂)မျိုး ရှိသည်။

၁၇.၄ Parallel Chillers System

Table 17-2 advantages and disadvantages of parallel chillers system

အားသာချက်များ(Advantages)	အားနည်းချက်များ(Disadvantages)
- More efficient at low load conditions	- Increased first cost
- Provides back-up and/or redundancy	- More difficult to control effectively, especially with different size chillers (should have computerized system)
	- More equipment to maintain

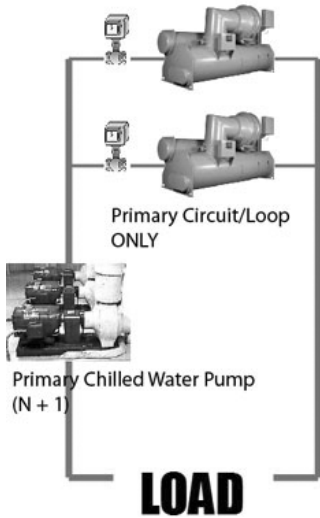
Chilled water system များတွင် အများဆုံး တွေ့ရလေ့ရှိသည့် configuration သုံးမျိုးမှာ

- (၁) Primary only system
- (၂) Primary - Secondary system နှင့်
- (၃) Variable primary system တို့ဖြစ်သည်။

၁၇.၅ Primary Only System

Primary chilled water circuit တစ်မျိုးတည်းသာ ရှိသည့် system ကို "primary only system" ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ Primary only system သည် နားလည်ရန် ရှင်းလင်းလွယ်ကူသည်။

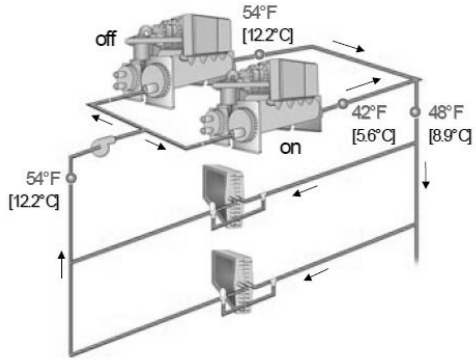
Chilled water system တစ်ခုတွင် chilled water pump(s) တစ်မျိုးတည်းသာ ရှိသောကြောင့် chilled water circuit လည်း တစ်မျိုးတည်းသာ ရှိသည်။ ထို တစ်မျိုးတည်းသော chilled water pump ကို "chilled water pump" ဟု သာခေါ်သည်။ ထို pump သည် chilled water ကို AHU/FCU များဆီသို့ ရောက်အောင် တွန်းပို့ ရသည်။ Secondary chilled water pump ရှိလျှင် primary chilled water pump သည် chilled water ကို AHU/FCU များဆီသို့ ရောက်အောင် တွန်းပို့ရန် မလိုပေ။ ထိုတာဝန်ကို secondary chilled water pump က ဆောင်ရွက်ပေးသည်။



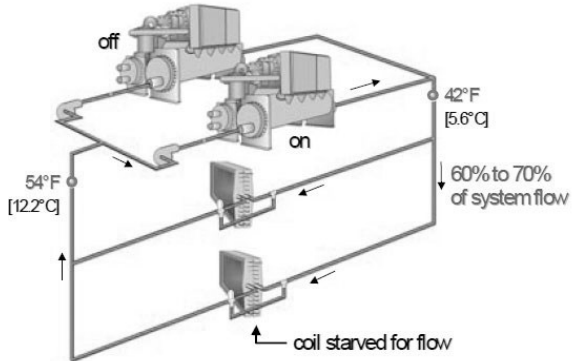
ပုံ(၁၇-၄)နှင့် ပုံ(၁၇-၅)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း chiller များကို တပ်ဆင်ထားလျှင် parallel installation ဟုခေါ်သည်။ ဘယ်ဘက်မှ ပုံ(၁၇-၆)တွင် primary chilled water pump သည် ကြိုက်သည့် chiller နှင့် မောင်းနှင်သည်။ ထိုသို့ တပ်ဆင်ထားလျှင် များသောအားဖြင့် primary chilled water pump အရေအတွက်သည် chiller အရေအတွက်ထက် (၁)လုံး သို့မဟုတ် (၂)လုံး ပို၍ တပ်ဆင်ထားလေ့ ရှိသည်။

ပုံ(၁၇-၆)တွင် primary chilled water pump များသည် သက်ဆိုင်သည့် chiller နှင့်သာ မောင်းနှင်သည်။ Dedicated pump ဟုခေါ်သည်။ ထိုသို့ တပ်ဆင်ထားလျှင် primary chilled water pump နှင့် chiller ကို အတွဲလိုက် မောင်းလေ့ ရှိသည်။

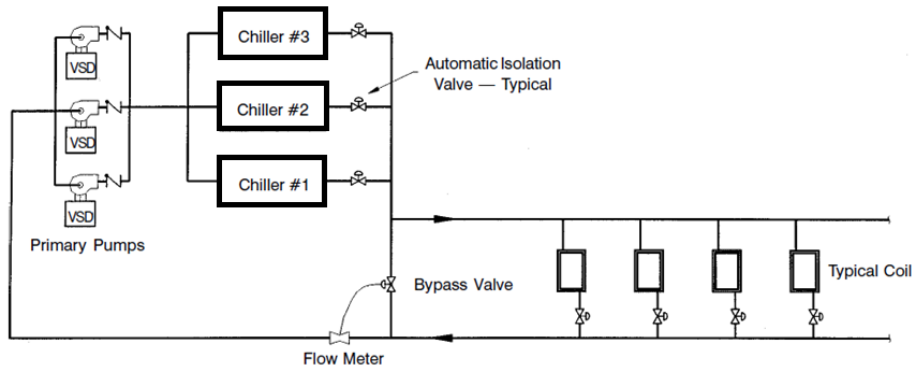
ပုံ ၁၇-၃ Primary only circuit



ပုံ ၁၇-၄ Common header system



ပုံ ၁၇-၅ One to one သို့မဟုတ် dedicated system



ပုံ ၁၇-၆ Primary only system with common header

၁၇.၅.၁ Primary Only System with Common Header

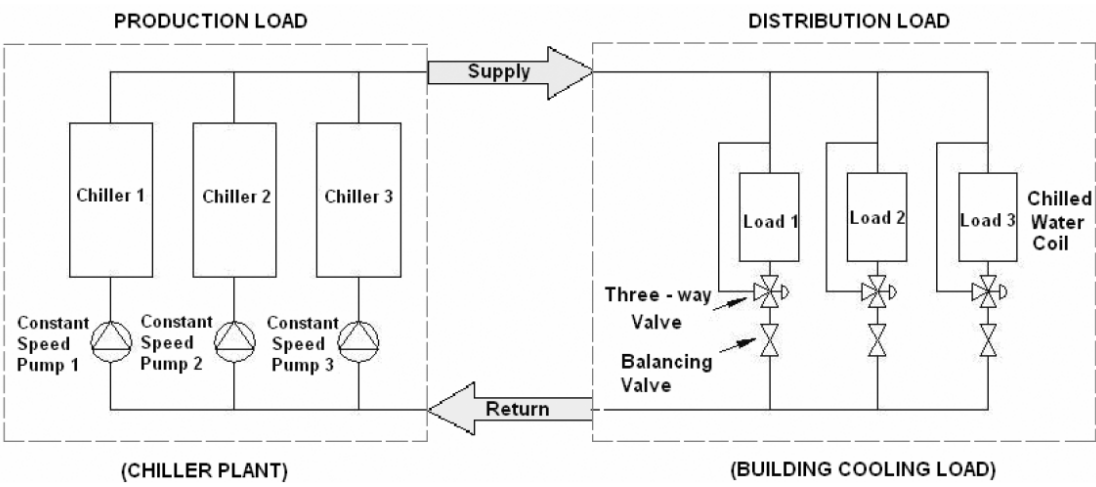
ပုံ(၁၇-၆)တွင် primary only system ကို ဖော်ပြထားသည်။ Primary only system ဆိုသည်မှာ primary chilled water circuit (production loop) တွင်သာ primary chilled water pump များ ရှိပြီး secondary chilled water circuit (distribution loop)နှင့် secondary chilled water pump မရှိသော system ကို ဆိုလိုသည်။ ပုံ(၁၇-၆)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း production loop(primary chilled water circuit/loop) တွင် common header ဖြင့် ပန်းများကို တပ်ဆင်ထားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် chiller တစ်လုံးအတွက် သီးသန့် primary chilled water pump တစ်လုံးချင်းစီ တပ်ဆင်ထားခြင်း မရှိဟု ဆိုလိုသည်။

မောင်းနေမည့် chiller အရေအတွက်ပေါ်တွင် မှတည့်၍ လိုအပ်သည့် ရေလည်ပတ်နှုန်း(rigth amount chilled water flow rate) ရရှိရန်အတွက် primary chilled water pump များသည် ရေကို common header အတွင်းသို့ ဝိုင်း၍(တစ်လုံးထက် ပိုများသော pump များ) မောင်းထည့်ကြသည်။ ထိုရေများသည် chilled water common header အတွင်းမှ တစ်ဆင့် chiller အတွင်းသို့ ဝင်ရောက် စီးဆင်း သွားသည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် chilled water သည် common header မှတစ်ဆင့် (ပန့်မှ တိုက်ရိုက်မဟုတ်ဘဲ) chiller အတွင်းသို့ စီးဝင် သောကြောင့် chiller တိုင်းတွင် မှန်ကန်သော ရေလည်ပတ်နှုန်း (rigth amount chilled water flow rate) ရရှိရန် အလွန်အရေးကြီးသည်။

Chiller များသည် အမျိုးအစား(type)၊ အရွယ်အစား(size)၊ သက်တမ်း(age)နှင့် ထုတ်လုပ်သူ (manufacturer) တို့ ကွဲပြားနိုင်သောကြောင့် ရေလည်ပတ်နှုန်း(amount chilled water flow rate) လိုအပ်ချက် နှင့် evaporator ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)တို့လည်း မတူညီကြပေ။

Chiller များကို paralle ပုံစံဖြင့် တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် တစ်လုံးထက်ပိုသော chiller များ တစ်ပြိုင်နက် မောင်းပါက chiller တစ်လုံးချင်းစီအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်မည့် ရေပမာဏ မတူညီနိုင်ကြပေ။ ထို့ကြောင့် balancing valve သို့မဟုတ် constant flow valve များကို အသုံးပြု၍ water balancing လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Water balancing ဆိုလိုသည်မှာ chiller တိုင်းအတွက် မှန်ကန်သော ရေလည်ပတ်နှုန်း(rigth amount chilled water flow rate) ရရှိရန်အတွက် balancing valve သို့မဟုတ် constant flow valve များကို အသုံးပြု၍ ထိန်းညှိခြင်း (adjustment) ဖြစ်သည်။ Chiller အရေအတွက် မည်မျှပင် မောင်းနေပါစေ၊ chiller တိုင်း၌ သင့်လျော်မှန်ကန်သည့် chiller water ပမာဏ ရရှိရန် အလွန်အရေးကြီးသည်။ ထိုကဲ့သို့ balancing valve များ တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် chiller အရေအတွက် မည်မျှပင် မောင်းပါစေ chiller တိုင်း၌ လိုအပ်သည့် ရေပမာဏကို ရရှိနေလိမ့်မည်။

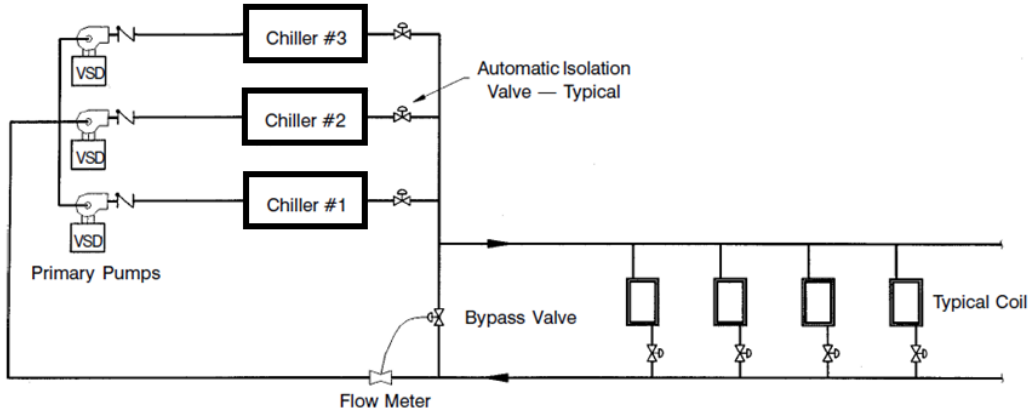


ပုံ ၁၇-၇(က) Schematic of the constant-flow rate primary system.

Primary chilled water pump များသည် chilled water ကို AHU/FCU များဆီသို့ ရောက်အောင် တွန်းပို့ရသည့် အတွက် primary chilled water pump head သည် လုံလောက်အောင် မြင့်မားရန် လိုအပ်သည်။ Secondary chilled water pump ရှိလျှင် primary chilled water pump သည် chilled water ကို AHU / FCU များဆီသို့ ရောက်အောင် တွန်းပို့ရန် မလိုပေ။ ထိုတာဝန်ကို secondary chilled water pump က တာဝန်ယူ ဆောင်ရွက်ပေးသည်။

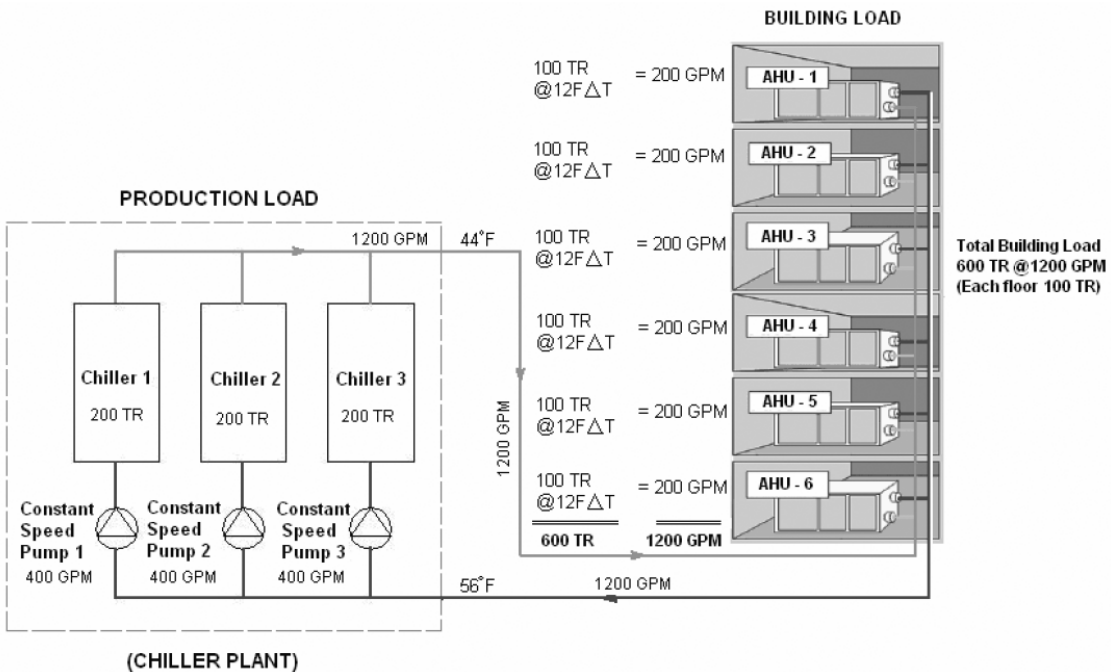
Production loop (primary chilled water circuit/loop) တွင် common header ဖြင့် ပန့်များကို တပ်ဆင် ထားခြင်းသည် chiller အမျိုးအစား(type)၊ အရွယ်အစား(size)၊ သက်တမ်း(age)နှင့် ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)

ကို လိုက်၍ ရှုပ်ထွေးမှု(complexity) များသည်။ သို့သော် redundancy ပိုကောင်းသည်။ ကြိုက်သည့် chiller နှင့် သင့်လျော်သည့် ပန့်ကို ရွေးချယ် မောင်းနှင်နိုင်သည်။ ပန့်ပျက်သောကြောင့် chiller မောင်းမရသည့် အခြေအနေမျိုး မကြုံတွေ့နိုင်ပေ။ သို့သော် chilled water သည် common header မှ တစ်ဆင့်(ပန့်မှတိုက်ရိုက်မဟုတ်ဘဲ) chiller အတွင်းသို့ စီးဝင်သောကြောင့် chiller တိုင်းတွင် မှန်ကန်သော ရေလည်ပတ်နှုန်း(rigth amount chilled water flow rate) ရရှိရန် အရေးကြီးသည်။ ထိုသို့ရရှိရန် balancing valve သို့မဟုတ် constant flow valve များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။



ပုံ ၁၇-၇(ခ) Primary only system with one to one configuration with two way valve

Common header ဖြင့် မောင်းသည့်ပန့်များ၏ ပြဿနာတစ်မျိုးမှာ ရေလည်ပတ်နှုန်း မတည့်ငြိမ်မှုဖြစ်သည်။ Chiller (၁)လုံး သို့မဟုတ် (၂)လုံး မောင်းနေစဉ် နောက်ထပ် chiller တစ်လုံးမောင်းရန် လိုအပ်ပါက isolation valve ကို အရင် ဖွင့်ရသည်။ ထိုအခိုက်အတန့်တွင် လက်ရှိမောင်းနေသည့် chiller များမှ ရေလည်ပတ်နှုန်း (chilled water flow rate)သည် ၂၀% မှ ၅၀% အထိ chiller အရွယ်အစား(size)ကို လိုက်၍ ကျဆင်းနိုင်သည်။ ထိုအချိန်တွင် မောင်းရမည့် ပန့်သည် မောင်းခါစ ဖြစ်သောကြောင့် သတ်မှတ်ထားသည့် မြန်နှုန်း(speed)သို့ ချက်ချင်း မရောက်နိုင် သေးပေ။



ပုံ ၁၇-၈ Primary only system with dedicated pump

Isolation valve ကို အရင် မဖွင့်ဘဲ ပန်ကို အရင် မောင်းပါက လက်ရှိ မောင်းနေသည့် chiller များမှ ရေလည်ပတ်နှုန်း(chilled water flow rate) မြင့်တက် သွားလိမ့်မည်။ ထိုအခါ water hammer ပြဿနာကို ကြုံတွေ့နိုင်သည်။

Chiller များ၏ control logic တာဝန်မှာ leaving chilled water temperature setpoint ကို တတ်နိုင်သမျှ ထိန်းထားရန် ဖြစ်သည်။ Leaving chilled water temperature သည် chiller ၏ ရေလည်ပတ်နှုန်း (chilled water flow rate) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Chiller များမှ ရေလည်ပတ်နှုန်း(chilled water flow rate) အတက်အကျ များခြင်း၊ မြန်ခြင်းသည် system တစ်ခုလုံးကို မတည်မငြိမ်(instability) ဖြစ်စေနိုင်သည်။

၁၇.၅.၂ Primary Only System with Dedicated Pump

ပုံ(၁၇-၈)မှ အဆောက်အဦ၏ အချက်အလက်များမှာ ရုံးခန်းအဖြစ် အသုံးပြုမည့် အဆောက်အဦ(office building) ဖြစ်သည်။ အထပ်ခြောက်ထပ် ရှိသည်။ အထပ်တိုင်းတွင် 200RT AHU တစ်လုံးစီ တပ်ဆင်ထားသည်။ အဆောက်အဦ၏ design load သည် 600 TR (100 tons of refrigeration each floor) ဖြစ်သည်။

- တစ်ထပ်လျှင် AHU တစ်လုံး တပ်ဆင်ထားသည်။ AHU တစ်လုံး၏ capacity သည် 100RT ဖြစ်သောကြောင့် အဆောက်အဦတစ်ခုလုံးအတွက် 600RT လိုအပ်သည်။ Chiller သုံးလုံး တပ်ဆင်ထားသည်။ Chiller တစ်လုံး၏ capacity သည် 200RT ဖြစ်သောကြောင့် total installed capacity သည် 600RT ဖြစ်သည်။
- 200 tons capacity chiller (၃)လုံးသည် chilled water supply (CHWS) temperature 44°F ကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။
- Chiller များ အားလုံးကို ΔT (12°F) နှင့် စီးနှုန်း(flow rate) 400 GPM ($24/\Delta T \times 200$ TR chiller capacity) ရအောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည်။ AHU ၏ cooling coil များ အားလုံးကို ΔT (12°F) နှင့် စီးနှုန်း(flow rate) 200 GPM ($24/\Delta T \times 100$ TR AHU cooling coil capacity) ဖြင့်မောင်းနိုင်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည်။
- Dedicated pump များဖြင့်မောင်းသည့် primary only system ဖြစ်သည်။

၁၇.၅.၃ Primary-Only System ၏ အားသာချက်များ နှင့် အားနည်းချက်များ

အားနည်းချက်(disadvantage) (၂)မျိုးမှာ chiller staging လုပ်ရာတွင် ရှုပ်ထွေး ခက်ခဲခြင်းနှင့် bypass control အလုပ် မလုပ်ခြင်း တို့ ဖြစ်သည်။

- (၁) Chiller များစွာ တပ်ဆင်ထားသည့် plant များ၊ chiller သုံးလုံးထက် ပိုများသည့် plant များ နှင့် base load အလွန် များသည့် plant များတွင် chiller staging လုပ်နေစဉ် စီးနှုန်းမတည်ငြိမ်မှု(flow fluctuation) ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် bypass လုပ်ရန် အနည်းငယ်သာ လိုအပ်သည်။
- (၂) ရှုပ်ထွေးခက်ခဲသည့် control system များကို နိုင်နင်းကျွမ်းကျင်စွာ စီမံနိုင်သည့် ဝန်ထမ်းများရှိသည့် plant များတွင် primary-secondary system များသည် အကောင်းဆုံးနှင့် အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။ Fail-safe operation မရှိမဖြစ် လိုအပ်သည့် အဆောက်အဦများ primary-secondary system များသည် အကောင်းဆုံးနှင့် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သည်။

Table 17-2 advantages and disadvantages of primary-only systems

အားသာချက်များ	အားနည်းချက်များ
Secondary pump တပ်ဆင်ရန် မလိုအပ်သောကြောင့် ကုန်ကျစရိတ်သက်သာသည်။	ရှုပ်ထွေးခက်ခဲသည့် bypass control လိုအပ်သည်။
Plant room အတွင်းတွင် နေရာကျယ်ကျယ် မလိုအပ်ပါ။	Chiller များ sequencing နှင့် staging လုပ်ရန်လည်း ရှုပ်ထွေး ခက်ခဲသည်။
ပန်းများ၏ peak power ကို လျှော့ချနိုင်သည်။	
ပန်းများတွင် သုံးစွဲသည့် စွမ်းအင် ပမာဏ နည်းသည်။	

၁၇.၆ Primary - Secondary System

ပုံ(၁၇-၇)တွင် chiller တစ်လုံးစီအတွက် chilled water pump တစ်လုံးစီ သီးသန့် တပ်ဆင်ထားသည်။ Primary chilled water pump ကို “production pump” ဟုခေါ်သည်။ Primary chilled water circuit/loop ကို “production circuit/loop” ဟုခေါ်သည်။

Secondary chilled water pump ကို “distrubution pump” ဟုခေါ်သည်။ Secondary chilled water circuit/loop ကို “distrubution circuit/loop” ဟုခေါ်သည်။

Primary- secondary pumping system တစ်ခုတွင် chilled water system ကို circuit နှစ်ခု သို့မဟုတ် loop နှစ်ခု ဖြစ်အောင် ပိုင်းခြားထားသည်။ ထို circuit နှစ်ခု သို့မဟုတ် loop နှင့် အကြား စပ်ဆက်နေသည့် နေရာ၌ neutral bridge (de-coupler) ပိုက်တစ်ခု ပါရှိသည်။

- (၁) Primary circuit ဆိုသည်မှာ chilled water ထုတ်ပေးသည့်အပိုင်း ဖြစ်သည်။ Primary pump များသည် constant volume ၊ low head pump များ ဖြစ်ကြသည်။ ပုံသေ စီးနှုန်း(constant flow)ဖြင့် မောင်းသည်။ Chiller များ နှင့် primary pump များကို one to one configuration သို့မဟုတ် common header ပုံစံ(၂)မျိုး တပ်ဆင်နိုင်သည်။
- (၂) Secondary circuit ဆိုသည်မှာ chilled water distribution အပိုင်း ဖြစ်သည်။ Secondary circuit ၏ အစိတ်အပိုင်းများသည် pumps ၊ Fan Coil Units (FCU)၊ Air Handling Units (AHU) နှင့် control valves စသည့် terminal unit များ ဖြစ်ကြသည်။ Secondary pump များသည် constant speed သို့မဟုတ် variable speed pump များ ဖြစ်ကြသည်။ Secondary circuit တစ်ခုတည်း၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) အတွက်သာ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် pump များဖြစ်ကြသည်။
- (၃) De-coupler ပိုက်သည် primary loop နှင့် secondary loop နှစ်မျိုးကို ဆက်သွယ်ထားသည့် common pipe လည်း ဖြစ်သော်လည်း primary loop နှင့် secondary loop ကို hydraulic နည်းဖြင့် ခွဲခြားသည်။ Primary-secondary pumping ၏ သော့ချက်၊ အဓိကအချက်မှာ ပန့်နှစ်မျိုး(primary နှင့် secondary) ကို သီးခြားလွတ်လပ်စွာ မောင်းနှင်အောင် ပြုလုပ် ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ခွဲခြားပေးထားသည်။ ဖိအားကျဆင်းမှု နည်းအောင် ဒီဇိုင်း လုပ်ထားရမည်။

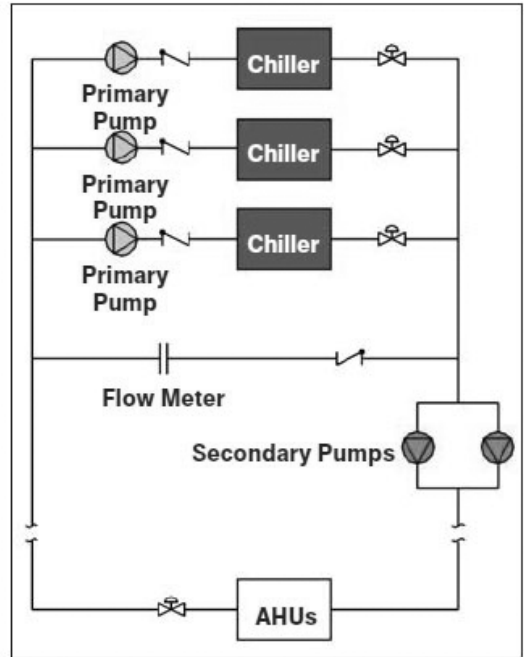
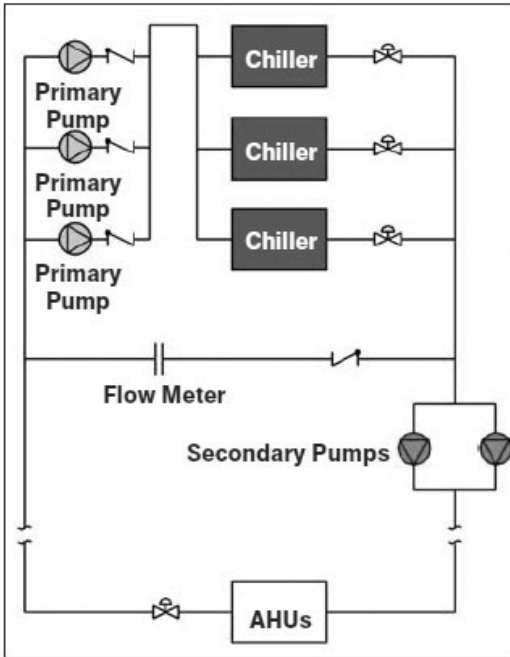
၁၇.၆.၁ Dedicated Pump and Manifold Pump (Common Header)

ပုံ(၁၇-၁၀)တွင် primary-secondary system (circuit/loop) ကို ဖော်ပြထားသည်။ Primary-secondary system ဆိုသည်မှာ primary chilled water circuit (production loop) နှင့် seconadry chilled water circuit (distribution loop) circuit နှစ်မျိုးလုံး ပါရှိသော chilled water system ကို ခေါ်ဆိုသည်။

Primary chilled water pump များကို dedicated pump အနေဖြင့်လည်းကောင်း၊ manifold pump (common header)ဖြင့်လည်းကောင်း (၂)မျိုး တပ်ဆင်နိုင်သည်။

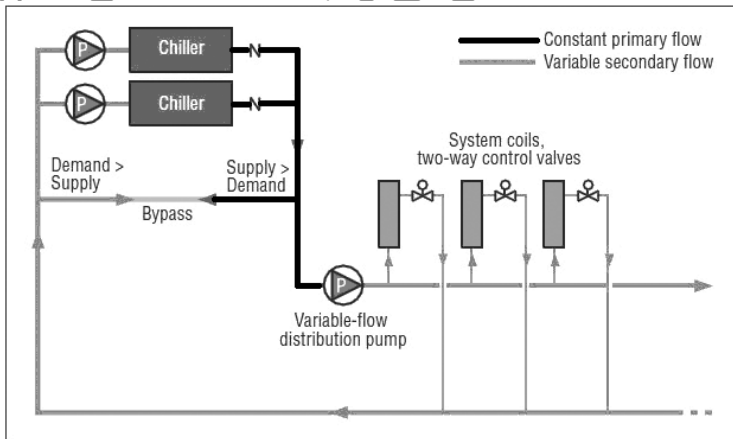
ပုံ(၁၇-၉-ခ)တွင် primary chilled water pump များသည် production loop (primary chilled water circuit/loop)တွင် တပ်ဆင်ထားသော dedicated pump များဖြစ်သည်။ Dedicated pump ဆိုသည်မှာ chiller တစ်လုံးတိုင်း အတွက် ပန့်တစ်လုံးစီ သီးသန့် တပ်ဆင်ထားခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ Manifold pump(common header) ဆိုသည်မှာ pump များနှင့် chiller များကို တိုက်ရိုက် ပိုက်များ သွယ်တန်းထားခြင်းမရှိဘဲ header မှတစ်ဆင့် သွယ်တန်းထားခြင်း ဖြစ်သည်။

သို့သော် secondary chilled water pump သည် dedicated pump များ မဟုတ်ကြပါ။ Common header ဖြင့် မောင်းသော seconadry ပန့်များ ဖြစ်ကြသည်။



ပုံ ၁၇-၉(က) Primary secondary with manifolded pumps (ခ) Primary secondary with dedicated pumps

ပုံ(၁၇-၉)သည် primary - secondary system/circuit သို့မဟုတ်(decoupled system)၏ပုံ ဖြစ်သည်။ ကွာခြားချက်တစ်ခုမှာ ဘယ်ဘက်မှ ပုံ(က)သည် common header ဖြင့် တပ်ဆင်ထားသော primary pump များ ဖြစ်ကြပြီး ညာဘက်မှပုံ(ခ)သည် dedicated pump များ ဖြစ်ကြသည်။



ပုံ ၁၇-၉(ဂ) "Decoupled" (Constant primary and variable secondary flow) system

ပုံ(၁၇-၉-ဂ)ရှိ chilled water system ၌ primary circuit တွင် constant chilled water flow ဖြင့် မောင်းသည့် circuit နှင့် secondary circuit တွင် variable chilled water flow ဖြင့် မောင်းသည့် circuit ဖြစ်သည်။ အရောင်ရင့်သည့်လိုင်း တစ်လျှောက်လုံးတွင် primary chilled water သည် ပုံသေနှုန်း(flow)ဖြင့် စီးသည်။ အရောင်နုလိုင်း တစ်လျှောက်လုံးတွင် secondary chilled water သည် cooling load ကို အခြေခံ၍ စီးနှုန်း အမျိုးမျိုးဖြင့် စီးဆင်းနေလိမ့်မည်။ Primary circuit နှင့် secondary circuit ကို bypass line(ပိုက်)ဖြင့် ချိတ်ဆက် ထားသည်။ ထို bypass line (ပိုက်)သည် မတူညီသည့် ရေလည်ပတ်နှုန်း(chilled water flow rate) ရှိကြသည့် circuit နှစ်ခုကို ထိန်းညှိပေးသည့် အလုပ်ကို တာဝန်ယူသည်။ ထို circuit နှစ်ခု၏ ရေလည်ပတ်နှုန်း(chilled water flow rate)သည် အတိအကျ တူညီမည့် အချိန်မှာ အလွန် ဖြစ်နိုင်ခဲ့သည်။ ထို့ကြောင့် အချိန်တိုင်း၌ circuit တစ်ခု၏ ရေလည်ပတ်နှုန်း(chilled water flow rate)သည် တခြားတစ်ခုထက် အမြဲတမ်း များနိုင်၊ နည်းနိုင်သည်။

၁၇.၆.၂ Dedicated Pumps at Production Loop or Primary Chilled Water Circuit/Loop

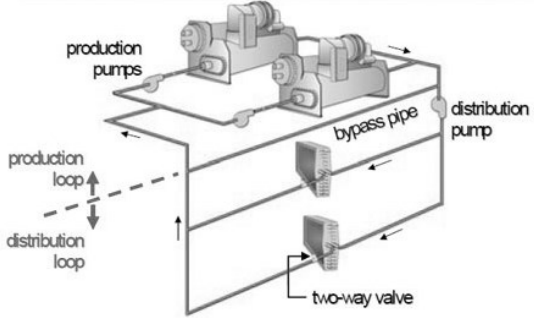
Production loop (primary chilled water circuit/loop) ၌ "dedicated pump" များဖြင့် မောင်းလျှင် chiller များ၏ အမျိုးအစား(type)၊ အရွယ်အစား(size)၊ သက်တမ်း(age)နှင့် ထုတ်လုပ်သူ(manufacturers) တူသည် ဖြစ်စေ၊ မတူသည် ဖြစ်စေ တပ်ဆင်နိုင်သည်။ မတူညီသည့် chiller များတွင် ကွဲပြားသော evaporator pressure drop ရှိကြသည်။ ထို့အပြင် dedicated pump များ နှင့် chiller တစ်လုံးချင်းသည် အတွဲလိုက် ဖြစ်နေသောကြောင့် dedicated pump တစ်လုံးပျက်သွားလျှင် သူနှင့် သက်ဆိုင်သည့် chiller လည်း မောင်း၍ မရတော့ပေ။

Production loop မှ chiller များ မောင်းသည့်အခါ သတ်မှတ်ထားသည့် ပုံသေစီးနှုန်း(constant flow of water)ဖြင့် မောင်းလေ့ ရှိသည်။ ဥပမာ- 500RT (တန်၅၀၀) chiller တစ်လုံး၏ standard chilled water ရေလည်ပတ်နှုန်း (standard chilled water flow rate) သည် 1,200 GPM (500RT x 2.4GPM) ဖြစ် သည်။

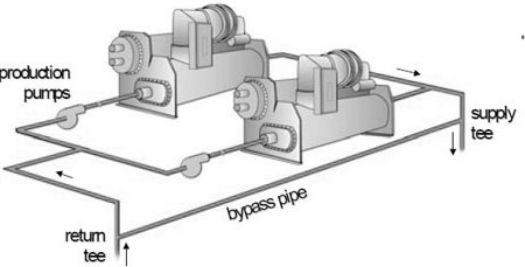
သို့သော် distribution loop မှ AHU/FCU နှင့် CRAC unit များသည် လိုအပ်သည့် cooling load ပေါ်တွင် မူတည်၍ two-way modulating valve ဖြင့် chilled water flow rate ကို လိုသလို ပြောင်းလဲပေးရှိသည်။ ထို့ကြောင့် secondary chilled water (distribution loop) pump များတွင် လိုအပ်သည့် chilled water flow rate အတိုင်း မောင်းနှင်နိုင်ရန် Variable Speed Drive (VSD) သို့မဟုတ် Variable Frequency Drive (VFD) တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

Primary chilled water pump (production pump)သည် ရေကို return tee မှ စုပ်ယူ၍ chiller အတွင်းသို့ တွန်းပို့သည်။ ထိုမှတစ်ဆင့် supply tee သို့ ရောက်သည်။ ထို့ကြောင့် primary chilled water circuit/loop ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure loss) သိပ်မများသောကြောင့် pump head မှာ အနည်းမျှသာ ဖြစ်သည်။ ပန် တစ်လုံးချင်းစီသည် သက်ဆိုင်သည့် chiller ကို လိုက်၍ မောင်းသည်။

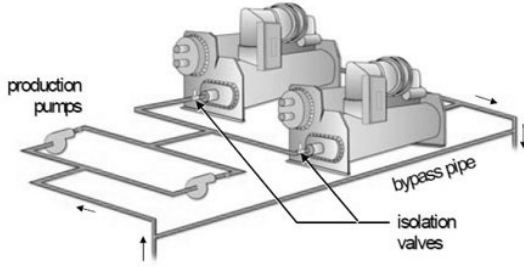
Primary chilled water circuit နှင့် secondary chilled water circuit နှစ်မျိုးလုံးရှိသည့် system ကို primary-secondary system ဟုခေါ်သည်။ Primary-secondary system တစ်ခုသည် production loop (load side) ဘက်တွင် အဆင်ပြေအောင် မောင်းနိုင်သည်။ flexibility ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် load နှင့် ကိုက်ညီအောင် မောင်းနိုင်သည်။



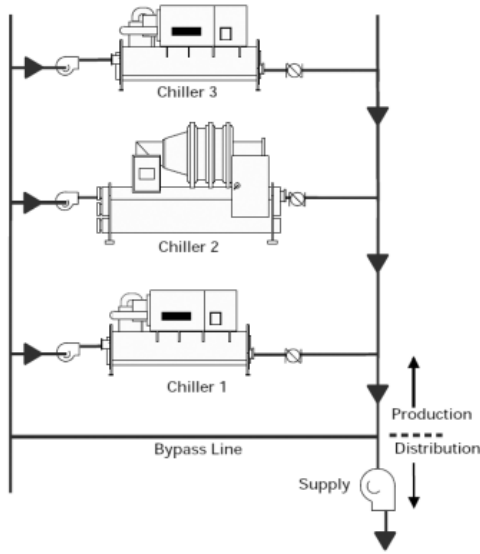
ပုံ ၁၇-၁၀ Production loop နှင့် distribution loop ခွဲခြားထားပုံ



ပုံ ၁၇-၁၁ Dedicated pumps at production loop (primary chilled water circuit/loop)



ပုံ ၁၇-၁၂ MinifolDED production pump သို့မဟုတ် Common header at production loop



Hydraulically decouple ပြုလုပ်ထားပြီး production (chiller) loop နှင့် distribution (AHU/FCU) loop ကို သီးခြား control လုပ်နိုင်သည်။

Primary secondary pumping arrangement တွင် pump များကို အုပ်စု(၂)ခု ခွဲထားသည်။ Production အပိုင်း နှင့် distribution အပိုင်းတို့ ဖြစ်သည်။ ရေများ AHU/FCU ဆီသို့ ရောက်ရန်အတွက် pump (၂)မျိုးစလုံးမှ တွန်းပေးရသည်။ Pump (၂)မျိုး၏ လုပ်ဆောင်ရသည့် တာဝန် မတူညီကြပေ။

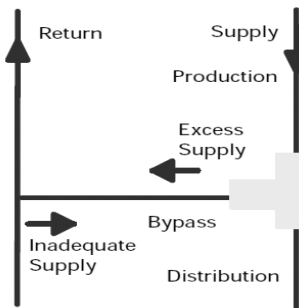
Production pump သို့မဟုတ် primary pump သည် chiller နှင့် production side ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) အတွက် တာဝန်ယူသည်။ Distribution pump များသည် distribution system နှင့် AHU/FCU တို့၏ ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) အတွက် တာဝန်ယူရသည်။

ပုံ ၁၇-၁၃ Decoupled arrangement

Chiller များတွင် အနိမ့်ဆုံးစီးနှုန်း(minimum flow rate)ထက် မလျော့နည်းစေရန်အတွက် bypass ပိုက်နှင့် bypass valve တပ်ဆင် ထားရန် လိုအပ်သည်။

၁၇.၆.၃ Bypass Line သို့မဟုတ် Decouple Line sizing

Primary-secondary နှင့် variable-primary-flow system (decoupled system) များတွင် bypass line တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ Bypass line အရွယ်အစားသည် အကြီးဆုံး chiller ၏ ဒီဇိုင်း စီးနှုန်း(flow rate) ထက် 10% မှ 15% ပိုများအောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ရမည်။ VPF system တွင် bypass line အရွယ်အစားသည် အကြီးဆုံး chiller ၏ အနိမ့်ဆုံးစီးနှုန်း(minimum flow rate) ဖြစ်သည်။



ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)အနည်းဆုံး ဖြစ်စေရန်အတွက် bypass line အတွင်း စီးဆင်းနေမည့် water velocity သည် အလွန် မများသင့်ပေ။ ရေများရောနှောခြင်း(mixing)ကောင်းစွာ ဖြစ်ပေါ်စေရန်အတွက် bypass line သည် လုံလောက်အောင်ရှည်လျားသည့်ပိုက် ဖြစ်ရမည်။ အနည်းဆုံးရှိရမည့် bypass line အရှည်သည် ပိုက်အချင်း ထက် (၁၀)ဆခန့် ဖြစ်ရမည်။ Bypass valve နှင့် သက်ဆိုင်သည့်အချက်များ နှင့် လိုအပ်ချက်များကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

ပုံ ၁၇-၁၄ Decoupled system supply tee

- Bypass Valve
 - Maintain a minimum chilled water flow rate through the chillers
 - Differential pressure measurement across each chiller evaporator
 - Flow meter preferred
 - Modulates open to maintain the minimum flow through operating chiller(s).
 - Bypass valve is normally open, but closed unless Min flow breached
 - Pipe and valve sized for Min flow of operating chillers
 - High Rangeability (100:1 preferred)
 - PSID Ratings for Static, Dynamic, And Close Off = Shut Off Head of Pumps

- Linear Proportion (Flow to Valve Position) Characteristic preferred
- Fast Acting Actuator
- Locate in Plant around chillers/pumps (preferred)
 - Energy saving

၁၇.၆.၄ Bypass Control Problems

Bypass control သည် ခက်ခဲရှုပ်ထွေး(complex) သောကြောင့် ကောင်းစွာ အလုပ်မလုပ်သည့်အခါများနှင့် ကြုံတွေ့နိုင်သည်။ Chiller တစ်လုံးချင်းစီတွင် စီးဆင်းနေသည့် flow ပမာဏကို တိုင်းတာရန် လိုအပ်သည်။ Magnetic flow meter များသည် အကောင်းဆုံးနှင့် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သည်။ Magnetic flow meter များသည် တခြားအမျိုးအစား flow meter များထက် ပို၍ ဈေးကြီးသည်။

(က) တိကျမှု(accuracy) အလွန်ကောင်းသည်။ Elbow များနှင့် valve များနှင့် နီးသည့်နေရာတွင် တပ်ဆင်နိုင်သည်။ Signal transmitter မှ လွဲ၍ flow meter တစ်ခုလုံးကို calibration လုပ်ရန် မလိုအပ်ပေ။

(ခ) Valve အဝင်နှင့် အထွက်အကြားရှိ ဖိအားကွာခြားမှု(differential pressure across the valve)တန်ဖိုးသည် အလွန်ကျယ်ပြန့်သောကြောင့် bypass control valve ရွေးချယ်ခြင်းနှင့် control loop tuning လုပ်ခြင်းတို့သည် တစ်ခါတစ်ရံ အလွန်ခက်ခဲသည်။ ဖြစ်သည်။ Pump နှင့် နီးသည့်နေရာတွင် ဖိအား တန်ဖိုး တည်ငြိမ်လေ့ မရှိပေ။

အရွယ်အစားတူညီသည့် chiller များ တပ်ဆင်ထားလျှင် အနိမ့်ဆုံးစီးနှုန်း(minimum flow rate)သည် chiller တစ်လုံး၏ design flow rate တစ်ဝက်(half)ထက် ပိုနည်းသည်။ System သည် low load ဖြင့် မောင်းနှင်ချိန်၌ differential pressure နည်းသောကြောင့် bypass valve ဖွင့်သွားလိမ့်မည်။ အရွယ်အစား တူညီသည့် chiller များကို တပ်ဆင်ထားသည့်အခါ valve ရွေးချယ်ရာတွင် အဆင်ပြေ လွယ်ကူသည်။ Control loop ကို အလွယ်တကူ tune လုပ်နိုင်သည်။ ။

အရွယ်အစား မတူညီသည့် chiller များ တပ်ဆင်ထားအခါ control loop များကို tuning လုပ်ရာတွင် ပို၍ ခက်ခဲသည်။ ထိုကဲ့သို့မျိုး plant များတွင် pressure independent control valve များကို အသုံးပြုသင့်သည်။ Pressure independent control valve များ သည် အဝင်နှင့်အထွက်နေရာတွင် ဖိအား ကွာခြားချက် ပုံသေ (constant differential pressure) ရရှိအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။

(ဂ) စီးနှုန်း(flow) ရုတ်တရက် များခြင်း၊ နည်းခြင်း စသည့် အခြေအနေများကို bypass control ပါရှိသည့် control system က ကောင်းစွာ control လုပ်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ဥပမာ- AHU များ အားလုံးနီးပါး တစ်ပြိုင်နက် ရပ်တန့်ခြင်း၊ AHU များ တစ်ပြိုင်နက် စတင်မောင်းခြင်း စသည့်အခြေအနေများကို bypass control က တည်ငြိမ်စွာ control လုပ်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

(ဃ) ရှုပ်ထွေးခက်ခဲသည့်(complex) control system များသည် ကောင်းစွာ အလုပ် မလုပ်သည့်အခါမျိုးနှင့် ကြုံတွေ့နိုင်သည်။ Bypass system အလုပ်မလုပ်လျှင် မဖြစ်သင့်သည့်(nuisance) chiller trip များ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Manual reset လုပ်ရန် လိုလိမ့်မည်။ အကယ်၍ reset လုပ်ရန် မောင်းသူ(operator)မရှိလျှင် အချိန်ကြာမြင့်စွာ ရပ်တန့်နေခြင်း(out of service) အချိန်ကြာမြင့်စွာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

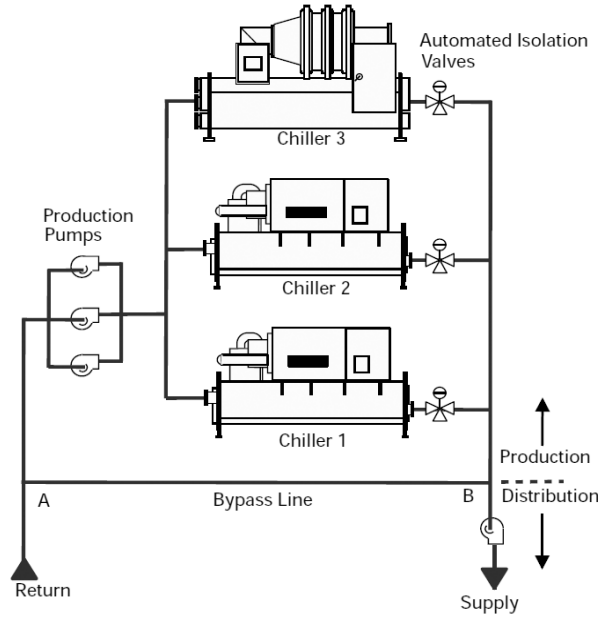
အတားအဆီးမရှိသည့် (unrestricted) bypass line ဖြင့် hydraulically decouple လုပ်ထားသောကြောင့် production အပိုင်းနှင့် distribution အပိုင်းတို့တွင် စီးနှုန်း(flow rate)တူညီရန် မလိုအပ်ပေ။ Pumping system နှစ်ခုသည် သီးခြား(independent) ဖြစ်နေသော်လည်း တူညီသည့် အချက်များ ရှိကြသည်။

- (က) Bypass piping
- (ခ) No-flow static head (from the building water column) နှင့်
- (ဂ) Water တို့ ဖြစ်သည်။

Dynamic head ပြောင်းလဲခြင်း သို့မဟုတ် မောင်းနှင်သည့် chiller အရေအတွက်(number of operating chillers) ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် စီးနှုန်း(flow) သို့မဟုတ် ဖိအား(pressure)ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။

Decoupling ဖြစ်ခြင်းသည် bypass pipe အတွင်း restriction အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Bypass piping ဌာ ရေပမာဏ မည်မျှစီးပါစေ ဖိအားကျဆင်းမှုလုံးဝမရှိခြင်း(zero pressure loss)မျိုး လက်တွေ့တွင် မဖြစ်နိုင်ပါ။ အရေးအကြီးဆုံးအချက်မှာ bypass piping ကို မလိုလားအပ်သည့် ကန့်သတ်ချက်များ(restrictions)မှ ကင်းဝေးအောင် ပြုလုပ်ထားရန် ဖြစ်သည်။ ဥပမာ- check valve များ တပ်ဆင်ထားခြင်း။

၁၇.၆.၅ Production Loop/Circuit သို့မဟုတ် Primary Loop/Circuit



Production loop နှင့် distribution loop သည် သီးခြား(independent) ဖြစ်သည်။ Conventional chilled water temperature controller နှင့် အဆင်ပြေစွာ အသုံးပြုနိုင်သည်။

အမျိုးအစား၊ သက်တမ်း၊ အရွယ်အစား၊ ထုတ်လုပ်သည့် ကုမ္ပဏီ တူညီသည့် chiller များ တပ်ဆင်ထားခြင်းသည် အရိုးရှင်းဆုံး(simplest) ပုံစံဖြစ် သည်။ ထို့ကြောင့် chiller များ အားလုံးတွင် တူညီ သည့် leaving chilled water temperature ဖြင့် မောင်းနှင်သည်။

တူညီသည့် system temperature rise (temperature difference) ဖြစ်ပေါ်သည်။

ပုံ ၁၇-၁၅ Production loop

Decoupled system တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် chiller များသည် တူညီသည့် chilled water temperature ထုတ်ပေးသောကြောင့် မောင်းနှင်သည့် chiller များတွင် တူညီသည့် loading percentages(%) ဖြစ်ပေါ်သည်။

Distribution pump သို့မဟုတ် secondary pump များသည် supply header water မှ ရေများကို စုပ်ယူပြီး distribution piping မှတစ်ဆင့် AHU/FCU များ ဆီသို့ တွန်းပို့ပေးသည်။ ထိုရေများသည် terminal unit များမှ အပူများကို စုပ်ယူပြီး chiller water header သို့ ပြန်ရောက်လာသည်။

Distribution system အပိုင်းသည် နားလည်ရန် လွယ်ကူသည်။ ပုံ(၁၇-၁၆)တွင် cooling coil များ ပါဝင်သည့် distribution system ကို ရိုးရှင်းသည့်ပုံစံဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ Cooling coil တစ်ခုစီကို valve တစ်ခုစီဖြင့် flow control လုပ်သည်။ ဤ configuration တွင် flow control valve သည် three way valve မဖြစ်စေရ။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် ပုံသေစီးနှုန်း မဖြစ်ပေါ်စေချင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Two-way modulating valve များကို အသုံးပြုရမည်။ Load ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် system flow ပြောင်းလဲသည်။ Chiller များသည် flow ပြောင်းလဲမှုကို တည်ငြိမ်စွာ တုံ့ပြန်ရန် လိုအပ်သည်။

ကောင်းစွာ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် system များသည် part-load ဖြင့်မောင်းနှင်ချိန်တွင် pump အတွက် လိုအပ်သည့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption)ကို သိသိသာသာ လျော့ချနိုင်သည်။ Decoupled system အများစုတွင် variable speed drive distribution pump များ တပ်ဆင်ထားကြသည်။

AHU ၊ FCU ၊ CRAC unit စသည့် terminal equipment များအားလုံးတွင် တစ်ပြိုင်နက် (simultaneously) peak load မဖြစ်ပေါ်ပေ။ မည်သည့် အချိန်တွင်မဆို လက်ရှိမောင်းနေသည့် load သည် peak load စုစုပေါင်း (sum of the peaks load)ထက် လျော့နည်းသည်။ ထိုသို့လျော့နည်းခြင်းသည် load diversity ကြောင့်ဖြစ်သည်။ Load diversity ကြောင့် chiller ၊ pump နှင့် pipe အရွယ်အစား(sizes) သိသိ သာသာ သေးငယ်သွားသည်။

Variable flow system များတွင် pump များသည် load နှင့် ကိုက်ညီသည့် ရေပမာဏကိုသာ တွန်းပို့သည်။ ထို့ကြောင့် အမြဲတမ်း လိုအပ်သည့် flow rate ဖြင့်သာ မောင်းနေသောကြောင့် over pumping မဖြစ်နိုင် တော့ပေ။ ပန်အတွက် လိုအပ်သည့် စွမ်းအင်(pumping energy)ကို လျော့ချနိုင်သည်။ Return water temperature မြင့်တက် စေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် AHU ၊ FCU တို့မှ ပြန်လာသည့် ရေအပူချိန်(return water temperature) ပိုမြင့်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် chilled water များသည် အသုံးမပြုသည့် cooling coil အတွင်းသို့ စီးဝင်သွားခြင်း မရှိသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

လက်တွေ့ အခြေအနေ၌ full load ဖြင့် မောင်းနေမည့်အချိန် အလွန်နည်းသောကြောင့် အမြင့်ဆုံး chilled water return အပူချိန်ရနိုင်သည့် အခြေအနေ အမြဲတမ်း မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။ စနစ်တကျ ကောင်းစွာ မောင်းနှင်နေသည့် system တွင် part load condition ၌ return water အပူချိန်သည် design temperature ထက် ပိုမြင့်နိုင်သည်။ Counter flow cooling coil များ တပ်ဆင်ထားလျှင် coil မှ ထွက်လာသည့် chilled water အပူချိန် ပိုမြင့်နိုင်သည်။

Return water အပူချိန်မြင့်မြင့် ရရှိခြင်းသည် system design ကောင်းခြင်း၏ အားသာချက် ဖြစ်ပြီး chiller များ ၏ efficiency ပိုကောင်းနိုင်သည်။ Return water အပူချိန်မြင့်တက်ခြင်းသည် မည်သည့် system configuration အတွက် မဆို ကောင်းမွန်သည့် အချက် ဖြစ်သည်။

၁၇.၆.၆ Secondary Loop Flow Control

Central system များ၏ configuration သည် အဆောက်အဦ အသုံးပြုပုံပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Primary variable flow နှင့် primary/secondary variable flow နှစ်မျိုးသည် energy efficient ဖြစ်သည့် configuration များ ဖြစ်ကြသည်။

Variable flow ဖြစ်ပေါ်ရန်အတွက် terminal equipment များတွင် two-way automatic control valve များကို တပ်ဆင်၍ pump များကို Variable Frequency Drive (VFD)နှင့် တွဲ၍သော်လည်းကောင်း၊ bypass valve ဖြင့်သော် လည်းကောင်း တွဲ၍ အသုံးပြုသည်။ အဝေးဆုံးနေရာ(farthest point or last control valve and terminal unit)၌ system pressure ကို တည်ငြိမ်အောင် ထိန်းသိမ်းထားခြင်းသည် အဓိကအချက်ဖြစ်သည်။

Primary/secondary system တွင် primary loop သည် constant flow loop ဖြစ်ပြီး secondary loop သည် variable flow loop ဖြစ်သည်။ Primary loop နှင့် secondary loop ကို decouple pipe ဖြင့် ဆက်ထားသည်။

Primary/secondary နှင့် primary variable flow design နှစ်မျိုးတို့အနက် မည်သည့် ဒီဇိုင်းကို ရွေးချယ် သည် ဖြစ်စေ အင်ဂျင်နီယာသည် two way modulating valve များ နှင့် three-way modulating valve များ တို့၏ အလုပ်လုပ်ပုံ ကွဲပြားချက်များကို နားလည်သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်သည်။ 2 way valve များ တပ်ဆင် ထားသည့် system များတွင် terminal unit များသည် cooling load နည်းချိန်တွင် 2 way valve ကို ပိတ်ထားသည့် အနေ အထားသို့ ရောက်အောင် modulate လုပ်ပေးသည်။ ထိုအခါ system pressure မြင့်တက်လာသည်။ System pressure ကို set point (pressure)တွင် ထိန်းထားရန် အတွက် VSD က pump speed ကို လျော့ချပေးခြင်းဖြင့် chilled water flow rate ကို လျော့နည်း သွားစေသည်။ Piping loop ၏ သုံးပုံနှစ်ပုံ(two-thirds)နေရာတွင် တပ်ဆင် ထားသည့် pressure differential sensor ဖြင့် VFD ကို control လုပ်သည်။ Two way flow control valve နှင့်

three flow control valve များ အကြောင်းကို HVAC Controls and Building Automation Systems စာအုပ်တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

Pressure Differential Sensor တပ်ဆင်ရမည့်နေရာ

တချို့သော system များ၌ အဝေးဆုံးတစ်နေရာ(farthest point in the system)နေရာတွင် အနိမ့်ဆုံး ဖိအား(minimum pressure)သာ ရရှိနိုင်သောကြောင့် pressure differential sensor တပ်ဆင်ထားမည့် နေရာ အဖြစ် ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။

Control အလုပ်လုပ်ပုံ

Supply ဘက်နှင့် return ဘက် ဖိအားကွာခြားချက်(pressure differential)မြင့်တက်လာလျှင် VFD ၏ speed ကို လျော့ချရန်အတွက် sensor မှတန်ဖိုးများအရ controller က signal ထုတ်ပေးသည်။ System demand များသည့်အခါ သို့မဟုတ် load များလာသည့်အခါ flow များများ ရရှိရန် လိုအပ်သောကြောင့် control valve ကို ပိုဖွင့်(open)ပေးရသည်။ Valve ပွင့်သွားသည့်အခါ ဖိအား ကွာခြားချက်(system pressure difference) လျော့နည်း သွားသောကြောင့် pump speed ကို မြှင့်တင်ရန် controller မှ signal ထုတ်ပေးသည်။

Part load ဖြင့် မောင်းနှင်ချိန်တွင် သတ်မှတ်ထားသည့် အနိမ့်ဆုံးစီးနှုန်း(minimum flow)ထက် မလျော့နည်းစေရန် သတိပြုသင့်သည်။ Distribution system pump ကို ရွေးချယ်သည့်အခါ distribution flow သည် production flow ထက် ပိုမများစေရန် သတိပြုသင့်သည်။ လိုအပ်သည့် စီးနှုန်း(flow)ထက် ပိုများ သောကြောင့် low ΔT syndrome ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

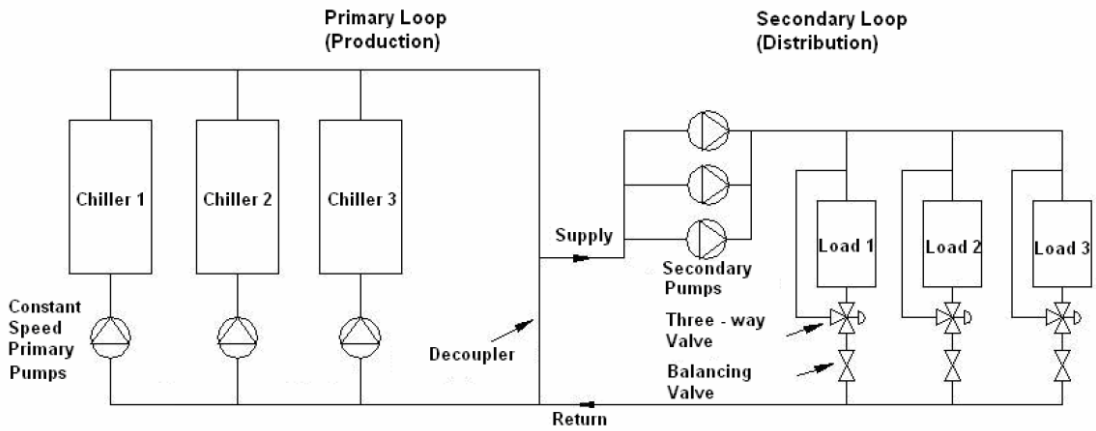
Constant-volume system များသည် ပုံသေစီးနှုန်း(flow constant) ဖြင့်သာမောင်းနှင်လိမ့်မည်။ စီးနှုန်း မပြောင်းလဲပေ။ ထိုကဲ့သို့သော system များတွင် three way control valve များကို အသုံးပြုကြသည်။ Three way valve များတွင် bypass port ပါရှိ သောကြောင့် terminal heat transfer device များ၊ AHU နှင့် FCU များနေရာတွင် သတ်မှတ် ထားသည့် ဒီဇိုင်းစီးနှုန်း(design flow)ဖြင့်သာ ပုံမှန် စီးဆင်းနေသည်။

Constant volume design တွင် plant နှင့် terminal heat exchange device (AHU/FCU) များအကြား၌ ဒီဇိုင်းစီးနှုန်း(design flow) မပြောင်းလဲသောကြောင့် အပူချိန် အတက်အကျ များခြင်း(temperature swing) ဖြစ်ပေါ်သည်။

Cooling plant ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှင့် မောင်းနှင် ကုန်ကျစရိတ်သည် supply temperature set point အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Supply နှင့် return အကြားတွင် အပူချိန်ကွာခြားချက်(temperature difference) များ သောကြောင့် လိုအပ်သည့် စီးနှုန်း(flow)လျော့နည်းပြီး သေးငယ်သည့် ပိုက်နှင့် valve များသာ တပ်ဆင်ရန် လိုအပ် သည်။ တပ်ဆင်ခကုန်ကျစရိတ်(installation cost) လျော့နည်းနိုင်သည်။

သို့သော် ကြီးမားသည့် coil များ နှင့် heat exchanger များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သောကြောင့် equipment များအတွက် ကုန်ကျစရိတ် ပိုများနိုင်သည်။ ဒီဇိုင်း အင်ဂျင်နီယာများ အနေဖြင့် supply နှင့် return အကြားတွင် အပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature difference) များနိုင်သမျှ များအောင် ဒီဇိုင်း လုပ်သင့်သည်။

Chilled water system များ၏ distribution အပိုင်းတွင် pump စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့ချရန်အတွက် return water temperature မြင့်မြင့်ဖြင့် မောင်းနှင်အောင် ကြိုးစားသင့်သည်။ ဒီဇိုင်းလုပ်သင့်သည်။ System efficiency ပိုကောင်းနိုင်သည်။

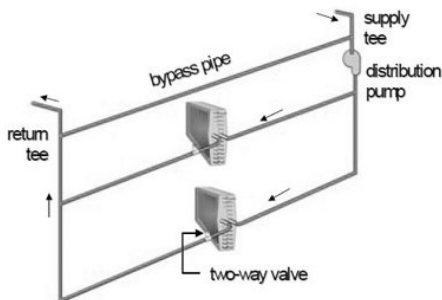


ပုံ ၁၇-၁၆ Constant flow primary/secondary chilled water system

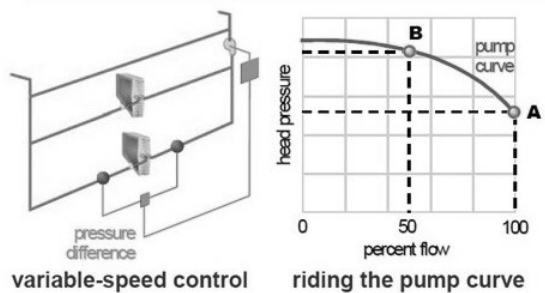
Variable flow distribution ဒီဇိုင်းတွင် low ΔT syndrome မဖြစ်ပေါ်အောင် အထူးသတိပြုရန် လိုအပ်သည်။

Primary-secondary system ရှိသော AHU/FCU များတွင် modulating two-way control valve များကို အသုံးပြုထားလျှင် ASHRAE/IESNA Standard 90.1-1999 (Section 6.3.4.1) စည်းကမ်းချက်များအရ variable-flow ဖြစ်အောင် distribution pump (secondary pump) များကို VSD (VFD) များဖြင့် တပ်ဆင်၍ မောင်းရမည်။

အထက်ပါပုံ(၁၇-၁၆)သည် constant primary and constant variable system တစ်ခု၏ပုံ ဖြစ်သည်။ Constant speed primary pumps တစ်စုံ နှင့် constant speed secondary pumps တစ်စုံ ပါဝင်သည်။



ပုံ ၁၇-၁၇ Distribution loop and bypass pipe



ပုံ ၁၇-၁၈ VSD control နှင့် pump curve

Secondary chilled water pump (distribution pump) သည် supply tee မှ chilled water ကို AHU/FCU/CRAC unit စသည့် load terminal များဆီသို့ တွန်းပို့သည်။ ထိုရေသည် AHU/FCU/CRAC unit မှတစ်ဆင့် return tee ဆီသို့ ပြန်ရောက်လာကာ primary chilled water circuit ဆီသို့ ရောက်သွားသည်။

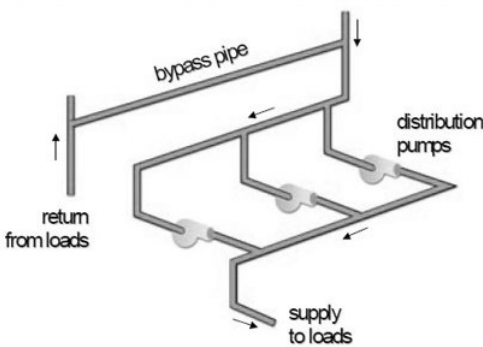
Primary chilled water pump နှင့် secondary chilled water pump တို့၏ စီးနှုန်း(flow rate) နှင့် pump head တို့ မတူညီကြပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် primary chilled water pump ၏ head ကို primary chilled water circuit ၏ friction loss ကို ကျော်ရုံ ဒီဇိုင်း လုပ်ထား(select လုပ်ထား) ပြီး secondary chilled water pump ၏ head ကို secondary chilled water circuit ၏ friction loss အတွက် ဒီဇိုင်းလုပ်ထား(select လုပ်ထား)သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

Primary chilled water pump ၏ စီးနှုန်း(flow rate)သည် chiller ၏ ရေစီးနှုန်း(flow rate)နှင့် တူညီသည်။ Secondary chilled water pump ၏ စီးနှုန်း(flow rate)သည် demand side ၏ အမြင့်ဆုံး (peak load)၏ စီးနှုန်း(flow rate)ဖြစ်သည်။

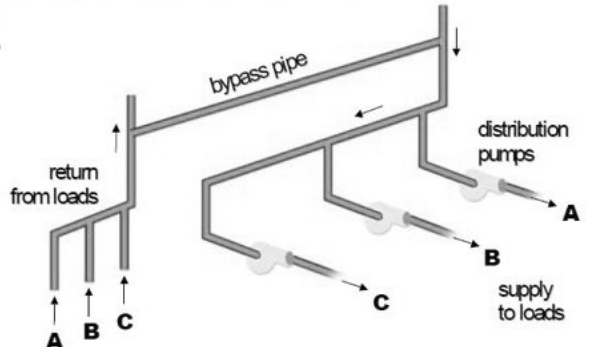
Secondary chilled water circuit ၏ ရေလည်ပတ်နှုန်း(chilled water flow rate) သည် အဆောက်အဦ တစ်ခုလုံး၏ cooling load ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အဆောက်အဦတစ်ခုလုံး၏ cooling load သည် အချိန်နှင့် ရာသီဥတုကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ ထို့ကြောင့် secondary chilled water circuit ၏ ရေလည်ပတ်နှုန်း(chilled water flow rate)သည်လည်း အချိန်နှင့် ရာသီဥတုကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။

Secondary chilled water pump ကို Variable Speed Drive (VSD) သို့မဟုတ် Variable Frequency Drive (VFD) ဖြင့် မောင်းနှင်ရမည်။ ထို VSD သည် part load သို့မဟုတ် လိုအပ်သည့်အချိန်၌ လိုအပ်သည့် speed (chilled water flow rate) ဖြင့် မောင်းနှင်သောကြောင့် စွမ်းအင် ချွေတာမှု(energy saving) နိုင်သည်။

Secondary chilled water pump ကို variable-speed drive ဖြင့် မောင်းနှင်သည်။ Supply ပိုက်နှင့် return ပိုက်၏ ဖိအားခြားနားမှု(pressure difference between the supply and return water piping)ကို အခြေခံ၍ variable speed drive ကို မောင်းသည်။ ဖိအားခြားနားမှု(pressure difference) များလျှင် variable speed drive သည် ပန်လည်ပတ်နှုန်း(speed)ကို လျှော့ချပေးသည်။ ဖိအားခြားနားမှု(differential pressure) နည်းလျှင် Variable Speed Drive(VSD) သည် လည်ပတ်နှုန်း(speed)ကို မြှင့်တင်ပေးသည်။



ပုံ ၁၇-၁၉(က) ဤကဲ့သို့ common header မှ secondary pump သည် အထပ်မြင့်သည့် (high raise)အဆောက်အဦ များအတွက် သင့်လျော်သည်။



ပုံ ၁၇-၁၉(ခ) ဤကဲ့သို့ individual secondary pump များသည် ကောလိပ်ကျောင်းကဲ့သို့သော မတူညီသည့် အဆောက်အဦများ တစ်ခုချင်းစီ အတွက် သင့်လျော်သည်။

အဆောက်အဦတစ်ခုလုံး၏ cooling load နည်းလာလျှင် AHU နှင့် FCU တို့၏ two-way control valve သည် တဖြည်းဖြည်း ပိတ်လိမ့်မည်။ Cooling load နည်းလာလေ chilled water လိုအပ်မှု နည်းလေဖြစ်ပြီး two-way control valve ပိတ်လေဖြစ်ကာ supply ပိုက်နှင့် return ပိုက်တို့အကြားတွင် system differential pressure တဖြည်းဖြည်း မြင့်တက်လာလေ ဖြစ်သည်။ ထိုဖိအားခြားနားမှု(differential pressure)ကို အခြေခံ၍ secondary chilled water pump (distribution pump) ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို လျှော့ချရန်အတွက် signal အဖြစ် အသုံးပြုသည်။

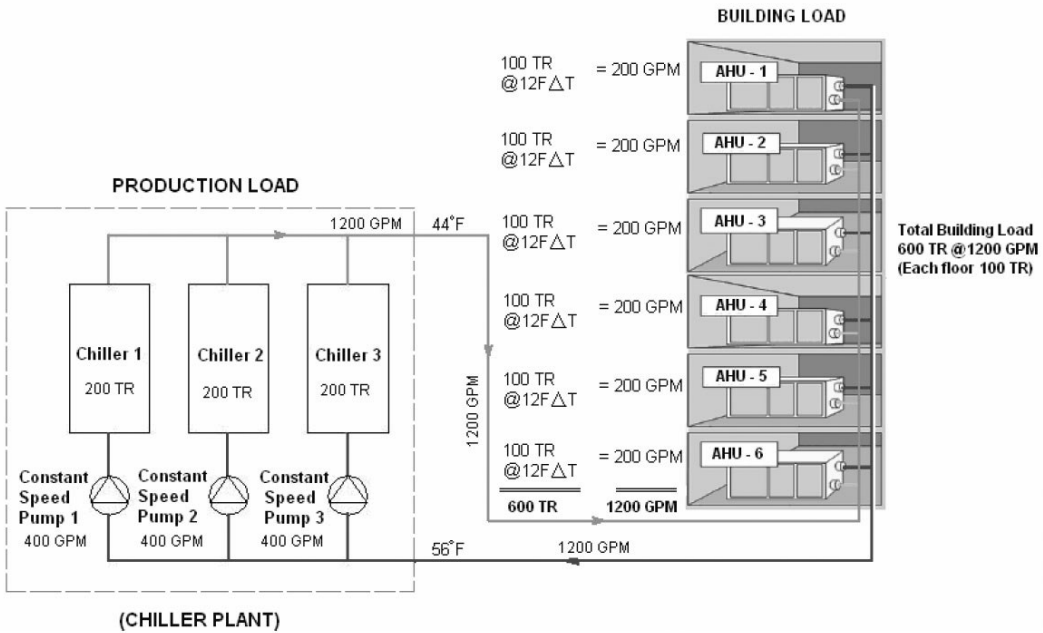
မည်သည့် distribution pumping arrangement မျိုး ဖြစ်ပါစေ primary-secondary system ကို အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။ ကောလိပ်ကျောင်းဆောင်များ ကဲ့သို့သော နေရာအနှံ့အပြားတွင် ရှိသော မတူညီသည့် အဆောက်အဦများ တစ်ခုချင်းစီကို ပန်တစ်လုံးချင်းစီ(multiple distribution pump configuration) မျိုးဖြင့်လည်း တပ်ဆင်နိုင်သည်။

ဥပမာ-ပုံ(၁၇-၁၉-ခ)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း East building (A) ၊ West building (B) နှင့် Central building (C) ဆီသို့ သီးခြား distribution pumps (A)၊ (B) နှင့် (C) တို့ဖြင့် မောင်းနှင်ရန် တပ်ဆင်ထားသည်။

ထိုကဲ့သို့ configuration ဖြင့် pump များကို တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် ပို၍ flexibility ကောင်းသည်။ တိုးချဲ့လိုလျှင် နောက်ထပ်ပန်တစ်လုံးကို ထပ်ထည့်ရုံဖြင့် အဆင်ပြေသည်။ နောက်အဆောက်အအုံ အသစ် တစ်လုံး ဆောက်လျှင် နောက်ထပ် pump တစ်စုံကို ထပ်ထည့်ရုံဖြင့် အဆင်ပြေသည်။

ဥပမာ သုံးမျိုး

အောက်တွင် primary circuit (supply flow) နှင့် secondary circuit (demand flow) တို့ မတူညီခြင်းကို အခြေခံ၍ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် အခြေအနေသုံးမျိုးကို ဥပမာ သုံးမျိုးဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ Primary secondary system များကို ဒီဇိုင်းလုပ်သည့် အခါတိုင်း သို့မဟုတ် ချို့ယွင်းချက်ရှာသည့်အခါ(trouble shooting)တိုင်း အောက်ပါ ဥပမာသုံးမျိုးကို အခြေခံကြရသည်။ အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည့် ဥပမာသုံးမျိုးကို လေ့လာခြင်းဖြင့် primary/secondary system အကြောင်းကို ပိုမို ရှင်းလင်းစွာ နားလည် သဘောပေါက်နိုင်သည်။



ပုံ ၁၇-၂၀ Secondary flow (1200 GPM) နှင့် primary flow (800 GPM) တို့ တူညီသည့် ဥပမာ

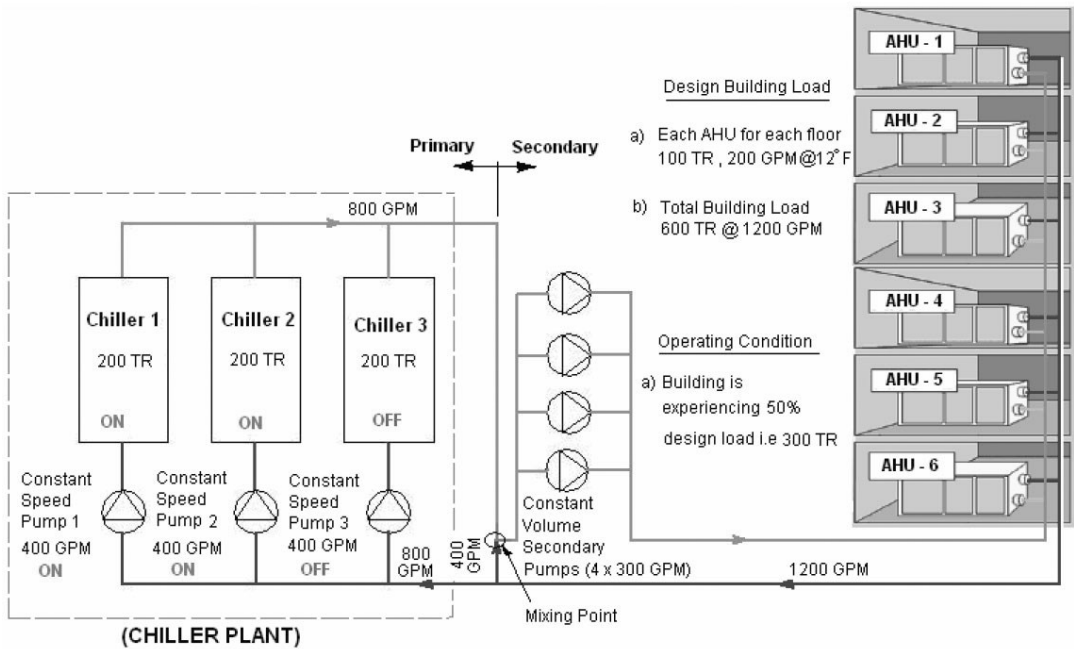
၁၇.၆.၇ Secondary (Demand) Flow နှင့် Primary (Supply) Flow တို့ တူညီသည့် ဥပမာ

Secondary flow (1200 GPM) နှင့် primary flow (1200 GPM) တို့ တူညီသည့် ဥပမာဖြစ်သည်။ (ပုံ ၁၇-၂၀) တွင် အသေးစိတ်အချက်အလက်များကို ဖော်ပြထားသည်။

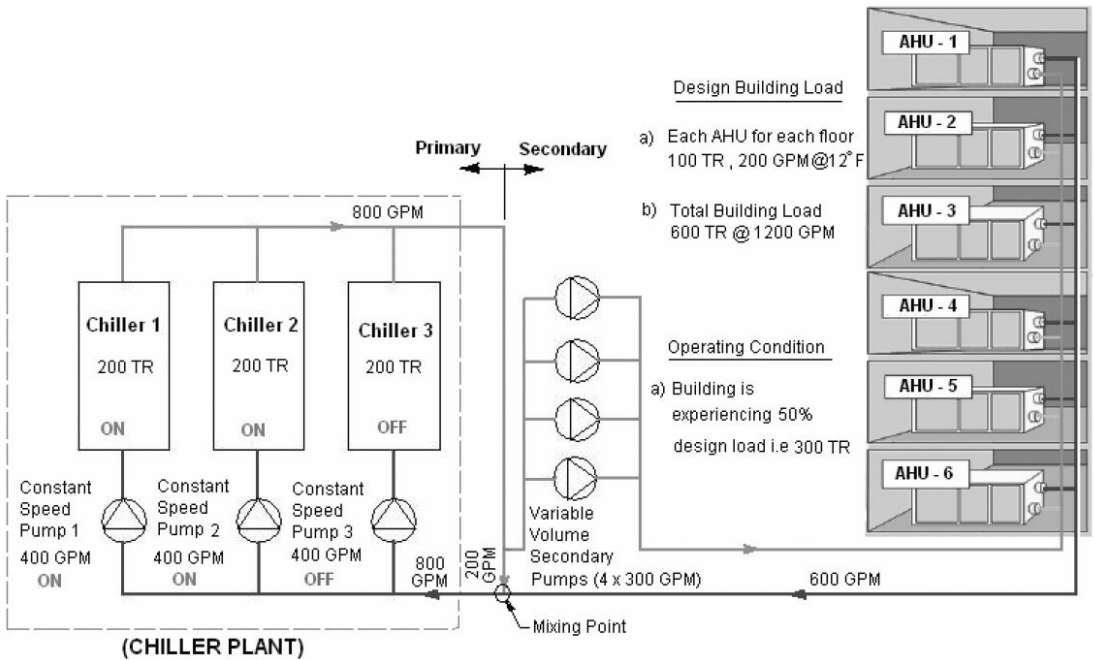
- ပုံ(၁၇-၂၀)သည် secondary circuit တွင် building cooling load အရ လိုအပ်သော ရေလည်ပတ်နှုန်း (chilled water flow rate) သည် 1200 GPM ဖြစ်သည်။
- Primary circuit (production load = pump 1 လုံးလျှင် 400 GPM ရှိသော pump (၃)လုံး မောင်းသောကြောင့် ရေလည်ပတ်နှုန်း (chilled water flow rate) 1200 GPM ဖြစ်သည်။
- ထို့ကြောင့် primary side (supply side) flow နှင့် secondary side (demand side) flow တို့သည် တူညီသောကြောင့် bypass line အတွင်း၌ chilled water စီးဆင်းနေလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

၁၇.၆.၈ Secondary (Supply) Flow သည် Primary (Demand) Flow ထက် ပိုများသည့် ဥပမာ

Secondary flow (1200 GPM) သည် primary flow (800 GPM) ထက် ပိုများသည့် ဥပမာဖြစ်သည်။ (ပုံ ၁၇-၂၀) တွင် အသေးစိတ်အချက်အလက်များကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၇-၂၁ Secondary circuit (demand) 1200 GPM > Primary circuit (supply) 800 GPM



ပုံ ၁၇-၂၂ Secondary circuit (demand) 600 GPM < Primary circuit (supply) 800 GPM

- ❑ Secondary circuit တွင် building load အရ လိုအပ်သော ရေလည်ပတ်နှုန်း(chilled water flow rate)သည် 1,200 GPM ဖြစ်သည်။
- ❑ Primary circuit (production load = pump 1 လုံးလျှင် 400 GPM ရှိသော pump (၂) လုံးသာ မောင်းသောကြောင့် ရေလည်ပတ်နှုန်း(chilled water flow rate) 800 GPM ဖြစ်သည်။
- ❑ ထို့ကြောင့် primary side (supply side) flow သည် secondary side (demand side) flow ထက် 400 GPM (1200GPM - 800GPM) ပိုနည်းသည်။ ထို့ကြောင့် bypass line တွင် secondary circuit (demand) မှ ပိုနေသည့်

400 GPM သည် secondary circuit မှ primary circuit (supply)ဘက်ဆီသို့ စီးဆင်းနေသည်။

Secondary circuit (demand side)ရှိ chilled water flow(1200) သည် primary circuit (supply side)ရှိ chilled water flow (800 GPM)သည် ထက် ပိုများနေသောကြောင့် secondary circuit မှ chilled water များသည် bypass ပိုက် သို့မဟုတ် decouple ပိုက်မှ တစ်ဆင့် primary circuit (supply)ဘက်ဆီသို့ စီးဆင်းနေလိမ့်မည်။

အပူချိန်မြင့်သည့် return chilled water သည် chilled water supply နှင့် ရောနှောသွားသောကြောင့် chilled water supply temperature မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ Chilled water supply temperature အလွန်မြင့်တက်ပါက AHU/FCU များတွင် ပြဿာနာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

၁၇.၆.၉ Secondary (Supply) Flow သည် Primary (Demand) Flow ထက် ပိုနည်းသည့် ဥပမာ

Secondary flow (600 GPM)သည် primary flow (800 GPM)ထက် ပိုနည်းသည့် ဥပမာဖြစ်သည်။ (ပုံ ၁၇-၂၂) တွင် အသေးစိတ် အချက်အလက်များကို ဖော်ပြထားသည်။

- Primary circuit (supply) ၏ ရေလည်ပတ်နှုန်း (chilled water flow rate)သည် 800 GPM ဖြစ်သည်။
- Secondary circuit (demand) ၏ ရေလည်ပတ်နှုန်း(chilled water flow rate) သည် 600 GPM ဖြစ်သည်။
- ထို့ကြောင့် primary side (supply side) flow သည် secondary side (demand side) flow ထက် 200 GPM (800-600) ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် bypass line အတွင်းတွင် primary circuit (supply) မှ ပိုသည့် 200 GPM သည် secondary circuit (demand)ဆီသို့ စီးဆင်းနေသည်။

Secondary circuit (demand side) ရှိ chilled water flow (600 GPM)သည် primary circuit (supply side)ရှိ chilled water flow (800 GPM)ထက် ပိုနည်းနေသောကြောင့် primary circuit မှ chilled water များသည် bypass ပိုက် သို့မဟုတ် decouple ပိုက်မှ တစ်ဆင့် secondary circuit (supply)ဘက်ဆီသို့ စီးဆင်းနေလိမ့်မည်။

အပူချိန်နိမ့် သည့် chilled water supply သည် chilled water return နှင့် ရောနှောသွားသောကြောင့် chiller အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် chilled water return temperature နိမ့်ဆင်းလာလိမ့်မည်။ Chilled water return temperature အလွန်နိမ့်ပါက lower Delta T ပြဿာနာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Chiller efficiency ကျဆင်းနိုင်သည်။

၁၇.၆.၁၀ Primary-secondary system ၏ အားသာချက်များ

Primary-secondary system ၏ အားသာချက်များမှာ

- (၁) Evaporator အတွင်း၌ စီးနှုန်း မပြောင်းလဲခြင်း (constant flow through evaporator)

Primary-secondary system များတွင် secondary flow ပြောင်းလဲနေသော်လည်း chiller ၏ evaporator အတွင်း၌ စီးနှုန်းမပြောင်းပေ။ မလိုလားအပ်သည့် ရပ်တန့်ခြင်း(inadvertent shutdown) ပြဿနာများ မဖြစ်ပေါ် နိုင်ပေ။ Chiller evaporator အတွင်း၌ ရေခဲခြင်း(freezing) မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။ Load နည်းသည့် အခြေအနေတွင် laminar flow ဖြစ်ပေါ်ခြင်းကို ရှောင်လွှဲနိုင်သည်။ Primary flow သည် system flow ထက် ပိုများ နေသမျှ ကာလပတ်လုံး decouple ပိုက်အတွင်းသို့ primary loop မှ chilled water များ စီးဝင် နေလိမ့်မည်။

- (၂) Primary-secondary system များကို control လုပ်ရာတွင် လွယ်ကူသည်။ Chiller controls packages များသည် ကောင်းစွာ staging sequence လုပ်ပေးနိုင်သည်။ Chiller များသည် ပြောင်းလဲနေသည့် load အမျိုးမျိုးကို ကောင်းစွာ မောင်းပေးနိုင်သည်။

- (၃) Primary-secondary system များသည် နားလည်ရန် လွယ်ကူခြင်း၊ ရှင်းလင်းစွာ မောင်းနှင်ခြင်း တို့ကြောင့် ဝန်ထမ်းများအတွက် အဆင်ပြေသည်။ တည်ငြိမ်သည့် system၊ ကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်သည့် system၊ စိတ်ချရမှုမြင့်မားသည့် system ဖြစ်ကြောင်း project ပေါင်းများစွာက သက်သေခံသည်။
- (၄) Total dynamic head ကို independent loop နှစ်ခုအဖြစ် ခွဲခြားထားသည်။ ပန်တစ်မျိုးချင်းစီ၏ မော်တာ အရွယ်အစား ပိုသေးငယ်သည်။

၁၇.၆.၁၁ Primary/Secondary System များ၏ အားနည်းချက်များ(Disadvantages)

Primary-secondary system ၏ အားနည်းချက်များကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Low ΔT syndrome ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Primary-secondary system များတွင် evaporator အတွင်းရှိ chiller water flow rate ကို ဒီဇိုင်း flow rate ထက် ပိုများစွာ မပြုပေ။ ထို့ကြောင့် လက်တွေ့တွင် ဖြစ်ပေါ်နေသည့် စီးနှုန်း(actual flow)သည် ဒီဇိုင်း flow ထက် အမြဲ လျော့နည်းလေ့ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် load နည်းသည့် အချိန်များတွင် chilled water return temperature နိမ့်သည်။

Cooling load လျော့နည်းလာလျှင် secondary pump VSD များသည် pump speed ကို လျော့ချပေးသောကြောင့် စီးနှုန်း(flow) လျော့နည်း လိမ့်မည်။ Primary loop မှ အပူချိန်နိမ့်သည့် chilled water supply များ decouple လိုင်း သို့မဟုတ် bypass လိုင်းမှ တစ်ဆင့် return water နှင့် ရောနှောသွားလိမ့်မည်။ ထိုသို့ ရောနှောခြင်းကြောင့် return water temperature နိမ့်ကျသွားပြီး system efficiency ညံ့ဖျင်းသွားလိမ့်မည်။

(၂) ရင်းနှီးမြုပ်နှံ ထားရမည့် ငွေပမာဏများသည်။ (Capital investment)

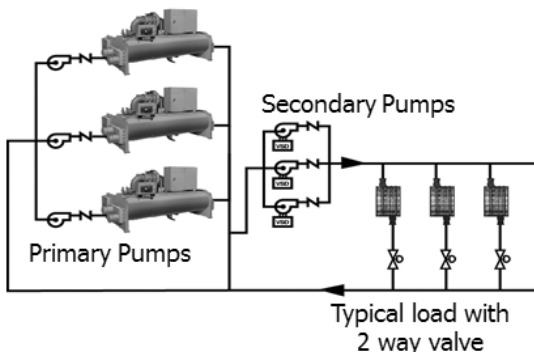
ရင်းနှီးမြုပ်နှံ ထားရမည့် ငွေပမာဏများသည်။

(၃) ကုန်ကျစရိတ်များခြင်း (Higher operating and energy costs)

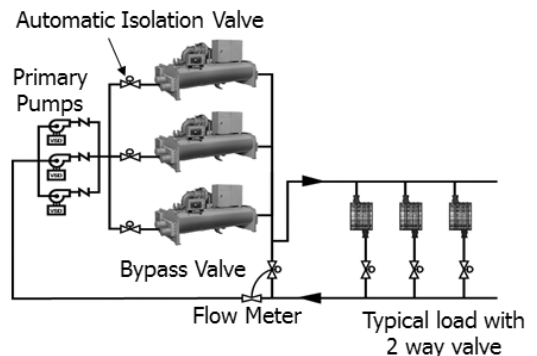
Primary-secondary system များတွင် constant speed နှင့် variable speed pump များကို တွဲ၍ သုံးပြုသည်။ Primary loop သည် constant flow ဖြစ်သောကြောင့် off-peak load အခြေအနေများတွင် စွမ်းအင်လေလွင့်မှု ဖြစ်ပေါ်သည်။ Pump နှစ်မျိုး လိုအပ်သောကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှင့် ကုန်ကျစရိတ် ပိုများသည်။

(၄) နေရာကျယ်ကျယ် လိုအပ်သည်။ (Requires more plant space)

Primary pump နှင့် secondary pump နှစ်မျိုး တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သောကြောင့် နေရာကျယ်ကျယ် လိုအပ်သည်။ အပိုအပစ္စည်း များများ လိုအပ်သည်။ ရင်းနှီးမြုပ်နှံ ထားရမည့် ငွေပမာဏများသည်။ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု များစွာ ပြုလုပ်ရန် လိုသည်။



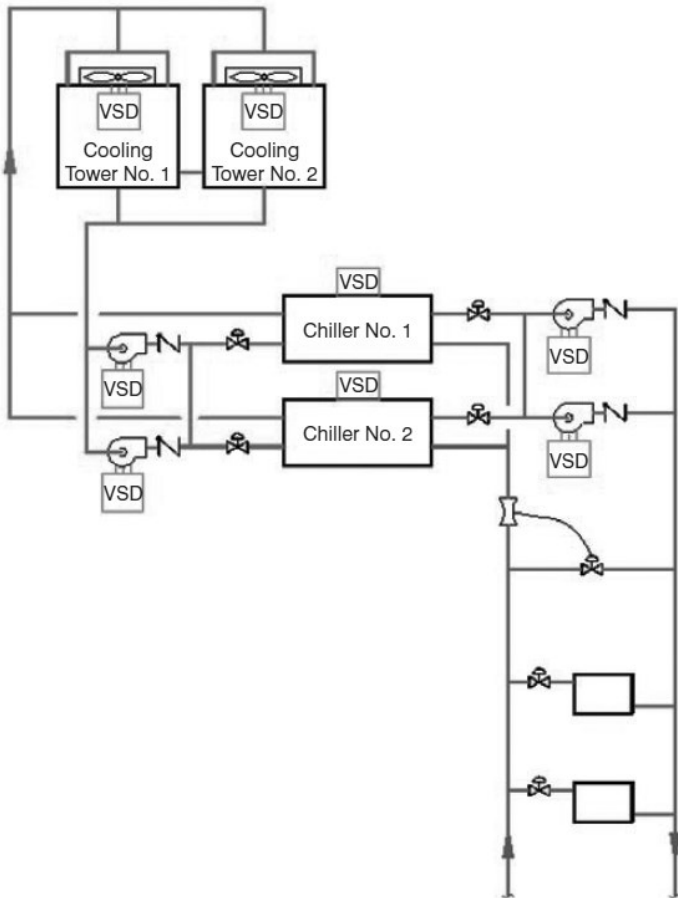
ပုံ ၁၇-၂၃ Primary secondary System



ပုံ ၁၇-၂၄ Variable Primary Flow (VFP) system

Table 17-4 primary-secondary chilled water system ၏ အားသာချက်များနှင့် အားနည်းချက်များ

အားသာချက်များ	အားနည်းချက်များ
Chiller flow နှင့် load flow တူညီရန် မလိုအပ် သောကြောင့် ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် ကန့်သတ်ချက် များများ မရှိပေ။	အစဦး ကုန်ကျစရိတ် အလွန်များသည်။
အပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature differential) များသည့် system များ အဖြစ် ဒီဇိုင်းလုပ်နိုင်သည်။	နည်းပညာ အဆင့်မြင့်သည့် equipment များ လိုအပ်သည်။
Thermal storage system များ နှင့် တွဲ၍ အသုံးပြု နိုင်သည်။	ခက်ခဲ ရှုပ်ထွေးသည့်(sophisticated) control system များ လိုအပ်သည်။
Water side economizer ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။	



ပုံ ၁၇-၂၅ Variable primary chilled water plant

၁၇.၇ Variable Flow Primary

- (၁) ၂၀၀၀ ပြည့်နှစ်နောက်ပိုင်းတွင် ထုတ်လုပ်သည့် chiller များသာ variable flow ဖြင့် မောင်းနှင်သည်။
- (၂) ရိုးရှင်းသည့် ဒီဇိုင်း ဖြစ်သည်။ (Simplifies system design)
- (၃) လိုအပ်သည့် အနိမ့်ဆုံးစီးနှုန်း(minimum flow) အမြဲတမ်း ရရှိရန်အတွက် modulating control valve ကို အသုံးပြု၍ Bypass လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။
- (၄) ပြိုင်ဆက်(parallel) သို့မဟုတ် တန်းဆက်(series) နှစ်မျိုးလုံးဖြင့် ဒီဇိုင်းလုပ်နိုင်သည်။ (System can be parallel or series design)

Summary on Variable Primary Flow (VPF) ဒီဇိုင်းလုပ်ပုံကို အနှစ်ချုပ် ဖော်ပြထားသည်။

- Chillers**
 - Size equally with same WPDs (best)
 - Respect Min/Max Flows through chillers
 - Set Pump VSD Ramp function to about 10%/min (600 sec 0 to Max Speed)
 - Use Modulating Valves (preferred) on chiller evaporator headered pumping
 - Use 2 Position Valves (1 min stroke) on chiller evaporator dedicated pumping
- Pumps**
 - VSD Controllers
 - Headered Pumping Arrangement (preferred)
 - Dedicated Pumping OK (over-size pumps)
- 2 Way Valves**
 - Select for Static, Dynamic, Close-off ratings (PSID) equal to pump SOH (plus fill pressure)
 - Range-ability 100 to 200:1
 - If Bypass – fast acting, linear proportion
 - If Coils – slow acting, equal percentage, "On-Off" stagger air units (10-15 min intervals)
- Controls**
 - Set-point far out in index circuit (lower the value, the better the pump energy)
 - Set Ramp function in VSD Controller (10%/min average)
 - Run 1 more pump than chillers (when headered)
 - Chillers On by common Supply Temp, Load, Amps, Adj Flow (Adj for Low Delta T)
 - Chillers Off by Amps, Load, Adj Flow (Adj for Low Delta T)
 - Over-pump Chillers to combat Low Delta T and get Max Cap out of chillers
 - Bypass controlled by Min flow (preferred) or Min WPD of largest chiller (locate in plant for best energy, but can go anywhere in system)

၁၇.၇.၁ Variable Primary Flow Only (VPF) Advantages

- (၁) Lower Capital Cost Installed (vs Primary/Secondary)
- (၂) No secondary pumps/piping/valves/electrical to buy and install
- (၃) Fewer piping and electrical connections – less field labor
- (၄) No large Common pipe, but smaller Bypass pipe/valve/flow meter/controls
- (၅) Lower CHW Pumping Energy
- (၆) Potential Savings, may reduce pump horsepower and initial cost.
- (၇) Reference ARTI (Air Conditioning & Refrigeration Technology Institute)
- (၈) Estimated energy savings of 3 to 8 percent
- (၉) Estimating initial cost saving of 4 to 8 percent
- (၁၀) Estimating life cycling saving cost 3 to 5 percent
- (၁၁) Smaller Footprint (vs Primary/Secondary)
- (၁၂) More space available or better access to the other equipment
- (၁၃) Higher Reliability
- (၁၄) Fewer mechanical components
- (၁၅) Any pump can serve any chiller

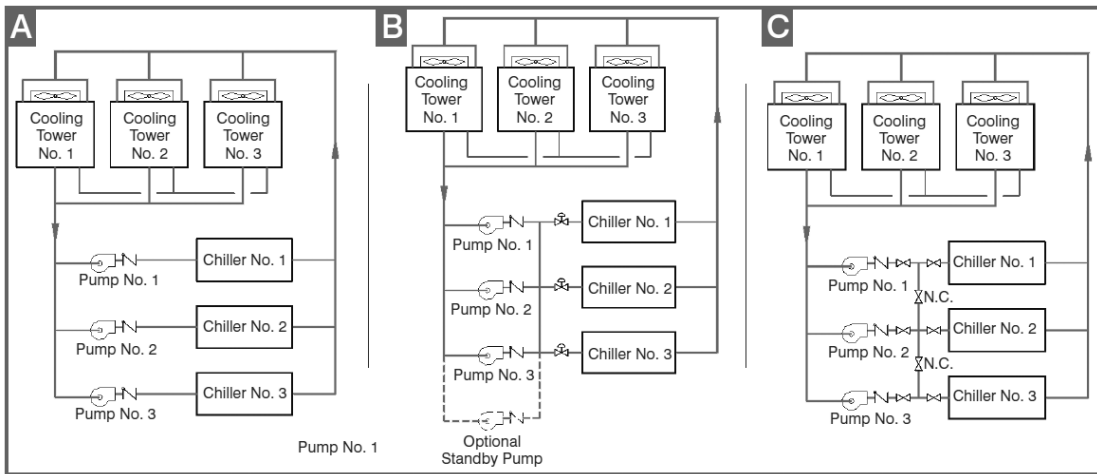
- (၁၆) Lower Capital Cost Installed (vs Primary/Secondary)
- (၁၇) No secondary pumps/piping/valves/electrical to buy and install
- (၁၈) Fewer piping and electrical connections – less field labor

၁၇.၇.၂ Variable Primary Flow Only (VPF) Disadvantages

- (၁) Potentially higher PSID rated 2-Way valves in system
- (၂) Requires more robust (complex and calibrated) control system
- (၃) Requires coordinated control of chillers, isolation valves, and pumps in sequencing
- (၄) Potentially longer commissioning time and start-up (ref ASHRAE Taylor article)
- (၅) Requires greater operator sophistication
- (၆) Sudden flow variation through the chiller
- (၇) More of an issue when additional machines are staged on
- (၈) More complexity with bypass control

၁၇.၈ Condenser Water Circuit

Cooling tower များကို chiller များထက် ပိုမြင့်သည့် နေရာတွင် တပ်ဆင်ထားလျှင် condenser water နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ပြဿနာ မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် cooling tower များကို chiller ထက် ပိုမြင့်သည့် နေရာတွင် အမြဲတပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။



ပုံ ၁၇-၂၆ Condenser water pump piping options

အများဆုံး တွေ့ရလေ့ရှိသည့် condenser water piping arrangement သုံးမျိုးမှာ

- Option A** Dedicate a pump for each condenser ပုံ(၁၇-၂၆-A)
- Option B** Provide a common header at the pump discharge and two-way automatic isolation valves for each condenser ပုံ(၁၇-၂၆-B) နှင့်
- Option C** Provide a common header with normally closed (NC) manual isolation valves in the header between pumps ပုံ(၁၇-၂၆-C) တို့ဖြစ်သည်။

Option A - အားသာချက်များ(Advantages)

- (၁) Chiller အရွယ်အစား မတူညီသည့်အခါ condenser ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)လည်း မတူညီကြပေ။ Option A တွင် head မတူညီသည့် pump များကို ရွေးချယ်တပ်ဆင်နိုင်သောကြောင့် စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည်။ ဤအချက်သည် option B နှင့် မတူညီသည့်အချက်ဖြစ်သည်။ Option B တွင် အမြင့်ဆုံး condenser pressure drop ကို အခြေခံ၍ pump အားလုံး၏ head ကို တူညီအောင် ရွေးချယ်ရသည်။ Pressure drop နည်းသည့် chiller များ တွင် balancing valve ကို တပ်ဆင် အသုံးပြုရသည်။
- (၂) ရိုးရှင်းလွယ်ကူစွာ control လုပ်နိုင်သည်။ Chiller နှင့် သက်ဆိုင်သည့် pump ကို အတွဲလိုက် မောင်းရသည်။ Chiller ရပ်တန့်ပြီးနောက် pump ကို မိနစ်အနည်းငယ်ခန့် မောင်းပေးရသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် chiller အတွင်းရှိ refrigerant များကို pump down လုပ်ရန် လိုအပ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။
- (၃) Pump အလုပ်မလုပ်ခြင်းကြောင့် မောင်းနေသည့် chiller များအားလုံး trip မဖြစ်နိုင်ပေ။ Pump တစ်လုံးပျက်လျှင် ထို pump နှင့် သက်ဆိုင်သည့် chiller သာ trip ဖြစ်လိမ့်မည်။ Option B တွင် မောင်းနေစဉ် pump တစ်လုံး ပျက်ခြင်းကြောင့် chiller အားလုံးတွင် စီးနှုန်း(flow) လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။ မောင်းနေသည့် chiller များ အနက်မှ တချို့သော်လည်းကောင်း၊ အားလုံးသော်လည်းကောင်း trip ဖြစ်လိမ့်မည်။

Option B - အားသာချက်များ(Advantages)

- (၁) Redundancy ပိုကောင်းသည်။ Option A တွင် pump ပျက်သည့်အခါ သက်ဆိုင်သည့် chiller မောင်းရန် မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။ Option B တွင် chiller အားလုံးကို ကြိုက်သည့်ပန့်နှင့် တွဲ၍ မောင်းနိုင်သည်။
- (၂) Option B တွင် အရန်ပန့်(standby pump) တပ်ဆင်ထားလိုပါက လွယ်ကူသည်။ Option A တွင် အရန်ပန့် (standby pump) တပ်ဆင်ရန် ခက်ခဲသည်။ ကုန်ကျစရိတ်များသည်။ အရန်ပန့်(standby pump) တပ်ဆင် ထားလိုလျှင် Option B သည် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သည်။
- (၃) Isolation valve များကို condenser pump များတွင်သာမက chiller များတွင်ပါ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။
- (၄) Water side economizer တပ်ဆင်ရန် လွယ်ကူသည်။ Water side economizer များသည် အေးသည့် ရာသီဥတု(cold weather)တွင်သာ အသုံးဝင်သည်။
- (၅) Option C သည် headered pump များကို manual isolation valve များဖြင့် တွဲ၍ တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Option A ကို အခြေခံ၍ ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Capacity တူညီသည့် chiller များ တပ်ဆင်ထားလျှင် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ Option A ကို standby pump ရအောင်ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Chiller အားလုံးကို pump အားလုံးနှင့် တွဲ၍ မောင်းနိုင်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။
- (၆) Option A သည် ကုန်ကျစရိတ် အသက်သာဆုံး ဖြစ်သည်။ Chiller နှင့် pump ကို တစ်လုံးချင်းစီ(one to one) ဆက်ထားသောကြောင့် manual isolation valve တပ်ဆင်ရန် မလိုအပ်ပေ။ Option C သည် Option B ထက် ကုန်ကျစရိတ် ပိုနည်းသည်။ Head pressure control နှင့် standby pump လိုအပ်သည့် အခြေအနေမျိုးတွင် Option B သည် အသင့်လျော်ဆုံးနှင့် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။

၁၇.၈.၁ Refrigerant Head Pressure Control

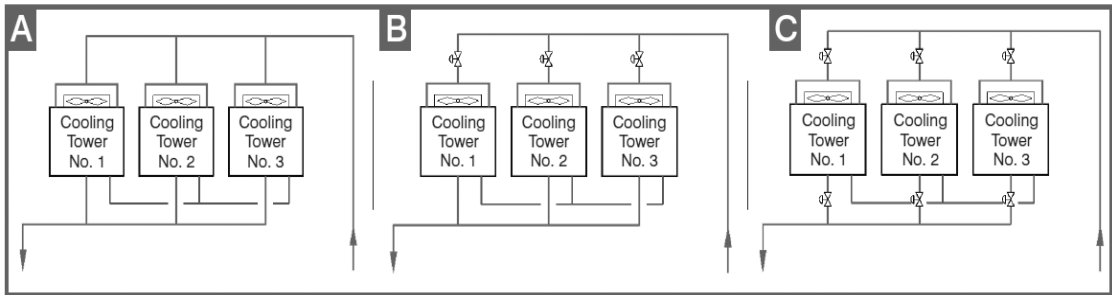
Chiller အားလုံး၌ minimum refrigerant head (lift)ထက် မလျော့နည်းအောင် ထိန်းထားရန် လိုအပ်သည်။ Screw chiller များအတွက် evaporator နှင့် condenser အကြားတွင် လိုအပ်သည့် minimum refrigerant head များသည်။ Hermetic centrifugal chiller ၊ magnetic bearing chiller များတွင် ချောဆီ မလိုအပ်သောကြောင့် minimum refrigerant head အနည်းငယ်သာ ဖြစ်သည်။ အကြောင်း(၂)မျိုးကြောင့် refrigerant head pressure နိမ့်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Chiller စတင်မောင်းသည့်အချိန်တွင် cooling tower basin အတွင်းရှိ ရေသည် အေးနေသည့် အချိန် ဖြစ်သည်။ တချို့သော chiller များသည် အချိန်အတော်ကြာ start-up head နိမ့်နိမ့်ဖြင့် မောင်းနေနိုင်သည်။ Low head pressure safeties setting ကြောင့် trip ဖြစ်နိုင်သည်။ Head pressure control အတွက် cold starts အချိန်တွင် chiller ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)များနှင့် တိုင်ပင်သင့်သည်။

Water side economizer များကို အသုံးပြုသည့်အခါတွင် minimum refrigerant head နိမ့်နိုင်သည်။ Head pressure control သည် မရှိမဖြစ် လိုအပ်သည့် feature ဖြစ်သည်။ အထူးသဖြင့် cooling tower water temperature ကို အချိန်ကြာမြင့်စွာ နိမ့်အောင်ပြုလုပ်ထားသည့် အခါမျိုးတွင် head pressure control ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

၁၇.၈.၂ Low head pressure ပြဿနာ မဖြစ်ပေါ်အောင် ရောင်ကြည်ရမည့် အခြေအနေများ Minimum Flow Rates

Cooling tower အတွင်းသို့ ရေများစီးဝင်သွားသည့်အခါ fill များအပေါ်သို့ ရေများတူညီစွာ(uniformly distribute) ကျဆင်းသွားရန် လိုအပ်သည်။ Fill များ အပေါ်တွင် ရေများ ညီမျှစွာ ကျရောက်ပြီး စိုစွတ်နေရန်အတွက် သတ်မှတ်ထားသည့် အနိမ့်ဆုံးစီးနှုန်း(minimum flow rate)ထက် မနည်းအောင် water balancing ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ အနိမ့်ဆုံးစီးနှုန်း(minimum flow rate)ထက် လျော့နည်းပါက တချို့သော fill မျက်နှာပြင် များသည် ခြောက်သွေ့ နေလိမ့်မည်။ ခြောက်သွေ့နေသည့် မျက်နှာပြင်(dry surface)များမှ အပူစွန့်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ထို့အပြင် စိုစွတ်သည့်နေရာနှင့် ခြောက်သွေ့သည့် နေရာအကြား fill မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ရေညှိများ ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည်။



ပုံ ၁၇-၂၇ Cooling tower cell isolation options

- Option A (left) No isolation valve
- Option B (center) Auto-isolation valves on supply only
- Option C (right) Auto-isolation valves on supply and suction

Option A

Option A သည် efficient အဖြစ်ဆုံးသော configuration ဖြစ်သည်။ Cell များ အားလုံးနီးပါးကို VSD ဖြင့် မောင်း၍ စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည်။ Fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို လျော့ချနိုင်ခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့နည်း စေသည်။ ဒီဇိုင်းနှင့် cooling tower အမျိုးအစားကို လိုက်၍ 25% အထိ လျော့ချနိုင်သည်။ ကုန်ကျစရိတ် နည်းပြီး efficiency ကောင်းကောင်း ရနိုင်သောကြောင့် လူကြိုက်များသည့်နည်း ဖြစ်သည်။

Option B

Option B တွင် automatic isolation valve များကို supply line တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Cell များ၏ basin level ကို ညီမျှစေရန်အတွက် equalizer ကို အသုံးပြုသည်။ Duty (peak heat rejection) ထက် ပိုကြီးသည့် equalizer ပိုက်အရွယ်အစားကို ရွေးချယ်သင့်သည်။ ဥပမာ- tower cell (၃)လုံးရှိသည့် အနက် တစ်လုံးသာ မောင်းနှင်နေလျှင် ကျန် cell (၂)လုံးကို ပိတ်ထားရမည်။ Suction လိုင်းတွင် automatic isolation valve များ တပ်ဆင်ထားခြင်း မရှိသောကြောင့် cell သုံးလုံးစလုံးမှ ရေများကို စုပ်ယူလိမ့်မည်။

ထိုအခါ equalizer ပိုက်က cell သုံးလုံးတွင် ရေများအမြင့် တူညီနေအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ အကယ်၍ equalizer ပိုက်၏ အရွယ်အစားသေးငယ်နေလျှင်(undersized) supply cell မှရေများ လျှံကျ(overflow) လိမ့်မည်။ ရေ လျော့နည်းနေသည့်(ရေအမြင့်နိမ့်နေသည့်) cell တွင် make up water valve ပွင့်သွားကာ ရေများ ဝင်ရောက်လာလိမ့်မည်။ Overflow pipe အမြင့်နှင့် make up water အမြင့်တို့ အကြားတွင် လက်မ အနည်းငယ်သာ ကွာခြားသည်။ ထို့ကြောင့် equalizer ပိုက်အရွယ်အစားကို စနစ်တကျ မှန်ကန်စွာ ရွေးချယ်ရန် အလွန်အရေးကြီးသည်။

Option C

Option C ၌ automatic isolation valve များကို supply နှင့် suction line နှစ်ဘက်စလုံးတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ ကုန်ကျစရိတ် ပိုများသည့်နည်း ဖြစ်သည်။ Automatic valve များ တပ်ဆင် ထားခြင်းသည် equalizer ပိုက်ကို အနည်းငယ် ပိုကြီးအောင် ပြုလုပ်ထားခြင်းထက် ကုန်ကျစရိတ် ပိုများသည်။ Valve များ ချို့ယွင်းခြင်း၊ ပျက်စီးခြင်း၊ အလုပ်မလုပ်ခြင်း စသည့် အခြေအနေများနှင့် ကြုံတွေ့နိုင်သည်။ Cooling tower များ တစ်စုတစ်ဝေး နေရာတစ်ခုတွင် အတူတကွ တပ်ဆင်မထားလျှင် Option C သည် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အလွန် ရှည်လျားသည့် equalizer ပိုက်များ တပ်ဆင်ထားခြင်းမျိုး ပြုလုပ်ရန် မလိုအပ်ဘဲ ရှောင်လွှဲနိုင်သည်။

၁၇.၉ Low Delta – T Syndrome

Chiller တစ်လုံး၏ capacity သည် flow rate နှင့် chilled water temperature difference (entering and leaving) တို့၏ မြောက်လဒ်နှင့် ညီမျှသည်။

$$Chiller\ Capacity\ (BTU/hr) = GPM \times 500 \times \Delta T(^{\circ}F)$$

Constant-flow system များတွင် peak design condition တွင် ရှိရမည့် စီးနှုန်း(flow rate)သည် system flow rate ဖြစ်သည်။ ΔT (difference between the chiller supply and return) သည် load (BTU/hr)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ Air-conditioning လုပ်ငန်းများ(applications)တွင် design peak load ဖြင့် မောင်းနှင်ချိန်သည် 1% ခန့်သာဖြစ်သည်။ တစ်နှစ်အတွင်း မောင်းနှင်ချိန်များ(operational hours)အားလုံး၏ 99% သည် part load အခြေအနေ ဖြစ်သည်။

Three-way valve များကို အသုံးပြုထားသောကြောင့် chilled water bypass ဖြစ်ပေါ်သည်။ Bypass ဖြစ်သည့် ပမာဏ များလျှင် chilled water return temperature ကျဆင်းသွားပြီး operating temperature differential (ΔT) နိမ့်သွားသည်။ ထိုသဘောတရား(phenomenon) ကို “Low delta – T syndrome” ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ HVAC industry တွင် low ΔT ပြဿနာကြောင့် chiller များသည် သတ်မှတ်ထားသည့်(rated) capacity ကို မထုတ်ပေးနိုင်တော့ပေ။

Chiller များသည် chilled water leaving temperature ကိုသာ control လုပ်နိုင်သည်။ Cooling load သည် chilled water supply temperature ၊ chilled water return temperature နှင့် chilled water flow တို့နှင့် သက်ဆိုင်သောကြောင့် chilled water return temperature ကို မြင့်အောင် ပြုလုပ်နိုင်ခြင်းကြောင့် chiller ၏ loading ပိုများလာနိုင်သည်။

၁၇.၉.၁ Low Delta-T (ΔT) Syndrome ၏ ဆိုးကျိုးများ

Constant flow system များတွင် low ΔT ပြဿနာသည် အများဆုံး ကြုံတွေ့ရလေ့ရှိသည့် ပြဿနာ ဖြစ်သည်။ ဥပမာ- chiller တစ်လုံးသည် design return water temperature 55°F ရရှိရမည့်အစား return water temperature သည် 52°F ဖြင့် ဝင်ရောက်လာလျှင် ထို chiller မောင်းနှင်မည့် loading ကို percentage (%)ဖြင့် ဖော်ပြပါ။

$$CHL(\%) = \left[\frac{CWRTR - CWSTD}{CWRTD - CWSTD} \right] \times 100$$

Where: CHL (%): Percent chiller loading
 CWRTR: Real chilled water return temperature
 CWSTD: Design chilled water supply temperature
 CWRTD: Design chilled water return temperature

In this case, $\Delta T_{Design} = 55 - 45 = 10^{\circ}F$ and $\Delta T_{Actual} = 52 - 45 = 7^{\circ}F$:

$$CHL(\%) = \left[\frac{52 - 45}{55 - 45} \right] \times 100 = 70\%$$

လက်ရှိမောင်းနေသည့် chiller မှ rated capacity ၏ 70% ကိုသာ ရနိုင်သောကြောင့် တစ်ခါတစ်ရံ နောက်ထပ် chiller တစ်လုံးကို ထပ်မောင်းရန် လိုအပ်သည်။ Chiller သာမက သက်ဆိုင်သည့် pump များနှင့် cooling tower ကိုပါ မောင်းရန် လိုအပ်သောကြောင့် စွမ်းအင်ဖြုန်းတီးရာရောက်သည်။

၁၇.၉.၂ Chiller Performance ပိုကောင်းစေနိုင်သည့် နည်းလမ်းများ

စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption)လျော့နည်းစေသည့် နည်းလမ်းများနှင့် centrifugal chiller များ၏ performance ပိုကောင်းစေနိုင်သည့် နည်းလမ်းများကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Chilled water leaving temperature မြှင့်တင်ခြင်း

Evaporator မှထွက်လာသည့် load လျော့နည်းသွားချိန်တွင် chilled water leaving temperature ကို reset လုပ်ခြင်း အခန်းအတွင်းရှိ စိုထိုင်းဆ(relative humidity)ကို 65% ထက် ပိုမများစေရန် သတိပြုသင့်သည်။

(၂) Condenser water entering temperature ကို အတတ်နိုင်ဆုံး နိမ့်ချခြင်း

Chiller manufacturer ထုတ်လုပ်သူများက ခွင့်ပြုသည့် အထိသာ လျော့ချနိုင်သည်။

(၃) Fouling factor

Condensing surface fouling factor သည် $0.00025 \text{ h ft}^2 \text{ }^{\circ}F/Btu$ ($0.000044 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}C/W$) ထက် ပိုများ လာလျှင် fouling factor ကိုလျော့ချခြင်း၊ tube cleaning လုပ်ခြင်း ၊ outdoor air သည် contamination များသည့် နေရာများတွင် brush cleaning system ကို အသုံးပြုခြင်းတို့ ပြုလုပ်နိုင်သည်။

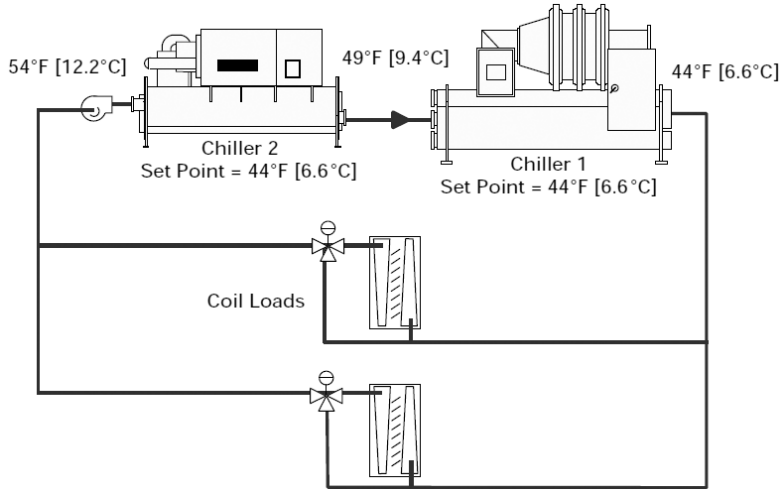
(၄) Evaporator ၏ surface area နှင့် condenser ၏ surface area များအောင်ပြုလုပ်ခြင်း

လိုအပ်သည်ထက် အရွယ်အစား ပိုကြီးအောင်ပြုလုပ်ထားသည့် condenser နှင့် evaporator ကို အသုံးပြုခြင်းဖြင့် chiller efficiency ပိုကောင်းနိုင်သည်။ ယခုအခါ ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturers) centrifugal chiller သည် evaporator နှင့် condenser အရွယ်အစား အမျိုးမျိုးကို ထုတ်လုပ်ကြသောကြောင့် compressor နှင့် ကိုက်ညီသည့် evaporator နှင့် condenser အရွယ်အစားကို ရွေးချယ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ဒီဇိုင်းနာများသည် minimum performance နှင့် ကိုက်ညီသည့် evaporator ၊ condenser နှင့် compressor တို့ကို တွဲယူနိုင်သည်။

၁၇.၁၀ Series Chiller System

Chiller များကို အတန်းလိုက်(series) တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် mixing problem နှင့် starving coils ပြဿနာများကို ဖြေရှင်းနိုင်သည်။

Chiller တစ်လုံးချင်းစီ၏ flow rate နှင့် system flow တို့ တူညီကြသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် chiller တစ်လုံးချင်းစီ၏ evaporator အတွင်းသို့ flow rate (၂)ဆခန့် စီးဝင်သွားလိမ့်မည်။ အတန်းလိုက် ဆက်ထားသည့်(series) chiller များတွင် single pass သို့မဟုတ် double pass များကိုသာ အသုံးပြုကြသည်။ Chiller efficiency ပိုကောင်းသည်။



ပုံ ၁၇-၂၈ Series chillers

အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် upstream chiller သည် အပူချိန်မြင့်သည့်(warmer temperatures) return water ကို အေးအောင် ပြုလုပ်ပေးရသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ပိုက်များကို အတန်းလိုက်တပ်ဆင်(pipe in series) ထားသောကြောင့် chiller နှစ်လုံးမှ ဖိအား ကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို ပေါင်းယူရသည်။ ထို့ကြောင့် total system pressure loss ပိုများလာသည်။ Low flow system များတွင် chiller များကို အတန်းလိုက်ပုံစံ(series)အဖြစ် တပ်ဆင် ထားလျှင် ထူးခြားစွာ အလုပ် လုပ်နိုင်ကြသည်။ System အပူချိန်ကွာခြားချက်(temperature difference) သည် 16°F [9°C] ထက် ပိုများသည့်အခါ ဖိအား ကျဆင်းမှု (pressure loss) လျော့နည်းသည်။

၁၇.၁၀.၁ Advantages and Disadvantages of Series Chillers

Table 17-5 advantages and disadvantages of series chillers

Advantages	Disadvantages
- Easier to control with simple control systems	- Increased pumping requirements for chilled water
- Effective with different size chillers	- Chillers may not be interchangeable
- Utilize one stand-by pump	
- Good for large temperature differential systems	

ပုံ(၁၇-၂၈) နှင့် (၁၇-၂၉)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း multiple chiller များစွာကို အတန်းလိုက်(series) တပ်ဆင်နိုင်သည်။ သို့သော် chiller (၂)လုံးသာ အတန်းလိုက်(series) တပ်ဆင်နိုင်သည်။

- (၁) Chilled water coil များကို အပူချိန်မြင့်မြင့်(higher temperature rise) နှင့် ဖိအားနိမ့်နိမ့်(lower water flow rate) ဒီဇိုင်းလုပ်လေ့ရှိသည်။
- (၂) အတန်းလိုက်(series)တပ်ဆင်ထားသည့် chiller နှစ်လုံး၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို ပေါင်း၍ pump head တွက်ယူသည်။
- (၃) Part-load operation တွင် ကောင်းစွာ control လုပ်နိုင်ရန်အတွက် ရှုပ်ထွေး ခက်ခဲသည်။
- (၄) Multiple-chiller plant များ အားလုံးနီးပါးကို parallel ပုံစံမျိုးသာ တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။

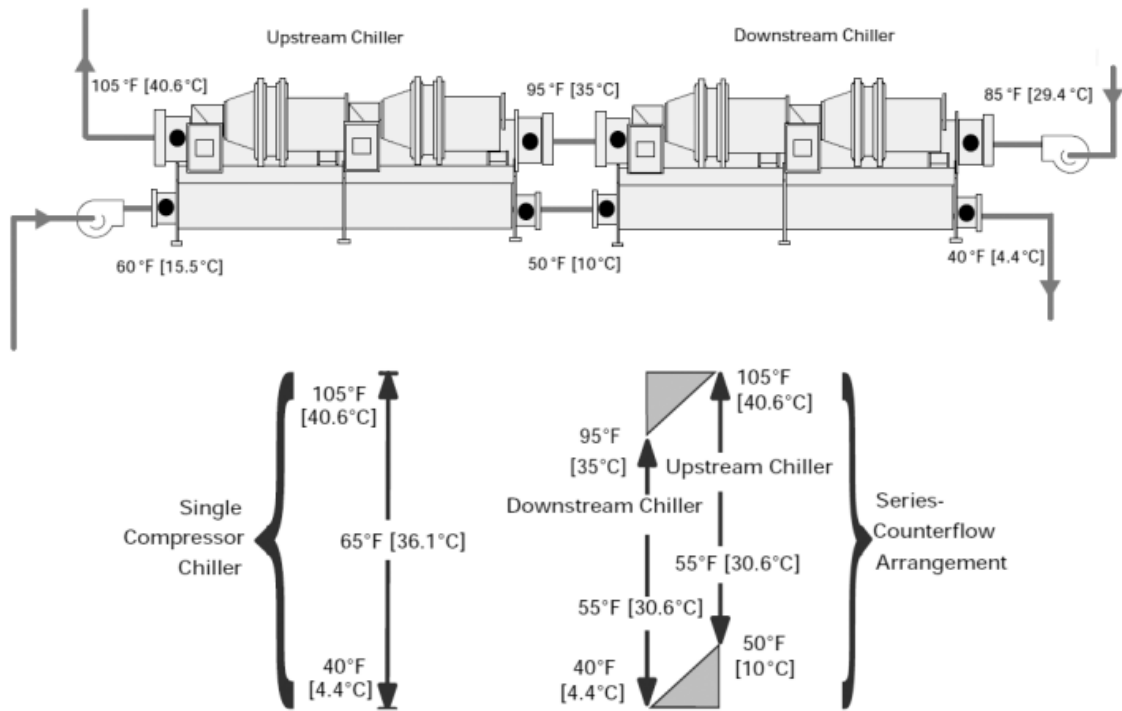
၁၇.၁၀.၂ Series Counter Flow

Series counter flow ဒီဇိုင်းသည် energy efficient ဖြစ်သည့် ဒီဇိုင်း configuration ဖြစ်သည်။ Downstream machine သည် 40°F [4.4°C] chilled water ထုတ်ပေးသည်။ Upstream machine သည် 50°F

[10°C] chilled water ထုတ်ပေးသည်။ Downstream machine အတွင်းသို့ 85°F [29.4°C] condenser water ဝင်ရောက်လာသည်။ Upstream machine အတွင်းသို့ condenser water များသည် အပူချိန် 95°F [35°C] ဖြင့် ဝင်ရောက်လာသည်။ Condenser water pump မောင်းရန်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်(pumping costs) အလွန် သက်သာသည့် နည်းဖြစ်သည်။

ဤ configuration ကြောင့် chiller တစ်လုံးစီ၌ lift ညီမျှနေအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ Chilled water နှင့် condenser water flow direction တို့သည် ဆန့်ကျင်ဘက် ဖြစ်သောကြောင့် series-counter flow ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

Single large chiller များကို duplex machine အဖြစ် တည်ဆောက်နိုင်သည်။ Evaporator နှင့် condenser water circuit များသည် duplex ၏ တစ်ဝက်စီဖြစ်သည်။ Efficiency ပိုကောင်းရခြင်း အကြောင်းရင်းမှာ compressor နှင့် refrigerant circuit ကို နှစ်ခုဖြစ်အောင် ခွဲခြားလိုက်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်သည်။ System reliability ပိုကောင်းလာသည်။



ပုံ ၁၇-၂၉ Series counter flow chillers

၁၇.၁၁ Chiller Staging

Multiple chiller plant များတွင် chiller များ အတွဲလိုက် မောင်းခြင်း၊ ရပ်တန့်ခြင်း(staging the chillers, on or off) ပြုလုပ်ရာတွင် အောက်ပါအချက်များကို အခြေခံသည်။

- (၁) Primary loop မှ chilled water flow rate သည် secondary loop ထက် ပိုများသည်။
- (၂) System load ကို လုံလောက်အောင် ထုတ်ပေးနိုင်အောင် chiller(s) staging ပြုလုပ်ရမည်။
- (၃) Chiller များ နှင့် chilled water pump များ၊ condenser water pump များ နှင့် cooling tower များ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုကို အနည်းဆုံးဖြစ်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်သင့်သည်။

Chilled water system တစ်ခုတွင် ရှိနေမည့် cooling load အတွက် လိုအပ်သည့် chilled water flow rate ကို အောက်ပါ ပုံသေနည်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်ပါသည်။

$$\text{Chilled Water Flow Rate (GPM)} = \frac{\text{Heat Load (BTU/hour)}}{\text{Density} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}} \times \text{SG} \times \text{SH} \times \Delta T}$$

Where:

- HL: Heat load (BTU/hr).....or chiller capacity
- Density: Liquid density (water density = 8.34 lb/gal)
- SG: Liquid specific gravity (water specific gravity = 1)
- SH: Liquid specific heat (water specific heat = 1 BTU/lb-°F)
- ΔT: Chilled Water temperature differential [i.e. T return water - T supply water] in °F

အထက်ပါ ပုံသေနည်းသည် fluid အားလုံးအတွက် အသုံးပြုနိုင်သည့် ပုံသေနည်းဖြစ်သည်။ အထက်ပါ ပုံသေနည်းတွင် ရေ(water flow rate) density နှင့် specific gravity တန်ဖိုးများကို ထည့်သွင်းလျှင် အောက်ပါ ပုံသေနည်းကို ရရှိသည်။

$$\text{GPM per Ton} = \frac{\text{BTU/hour}}{500 \times \Delta T(^{\circ}\text{F})}$$

HVAC အင်ဂျင်နီယာများအတွက် တိုက်ရိုက်အသုံးပြုနိုင်သည့် လွယ်ကူရှင်းလင်းသည့် ပုံသေနည်းကို ရရှိသည်။

$$\text{GPM per Ton} = \frac{12000}{500 \times \Delta T(^{\circ}\text{F})} \quad \text{OR} \quad \text{GPM per Ton} = \frac{24}{\Delta T(^{\circ}\text{F})}$$

(1 ton of refrigeration = Heat extraction rate of 12000 BTU/hr)

ဥပမာ - chilled water system တစ်ခုတွင် ၏ chilled water flow rate သည် 6,000 GPM ဖြစ်သည်။ Chilled water supply temperature သည် 42°F ဖြစ်ပြီး return temperature သည် 54°F ဖြစ်လျှင် cooling capacity ကို refrigeration ton ဖြင့် ဖော်ပြပါ။

GPM = 6,000

ΔT in distribution system = 12 °F (54°F – 42°F)

Supply water temperature = 42°F

LFR = 24/ ΔT = 24/12 = 2 GPM/Ton

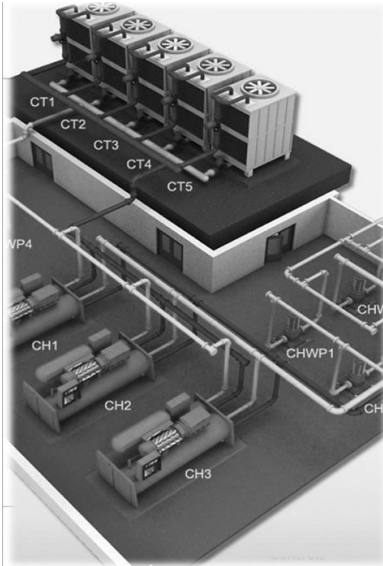
Return water temperature = 54°F

$$\text{GPM per Ton} = \frac{24}{\Delta T(^{\circ}\text{F})}$$

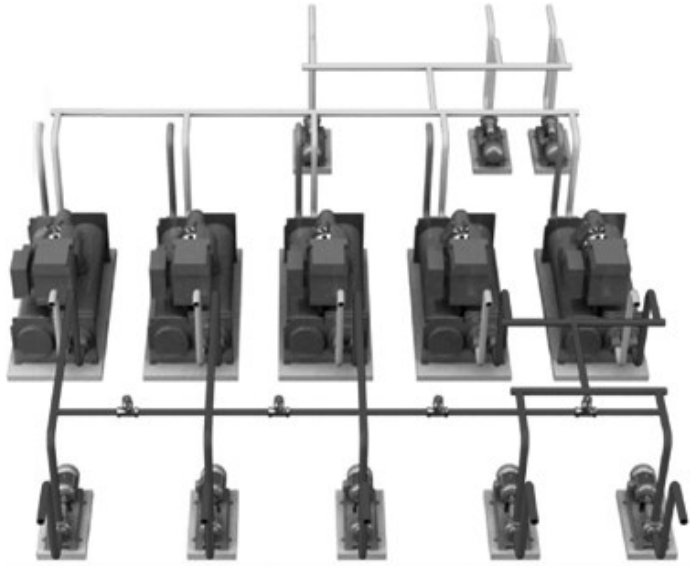
$$\text{Cooling Capacity (refrigeration tons)} = \frac{\text{GPM}}{\left(\frac{24}{\Delta T}\right)} = \frac{6000}{\left(\frac{24}{12^{\circ}\text{F}}\right)} = \frac{6,000}{2} = 3,000 \text{ tons}$$

သတ်မှတ်ထားသည့် design load တွင် မောင်းရန် chiller များကို ပုံသေ temperature range (ΔT) တွင် ရွေးချယ်ထားသည်။ Chilled water pump များ၏ flow rate သည် chiller များ၏ flow rate ကို အခြေခံသည်။

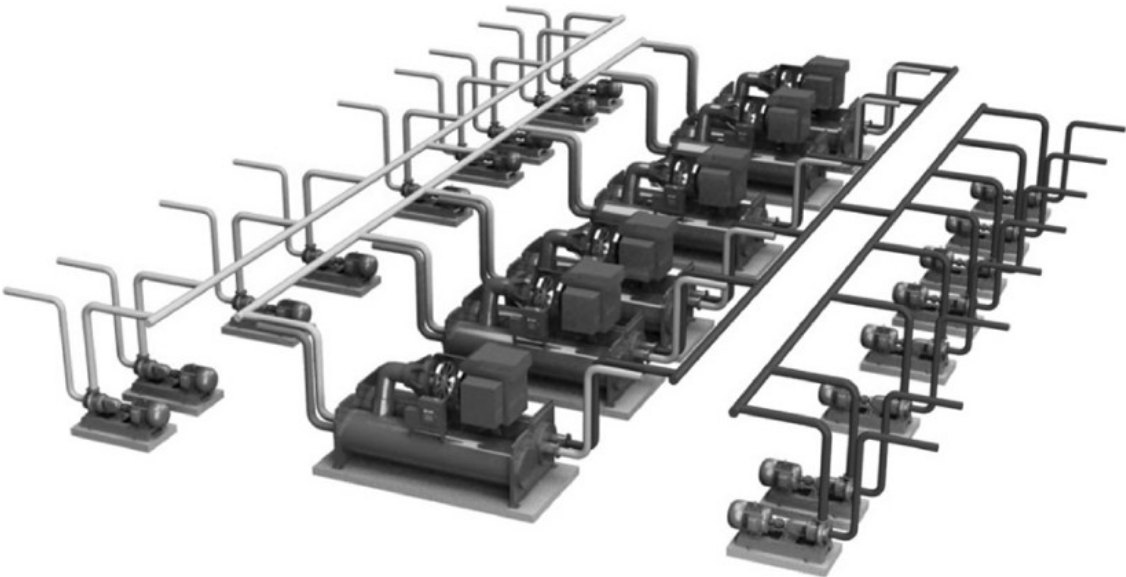
Chiller ၏ output capacity ကို ပြောင်းလဲစေသည့် အရာသည် return water temperature ဖြစ်သည်။ Cooling load demand ကို လိုက်၍ return water temperature ပြောင်းလဲသည်။



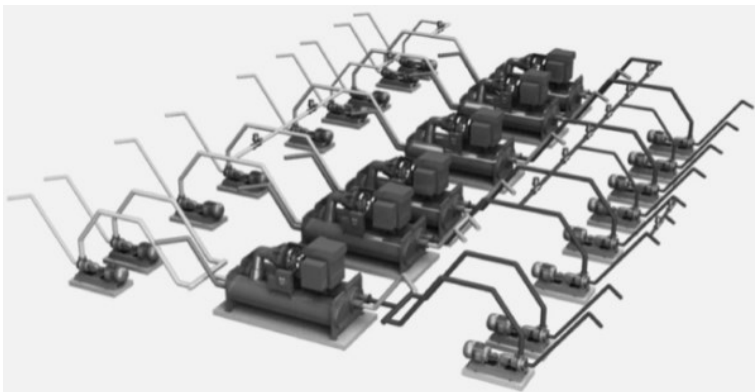
ပုံ ၁၇-၃၀ Chilled water plant



ပုံ ၁၇-၃၁ Chilled water plant with common header



ပုံ ၁၇-၃၂ Chilled water plant with common header (header pumps)



ပုံ ၁၇-၃၃ Chilled water plant (dedicated pumps)

-End-

Chapter-18 Chillers Performance Rating

၈.၁ Chiller Efficiency

Central air conditioning system တွင် chiller များသည် စွမ်းအင်(energy)အများဆုံး အသုံးပြုသည့် equipment များ ဖြစ်ကြသည်။ စက်ရုံ၊ အလုပ်ရုံ မဟုတ်သည့် အဆောက်အဦများတွင် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားသုံးစွဲမှု စုစုပေါင်း၏ ၅၀%ကျော်ကို ACMV system က သုံးစွဲသည်။ အဆောက်အဦတစ်ခုလုံး၏ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားသုံးစွဲမှု (energy consumption) သည် chiller plant ၏ efficiency အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Chiller များကို တပ်ဆင်ထားသည့် compressor အမျိုးအစားနှင့် condenser အမျိုးအစား အပေါ်တွင် မူတည်၍ ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ Condenser သည် လေကိုအသုံးပြု၍ အပူစွန့်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) ပြုလုပ်လျှင် air cooled chiller ဟု သတ်မှတ်ပြီး ရေကိုအသုံးပြု၍ အပူစွန့်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) ပြုလုပ်လျှင် water cooled chiller ဟု သတ်မှတ်သည်။ အသုံးပြုထားသည့် compressor အမျိုးအစားသည် chiller အမျိုးအစား အဖြစ် သတ်မှတ် ခေါ်ဆိုသည်။ Centrifugal compressor ကိုအသုံးပြု၍ refrigerant ကို ဖိသိပ်(compression) လျှင် centrifugal chiller ဟုခေါ်သည်။ (ဥပမာ- water cooled centrifugal chiller)

Chiller များ၏ performance ကောင်းမကောင်းကို chiller များ၏ efficiency ဖြင့် နှိုင်းယှဉ်လေ့ရှိသည်။ chiller efficiency ကို အအေးဓာတ်(cooling) 1 unit ထုတ်ပေး(produce)ရန်အတွက် လျှပ်စစ်စွမ်းအင် မည်မျှ အသုံးပြုသည်ကို တိုင်းတာ၍ ပြောလေ့ရှိသည်။

English IP system အတွက် chiller efficiency မှာ kW/ RT ဖြစ်သည်။

$$\text{kW/ RT} = \text{kW input} / \text{Tons of refrigeration (RT)}$$

SI metric system အတွက် chiller efficiency မှာ COP (Coefficient of performance) ဖြစ်သည်။

$$\text{COP} = \text{kW refrigeration} / \text{kW input}$$
$$\text{kW refrigeration effect} = \text{RT} \times 3.517$$

Reciprocating compressor နှင့် scroll compressor များ အသုံးပြုထားသည့် Direct expansion refrigeration unit များတွင် Energy Efficiency Ratio (EER) ကို အသုံးပြုသည်။

$$\text{Energy Efficiency Ratio (EER)} = \text{Cooling capacity (Btu/ h)} / \text{Electric power unit (W)}$$

Chiller များအားလုံးသည် maximum capacity သို့မဟုတ် full load capacity တွင် မောင်းအချိန် နာရီပေါင်း အလွန်နည်းပြီး part load တွင် မောင်းချိန်နာရီ အရေအတွက် ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် chiller ထုတ်လုပ် သူ(manufacturer)များ အနေဖြင့် part load operating performance ကို ဖော်ပြပေးရန် လိုအပ်သည်။

Chiller efficiency သည် ထို chiller အတွက် ပေးရသည့် စွမ်းအင်ပမာဏ(energy consumed) နှင့် ထုတ်ပေးသည့် refrigeration effect အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Absorption chiller များကို fuel consumption per ton cooling ဖြင့် သတ်မှတ် ပြောဆိုကြသည်။ လျှပ်စစ်ဖြင့်မောင်းသော(electric motor driven) chiller များကို kilowatts per ton cooling (kW/RT) ဖြင့် ပြောဆိုကြသည်။

Chiller တစ်လုံး၏ efficiency သည် 0.9 kW/RT ဖြစ်သည် ဆိုသည်မှာ ထို chiller မှ 1 Refrigeration Ton ထွက်ရန်အတွက် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား (၀.၉)ကီလိုဝပ်(0.9 kW) အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည် ဟုဆိုလိုသည်။

၁၈.၁.၁ kW/RT

kW/RT ဆိုသည်မှာ chiller တစ်ခုသည် 1 Refrigeration Ton (12,000 Btu) ထွက်ရန်အတွက် အသုံးပြု ရသော လျှပ်စစ်ဓာတ်အား ကီလိုဝပ်(electrical kW) မည်မျှ လိုအပ်သည်ကို ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။ တစ်နည်း အားဖြင့် chiller plant မှ ထွက်သော Refrigeration Ton ကို အသုံးပြုသော electrical kW ဖြင့် စားထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် kW/RT ၏ ပမာဏ နည်းလေ chiller သို့မဟုတ် chiller plant သည် efficient ဖြစ်လေ ဖြစ်သည်။

Chiller kW/RT နှင့် chilled water plant kW/RT ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ Chiller kW/RT သည် chiller တစ်ခုတည်း၏ kW/RT ဖြစ်သည်။ Chilled water plant kW/RT သည် plant တစ်ခုလုံး၏ kW/RT ဖြစ်သည်။ chilled water plant သို့မဟုတ် system တွင် chiller များ၊ chilled water pump များ၊ condenser water pump နှင့် cooling tower တို့၏ kW/RT ပါဝင်သည်။

၁၈.၁.၂ Coefficient of Performance - COP

Coefficient of Performance (COP)သည် ယူနစ်မဲ့(unit less) parameter ဖြစ်ပြီး refrigerant ကို အသုံးပြုသော system များ၏ efficiency ကို ဖော်ပြရာတွင် အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ Coefficient of Performance (COP)သည် ရလိုသည့်စွမ်းအင်(useful energy) နှင့် ထည့်ပေးရသည့်စွမ်းအင်(energy applied)ကို အချိုး ချထားခြင်း ဖြစ်သည်။

COP ကို cooling efficiency သို့မဟုတ် heating efficiency နှစ်မျိုးလုံး အတွက် အသုံးပြုသည်။ Heat pump ကို cooling mode အတွက် သာမက heating mode အတွက်ပါ အသုံးပြုနိုင်သောကြောင့် heat pump တွင် COP နှစ်မျိုးရှိနိုင်သည်။

Heat pump ၏ cooling mode အတွက် cooling efficiency မှာ rate of heat removal ကို compressor သို့ထည့်ပေးရသည့် rate of energy input နှင့် စားထားခြင်း ဖြစ်သည်။ အချိုးချထားခြင်းဖြစ်သည်။ Heat pump ၏ heating အတွက် rate of heat delivered ကို compressor သို့ထည့်ပေးရသည့် rate of energy input နှင့် စားထားခြင်းဖြစ်သည်။ အချိုးချထားခြင်းဖြစ်သည်။

COP တန်းဖိုးများခြင်းသည် efficiency ကောင်းခြင်း ဖြစ်သည်။ COP ကို အောက်ပါ အတိုင်း ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$\text{Coefficient of Performance(COP)} = \frac{\text{heat produced (Btu/h)}}{\text{equivalent electric energy input (Btu/h)}}$$

COP heat pump ဥပမာ

Cooling Cycle

Heat pump တစ်ခုကို cooling လုပ်ရန်အတွက် အသုံးပြုနေစဉ် 60000 Btu/h အပူဖယ်ထုတ်ပေးနိုင်ပြီး (အအေးဓာတ်ပေးနိုင်ပြီး) စွမ်းအင်(total input) 9 kW အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

$$COP = 60000 \text{ (Btu/h)} / 3413 \times 9 \text{ (kW)} = 1.95$$

Heating Cycle

Heat pump တစ်ခုကို heating လုပ်ရန်အတွက် အသုံးပြုနေစဉ် 50000 Btu/h အပူဖယ်ထုတ်ပေးနိုင်ပြီး (အပူဓာတ်ပေးနိုင်ပြီး) စွမ်းအင်(total input) 7 kW အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

$$COP = 50000 \text{ (Btu/h)} / 3413 \times 7 \text{ (kW)} = 2.1$$

Table 18-1

အသုံးပြုသည့်နေရာ	ရရှိနိုင်သည့် COPs
Refrigerators for cutting and preparation rooms	2.6–3.0
Refrigerators for meat, deli dairy	2.3–2.6
Refrigerators for Frozen foods	1.2–1.5
Refrigerators for ice cream	1.0–1.2

Freezer များ ၏ COP သည် meat refrigerator COP ၏ ထက်ဝက်ခန့်သာဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် freezer ကို မောင်းသည့် ကုန်ကျစရိတ်သည် နှစ်ဆခန့်ပိုများသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် သားငါးများ ခဲအောင် (freeze) ပြုလုပ်သည့် freezer ၏ COP သည် ခဲပြီးသား သားငါး(frozen food)များကို ဆက်ခဲ နေအောင် ပြုလုပ်ရသည့် meat refrigerator ၏ COP ထက်နည်းသည်။ ထို့ကြောင့် Freezer များကို ခဲအောင်ပြုလုပ်ရန်အတွက်သာ အသုံးပြု သင့်ပြီး ခဲပြီးသား သားငါး(frozen food)များ သိမ်းဆည်းရန်အတွက် refrigerator ကိုသာ အသုံးပြု သင့်သည်။

၁၈.၁.၃ Energy efficiency Ratio (EER)

Refrigerator များ နှင့် air conditioner များ၏ performance ကို Energy Efficiency Rating(EER) ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ လျှပ်စစ်ဓာတ်အား 1W ကို အသုံးပြု၍ အပူချိန်နိမ့်သည်နေရာ(cooled space)မှ အပူပမာဏ မည်မျှကို ဖယ်ရှား စွန့်ထုတ်ပေးနိုင်သည်ကို ဖော်ပြသည်။ ဖယ်ရှားစွန့်ထုတ်ပေးသည့် အပူပမာဏကို Btu ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် air conditioner unit များ၏ EER သည် (၈)မှ (၁၂) အတွင်းဖြစ်သည်။ ထို့အတူ COP သည် 2.3မှ 3.5 အတွင်းဖြစ်သည်။ Trane ကုမ္ပဏီမှ ထုတ်လုပ်သည့် reciprocating variable-speed compressor အမျိုးအစား heat pump သည် heating mode ၏ COP သည် 3.3 ဖြစ်ပြီး air conditioning mode ၏ COP သည် 5.0 (EER of 16.9) ဖြစ်သည်။

Refrigeration temperature နိမ့်လေ EER သို့မဟုတ် COP ညံ့ဖျင်းလေ ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် မလိုအပ်ဘဲ အလွန်နိမ့်သည့် အပူချိန်ရအောင် refrigerator နှင့် air conditioning များကို အသုံးမပြုသင့်ပါ။

Energy Efficiency Ratio (EER) ကို unitary air-conditioning များ နှင့် heat pump systems များ ၏ cooling efficiency ကို ဖော်ပြရာတွင်သုံးလေ့ရှိသည်။ EER ၏ ယူနစ်သည် Btu/h ဖြစ်သည်။ Energy Efficiency Ratio (EER) ကို heat pump များ၏ cooling efficiency တိုင်းရာတွင် အသုံးပြုသည်။ EER ကို အောက်ပါ ပုံသေနည်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$\text{Energy Efficiency Ratio (EER)} = \frac{\text{Cooling or heating Capacity (Btu/h)}}{\text{Electrical power (W)}}$$

EER ဥပမာ

Air conditioner တစ်လုံး သို့မဟုတ် heat pump တစ်လုံးသည် cooling လုပ်နေစဉ် 10000 Btu/h ပမာဏ အပူဖယ်ထုတ်ပေးနိုင်ပြီး (အအေးဓာတ်ပေးနိုင်ပြီး) လျှပ်စစ်စွမ်းအင် 1000 W သုံးစွဲလျှင် အောက်ပါ အတိုင်း EER ကို တွက်နိုင်သည်။

$$EER = (10000 \text{ Btu/h}) / (1000 \text{ W}) = 10$$

၁၈.၂ Integrated port load value (IPLV) နှင့် Non standard port load Value (NPLV)

Integrated port load value (IPLV) နှင့် Non standard port load Value (NPLV) ဟူ၍ (၂)မျိုးရှိသည်။

IPLV ဆိုသည်မှာ ARI standard rating condition တွင် chiller efficiency ကို ခန့်မှန်းခြင်း(predict) ဖြစ်သည်။ Chiller တပ်ဆင်ထားသည့် နေရာ(geographic locations)၊ အဆောက်အဦးအမျိုးအစား(building types) နှင့် မောင်းချိန်(operating-hour)တို့ကို အခြေခံထားသည့် weighted-average load curve ဖြစ်သည်။

NPLV ဆိုသည်မှာ non-standard rating conditions တွင် chiller efficiency ခန့်မှန်းခြင်း(predict) ဖြစ်သည်။ IPLV တွက်နည်းနှင့် တူညီသည်။ Part-load operation of an average, single-chiller installation အခြေအနေကို ပို၍ အထူးပြုလေ့လာသည့် weighted-average load curves ဖြစ်သည်။

IPLV ညီမျှခြင်းများ(equations)နှင့် တွက်နည်း(procedure)သည် water-chilling product များ၏ part-load performance ကို တန်ဖိုးတစ်ခု(single number)တည်းဖြင့် ဖော်ပြရန် ရည်ရွယ်ထားသည်။ Chiller တစ်လုံးတည်း၏ average part-load efficiency ကို ဖော်ပြရန်အတွက် တီထွင်ထားသည့် တွက်နည်းဖြစ်သည်။ သို့သော် chiller efficiency နှင့် system efficiency တို့ တွက်ချက်ရန်အတွက် actual weather data ၊ building load characteristics ၊ operational hours ၊ economizer capabilities နှင့် pumps နှင့် cooling towers စသည် တို့၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy draw)တို့ကို အသေးစိတ်လေ့လာမှု(comprehensive analysis)များ ပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

Integrated port load value (IPLV) နှင့် Non standard port load Value (NPLV) တို့၏ ကွာခြားချက်

Integrated Part-Load Value (IPLV)	Non-Standard Part-Load Value (NPLV)
Weighted-average load curves	Weighted-average load curves
Based on an .average. single-chiller installation	Based on an .average. single-chiller installation
Standard operating conditions	Non-standard operating conditions

Chiller များ၏ efficiency သည် loading ပေါ်တွင်မူတည်သည်။ ထို့ကြောင့် chiller တစ်လုံး၏ efficiency ကောင်း၊ မကောင်း ဆုံးဖြတ်ရန် full load (100% of rated capacity) တစ်ခုတည်းကိုသာ ကြည့်၍ ပြောဆိုရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ Part load condition (90% ၊ 80% ၊ 70% စသည်) ၏ efficiency ကိုပါ ထည့်သွင်း ဖော်ပြလေ့ ရှိသည်။ Chiller ထုတ်လုပ်သူမှ အသေးစိတ် technical data များကို အသုံးပြုသူများ ရွေးချယ်ရန် အတွက် ဖော်ပြပေးရသည်။

% of Loading	Chiller A efficiency	Chiller B efficiency
100% Loading	0.55 kW/ RT	0.54 kW/ RT
70% Loading	0.65 kw/ RT	0.61 kw/ RT

အကယ်၍ အဆောက်အဦတစ်ခု၏ chiller plant သည် 100% loading တွင် အချိန် အနည်းငယ်သာ မောင်းပြီး ကျန်အချိန်အများစုမှာ 70% loading တွင် မောင်းမည်ဆိုပါက chiller B ကို ရွေးချယ် သင့်သည်။ Chilled water pump ၊ condenser water pump နှင့် cooling tower တို့၏ efficiency တို့ တူညီကြသည်ဟု ယူဆ ထားသည်။

အကယ်၍ chiller ရွေးချယ်ရန်အတွက် actual cooling load profile ကို မရနိုင် ၊ မသိနိုင်ပါက ILPV rating ကိုအသုံးပြု၍ chiller performance ကို စစ်ဆေးနိုင်သည်။ ILPV သည် chiller အများစု မောင်းလှေ ရှိသည့် အခြေအနေ(common operating condition)ကို အခြေခံ၍ တွက်ထားသည့် weightage efficiency ဖြစ်သည်။

$$IPLV = 1 / [(0.17 / A) + (0.39 / B) + (0.33 / C) + (0.11 / D)]$$

Where A = kW/RT at 100% Load
 B = kW/RT at 75% Load
 C = kW/RT at 50% Load
 D = kW/RT at 25% Load

IPLV ဆိုသည်မှာ Integrated par load Value ဖြစ်သည်။ Actual loading ကို မသိနိုင် မရနိုင်သောကြောင့် chiller များမောင်းသည့် ပုံစံကို ခန့်မှန်း၍ တွက်ချက်ခြင်းဖြစ်သည်။

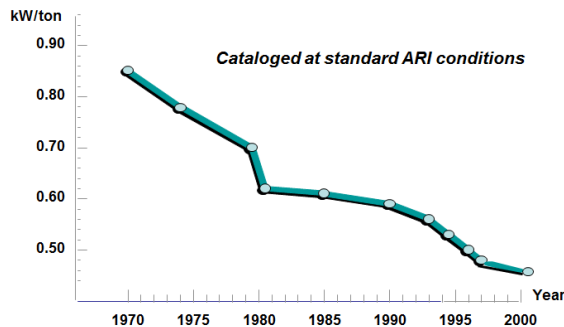
Table 18-2

Chiller Loading (%)	Operation Hour (%)
100% Loading	17% of operation Hours
75% Loading	39% of operation Hours
50% Loading	33% of operation Hours
25% Loading	11% of operation Hour

Table 18-3 IPLV Rating Conditions (ARI Standard 550/590-98)

Rating point	Percent of full load	Weighing factor (%)	Water-cooled condenser water temperature (°F)	Air-cooled entering air temperature (°F)
A	100	1	85	95
B	75	42	75	80
C	50	45	65	65
D	25	12	65	55

Chiller Technology Improvements



ပုံ ၁၈-၁ ARI သို့မဟုတ် AHRI condition များ ကာလအလျောက် တဖြည်းဖြည်းပြောင်းလဲလာပုံ

၁၈.၃ Performance Characteristics and Efficiency Ratings

၁၈. ၃.၁ Performance Issues

Chiller တစ်လုံး၏ operational characteristics နှင့် energy performance ကို ကောင်းစေသည့် အချက်များစွာ ရှိသည်။ ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(design conditions)တွင် သတ်မှတ်ထားသည့် maximum capacity

ရရှိရန်၊ သတ်မှတ်ထားသည့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုထက် ပိုမများစေရန်၊ သတ်မှတ်ထားသည့် part-load operation characteristics ထက်ပို မညံ့စေရန်တို့ ဖြစ်သည်။

Chiller များကို performance နှင့် သက်ဆိုင်သည့်အချက်များ

- (၁) Compressor ဒီဇိုင်း
- (၂) Chiller အတွင်းရှိ ဖိအားကျဆင်းမှုများ (pressure drops)
- (၃) မော်တာ၊ oil pump ၊ casing စသည်တို့မှ ထွက်လာသည့်အပူများ (heat gains)
- (၄) Over compression ဖြစ်ပေါ်ခြင်း နှင့် under compression ဖြစ်ပေါ်ခြင်း
- (၅) Motor Efficiency
- (၆) Refrigerant economizer များ တပ်ဆင်ထားခြင်း
- (၇) Evaporators နှင့် condenser တို့၏ heat transfer surface area
- (၈) Fouling ၊ tube enhancement ၊ velocity of fluid စသည့် tube heat transfer coefficients နှင့် သက်ဆိုင်သည့်အချက်အလက်များ
- (၉) Refrigerant

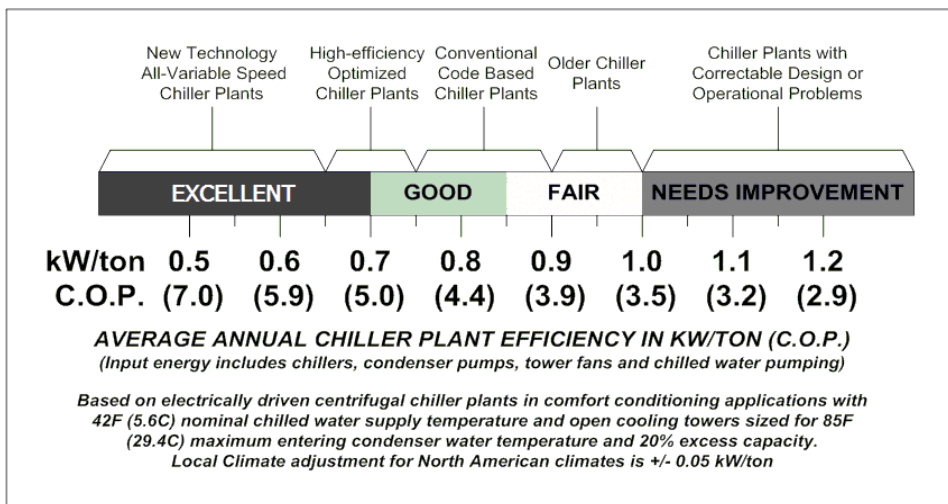
၁၈.၄ Chiller Efficiency Ratings

Peak design condition water chiller များ ၏ efficiency ကို Coefficient of Performance (COP) ဟုခေါ်သည်။ COP သည် operating condition တွင် rate of heat removal နှင့် rate of energy input တို့၏ အချိုးဖြစ်သည်။ အချိုးချသည့် ယူနစ် နှစ်မျိုးတူညီရမည်။

$$COP = \frac{Net\ Useful\ Refrigerant\ Effect}{Energy\ Supplied\ from\ External\ Source}$$

COP တန်ဖိုးများလေ energy efficiency ပိုကောင်းလေဖြစ်သည်။ ASHRAE Standard 90.1- 20047 and Title 24-20058 တွင် water chiller များ၏ minimum energy efficiency standard ကို သတ်မှတ်ပေးထားသည်။

kW/RT တန်ဖိုးနည်းလေ energy efficiency ပိုကောင်းလေ ဖြစ်သည်။ Chiller standard rating သည် AHRI က သတ်မှတ်ပေးထားသည့် အခြေအနေများ (conditions) ဖြစ်ပေါ်တွင် အခြေခံရသည်။ American Refrigeration Institute (ARI) Standards 550/590 (vapor-compression chillers) နှင့် 560 (absorption chillers) တို့တွင် rating condition များကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၈-၂ ASHRAE COP

Table 18-4

Leaving Chilled Water Temperature	44°F
Evaporator Water Flow Rate	2.4 gpm/ton
Entering Condenser Water Temperature	85°F
Condenser Water Flow Rate (Electric)	3.0 gpm/ton
Condenser Water Flow Rate (Absorber)	3.6 gpm/ton (single stage)
	4.5 gpm/ton (two stage)
Ambient Air (for air-cooled)	95°F
Fouling Factors 0.00010 h-ft ² -F/Btu (Evaporator)	0.00010 h-ft ² -F/Btu (Evaporator)
	0.00025 h-ft ² -F/Btu (Condenser)

အသုံးများသည့် energy efficiency rating သည် Integrated Part-Load Value (IPLV)ဖြစ်သည်။ IPLV သည် တန်ဖိုးတစ်ခု(single-number)ဖြင့် ဖော်ပြခြင်းဖြစ်ပြီး part-load COP သို့မဟုတ် kW/ton အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Equipment ၏ part-load efficiency သည် မောင်းသည့်အခြေအနေအမျိုးမျိုး(various load capacities)ကို ပျမ်းမျှတန်ဖိုး(weighted)တွက်ယူခြင်းအပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Equipment ၏ COP ကို 100% ၊ 75% ၊ 50% နှင့် 25% load အခြေအနေတွင် မောင်းနေမည့် အချိန် (weighted percentage of operational hours) နှင့် condenser water relief ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Weighted average ဆိုသည်မှာ single part-load efficiency number ကို ဖော်ပြရန်အတွက် အသုံးပြုသည့် တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။ Condenser water relief ဆိုသည်မှာ condenser water entering အပူချိန်သည် 100% load တွင် 85°F ဖြစ်ပြီး 50% load တွင် 65°F ဖြစ်သည်။ Condenser water relief သဘောတရားသည် weather နှင့် cooling load ဆက်စပ်မှု(correlation) အပေါ်တွင် အခြေခံထားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရာသီဥတု အေးလာ သောကြောင့် cooling load နည်းသွားခြင်းဖြစ်သည်ဟု ယူဆထားသည်။ Cooling load 10% နည်း သွားတိုင်း အပူချိန် 4°F ကျဆင်းသွားသည်ဟု သတ်မှတ်ကာ part load efficiency ကို တွက်ချက်ခြင်း ဖြစ်သည်။

အထက်အပါ standard အခြေအနေနှင့် မကိုက်ညီသည့် အခြေအနေတွင် မောင်းသည်အခါမျိုး၌ Nonstandard Part-Load Value(NPLV)ကို အသုံးပြုသည်။ Leaving chilled water အပူချိန် 44°F ကို အသုံးပြုမည့်အစား 42°F ကိုအသုံးပြုသည်။ 100% ၊ 75% ၊ 50% နှင့် 25% load တွင် မောင်းချိန်ကို stand အသုံး မပြုဘဲ လိုသလို ပြုပြင် အသုံးပြုသည်။

IPLV နှင့် NPLV တို့သည် တစ်လုံးချင်းစီ(individual chiller)၏ energy performance indicator ဖြစ်သည်။ AHRI ၏ လေ့လာတွေ့ရှိချက်များအရ တပ်ဆင်ထားသည့် chiller များ၏ 80% multiple chiller plant များတွင် ဖြစ်သည်။ Multiple chiller plant များတွင်ရှိသည့် chiller များသည် single chiller system တွင် ရှိသည့် chiller များထက် loading ပိုများသည်။ Chiller refrigerant နှင့် performance rating တို့သည် နည်းပညာ နှင့် အချိန်ကာလကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲသည်။ ယခုအခါ နည်းပညာ တိုးတက်မှု လျင်မြန်လာသောကြောင့် performance rating တန်ဖိုးများ ပြောင်းလဲသည်။

Table 18-5

Chiller type	Evaporator flow rate	Condenser flow rate	Rating Standard
Reciprocating	2.4 gpm/ton [0.043 L/s/kW]	3.0 gpm/ton [0.054 L/s/kW]	ARI 550/590-1998
Scroll			
Helical-rotary			
Centrifugal			

Water leaving evaporator = 44°F [6.7°C]

Water entering condenser = 85°F [29.4°C]

၁၈.၅ Flow Rates and Temperatures

$$Q_{Btu/hr} = 500 \times \text{flow rate} \times \Delta T$$

$$[Q_w = 4,184 \times \text{flow rate} \times \Delta T]$$

Q = load, Btu/hr [W]

Flow rate = water flow rate through the chiller, gpm [L/s]

ΔT = temperature difference (leaving minus entering) through the chiller, °F [°C]

Realize that 500 [4,184] သည် အမြဲမှန်ကန်သည့်တန်ဖိုး သို့မဟုတ် အသုံးပြုနိုင်သည့် တန်ဖိုးဖြစ်သည်။

Product of density, specific heat, and a conversion factor တို့၏ မြောက်လဒ် အပေါ်တွင်မူတည်။

Density of water = 8.33 lb/gal [1.0 kg/L]

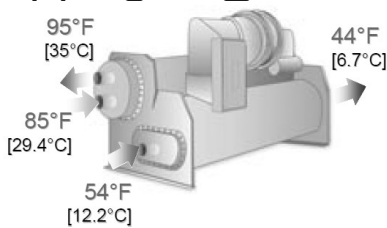
Specific heat of water = 1.0 Btu/lb°F [4,184 J/kg°K]

$$8.33 \text{ lb/gal} \times 1.0 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F} \times 60 \text{ min/hr} = 500$$

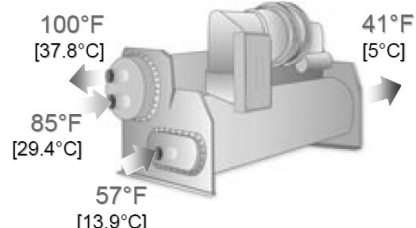
$$[1.0 \text{ kg/L} \times 4,184 \text{ J/kg}^\circ\text{K} = 4,184]$$

၁၈.၆ AHRI conditions Vs Low-flow conditions

Chiller များကို AHRI က သတ်မှတ်ထားသည့် အခြေအနေ(conditions)မမောင်းဘဲ ဒီဇိုင်းနာများ စိတ်ကြိုက် ရွေးချယ်ထားသည့်အခြေအနေများတွင် မောင်းသည့်အခါမျိုးကြုံတွေ့ နိုင်သည်။ အောက်တွင် AHRI က သတ်မှတ်ထားသည့် နည်းသည့် chilled water flow နှင့် condenser water flow rate ဖြင့် မောင်းသည် ဒီဇိုင်း တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၈- ARI conditions



ပုံ ၁၈- Low-flow conditions

Evaporator flow rate	2.4 gpm/ton
	[0.043 L/s/kW]
Condenser flow rate	3.0 gpm/ton
	[0.054 L/s/kW]

Evaporator flow rate	1.5 gpm/ton
	[0.027 L/s/kW]
Condenser flow rate	2.0 gpm/ton
	[0.036 L/s/kW]

chilled water is cooled 57°F [13.9°C] မှ 41°F [5°C] အထိကျဆင်းသည်။ ΔT သည် 16°F [8.9°C] ဖြစ်သည်။ water flow rate 2.4 gpm/ton [0.043 L/s/kW] မှ 1.5 gpm/ton [0.027 L/s/kW] အထိ ကျဆင်းသည်။

Chille water စီးနှုန်း(flow rate)ကို လျော့ချခြင်းကြောင့် အောက်ပါ အကျိုးကျေးဇူး ရရှိနိုင်သည်။

- (၁) Pipe ၊ pump ၊ valve နှင့် cooling tower တို့၏ အရွယ်အစား သေးငယ်သောကြောင့် တပ်ဆင်ရန် ကုန်ကျစရိတ် သက်သာသည်။
- (၂) အရွယ်အစားသေးငယ်သည့် pump နှင့် cooling tower fan တို့ကြောင့် စွမ်းအင်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်သက်သာသည်။

ASHRAE/IESNA Standard 90.1.1999

Energy Standard

- _ Building design and materials
- _ Minimum equipment efficiencies
- _ HVAC system design



American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) နှင့် Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) တို့က သတ်မှတ် ပြဌာန်းပေးထားသည့် ASHRAE/IESNA Standard 90.1-1999 ဖြစ်ပြီး Energy Standard for Buildings, Except Low-Rise Residential Buildings သက်ဆိုင်သည့် အချက်အလက်များပါဝင်သည်။

Buildings except low-rise residential buildings များနှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်အလက်များ အားလုံးပါဝင်သည်။ water chillers နှင့် chilled-water systems နှစ်မျိုးစလုံး၏ specific requirement များ ပါဝင်သည်။

Table 18-6 Minimum Water Chiller Efficiency Requirements from ASHRAE/IESNA

Chiller type	Capacity	Minimum efficiency*	
		Peak load COP	IPLV (kW/ton)
Reciprocating, air-cooled	all capacities	2.8 COP	1.256
Reciprocating, water-cooled	all capacities	4.2 COP	0.756
helical-rotary(Screw), scroll	< 150 tons [528 kW]	4.45 COP	0.781
	150 to 300 tons [528 to 1,056 kW]	4.9 COP	0.710
	> 300 tons [1,056 kW]	5.5 COP	0.628
centrifugal	< 150 tons [528 kW]	5.0 COP	0.703
	150 to 300 tons [528 to 1,056 kW]	5.55 COP	0.634
	> 300 tons [1,056 kW]	6.1 COP	0.576
* as of October 29, 2001			

ARI Standard 550/590-1999 ၏ test procedure သည် အောက်ပါအတိုင်းဖြစ်သည်။ ၂၀၀၁ခုနှစ် အောက်တိုဘာလတွင် နောက်ဆုံး ပြင်ဆင်ပြဌာန်းခဲ့သည်။

- (က) Design Efficiency (kW/TR or COP) သည် peak load နှင့် peak head (design ECWT or ECAT) အခြေအနေတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် Efficiency ဖြစ်သည်။ ထိုနှစ်မျိုးတစ်ပြိုင်နက်(simultaneous occurrence) ဖြစ်ပေါ်ချိန်သည် တစ်နှစ်လုံးတွင် မောင်းချိန်၏ 1%ခန့်သာဖြစ်သည်။
- (ခ) Off-Design Efficiency (kW/RT or COP) သည် design အခြေအနေ(load/head)မှလွဲသည့် အခြေအနေတွင် မောင်းသည့် Efficiency ဖြစ်သည်။ တစ်နှစ်လုံးတွင် မောင်းချိန်၏ 99%ခန့် ဖြစ်သည်။
- (ဂ) Non-standard Part Load Value (NPLV) သည် တစ်နှစ်လုံး၏ Weighted Efficiency (kW/RT or COP) ဖြစ်သည်။ Four specific job conditions (representing both "design and off-design".) weighted

efficiencies ဖြစ်သည်။

(ဃ) Integrated Part Load Value (IPLV) သည် NPLV ၏ Weighted Efficiency နှင့် formula နှင့်တူညီသည်။ သို့သော် မောင်းသည့်အခြေအနေသည့် standard ARI condition များကို အခြေခံထားသည်။ NPLV ကို သုံးရန် မသင့်လျော်သည့် အခြေအနေများအတွက် ဖြစ်ပြီး catalog များတွင် ဖော်ပြမည့် rating များ ဖြစ်သည်။

(င) Non-standard Part Load Value (NPLV) သည် five specific condition ကို အခြေခံ၍ တွက်ယူထားသည့် weighted efficiencies (kW/RT) သို့မဟုတ် COP ဖြစ်သည်။ ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(design conditions)နှင့် ဒီဇိုင်းမှ သွေဖီသည့် အခြေအနေများ(off-design conditions)အတွက် တစ်နှစ်လုံး၏ မောင်းချိန် 100% အတွက် ရည်ညွှန်းသည်။

$COP = 0.293 EER$

$EER=3.413 COP$

$kW/Ton = 12 / EER$

$EER=12 / (kW/Ton)$

$kW/Ton =3.516 / COP$

$COP=3.516 / (kW/Ton)$

Energy efficiency - kW/ton, COP and EER

kW/Ton	=	12/EER
kW/Ton	=	12/(COP x 3.412)
COP	=	EER/3.412
COP	=	12/(kW/RT)/3.412
EER	=	12/kW per Ton
EER	=	COP x 3.412

Contents

၁၈.၁ Chiller Efficiency 1

 ၁၈.၁.၁ kW/RT 1

 ၁၈.၁.၂ Coefficient of Performance - COP 1

 ၁၈.၁.၃ Energy efficiency Ratio (EER) 1

၁၈.၂ Integrated port load value (IPLV) နှင့် Non standard port load Value (NPLV) 4

၁၈.၃ Performance Characteristics and Efficiency Ratings 5

 ၁၈. ၃.၁ Performance Issues 5

၁၈.၄ Chiller Efficiency Ratings 6

၁၈.၅ Flow Rates and Temperatures 8

၁၈.၆ AHRI conditions Vs Low-flow conditions 8

Chapter-19 Design Processes and Chillers Selection

Chilled water plant များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ရာတွင် နှစ်မျိုးကွဲပြားသည်။ အဆောက်အဦ အသစ်၏ Chilled water plant များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်းနှင့် လက်ရှိအဆောက်အဦများရှိ chiller water plant တစ်ခုလုံးကို ဒီဇိုင်းအသစ်ဖြင့် ပြန်လည်ပြုပြင်ခြင်း ဖြစ်သည်။

၁၉.၁ New Plant Design

New Plant Design Considerations

- Determine requirements
- Design process
- After construction considerations

၁၉.၁.၁ Determine Requirements

Capacity required

- Current load
- Potential future loads
- Redundancy requirement
- Provisions for special loads

Operating profile

- Hours per day
- Days per week
- Continuous loads
- Load diversity

၁၉.၁.၂ Design Process

- (က) Chiller sizing
- (ခ) Chiller Performance
- (ဂ) Cooling sources
- (ဃ) Operating temperatures
- (င) Cooling tower selection
- (စ) Basic plant layout
- (ဆ) Schematic design of possible options

(က) Chiller sizing

- Benefits of different size chillers
 - Fewer total operating hours
 - More operation above 50% load
- Depends on load profile
- Use of different size chillers may eliminate need for pony chiller
- Variable speed chillers provide improved part load performance and minimum capacity

(၈) Chiller Performance Ratings

- American Refrigeration Institute Standard 550/590-98
- Standard conditions
 - Full load
 - Chilled water temperatures - 54°F to 44°F
 - Condenser water temperatures - 85°F to 95°F
- Efficiency rating - kW/Ton
- Part load efficiency
 - Integrated Part Load Value (IPLV)
 - A = kW/ton at 100% load
 - B = kW/ton at 75% load
 - C = kW/ton at 50% load
 - D = kW/ton at 25% load
- Standard temperature conditions
- Weighted average of kW/ton at various loads
 - Non-standard Part Load Value (NPLV)
- Specific application temperatures
- Same weighting as IPLV
- ARI Standard 550-98

$$\text{IPLV} = 1 / (0.01/A + 0.42/B + 0.45/C + 0.12/D)$$

(၉) Cooling Sources

- Use of different fuel sources provides flexibility and reliability
- Types to be considered depend on several factors
 - Utility rates and structure
 - Load profile
 - Air quality considerations
 - Maintenance considerations
- Economizer cycle
 - Air-side generally most effective
 - Water-side use
- Building configuration does not allow air-side
- Cooling for special load requirements
- Climatic considerations

(၁၀) Operating Temperatures

- Chilled water supply temperature

- Lower supply temperature
- Reduced air flow requirements
- Improved dehumidification
- Increased chiller operating cost versus reduced fan operating costs, especially with a VAV system
- Chilled water ΔT
 - Higher ΔT means reduced pipe size and pumping requirement, increased coil size, and reduced fan energy
 - Optimum temperature depends on amount of piping in system
- Condenser water supply temperature
 - Lower supply temperature improves chiller efficiency
 - Approach temperature can be 6 – 10 °F above design wet bulb
 - Use 0.4% design temperature data
- Condenser water ΔT
 - Normal 10°F works well in most cases
 - Larger ΔT common with absorption chillers due to higher load and should be considered for large systems or when the cooling tower is remote from the chiller plant
 - Reduced chiller efficiency versus smaller pipes and reduced pumping horsepower

(c) Cooling Tower Selection

- Selection should be based on required water flow, optimum approach temperature and ΔT
- Allowance for potential tenant equipment load
- Selection should be based on water-side economizer conditions if that is part of system
- Increasing size of the cooling tower is generally the least expensive way to improve the efficiency and provide some safety margin in the system
- Use of variable speed drive on the fan motor minimizes any operating cost penalty

(e) Determine Basic Plant Layout

- Select system that will best fit needs of project
- For simpler systems, parallel system with different size chillers is probably best choice
- Systems with different occupancy schedules or load requirements need more complex system
 - Primary-secondary plant offers most flexibility
 - Variable primary flow works with new electric chillers with less complexity than a primarysecondary system
- Large chilled water ΔT
 - Series plant
 - Primary-secondary with primary flow greater than secondary flow

(so) Schematic design of possible options

- Analyze options
 - Opinion of probable costs
 - Operating cost estimates

- Screening measures
- Energy simulation
 - Life cycle costs
- Complete design of chosen option
 - Peer review
 - Operator review
 - Determine sequence of operations
- After construction activities
 - Commissioning
 - Training

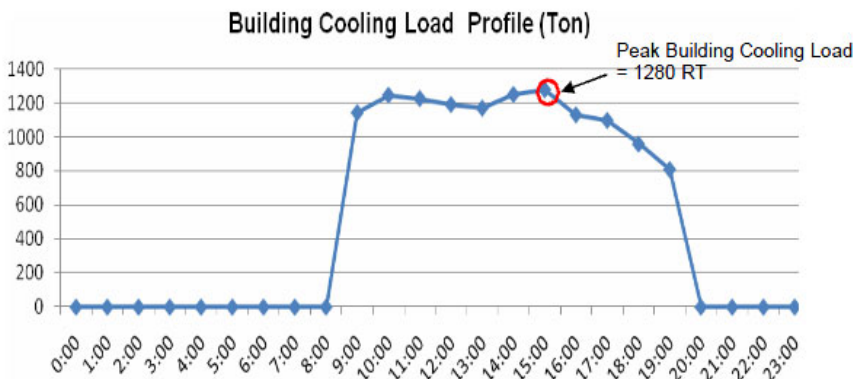
၁၉.၂ Chiller အရွယ်အစားရွေးချယ်ခြင်း (Chiller Sizing)

အသစ်ဆောက်မည့် အဆောက်အဦအတွက် centralized air con system ၏ chiller plant room တွင် chiller ၏ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း(selection) ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်ပါသည်။ အောက်ပါ အဆောက်အဦတစ်ခုကို ဥပမာနှင့်တကွ ရှင်းပြ ထားသည်။

ရုံးအဖြစ် အသုံးပြုရန် ရည်ရွယ်သော အဆောက်အဦ(office building) ဖြစ်ပြီး air con ပေးမည့် နေရာ၏ ကြမ်းခင်း ဧရိယာသည် (၃၀၀၅၀)စတုရန်းမီတာ ဖြစ်သည်။ Chilled water pump များနှင့် cooling tower fan များကို Variable Speed Drive(VSD)များ တပ်ဆင်ထားသည်။ ရုံးအဖြစ် အသုံးပြုသောကြောင့် အဆောက်အဦ၏ air con system ကို ရုံးချိန်အတိုင်း မောင်းနှင်မည် ဖြစ်သည်။

Monday to Friday : 9:00 am to 6:00 pm
 Saturday : 9:00 am to 11:00 pm

အဆောက်အဦ တည်ရှိရာနေရာ(location) နှင့် မျက်နှာမူရာ(orientation) တခြားလိုအပ်သော အချက် အလက်များကို အခြေခံပြီး thermal simulation analysis မှ building cooling load profile ကို ရရှိနိုင်သည်။



ပုံ ၁၉-၁ Building load profile

အထက်ပါ daily building load profile သည် အဆောက်အဦ၏ အမြင့်ဆုံး building cooling load ရှိသည့်နေ့ တစ်နေ့၏ profile ဖြစ်သည်။ ဤ ဥပမာအတွက် ဇူလိုင်လ(၁၄)ရက်နေ့ မွန်းလွဲ(၃)နာရီခန့် အချိန်တွင် အမြင့်ဆုံး building cooling load ဖြစ်ပေါ်သည်။ ပမာဏအားဖြင့် 1280RT ဖြစ်သည်။ ဇူလိုင်လ ၁၄ရက်နေ့ကို "design day" ဟုလည်း ခေါ်သည်။

တပ်ဆင်မည့် chiller များ သို့မဟုတ် chiller water system သည် building cooling load ဖြစ်သည့် 1280RT ရရှိအောင် stand by chiller များ မပါဘဲ မောင်းနှင်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် chiller plant

room က ထုတ်ပေးနိုင်သည့် capacity သည် building cooling load ထက် ပိုများရမည်။ Standby chiller များကို ထည့် မတွက်ရ။

အောက်ပါဇယားသည် design day တွင် ရှိသော cooling load(RT)ကို အချိန်ကို လိုက်၍ ဖော်ပြ ထားသည်။ Peak load 1280RT ကို ၁၀၀% အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။

Simulated Building Cooling Load:

Time	Cooling Load (RT)	% Part-load
0:00	0	0
1:00	0	0
2:00	0	0
3:00	0	0
4:00	0	0
5:00	0	0
6:00	0	0
7:00	0	0
8:00	1148.36	88%
9:00	1143.52	88%
10:00	1246.45	96%
11:00	1226.83	94%
12:00	1191.57	92%
13:00	1170.53	90%
14:00	1250.71	96%
15:00	1278.86	98%
16:00	1131.01	87%
17:00	1098.32	84%
18:00	959.25	74%
19:00	809.54	62%
20:00	0	0
21:00	0	0
22:00	0	0
23:00	0	0

From the simulated building cooling load profile, the peak building cooling load is 1,280 RT (> 500 RT).

တွက်ယူထားသည့်(simulated) building load profile မှ ရရှိသည့် building cooling load သည် 1280(RT ဖြစ်သည်။

၁၉.၂.၁ Chiller Plant Design Consideration သို့မဟုတ် Chiller Selection

Chiller plant design consideration သို့မဟုတ် chiller selection သည် အလွန်ကျယ်ပြန့်သော အကြောင်း အရာဖြစ်ပြီး အခြေခံရမည့် အချက်အလက်များစွာ၊ လုပ်သက်နှင့် အတွေ့အကြုံကောင်းများစွာ လိုအပ်သည်။

Peak load 1280RT အတွက် အဖြစ်နိုင်ဆုံးသော chiller အရွယ်အစား(size) နှစ်မျိုးမှာ
450 Refrigeration Ton - water cooled centrifugal chiller (၃) လုံး = 1350 RT နှင့် standby chiller (1) လုံး
650 water - Refrigeration Ton cooled centrifugal chiller (၂) လုံး = 1300 RT နှင့် standby chiller (1) လုံး

650RT chiller နှင့် 450RT chiller တို့တွင် မညှိသည့် chiller combination ပိုကောင်းသည်ကို လက်တန်း ပြောရန် ခက်သည်။ 450RT Chillerသည် (၄)လုံး တပ်ဆင်ရန်လိုအပ်ပြီး 650RT chiller ဆိုလျှင် (၃)လုံးသာ တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။ 450RT Chillerသည် (၄)လုံးအတွက် ပိုက်(chiller water supply & Return)၊ condenser water supply & Return (၄)စုံစီ လိုအပ်သည်။ Electrical အတွက်လည်း (၄)စုံ၊ control & BAS အတွက်လည်း (၄)စုံစာ တပ်ဆင်ရမည်ဖြစ်သည်။

ကုန်ကျစရိတ်(cost)ကို အခြေခံ၍ ဆုံးဖြတ်လျှင် 650RT chiller နှစ်လုံး တပ်ဆင်ခြင်းသည် ပို၍ ကုန်ကျ စရိတ် သက်သာသည်။ 650RT chiller (၃)လုံးစာအတွက် လိုအပ်သည့် နေရာသည် 450 RT chiller (၄)လုံးစာ အတွက် လိုအပ်သည့်နေရာထက် ပိုနည်းသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် နေရာ ကျဉ်းကျဉ်းသာလိုအပ်သည်။ သို့သော် 450 RT chiller (၄)လုံး အနက် တစ်လုံးလုံး breakdown ဖြစ်လျှင် 450RT သာ ဆုံးရှုံးသည်။ 1350RT(450RT x 3) ကျန်သေးသည်။ 650RT chiller (၃)လုံးအနက် တစ်လုံးလုံး breakdown ဖြစ်လျှင် 1300RT သာ ကျန်လိမ့်မည်။

ပထမအဆင့်

Peak cooling load 1280RT ရရှိရန် 650RT chiller နှစ်လုံး မောင်းရန် လိုအပ်ပြီး ထို 650RT chiller နှစ်လုံးကို "running capacity" ဟုခေါ်သည်။ ထိုနှစ်လုံးအနက် တစ်လုံးလုံး ပျက်၍သော်လည်းကောင်း သို့မဟုတ် servicing ပြုလုပ်ရန် ရပ်ထားလျှင်သော်လည်းကောင်း အစားထိုးမောင်းနှင်ရန်အတွက် 650RT chiller တစ်လုံး ထပ်မံ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ ထိုအရံအဖြစ်ထားသည့် 650RT chiller တစ်လုံးကို "standby chiller" ဟုခေါ်သည်။ 650RT chiller သုံးလုံး ပေါင်း 1950RT ကို "installed capacity" ဟုခေါ်သည်။

Step A-1 – Proposed Chillers Configuration

Installed capacity of the chillers (excluding standby) = 1,300 RT

Chillers configuration: 2 x 650 RT centrifugal chillers (operating);
1 x 650 RT centrifugal chiller (standby)

Chiller size ကို အရွယ်အစားရွေးချယ်ပြီးပါက chiller plant room ၏ efficiency (full load နှင့် part load) ကို တွက်ချက်ရန်ဖြစ်သည်။

၁၉.၂.၂ Chiller selection – Chiller Sizing (Chiller အရွယ်အစားရွေးချယ်ခြင်း)

အဆောက်အဦများတွင် centralized air con system များအတွက် အသုံးပြုမည့် chiller များ ၏ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်းသည် air con အင်ဂျင်နီယာတစ်ယောက်အတွက် အလွန်အရေးကြီးသည့် ကိစ္စတစ်ခု ဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦအတွက် မှန်ကန်သင့်လျော်သည့် chiller အရွယ်အစားရရှိရန် ထောင့်ပေါင်းစုံမှ လေ့လာ တွက်ချက်ပြီး အလွန်အကြီးမားဆုံးသော ဆုံးဖြတ်ချက်ကို ပြုလုပ်ရခြင်းဖြစ်သည်။

Chiller အရွယ်အစားသည် chiller ၏ တန်ဖိုး၊ တပ်ဆင်ခ၊ နေရာအကျယ်အဝန်း၊ လျှပ်စစ်ဓာတ်အား ဆိုင်ရာ အချက်အလက်များ၊ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ၊ မောင်းနှင်ရန် လိုအပ်သော လျှပ်စစ်ဓာတ်အား ကုန်ကျစရိတ် စသည် အချက်အလက်များစွာကို တစ်ပြိုင်နက် စဉ်းစားဆုံးဖြတ်ရသည့် လုပ်ငန်းဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦ၏ cooling load ပမာဏနှင့် ရွေးချယ်တပ်ဆင်ထားသည့် chiller များ ၏ အရွယ်အစား လွှဲမှားခဲ့လျှင် စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု(energy consumption) လိုအပ်သည်ထက် အဆမတန်များခြင်း၊ chiller water system တစ်ခုလုံး အဆင်ပြေ ချောမွေ့စွာ မမောင်းနိုင်ခြင်း(unstable operation) နှင့် chiller များ မကြာခဏ ရပ်လိုက်၊ မောင်းလိုက် ဖြစ်နေခြင်းကြောင့် ပျက်စီးလွယ်သည်။

အခြေခံအားဖြင့် လက်ရှိအဆောက်အဦတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် chiller အဟောင်းအတွက် အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်းနှင့် မဆောက်ရသေးသည့် အဆောက်အဦအသစ်အတွက် chiller အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။

လက်ရှိအဆောက်အဦအတွက် လက်ရှိအချက်အလက်များ သို့မဟုတ် energy audit ဒေတာများ အပေါ်တွင် အခြေခံ၍ chiller အရွယ်အစားရွေးချယ်ခြင်း ပြုလုပ်သည်။ အသစ်ဆောက်မည့် အဆောက်အဦ အတွက် တွက်ချက်ထားသည့်(သို့မဟုတ် cooling load/thermal simulation လုပ်ထားသည့်) ဒေတာများ အပေါ်တွင် အခြေခံ၍ chiller အရွယ်အစားရွေးချယ်ခြင်း ပြုလုပ်သည်။

၁၉.၃ လက်ရှိ အဆောက်အဦတစ်လုံးတွင် လဲလှယ်တပ်ဆင်ရန် chiller အရွယ်အစားရွေးချယ်ခြင်း

၁၉.၃.၁ Chiller Plant Retrofit Considerations

Don't Simply Replace;

Re-engineer

Chiller Plant Retrofit Considerations

- Basic process should follow same steps as outlined above
- Additional considerations
 - Engineer and contractor should have experience with this type of project

Chiller Plant Retrofit Considerations

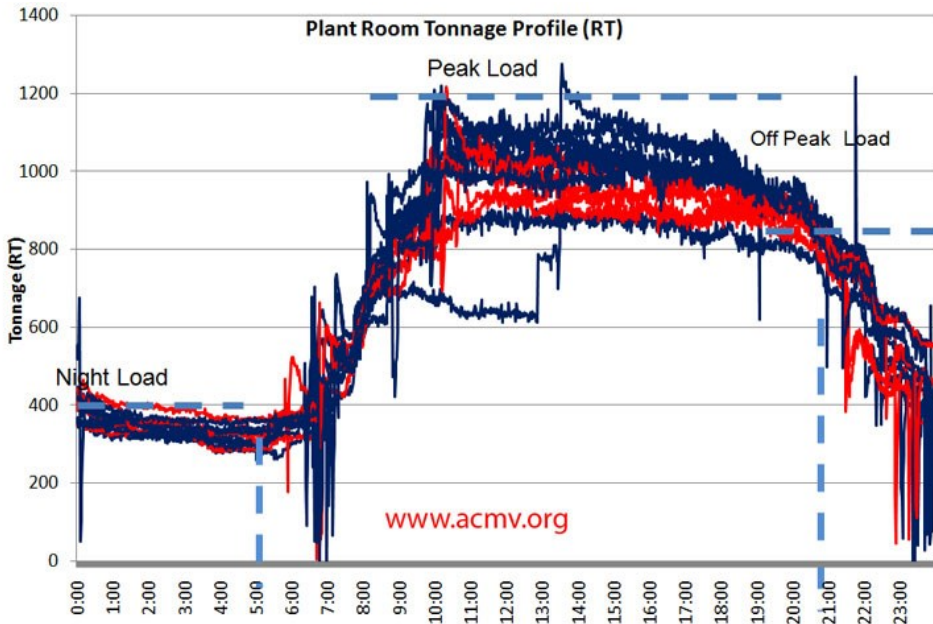
- Additional considerations
 - Engineer needs to familiarize himself with existing plant
- Record drawings
- Operator interview
- Observation of plant

Chiller Plant Retrofit Considerations

- Constructability should be considered during design phase
- Operator review
- Contractor review
 - Coordination critical during construction phase

လက်ရှိ အဆောက်အဦတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် chiller အဟောင်းအတွက် လဲလှယ်တပ်ဆင်မည့် chiller အသစ်၏ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်းမှာ လွယ်သည်ဟုထင်ရသော်လည်း လက်ရှိ chiller အရွယ်အစား အတိုင်း ပြန်လည် တပ်ဆင် (one to one replacement)၍ မရသည့်အခါမျိုးတွင် ထင်ထားသည်ထက် ပိုမို ခက်ခဲတတ်သည်။ အသစ်တပ်မည့် chiller ၏ အရွယ်အစားကို လက်ရှိအခြေအနေများ ဖြစ်သော လက်ရှိနေရာ အကျယ်တွင် ရှိပြီးသား electrical power cable များနှင့် breaker များ၊ ရှိပြီးသား ပိုက်များ နှင့် သင့်လျော်အောင် ရွေးချယ် တပ်ဆင်ရန် လိုသည်။

လက်ရှိ အဆောက်အဦ ဖြစ်သောကြောင့် အကြမ်းအားဖြင့် building cooling load ကို သိထားပြီး ဖြစ်သော်လည်း ပိုမိုသေချာစွာ chiller ကို size လုပ်ရန် energy audit လုပ်လေ့ရှိသည်။ Energy audit မှ ရသော ရလဒ်များပေါ်တွင် အခြေခံ၍ chiller အသစ်၏ အရွယ်အစား(size)ကို ရွေးချယ်သည်။



ပုံ ၁၉- ဟိုတယ်တစ်၏ energy audit မှ ရရှိသည့် load profile (Tonnage Vs Time)

အထက်ပါပုံသည် ဟိုတယ်တစ်၏ လက်ရှိမောင်းနှင်သည့် chiller plant တစ်ခုအား energy audit လုပ်ခြင်းမှ ရရှိလာသော ဒေတာကို ဂရပ်ပုံစံ(graphical presentation) ဖြင့် ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ရက်ပေါင်း (၁၄)ရက်မှ ရရှိသော building cooling load သို့မဟုတ် chilled water cooling load tonnage ဖြစ်သည်။ ဟိုတယ်ဖြစ်သောကြောင့် (၂၄)နာရီ လုံး မောင်းနှင်သည့် plant room ဖြစ်သည်။ အရောင်ရင့်ရင့်ရောင်လိုင်းများသည် တနင်္လာမှ သောကြာနေ့အထိ (weekday) (၂၀ပတ်) ရက်ပေါင်း-(၁၀)ရက် ဖြစ်သည်။ အရောင်နုနုလိုင်းများသည် စနေနှင့် တနင်္ဂနွေ(weekend) ဖြစ်သည်။

ထိုအဆောက်အဦ၏ weekdays cooling load နှင့် weekend cooling load တို့သည် တူညီလှနီးပါး ဖြစ်သည်။ ပုံ(၁၉-)သည် ဟိုတယ်များ၏ ပုံမှန် cooling load profile ဖြစ်သည်။ သို့သော် office building ကဲ့သို့ အဆောက်အဦများအတွက် စနေနေ့တွင် နေ့လည် (၁)နာရီကျော်ပြီးနောက် building cooling load မှာ နည်းသွားသည်။ အချို့ရုံးများမှာ နေ့တစ်ဝက်သာ အလုပ် လုပ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ တနင်္ဂနွေတွင် အားလုံး အလုပ်မလုပ်ကြလျှင် chiller မောင်းရန် မလိုပေ။ ရုံးခန်း အနည်းငယ်သာ အလုပ်လုပ်လျှင် building cooling load အလွန် အလွန် နည်းလိမ့်မည်။ ထို weekend load များကို သင့်လျော်စွာ မောင်းနှင်မည့် chiller အရွယ်အစားကို အကောင်းဆုံး ဖြစ်အောင် ရွေးချယ်ရန် လိုအပ်သည်။

Chiller အရွယ်အစားရွေးချယ်ခြင်း မပြုလုပ်ခင် cooling load profile ကို နားလည်သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်သည်။

၁၉.၃.၂ Peak Load သို့မဟုတ် Maximum Load

Peak load cooling load သို့မဟုတ် maximum cooling load ဆိုသည်မှာ အဆောက်အဦတစ်ခု၏ အမြင့်ဆုံး cooling load ကိုဆိုလိုသည်။ အချိန်အနိမ့်အတန်သာ ကြာသည့် (မိနစ် ၃၀ထက်နည်းသည့်) အမြင့်ဆုံး cooling load ကို peak load cooling load မဆိုနိုင်ပါ။

၁၉.၃.၃ Off Peak Load

Off peak load ဆိုသည်မှာ peak load cooling load သို့မဟုတ် maximum cooling load ဖြစ်သည့်အခါမှ လွှဲပြီး ကျန်အချိန်များတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် cooling load များသည် Off peak load များဖြစ်သည်။ Off peak load

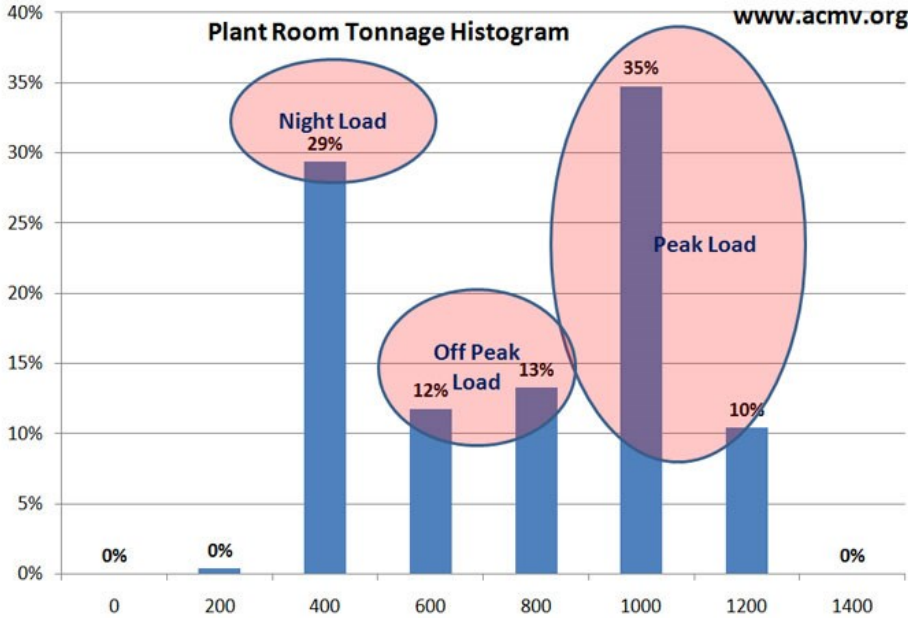
များသည့် ညနေရုံးဆင်းချိန်နောက်ပိုင်း၊ ညဘက်အဆောက်အဦ မပိတ်ခင်အချိန် စသည်တို့ ဖြစ်သည်။ တစ်ခုထက် ပိုများသော Off peak load များလည်း ရှိနိုင်သည်။

၁၉.၃.၄ Night load

ညအချိန်တွင် ရှိသည့် cooling load ကို "night load"ဟု ခေါ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Server room များ၊ computer room များ၊ data center များအတွက်လိုအပ်သည့် cooling load များသည် night load တွင် ပါဝင်သည်။

၁၉.၃.၅ Weekend load

စနေနှင့် တနင်္ဂနွေ(Weekend) တို့တွင် ဖြစ်ပေါ်သော cooling load များကို weekend load ဟုခေါ်ပြီး အထက်တွင် ဖော်ပြပြီး ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၉- ဟိုတယ်တစ်၏ energy audit မှ ရရှိသည့် load profile နှင့် histogram (Tonnage Vs Occurrence)

Cooling load များကို ဖော်ပြထားသည့် load profile graph သည် cooling load ပမာဏနှင့် မညီသည့် အချိန်တွင်ဖြစ်ပေါ်သည်ကိုသာ ဖော်ပြသောကြောင့် load profile graph တစ်ခုတည်းကိုသာ ကြည့်ရှုဖြင့် လုံလောက်သော အချက်အလက်များကို မရရှိနိုင်ပါ။ ထို့ကြောင့် load profile graph ကို histogram ဂရပ်ဖြင့် တွဲ၍ ကြည့်ရှုမှသာ cooling load နှင့်သက်ဆိုင်သော အချက်အလက်များ အပြည့်အစုံကိုသိနိုင်သည်။ အထက်ပါ histogram ဂရပ်အရ peak load သည် Refrigeration Ton(RT) 1200 မှ 800 အတွင်းသည် မောင်း နှင်ချိန် အားလုံး၏ 45% ဖြစ်သည်။ Off peak load သည် Refrigeration Ton(RT) 800 မှ 400 အတွင်းသည် မောင်းနှင်ချိန် အားလုံး၏ 25% ဖြစ်သည်။ Night load သည် Refrigeration Ton(RT) 400 အောက်သည် မောင်းနှင်ချိန် အားလုံး၏ 29% ဖြစ်သည်။ ထိုသို့ cooling load များကို နားလည်ပြီးသည့် အခါတွင် အခြေအနေအားလုံးအတွက် အသင့်လျော် ဆုံးသော chiller selection (အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း)ကို ပြုလုပ်နိုင်ပြီ ဖြစ်သည်။

Chiller selection လုပ်မည့် air con အင်ဂျင်နီယာ တစ်ယောက်နေဖြင့် chiller ထုတ်လုပ်သည့် ကုမ္ပဏီ (chiller manufacturer) များနှင့် chiller များ၏ capacity range များကို ရင်းနှီး ကျွမ်းဝင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ chiller manufacturer များကို Original Equipment Manufacturer(OEM) ဟုလည်း ပြောဆိုလေ့ ရှိသည်။

၁၉.၄ Water Cooled Chiller ကို ရွေးချယ်ခြင်း

နေရာအကျယ်အဝန်း အလုံလောက်ရှိလျှင်(အထူးအဖြင့် cooling tower တပ်ဆင်ရန်အတွက် နေရာ အခက်အခဲ မရှိလျှင်)၊ chiller ၏ capacity သည် 350RT ထက်ကျော်လျှင် water cooled chiller သည် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သည်။ Water cooled chiller တွင် centrifugal compressor သို့မဟုတ် screw compressor ကို တွဲ၍ အသုံးပြုသည်။ Chiller capacity 500RT ကျော်လျှင် centrifugal compressor သည် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သည်။

Chiller ထုတ်လုပ်သည့် company (chiller manufacturer) များ အားလုံးလိုလိုသည် 450RT မှ 500RT chiller ကို ထုတ်လုပ်ကြသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် 450RT မှ 500RT chiller သည် common size ဟုလည်း ခေါ်နိုင်သည်။ တချို့သော chiller ထုတ်လုပ်သည့် Company တို့သည် 1000RT chiller ကို စီးပွားဖြစ် ထုတ်လုပ်လေ့ မရှိပေ။

Peak cooling load 100–125 tons ထက်နည်းသည့် chiller plant များတွင် rotary compressor chillers များ တပ်ဆင်ပါက ကုန်ကျစရိတ်များသည်။ ထို့ကြောင့် reciprocating compressor နှင့် scroll compressor များသည် 125RT chilled water plant များအတွက် အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။ Peak cooling load 100–125 tons အကြား တွင် reciprocating compressor chiller နှစ်လုံး သို့မဟုတ် သုံးလုံး တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ 200 tons ထက် ပိုများ ပါက rotary compressor များသည် အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။ 500 tons ထက်ပိုများပါက centrifugal compressor များသည် အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။

၁၉.၅ Chiller Efficiency

Chiller များ၏ efficiency(kW/RT) သည် chiller ၏ % load ပေါ်တွင် မူတည်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ kW/RT ဆိုသည်မှာ chiller တစ်လုံးသည် 1- Refrigeration Ton(12,000 Btu) ထုတ်နိုင်ရန်အတွက် အသုံးပြုရသော electrical kW မည်မျှ လိုအပ်သည်ကို ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် chiller မှ ထုတ်သော Refrigeration Ton ကို အသုံးပြုသော electrical kW ဖြင့်စားထားခြင်းဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် kW/RT ၏ ပမာဏနည်းလေ chiller မှာ efficient ဖြစ်လေ ဖြစ်သည်။

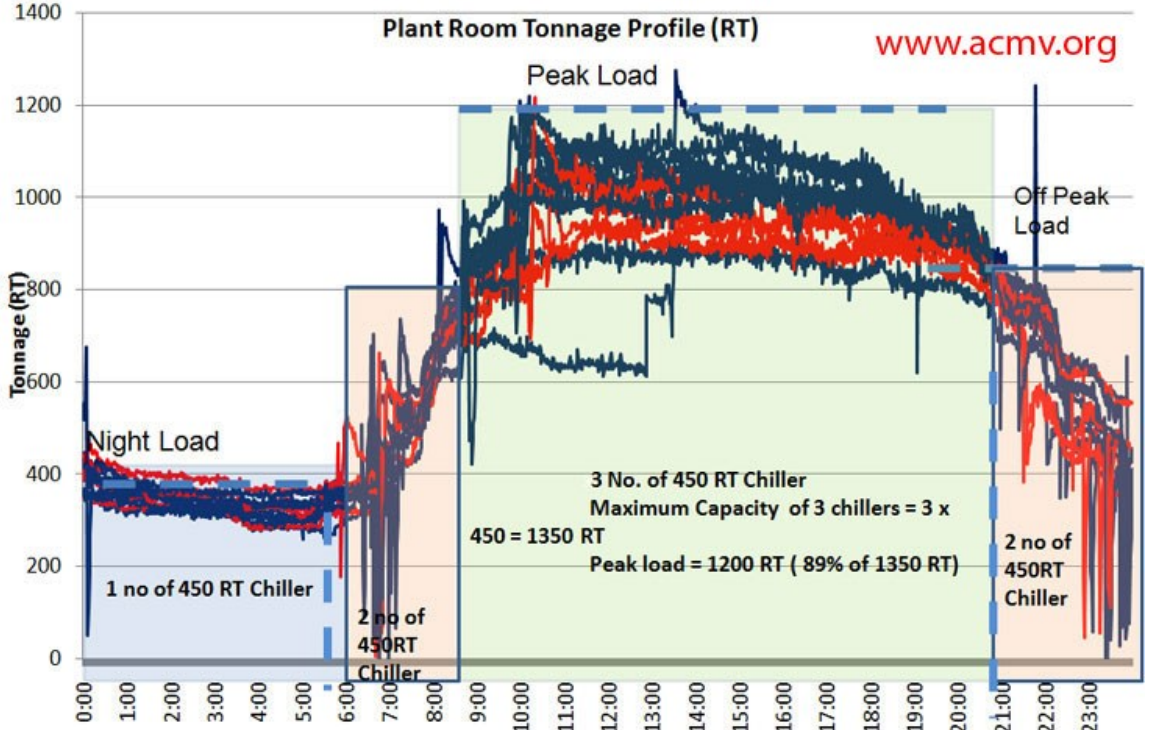
Chiller တစ်လုံးသည် 60% load ထက်နည်းလျှင် chiller efficiency သည် အလွန်ညံ့လာသည်။ ထို့ကြောင့် chiller များ တစ်လုံးခြင်း ၏ % load သည် 80% load မှ 100% load အတွင်းသာ မောင်းရန် ရွေးချယ်သင့်သည်။ 70% load မှ 80% load သည် chiller တစ်လုံး sweet spot efficiency (အကောင်းဆုံး efficiency ကို ပေးနိုင်သည့် နေရာ) ဟုခေါ်သည်။

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော part load efficiency ဇယားမှာ Trane မှ ထုတ်လုပ်သည့် 600RT water cooled centrifugal chiller တစ်လုံးမှ ဖြစ်သည်။ Model မှာ CenTraVac chiller CTV-1 ဖြစ်သည်။

% Load	Capacity	Evap LWT	Evap FR	Evap EWT	Evap PD	Cond EWT	Cond FR	Cond LWT	Cond PD	kW	Amps	Efficiency
100	600.0	6.67	90.4	12.22	27.92	29.44	113.5	34.55	28.81	290.1	451.2	0.484
90	540.0	6.67	90.4	11.67	27.98	29.44	113.5	34.02	28.84	259.6	407.5	0.481
80	480.0	6.67	90.4	11.11	28.01	29.44	113.5	33.51	28.90	233.1	370.5	0.486
70	420.0	6.67	90.4	10.55	28.06	29.44	113.5	33.00	28.93	209.1	337.9	0.498
60	360.0	6.67	90.4	10.00	28.12	29.44	113.5	32.51	28.99	188.0	309.9	0.522
50	300.0	6.67	90.4	9.44	28.18	29.44	113.5	32.01	29.02	166.3	282.1	0.554
40	240.0	6.67	90.4	8.89	28.24	29.44	113.5	31.51	29.05	142.5	252.5	0.594
30	180.0	6.67	90.4	8.33	28.27	29.44	113.5	31.00	29.11	117.8	223.3	0.655
20	120.0	6.67	90.4	7.78	28.33	29.44	113.5	30.49	29.14	93.1	195.4	0.776

Cooling Load လိုအပ်ချက်အရ Chiller အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း

Cooling load Profile ကို လေ့လာပြီးသည့်နောက် သင်္ချာကျင့် chiller ကို ရွေးချယ်သည့်အဆင့်ကို ပြုလုပ်နိုင်ပြီ ဖြစ်သည်။ 450RT chiller တစ်မျိုးတည်း ကို အခြေခံ၍ စတင် စဉ်းစားရအောင်။



အောက်ပါ ဇယားသည် ပေးထားသော cooling load လိုအပ်ချက်နှင့် သင့်လျော်မည့် 450RT chiller တစ်မျိုးတည်းကို ဖော်ပြထားခြင်းဖြစ်သည်။

	Time	Cooling Load (RT)	Chiller Selection	Chillers Loading
Night load	00:00 to 06:00	Below 400RT	1 no of 450RT chiller	89%
Off peak load	06:00 to 08:30	400RT to 800RT	2 no of 450RT chiller	above 65%
peak load	08:30 to 20:30	800 RT 1200RT	3 no of 450RT chiller	89%
Off peak load	20:30 to 00:00	400RT to 800RT	2 no of 450RT chiller	above 65%

Peak load အခြေအနေတွင် 450RT chiller သုံးလုံး မောင်းရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် N +1 configuration ရရန်အတွက် စုစုပေါင်း 450RT chiller (၄) လုံး တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ N +1 configuration သို့ N+1 redundancy ဆိုသည်မှာ မည်သည့်အချိန်တွင်မဆိုမောင်းနှင်ရမည့် chiller အရေအတွက်(၁)လုံး သို့မဟုတ်(၁)လုံးထက် ပိုများသည့် အရေအတွက်ကို တပ်ဆင်ထားရန် ဖြစ်သည်။ N သည် number of running equipment at any time ဖြစ်သည်။ Peak load အချိန်တွင် chiller မှာ cooling load လိုအပ်ချက်အရ မောင်းနေမည်ဖြစ်ပြီး chiller (၁)လုံးမှာ stand by chiller ဖြစ်မည်။ မောင်းနေသည့် chiller များအနက်မှ တစ်လုံးလုံး ပျက်လျှင် သော်လည်းကောင်း ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု လိုအပ်ချက်အရ(maintenance shutdown or schedule shutdown) မမောင်းနိုင်လျှင် သော်လည်းကောင်း stand by chiller ကို အစားထိုး မောင်းနိုင်သည်။

ထို့ကြောင့် maximum running capacity သည် 1350RT (450RT chiller သုံးလုံး) ဖြစ်ပြီး installed capacity မှာ 1800RT(450RT chiller လေးလုံး) ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် standby capacity မှာ 450RT ဖြစ်သည်။ max peak load သည် 1200 RT ဖြစ်ပြီး 450RT chiller သုံးလုံးမောင်းလျှင် 1350RT ရနိုင်သောကြောင့် 150 RT သည် အပိုအဖြစ် ကျန်ရှိနေသေးသည်။ ထို့ကြောင့် နောက်နောင်တွင် တိုးချဲ့ရန်(future expansion) အတွက်

သော်လည်းကောင်း၊ chiller များ မောင်းချိန်ကြာသောကြောင့်၊ အိုမင်းသောကြောင့် သော်လည်းကောင်း capacity ကျဆင်းလာခြင်းတို့ကို ကြိုတင်ပြင်ဆင်ပြီးသား ဖြစ်သည်။

မှတ်သားရန် -max cooling load 1200 RT လိုအပ်သည့် အဆောက်အဦအတွက် 400RT chiller သုံးလုံး သို့မဟုတ် 600 RT chiller နှစ်လုံး(1200RT) ရွေးချယ်ခြင်းသည် standby chiller မရှိသောကြောင့် အလွန် အန္တရာယ်များသည်။ Chiller များကို အရွယ်တူ(same size) ရွေးချယ်နိုင်သလို cooling load လိုအပ်ချက်အားလုံးနှင့် သင့်လျော်သည့် မတူညီသော chiller အရွယ်အစားများကို လည်းရွေးချယ်နိုင်သည်။

(၁) Load vs. Capacity

Chiller တပ်ဆင်သည့်နေ့မှ သက်တမ်းကုန်းဆုံး၍ ဖျက်ပစ်သည့်နေ့အထိ ကုန်ကျစရိတ်စုစုပေါင်း၏ ၂၅% သည် ဒီဇိုင်းခ(cost of designing)၊ chiller တန်ဖိုး နှင့် တပ်ဆင်ခကုန်ကျစရိတ်(installing the chiller) အတွက် ဖြစ်ပြီး ကျန် ၇၅%သည် စွမ်းအင်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်(energy expenses) နှင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ကုန်ကျစရိတ်(maintenance cost) တို့ ဖြစ်သည်။

(၂) Compressor Type

Peak cooling load 100–125 tons ထက်နည်းသည့် chiller plant များတွင် rotary compressor chillers များ တပ်ဆင်ပါက ကုန်ကျစရိတ်များသည်။ ထို့ကြောင့် reciprocating compressor နှင့် scroll compressor များသည် 125RT chilled water plant များအတွက် အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။ Peak cooling load 100–125 tons အကြားတွင် reciprocating compressor chiller နှစ်လုံး သို့မဟုတ် သုံးလုံး တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ 200 tons ထက်ပိုများပါက rotary compressor များသည် အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။ 500 tons ထက်ပိုများပါက centrifugal compressor များသည် အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။

(၃) Condensing Medium

Peak cooling load 100–125 tons ထက်နည်းသည့် chiller plant များတွင် water-cooled system အဖြစ် တပ်ဆင်ပါက ကုန်ကျစရိတ်များသောကြောင့် air-cooled အဖြစ်သာ တပ်ဆင်ကြသည်။ 200 tons ထက်ပိုများပါက water-cooled system အဖြစ် တပ်ဆင်ကြသည်။

(၄) အရွယ်အစားတူညီသည့် chiller များ တပ်ဆင်ခြင်း (Symmetrical Chiller Capacity)

Chilled water plant အတွက် တပ်ဆင်ထားသည့် chiller များ အားလုံး၏ အရွယ်အစား တူညီကြသည်။ ထို့ကြောင့် plant အား control လုပ်ရန် လွယ်ကူသည်။ အပိုပစ္စည်း(spare part)တစ်မျိုးတည်းကို သိမ်းဆည်းထားနိုင်သည်။

Peak cooling load of 750 tons နှင့် minimum cooling load 100 tons ဖြစ်ပေါ်သည့် အဆောက် အဦ အတွက် 250 RT chiller (၄)လုံး တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ Peak cooling load of 750 tons တွင် 250 RT chiller (၃)လုံးမောင်းရန် လိုအပ်ပြီး minimum cooling load 100 tons တွင် 250 RT chiller (၁)လုံးသည် 40% load ဖြင့် မောင်းနေလိမ့်မည်။ N+1 configuration ဖြစ်သည်။

(၅) အရွယ်အစားတူညီသည့် chiller များ တပ်ဆင်ခြင်း (Asymmetrical Chiller Capacity)

multichiller system များတွင် chiller အားလုံးကို အရွယ်အစား တူညီအောင် ရွေးချယ်ရမည်ဆိုသည့် စည်းကမ်း သတ်မှတ်ချက်မရှိပေ။ လိုအပ်ချက်များအရ အရွယ်အစား မတူညီသည့် chiller များ ရွေးချယ်ခြင်းဖြင့် ပိုကောင်းသည့် system ဖြစ်နိုင်သည်။ အထက်ပါဥပမာတွင် 600 RT chiller (၂)လုံးနှင့် 150 RT chiller (၂)လုံးရွေးချယ်တပ်ဆင်နိုင်သည်။

Peak cooling load of 750 tons တွင် 600 RT chiller (၁)လုံးနှင့် 150 RT chiller (၁)လုံး မောင်းရန် လိုအပ်ပြီး minimum cooling load 100 tons တွင် 150 RT chiller (၁)လုံးသည် 67% load ဖြင့် မောင်းနေလိမ့်မည်။ Chiller အရွယ်အစား အားလုံးအတွက် N+1 configuration ဖြစ်သည်။ သို့သော်

install capacity သည် 1500RT ဖြစ်သည်။

၁၉. ၆ Water Coled Centrifugal Chiller ၏ Tech Data များ

Centralized air con system တစ်ခုမှာ မရှိမဖြစ်လိုအပ်သည့် chiller အကြောင်းဖြစ်သည်။ Centralized air con system တစ်ခုတွင် တစ်လုံးထက်မကသော chiller များစွာ ရှိနိုင်သည်။

Chillerများ ကို electric driven နှင့် heat(thermal) driven chiller ဟု၍ (၂)မျိုးခွဲခြားနိုင်သည်။

(က) အပူစွန့်ထုတ်သည့်နည်း(heat rejection method)ပေါ် မူတည်၍ chiller များ ကို (၂)မျိုးခွဲခြားနိုင်သည်။
Air cooled chiller - လေကိုလည်ပတ်၍ အပူကိုစွန့်ထုတ်သည့်နည်း ကိုအသုံးပြုသော chiller ကို air cooled chiller ဟုခေါ်သည်။

Water cooled Chiller- ရေ(condenser water) ကို လည်ပတ်၍ အပူကိုစွန့်ထုတ်သည့်နည်းကို အသုံးပြုသော chiller ကို water cooled chiller ဟုခေါ်သည်။

(ခ) Chiller များ တွင် အသုံးပြုသည့် compressor ပေါ် မူတည်၍ လည်းခွဲခြား နိုင်သည်။

York brand ၏ water cooled centrifugal chiller တစ်လုံးနှင့်သက်ဆိုင်သော technical specificaiton များကို အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။ Part load rating with constant entering condenser water temperature အပေါ်တွင် အခြေခံထားသည့် ၏ data များဖြစ်သည်။

MODEL	YKMQMSH95COG	(MOTOR SELECTED BY USER)	
REFRIGERANT (LB 134A)	3385	GEAR CODE	RJ(SPEC)
RATED CAPACITY (TR)	700	SPECIFIED CAPACITY (TR)	700
INPUT POWER (KW)	363	MAX MOTOR LOAD (KW)	397
VOLTAGE / HZ	400 / 50		
ORIFICE (VARY)	VALVE:3	OPTISOUND CONTROL	YES
ISOLATION VALVE	YES		
FLA	609	LRA	4632
MIN CIR. AMPS.	762	MAX C.B.	1200
INRUSH (AMPS)	1980		
SSS SIZE	26LBK-50		
FULL LOAD (kW/TR)	0.519	IPLV	0.437

Model

Model မှာ YKMQMSH95COG ဖြစ်သည်။ ပထမဆုံး အင်္ဂလိပ်အက္ခရာ YK မှာ YK အမျိုးအစား chiller ဖြစ်သည်။ Chiller ထုတ်လုပ်သူရောင်းချသူ York ၏ chiller model များသည် Y အက္ခရာဖြင့်စသည်။

Refrigerant (lb 134a)

အသုံးပြုသည့် refrigerant သည် R134A အမျိုးအစားဖြစ်သည်။ ထို chiller အတွင်းတွင် ရှိသော refrigerant ပမာဏမှာ (၃၃၈၅)ပေါင် ဖြစ်သည်။

Rated capacity(TR)

မှာ 700 ဖြစ်သည်။ ထို chiller ၏ သတ်မှတ်ထားသည့် cooling capacity သည် 700 Refrigeration Ton ဖြစ်သည်။ Rated capacity ဆိုသည်မှာ သတ်မှတ်ထားသော အခြေအနေများအတိုင်း မောင်းလျှင် ရရှိနိုင်သော လုပ်ဆောင် နိုင်စွမ်းအား(capacity) ဖြစ်သည်။ 1 Refrigeration Ton(RT) သည် 12000 Btu နှင့် ညီမျှသည်။ Refrigeration Ton သို့မဟုတ် Btu သည် စွမ်းအင် (energy) ဖြစ်သည်။ ရေ တစ်ပေါင်(1 lb)ကို 1°F မြင့်တက်ရန် သို့မဟုတ် ကျဆင်းရန်အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအင် (energy) ပမာဏကို 1 BTU ဟုခေါ်သည်။

INPUT POWER

YK အမျိုးအစား chiller သည် လျှပ်စစ်ဖြင့်မောင်းသော(electric driven) chiller ဖြစ်သည်။ လိုအပ်သော power သည် 363 kW ဖြစ်သည်။

Voltage/Hz

လျှပ်စစ်ဓာတ်အား၏ ဗို့အားမှာ 400 Volt AC ဖြစ်ပြီး frequency မှာ 50 Hz ဖြစ်ရမည်။

ORIFICE(VARY) Valve

3

ISOLATION VALVE

Isolation valve တပ်ဆင်ထားသည်။

FLA

Full load Ampere: ဝန်အပြည့်(Full load) ဖြင့် မောင်းသည့် အချိန်တွင် သုံးစွဲမည့် အမ်ပီယာ(Ampere) မှာ 609Amp ဖြစ်သည်။

MIN CIR AMPS

INRUSH(AMPS) chiller စတင်မောင်းသည့်အခါ compressor နှင့် ချိတ်ဆက်ထားသည့် လျှပ်စစ် ဖော်တာသည် အရှိန်ရရန် သို့မဟုတ် စတင်လည်ပတ်ရန်အတွက် electric current များစွာ လိုအပ်သည်။ ထိုစတင်မောင်းသည့် အချိန်တွင် လျှပ်စစ်ဖော်တာမှ ဆွဲသည့် current ကို inrush current ဟုခေါ်သည်။

SSS SIZE

Solid State starter Siize : လျှပ်စစ်ဓာတ်အားဖြင့်မောင်းသည့်(electric drive) chiller တိုင်းတွင် ကြီးမားသော ဖော်တာဖြင့် မောင်းသည့် compressor ရှိသည်။ ထိုလျှပ်စစ်ဖော်တာအတွက် starter လိုအပ်သည်။ Solid State starter နှင့် Soft starter ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ ထို chiller တွင် တပ်ဆင် ထားသည့် Solid State starter model သည် 26LBK-50 ဖြစ်သည်။

FULL LOAD(kW/TR):

kW per Refrigeration Ton သို့မဟုတ် kW per Ton Refrigeration = 0.519 ဆိုသည်မှာ energy efficiency မည်မျှ ကောင်းသည်ကို ဖော်ပြသည့် တန်ဖိုးဖြစ်သည်။ အဓိပ္ပာယ်မှာ (၁)Refrigeration Ton အတွက် လျှပ်စစ်စွမ်းအား(electrical power) မည်မျှသုံးစွဲသည်ကို ဖော်ပြသည်။ ဝန်အပြည့်(full load)ဖြင့် မောင်းသည့်အချိန်တွင် (၁)Refrigeration Ton ရရန်အတွက် 0.519kW ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ဥပမာ- တခြား chiller တစ်လုံးသည် (၁) Refrigeration Ton ရရန်အတွက် 0.53kW ပေးရန် လိုအပ်သည်ဆိုလျှင် ထို chiller ကို energy efficiency မကောင်း လျှပ်စစ်စွမ်းအား(electrical power) ပိုသုံးစွဲသည်။

STARTER TYPE (1) SOLID STATE STARTER - 3 LEAD

	Evaporator	Condenser
FLUID	WATER*	WATER*
% BY WEIGHT	0.0*	0.0*
TUBE MTI NO.	271*	260*
PASSES	2*	2*
FOUL FACTOR	0.00010*	0.00025*
FLUID ENT TEMP (°F)	53.99	85.00*
FLUID LEV TEMP (°F)	44.00*	94.15
FLUID FLOW (gpm)	1680.0*	2100.0*
FLUID PRDROP (ft)	10.2	9.0

PART LOAD PERFORMANCE:

Pct Load	CAP (TR)	Pct Power	Inp Pwr (KW)	EEFT (°F)	ELFT (°F)	CEFT (°F)	CLFT (°F)	Sys Perf (KW/TR)
100.0	700.0	100.0	363	53.99	44.00	85.00	94.15	0.519
90.0	630.0	90.9	330	52.99	44.00	85.00	93.24	0.524
80.0	560.0	80.4	292	51.99	44.00	85.00	92.33	0.521
70.0	490.0	71.6	260	50.99	44.00	85.00	91.43	0.531
60.0	420.0	62.5	227	49.99	44.00	85.00	90.52	0.540
50.0	350.0	54.0	196	48.99	44.00	85.00	89.62	0.560
40.0	280.0	45.5	165	47.99	44.00	85.00	88.71	0.589
30.0	210.0	37.2	135	47.00	44.00	85.00	87.81	0.643
20.0	140.0	28.7	104	46.00	44.00	85.00	86.91	0.743
15.0	105.3	24.0	87	45.50	44.00	85.00	86.46	0.827

Rating certified in accordance with AHRI STD. 550/590.
Water-chilling packages using the vapor compression cycle certification program.



Compliant with ASHRAE 90.1 - 2004
Compliant with ASHRAE 90.1 - 2007

Materials and construction per mechanical specifications - Form 160.75-EG1.

Contents

၁၉.၁ New Plant Design..... 1

 ၁၉.၁.၁ Determine Requirements.....

 ၁၉.၁.၂ Design Process.....

၁၉.၂ Chiller အရွယ်အစားရွေးချယ်ခြင်း (Chiller Sizing) 4

 ၁၉.၂.၁ Chiller Plant Design Consideration သို့မဟုတ် Chiller Selection.....

 ၁၉.၂.၂ Chiller selection – Chiller Sizing (Chiller အရွယ်အစားရွေးချယ်ခြင်း).....

၁၉.၃ လက်ရှိ အဆောက်အဦတစ်လုံးတွင် လဲလှယ်တပ်ဆင်ရန် chiller အရွယ်အစားရွေးချယ်ခြင်း..... 7

 ၁၉.၃.၁ Chiller Plant Retrofit Considerations.....

 ၁၉.၃.၂ Peak Load သို့မဟုတ် Maximum Load.....

 ၁၉.၃.၃ Off peak load.....

 ၁၉.၃.၄ Night load.....

 ၁၉.၃.၅ Weekend load.....

၁၉.၄ Water Cooled Chiller ကို ရွေးချယ်ခြင်း 10

၁၉.၅ Chiller Efficiency 10

 Cooling Load လိုအပ်ချက်အရ Chiller အရွယ်အစားရွေးချယ်ခြင်း.....

၁၉. ၆ Water Coled Centrifugal Chiller ၏ Tech Data များ..... 13

Load vs. Capacity 12

Compressor Type 12

Chiller sizing and configuration

- ❖ Chillers installed in new installations are often oversized as load is estimated base on assumptions

- ❖ An audit is necessary as replacing chillers one to one may lead to another oversized chiller. The building load could also change with time

- ❖ Operating efficiency depends on load & % of time on each part load

- ❖ Therefore, chiller capacity need to match load profile

Chapter-20 Efficiency and Energy Saving

၂၀.၁ Chiller Efficiencies

Air cooled reciprocating compressor chiller များ၏ peak load efficiency သည် 1.0 မှ 1.3 kW/ton အတွင်း ဖြစ်သည်။ Peak load COP သည် 3.52 မှ 2.70 အတွင်း ဖြစ်သည်။ Air cooled chiller များ၏ capacity သည် လေထုအပူချိန်(ambient air temperature) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေထုအပူချိန် 35°C ကိုမူတည်၍ chiller များ၏ capacity ကို သတ်မှတ်ကြသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် Air cooled chiller များ၏ rated capacity သည် 35°C ကို အခြေခံထားသည်။ လေထုအပူချိန် 35°C ထက်ပိုများလျှင် rated capacity လျော့နည်းသွားနိုင်သည်။ လေထုအပူချိန် 35°C ထက်လျော့နည်းလျှင် rated capacity ပိုများလာနိုင်သည်။ Water cooled rotary chiller များ၏ peak load efficiency သည် 0.5 မှ 0.7 kW/ton (COP of 7.0–5.0)အတွင်း ဖြစ်သည်။

၂၀.၁.၁ Chiller Efficiency ကျဆင်းရသည့် အကြောင်းများ

- (က) Load အလွန်များခြင်း သို့မဟုတ် နည်းခြင်းကြောင့် chiller ၏ အကောင်းဆုံး efficiency ရနိုင်သည့်နေရာတွင် မမောင်းနိုင်ခြင်း
- (ခ) Lift များခြင်း
- (ဂ) Part load performance ညံ့ဖျင်းခြင်း (poor part-load performance)
- (ဃ) Control system ဟောင်းနေခြင်း သို့မဟုတ် ညံ့ဖျင်းခြင်း (poor/outdated control systems) နှင့်
- (င) Equipment များ၏ efficiency မကောင်းခြင်း (low efficiency equipment) တို့ ဖြစ်သည်။

၂၀.၁.၂ စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည့် နည်းလမ်းများ (Potential Energy Efficiency Measures)

အောက်တွင် စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည့် နည်းများကို ဖော်ပြထားသည်။ တချို့သော နည်းများကို စွမ်းအင် ချွေတာနိုင်သည့် နည်းပညာတစ်ခုအဖြစ်သာ ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။ လက်တွေ့တွင် ဆောင်ရွက်ရန် ခက်ခဲခြင်း၊ ကုန်ကျစရိတ်များ၍ တွက်ခြေမကိုက်ခြင်း၊ ပိုလွယ်ကူ၍ ထိရောက်သည့်နည်းများဖြင့် အစားထိုးနိုင်ခြင်း စသည့် အခြေအနေမျိုးနှင့် ကြုံတွေ့နိုင်သည်။ System အလုပ်လုပ်ပုံကို ပို၍ နားလည်သဘောပေါက်စေရန်နှင့်နည်းပညာ ဗဟုသုတရစေရန်အတွက် ထည့်သွင်းဖော်ပြခြင်းသာ ဖြစ်သည်။

- (က) Suction line ကို ကောင်းစွာ insulate လုပ်ထားခြင်း နှင့် low pressure receiver တပ်ဆင်ထားခြင်း
- (ခ) Suction pressure မြင့်တက်အောင်ပြုလုပ်ခြင်း
- (ဂ) Head pressure လျော့ချခြင်း

- (ဃ) High efficiency compressor များကို တပ်ဆင် အသုံးပြုခြင်း
- (င) Single stage compressor များကို two stage system များဖြင့် အစားထိုး လဲလှယ် အသုံးပြုခြင်း
- (စ) Compressor ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျှော့ချရန်အတွက် subcooling လုပ်ခြင်း နှင့်
- (ဆ) Refrigeration system များမှ စွန့်ထုတ်ပစ်ရမည့်အပူများ(waste heat)ကို ပြန်လည်အသုံးပြုခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

Condenser များအတွက် စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည့် နည်းလမ်းများမှာ

- (၁) Evaporative condenser capacity ပိုများအောင် ပြုလုပ်ခြင်း
- (၂) Air cooled condensers များကို water cooled condenser ဖြင့် အစားထိုး လဲလှယ်ခြင်း နှင့်
- (၃) Evaporative condenser fans များတွင် VSD တပ်ဆင်မောင်းခြင်း တို့ ဖြစ်သည်။

Evaporator များအတွက် စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည့် နည်းလမ်းများမှာ

- (၁) Control evaporator defrost based on demand နှင့်
- (၂) Control evaporator fans with VSD တို့ ဖြစ်သည်။

Table 20-1 effect of suction temperature on cycle efficiency

Suction Temperature	မြင့်တက်ခဲ့လျှင်(Increasing)	လျော့ချနိုင်ခဲ့လျှင်(Decreasing)
Compressor work	လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။	ပိုများလာလိမ့်မည်။
Refrigerating effect	ပိုများလာလိမ့်မည်။	လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။
COP	ပိုများလာလိမ့်မည်။	လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။

Table 20-2 effect of condensing temperature on cycle efficiency

Condensing Temperature	မြင့်တက်ခဲ့လျှင်(Increasing)	လျော့ချနိုင်ခဲ့လျှင်(Decreasing)
Compressor work	ပိုများလာလိမ့်မည်။	လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။
Refrigerating effect	လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။	ပိုများလာလိမ့်မည်။
COP	လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။	ပိုများလာလိမ့်မည်။

အောက်ပါအချက်များသည် chiller performance ကောင်းခြင်း သို့မဟုတ် ညံ့ဖျင်းခြင်းကို ဖြစ်စေနိုင်သည့် chiller အတွင်းပိုင်း(internal)နှင့် သက်ဆိုင်သည့်အချက်များ ဖြစ်သည်။

- (က) Refrigerant (စ) Oil
- (ခ) Capacity controls (ဆ) Oil return system
- (ဂ) Metering device (ဇ) Motor နှင့်
- (ဃ) High approach temperature (ဈ) Transducers၊ sensors and control center တို့ဖြစ်သည်။
- (င) Non-condensable gases

အောက်ပါအချက်များသည် chiller performance ၏ ကောင်းခြင်း၊ ညံ့ဖျင်းခြင်း ဖြစ်စေနိုင်သည့် chiller ပြင်ပ (external) အစိတ်အပိုင်းများ သို့မဟုတ် အခြေအနေများ ဖြစ်သည်။

- (က) Water pumps (င) Cooling load
- (ခ) Cooling tower (စ) Electrical
- (ဂ) Valves (ဆ) Control operation နှင့်
- (ဃ) Terminal unit (ဇ) Flow control တို့ဖြစ်သည်။

Chiller performance အပေါ်အကျိုးသက်ရောက်နိုင်သည့် refrigerant နှင့်သက်ဆိုင်သည့် အချက်များ

- (က) Chiller အတွင်း၌ refrigerant များ လိုအပ်သည်ထက် ပိုများနေခြင်း(overcharge)
- (ခ) Chiller အတွင်း၌ refrigerant များ လိုအပ်သည်ထက် လျော့နည်းနေခြင်း(undercharge)

- (ဂ) Chiller အတွင်း၌ refrigerant ထဲတွင် အညစ်အကြေးများနှင့် ရေရိုးရေငွေများ ရောနှောနေခြင်း (contamination)

Efficiency နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက် (၄)ချက်

- (၁) Suction and discharge pressures
- (၂) Capacity control လုပ်နည်း (method)
- (၃) Speed နှင့်
- (၄) အသုံးပြုထားသည့် refrigerant အမျိုးအစားတို့ ဖြစ်သည်။

Suction Pressure

Refrigeration system ကို ဒီဇိုင်းလုပ်စဉ်က suction pressure ကို သတ်မှတ်ထားသော်လည်း လက်တွေ့ မောင်းသည့်အခါ ဒီဇိုင်းတန်ဖိုးမှ များစွာ ကွာခြားသည်။ Suction pressure နိမ့်ကျခြင်းကြောင့် evaporator temperature နိမ့်ကျသည်။ Suction pressure(psig) မြင့်တက်လာသောကြောင့် specific volume(ft³/lb) လျော့နည်းသွားပြီး chiller ၏ capacity ပိုများ လာလိမ့်မည်။

- (၁) Screw compressor (twin type) များတွင် suction pressure များစွာ ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် operation efficiency အနည်းငယ်သာ ပြောင်းလဲသည်။
- (၂) Reciprocating compressor များတွင် suction pressure ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် efficiency များစွာ ပြောင်းလဲ သည်။
- (၃) Centrifugal compressor များသည် suction pressure ပြောင်းလဲခြင်းကို လက်မခံနိုင်ကြပေ။ Suction pressure အနည်းမျှ ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် ပြဿနာဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် screw နှင့် reciprocating chiller များတွင် control setting များ ပြောင်းလဲပေးခြင်း ကြောင့် cooling capacity ပိုများလာနိုင်သည်။ Modification လုပ်ခြင်းကြောင့် cooling capacity ပိုများလာနိုင်သည်။

Discharge Pressure

Discharge pressure ပိုများခြင်းကြောင့် condensing temperature ပိုများသည်။ Compressor မှ ထွက်လာသည့် refrigerant အပူချိန် (discharge temperature)သည် အပူများကို စွန့်ထုတ်(reject heat)သည့် အပူချိန်ဖြစ်သည်။ Condensing medium သို့မဟုတ် condensing temperature 15° ပိုများလာခြင်းကြောင့် (40°F မှ 55°F) capacity 13% ခန့် လျော့နည်း သွားလိမ့်မည်။ Compressor စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု 27% ပိုများသည်။ Discharge pressure သည် refrigeration system များတွင် အလွန်အရေးကြီးသည့်အရာ ဖြစ်သည်။ အထူးသဖြင့် water cooled condenser အတွက် ပို၍ အရေးကြီးသည်။ Discharge gas အပူချိန်ကို နိမ့်ချနိုင်ခြင်းကြောင့် fouling ဖြစ်ခြင်း လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။ Condenser ၌ fouling မဖြစ်ပေါ်ခြင်းကြောင့် အပူကူးပြောင်း(heat transfer)နှုန်းကို မညံ့ဖျင်းအောင် ထိန်းထားနိုင်ကာ chiller efficiency အမြဲကောင်းနေလိမ့်မည်။

- (၁) Screw compressor များတွင် lubricant cooling system ပုံမှန် အလုပ်လုပ်စေရန်အတွက် refrigerant gas ၏ discharge pressure/temperature ကို နိမ့်နိုင်သမျှနိမ့်အောင် ထိန်းထားရမည်။
- (၂) Reciprocating compressor များတွင် အမြင့်ဆုံး discharge pressure/temperature ဖြစ်ပေါ်သည်။
- (၃) Centrifugal compressor များတွင် inter-stage cooling ကို အသုံးပြု၍ system pressure/ temperature ကို နိမ့်အောင် ထိန်းထားနိုင်သည်။

Compression Ratio

Compression ratio များလေ compressor သည် ခက်ခဲစွာ အလုပ် ပိုလုပ်ရလေ ဖြစ်သည်။ Chiller ၏ capacity ပိုများလာလေဖြစ်သည်။ Compression ratio လျော့နည်းခြင်းကြောင့် specific volume (ft³/lb) လျော့နည်းသွားကာ chiller capacity ကျဆင်းသွားလိမ့်မည်။

- (၁) Reciprocating compressor များ၏ compression ratios သည် 10 : 1 ဖြစ်သည်။
- (၂) Screw compressor များ၏ compression ratio သည် 20 : 1 ဖြစ်သည်။ Screw compressor များကို operating design pressure အတွင်း၌ မည်သည့် discharge pressure တွင်မဆို မောင်းနိုင်သည်။
- (၃) Centrifugal compressor များ၏ compression ratio သည် 3:1 ဖြစ်သည်။ Suction သို့မဟုတ် discharge pressure ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် hunting သို့မဟုတ် surging ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Water chiller များတွင် evaporator အတွင်း၌ စီးဆင်းနေသည့် refrigerant flow rate ကို control လုပ်၍ capacity control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ အသုံးပြုထားသည့် compressor အမျိုးအစားနှင့် တခြား အချက်များ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Centrifugal chiller များ၌ guide vane သည် လုံးဝ ပိတ်သည့် အခြေအနေသို့ရောက်လေ efficiency ညံ့ဖျင်းလေ ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် loading(%) နည်းလေ efficiency ညံ့ဖျင်းလေ ဖြစ်သည်။

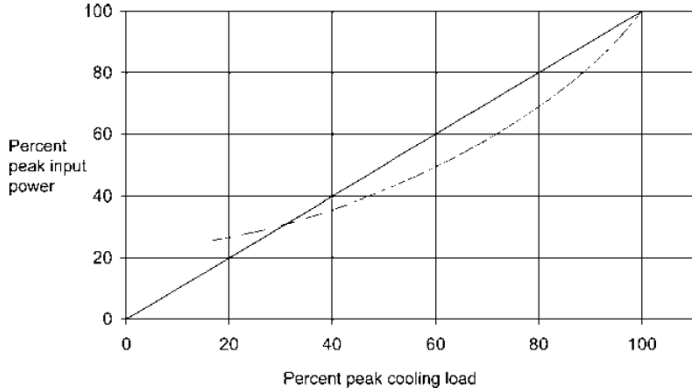
Positive displacement compressor များတွင် lift သည် မြန်နှုန်း(speed)နှင့် မသက်ဆိုင်ပေ။ တစ်နည်းအားဖြင့် positive displacement compressor သည် မည်သည့်မြန်နှုန်းဖြင့် မောင်းနေပါစေ တူညီသည့် lift ပမာဏကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Centrifugal compressor များတွင် speed control နှင့် inlet guide vane ကို တွဲ၍ အသုံးပြုသည်။ Variable speed screw compressor များတွင် speed control နှင့် slide valve ကို တွဲ၍ အသုံးပြုထားသောကြောင့် မည်သည့် operating condition တွင်မဆို စွမ်းအင်လျော့ချနိုင်မှု အများဆုံး(maximum energy reduction) ရရှိနိုင်သည်။ မြန်နှုန်း(speed)နှင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption)သည် သုံးထပ်ကိန်းဖြင့် စပ်ဆက်နေသောကြောင့် မြန်နှုန်း(speed) အနည်းငယ် လျော့ချလိုက်ရုံဖြင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) များစွာ လျော့နည်းသွားနိုင်သည်။

Lift မြင့်မြင့်(high compression ratio)လိုအပ်သည့် လုပ်ငန်းများတွင် cooling load လျော့နည်းသွားသော်လည်း လိုအပ်သည့် lift ပမာဏ မပြောင်းလဲသောကြောင့် variable speed screw chiller များသည် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သည်။ ဥပမာအားဖြင့် ပူအိုက်စိုစွတ်သည့်ရာသီဥတု(hot and humid climate)မျိုးတွင် ပြင်ပအပူချိန်(outdoor air temperatures dry bulb/wet bulb) အမြဲတမ်း မြင့်နေသော်လည်း cooling load ပြောင်းလဲနိုင်သည်။ Variable speed screw chiller များသည် 10% မှ 20% ပို၍ efficient ဖြစ်သည်။ 85°F entering condenser water ကို အခြေခံ၍ နှိုင်းယှဉ်လျှင် variable speed centrifugal chiller များသည် constant centrifugal chiller များထက် efficiency ပိုကောင်းသည်။

Table 20-3 စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည့်နည်းများ နှင့် ရရှိနိုင်သည့် ပမာဏ

	Method	Potential Saving (Energy)
(၁)	Use of electronic expansion valves	20%
(၂)	VSD on motors	20%
(၃)	VSD on evaporator and condenser fans	2–3% of total refrigeration costs
(၄)	Evaporator pressure regulators	2.5% greater compressor capacity for each degree of saturated suction temperature
(၅)	Evaporator pressure regulators	2% for each degree increase in saturated suction temperature
(၆)	Reduced temperature lift	3–4% improvement for 1°C reduction
(၇)	Conversion from liquid injection oil cooling to external oil coolers	Over 3%
(၈)	Refrigeration system replacement if older than 10 years	Up to 30–40%
(၉)	Refrigerant selection	3–10%

Rotary compressor chiller များ၌ cooling load လျော့နည်းသည့်အခါ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) လျော့နည်းသွားသည်။ ပုံ(၂၀-၁)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း chiller များသည် efficient ဖြစ်စွာ မောင်းနှင်သည်။ 40% နှင့် 80% load အတွင်း၌ efficiency အကောင်းဆုံးဖြစ်သည်။ Gas flow rate လျော့နည်းသွားသော်လည်း အပူကူးပြောင်းနိုင်သည့်မျက်နှာပြင်(heat exchange surface)ဧရိယာအပြည့် ရရှိသောကြောင့် cooler နှင့် condenser တို့၌ heat transfer efficiency ပိုကောင်းကာ chiller efficiency ပိုကောင်းခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂၀-၁ Typical rotary compressor part load performance

Table 20-4 တွင် input power နှင့် chilled water supply temperature တို့ ဆက်စပ်နေပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Chilled water supply temperature 44°F သည် AHRI standard ဖြစ်သောကြောင့် compressor input power ကို 0% အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Chilled water supply temperature မြင့်လာလေ input power လျော့နည်းလေ ဖြစ်သည်။

Table 20-4 Rotary chiller input power as a function of chilled water supply temperature

Leaving chilled water temperature (°F)	Compressor input power (approx. % change)
41°F	+7%
42°F	+5%
43°F	+2%
44°F	0%
45°F	-2%
46°F	-6%
47°F	-8%
48°F	-12%
49°F	-16%

Electric drive rotary chiller များတွင် compressor တစ်လုံးတည်းသာ(single compressor) တပ်ဆင်ထားလေ့ ရှိသည်။ သို့သော် dual compressor chiller သို့မဟုတ် multiple single compressor တပ်ဆင်ထားသည့် chiller များကိုလည်း တွေ့မြင်နိုင်သည်။

Dual compressor chiller များတွင် compressor တစ်လုံးချင်းစီ၏ capacity သည် rated capacity ၏ 50% ဖြစ်သည်။ Design load ၏ 50% မှ 100% အတွင်း compressor နှစ်လုံး မောင်းရန် လိုအပ်သည်။ Load သည် 50% ထက် လျော့နည်းသွားလျှင် compressor တစ်လုံးကို ရပ်နားထားပြီး ကျန် compressor တစ်လုံးဖြင့် မောင်းနေလိမ့်မည်။ ဤ configuration ၏ အားသာချက်မှာ operating point သည် 15% of full load (30% of 50%) ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် chiller full load capacity ၏ 15% အထိ efficient ဖြစ်စွာ မောင်းနှင်သည်။

Negative pressure chiller များသည် positive pressure chiller ထက် ပို၍ efficiency ကောင်းသည်။ Negative pressure chiller များ၏ peak load efficiency သည် 0.5 kW/ton ထက် ပိုကောင်းနိုင်သည်။ Positive pressure chiller များ၏ efficiency သည် 0.55 kW/ton ခန့် ရရန် ခက်ခဲသည်။ Positive pressure chiller များသည် အရွယ်အစား သေးငယ်ပြီး ပေါ့ပါးသောကြောင့် စက်ခန်းကျဉ်းကျဉ်းအတွင်း၌ တပ်ဆင်နိုင်သည်။

Negative pressure chiller များ၏ အစဦး ကုန်ကျစရိတ်(first cost)သည် positive pressure machine များထက် ပိုများသည်။

TABLE 20-5 chiller efficiency and estimated energy cost

Electrical input (kW/ton)	Heat input (Mbh/ton)	Cost* (\$/ton-hr)	COP	Application/compressor type
—	18.5	0.114	0.67	Single stage absorption
—	14.1	0.087	0.85	Two stage absorption
—	12.0	0.074	1.0	Direct-fired absorption
—	12.0	0.074	1.0	Engine-drive reciprocating
—	7.5	0.046	1.6	Engine-drive screw
—	6.3	0.039	1.9	Engine-drive centrifugal
1.2	—	0.086	2.9	Air-cooled pos disp
1.0	—	0.072	3.5	Air-cooled rotary
0.8	—	0.058	4.4	Water-cooled rotary
0.7	—	0.500	5.0	Water-cooled rotary
0.6	—	0.043	5.8	Water-cooled rotary
0.5	—	0.036	7.0	Water-cooled rotary
0.4	—	0.029	8.8	Water-cooled rotary

* Based on year 2000 U.S. average commercial energy costs: Electricity, \$0.072/kWh; Natural Gas, \$0.616/therm (100,000 Btu).

၂၀.၂ Single Stage Chiller

Optimum efficiency အမြဲ ရရှိနေရန်အတွက် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance)များ ဂရုတစိုက် ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Part load efficiency သည် compressor နှင့် chiller design အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Impeller ပေါ်တွင် သက်ရောက်နေသည့် အား(stress)သည် tip speed ၏ နှစ်ထပ်ကိန်း(square)နှင့် ညီမျှသည်။ Rotational speed သည် impeller အရွယ်အစား(diameter) ဒီဇိုင်းလုပ်ရာတွင် ထည့်သွင်းရသည့် အချက်တစ်ခု ဖြစ်သည်။ Centrifugal compressor များ၏ impeller ကို ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရာတွင် fundamental parameter နှစ်ခုဖြစ်သည့် impeller အရွယ်အစား(diameter) နှင့် impeller tip speed ကို အခြေခံရသည်။ Impeller အရွယ်အစား(diameter)သည် လိုအပ်သည့် ထုထည်စီးနှုန်း(volume flow rate)အပေါ်တွင်မူတည်သည်။ HCFC-123 ကို အသုံးပြုထားသည့် negative pressure machine တွင် စီးနှုန်း(flow rate)များများ ရရန် လိုအပ်သောကြောင့် impeller အရွယ်အစား(diameter) ကြီးမားသည်။

Refrigerant line တွင် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) လျော့နည်းအောင် ကြီးမားသည့် ပိုက်ကို အသုံးပြုသည်။ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကြောင့် refrigeration capacity လျော့နည်းပြီး စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု ပိုများ လာနိုင်သည်။ HFC-134a ကို အသုံးပြုသည့် positive pressure machine များတွင် လိုအပ်သည့် gas flow rate နည်းသောကြောင့် သေးငယ်သည့် impeller နှင့် gas line ကိုသာ အသုံးပြုကြသည်။ HCFC-123 များအတွက်

လိုအပ်သည့် gas flow သည် (gas flow rate in cfm per ton) HFC-134a ထက် (၆)ဆခန့် ပိုများသည်။ AHRI standard အရ one refrigeration ton ရရှိရန်အတွက် HCFC-123 gas flow rate 18.1 cfm (8.54 l/sec) လိုအပ်သည်။ HFC-134a ကို အသုံးပြုလျှင် 3.2 cfm (1.5 l/sec) per ton သာ လိုအပ်သည်။

Wheel eye diameter သည် အဓိကအချက်(major factor)ဖြစ်သည်။ Wheel eye diameter ကို အခြေခံ၍ overall impeller အရွယ်အစား(diameter)နှင့် geometry ကို ဒီဇိုင်းလုပ်ရသည်။ Centrifugal equipment ဒီဇိုင်းနာများ သတိပြုသင့်သည့် အချက်မှာ tip speed လိုအပ်ချက်(requirement) ဖြစ်သည်။ လုံလောက်သည့် ဖိအားကွာခြားချက်(pressure difference) သို့မဟုတ် "lift" ရရှိရန် အတွက် centrifugal impeller များကို သင့်လျော်သည့် "tip speed" ဖြင့် မောင်းရမည်။ Tip speed သည် impeller ထိပ်ဖျား၏ အလျင်(velocity of the "tip" of the impeller) ဖြစ်သည်။

Refrigerants HCFC-123 နှင့် HFC- 134a အတွက် tip speed သည် 670 မှ 700 ft/sec (204 to 213 m/sec) အတွင်း ဖြစ်သည်။ Impeller angular velocity (rpm)သည် impeller diameter နှင့် သက်ဆိုင်သည်။ လိုအပ်သည့် gas flow rate ရရှိရန်အတွက် negative pressure impeller များသည် positive pressure machine ထက် ပိုကြီးမားခြင်း ဖြစ်သည်။

Diameter နှင့် tip speed တို့၏ ဆက်သွယ်ချက်ကို အောက်ပါညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$RPM = \frac{[Tip\ Speed(fps) \times 229.2]}{Diameter(in.)}$$

$$RPM = \frac{[Tip\ Speed(m/s) \times 1910]}{Diameter(cm)}$$

လိုအပ်သည့် မြန်နှုန်း(speed) ရရှိရန် သေးငယ်သည့် impeller ကို အပတ်ရေ(rpm) များများဖြင့် လည်ပတ်ရန် လိုအပ်သည်။ Impeller များတွင် tip speed တူညီလျှင် သက်ရောက်ခြင်းခံရသည့် အား(stress)များ တူညီကြသည်။

Impeller shaft static , rotational နှင့် torsional load များကို ခံနိုင်သည့် အရွယ်အစား ဖြစ်ရမည်။ Impeller အရွယ်အစား ကြီးမားလျှင် shaft အရွယ်အစား ကြီးမားရန် လိုအပ်သည်။ Impeller နှင့် shaft တို့၏ အရွယ် အစားပေါ်တွင် မူတည်၍ ဘယ်ရင်(bearing)ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်း၊ ရွေးချယ်ခြင်း ပြုလုပ်ကြသည်။ ဘယ်ရင်ဒီဇိုင်း (bearing design)၏ အဓိက အချက်များမှာ

- (၁) Load per unit of bearing area
- (၂) Relative velocity of the two bearing surfaces
- (၃) Bearing dimensions နှင့်
- (၄) Viscosity of the lubricating oil တို့ ဖြစ်သည်။

Bearing surface velocity သည် inner bearing surface ၏ tip speed သို့မဟုတ် shaft ဖြစ်သည်။

၂၀.၃ Low Delta T ဖြစ်ပေါ်စေသည့် အဓိက အကြောင်းများ (Major Causes)

- (၁) Dirty coils
- (၂) Controls calibration
- (၃) Leaky 2 way valves နှင့်
- (၄) 3 Way valves at end of index circuit တို့ ဖြစ်သည်။

၂၀.၃.၁ Chilled Water – Low Delta T Syndrome

Chilled water ကို efficient ဖြစ်အောင် (အကျိုးရှိအောင်) အသုံးမချနိုင်သောကြောင့် low ΔT syndrome ဖြစ်ပေါ်သည်။ Plant များတွင် ဒီဇိုင်း return water temperature ထက် လက်ရှိ chilled water return temperature က ပိုနိမ့်သောကြောင့် ΔT တန်ဖိုး လျော့နည်းခြင်း ဖြစ်သည်။

Low ΔT syndrome ဖြစ်ရသည့် အကြောင်းများမှာ

(၁) Coil နှင့် control valve ရွေးချယ်မှု(selection) မှားယွင်းခြင်း

လိုအပ်ထက် ပိုကြီးသည့်(oversized) coil သို့မဟုတ် လိုအပ်ထက်ပိုသေးငယ်သည့်(undersized) coil များကြောင့် နေထိုင်သူများ သက်သာ(occupant comfort) ဖြစ်ရန် ခက်ခဲသည်။ Chilled water temperature နှင့် design temperature မကိုက်ညီခြင်း(mismatched) ဖြစ်ပေါ် သည်။

(၂) Cooling coil ၏မျက်နှာပြင် ညစ်ပတ်နေခြင်း(dirty coils)

Coil ၏ overall heat transfer capacity ကျဆင်းခြင်းကြောင့် control system မှ two-way control valve များကို လိုသည်ထက် ပိုဖွင့်ပေးသည်။ ထို့ကြောင့် chilled water စီးနှုန်း လိုအပ်သည်ထက် ပိုများကာ return water temperature နိမ့်ကျသွားသည်။

(၃) Cooling coil ၌ laminar coil ဖြစ်ပေါ်ခြင်း

Cooling coil ၌ laminar coil ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် overall heat transfer capacity ကျဆင်းသွားသည်။

(၄) ဒီဇိုင်း အခြေအနေနှင့် လက်ရှိမောင်းနှင်သည့် အခြေအနေတို့ မကိုက်ညီခြင်း (mismatched design condition)

System component များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်းကြောင့် မတူညီသည့် chilled water ΔT return water temperature လျော့နည်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။ Chilled water ΔT နှင့် cooling coil ΔT တို့ မကိုက်ညီခြင်း။

(၅) Three-way control valve များကို အသုံးပြုထားခြင်း

Three-way control valve များကို အသုံးပြုထားလျှင် part load အခြေအနေ၌ bypass ဖြစ်ခြင်းကြောင့် chilled water coil အတွင်းသို့ စီးဝင်သည့် return water temperature ကျဆင်းသည်။

(၆) အလွန်နိမ့်သည့် supply air temperature setpoint သတ်မှတ်ထားခြင်း

Supply air temperature setpoint သည် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့်ထက် ပိုနိမ့်သည့် control လုပ်ရန် ခက်ခဲပြီး return water temperature နိမ့်ကျခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။

(၇) System differential pressure သည် valve shut-off ထက် ပိုများခြင်း

Control valve များကို over ride လုပ်၍ ဖွင့်ခြင်း(open)ကြောင့် coil အတွင်းသို့ လိုအပ်သည်ထက် ပိုများသည့် chilled water များ ဝင်ရောက်လာပြီး system flow ပိုများကာ return water temperature နိမ့်ကျခြင်း ဖြစ်စေသည်။

(၈) Coil piping configuration မကောင်းခြင်း

Cooling coil ၌ water နှင့် air counter flow ဖြစ်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်သင့်သည်။ Control flow မဖြစ်လျှင် cooling coil ၏ heat transfer efficiency ကျဆင်းသွားလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် chilled water return temperature နိမ့်ကျနိုင်သည်။

(၉) Chilled water supply နှင့် return ရောနှောခြင်း(mixing)

Primary-secondary system များ ၌ part load condition အခြေအနေတွင် primary loop အတွင်း၌ လည်ပတ်နေသည့် ရေပမာဏသည် secondary loop တွင် လည်ပတ်နေသည့် ရေပမာဏထက် ပိုများသည့် အခါ chilled water supply ဘက်မှ ရေများ chilled water return ဘက်သို့ bypass လိုင်း သို့မဟုတ် de-coupler ပိုက်မှ တစ်ဆင့် စီးဆင်းနေခြင်း ဖြစ်သည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် low ΔT syndrome ဖြစ်ပေါ်ရသည့် အဓိက အကြောင်းများသည် building operation နှင့် သက်ဆိုင်သည်။ Chilled water plant operator က control လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ သို့သော် chilled water pumping scheme နှင့် design configuration တို့က low ΔT အပေါ်တွင် အကျိုးသက်ရောက်စေနိုင်သည်။

Table 20-6

ပြဿနာဖြစ်ပေါ်ရသည့် အကြောင်းများ	ဖြေရှင်းနိုင်သည့် နည်းလမ်းများ
Improper set point of supply air	Check set points regularly, lock set points when possible
Use of 3-way valves	Don't use 3-way valves
Improper coil selection	Select coil delta T same as chiller delta T
Improper control valve selection	Select valve with correct Cv
Improper control valve selection	Select actuator for positive shut off of valve
No control valve interlock	Interlock control valve to close when AHU is shut off
Improperly piped coils	Pipe coils in counter flow arrangement
Improper tertiary connection and control	Design connection and controls to maintain proper delta T

Low ΔT syndrome ဖြစ်ပေါ်ပုံကို ဥပမာအဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။ တက္ကသိုလ်ကျောင်းဝန်း(university campus)တစ်ခု၏ chilled water plant တစ်ခုတွင် 3,000-ton electric motor driven centrifugal chiller များ တပ်ဆင်ထားသည်။ ဒီဇိုင်း chilled water supply temperature သည် 42°F ဖြစ်ပြီး chilled water return temperature သည် 54°F(12°F ΔT) ဖြစ်သည်။ စီးနှုန်း(Flow rate) သည် 6,000 gallons per minute (gpm) ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ plant သည် cooling load 6,000 tons ရအောင် မောင်းပေးရန် လိုအပ်လျှင် building ရှိ AHU/FCU များ၏ efficiency ညံ့ဖျင်းမှုကြောင့် chilled water return temperature သည် 50°F(8°F ΔT) အထိ ကျဆင်းသွားသည်။ Constant flow ဖြင့် မောင်းနှင်သောကြောင့် chiller တစ်လုံးချင်းစီ၏ evaporator အတွင်း၌ 6,000 gpm စီးဆင်းနေသည်။ Return water temperature သည် မည်သည့် အမှုချိန်ဖြစ်ပါစေ၊ capacity သည် evaporator flow rate နှင့် temperature differentialတို့ နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုး(directly proportional) ကျသည်။ Return water temperature သည် 50°F ဖြစ်လျှင် chiller တစ်လုံးချင်းစီ၏ capacity လျော့နည်း သွားမည်။

$$Capacity (RT) = \frac{500 \times GPM \times \Delta T(^{\circ}F)}{12000 \text{ Btu} \cdot \text{h/ton}}$$

Chiller တစ်လုံးချင်းစီသည် rated capacity မှ သုံးပုံတစ်ပုံ [one-third] (4°F/12.0°F) သို့မဟုတ် 1,000 tons လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် 3000 RT chiller သည် 2,000 tons သာ ထုတ်ပေးနိုင်လိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် 6000 RT ရရှိရန်အတွက် 3000 RT သုံးလုံး မောင်းပေးရန် လိုအပ်သည်။ CHWR temperature နိမ့်ကျလာသည့်အခါ ΔT လျော့နည်းလာခြင်းကြောင့် လိုအပ်သည့် cooling capacity ရရှိရန်အတွက် flow rate မြှင့်တင်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

၂၀.၄ Energy Efficiency

Refrigeration system များတွင် energy efficiency ပိုကောင်းစေနိုင်သည့် နည်းလမ်း(၇)ခုကို ဖော်ပြ ထားသည်။

(၁) System Lift ကို လျော့ချခြင်း

Refrigeration system များတွင် "lift" သည် suction pressure နှင့် discharge pressure တို့၏ ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။ Suction pressure မြှင့်တင်ခြင်း သို့မဟုတ် discharge pressure လျော့ချခြင်းဖြင့် lift နည်းအောင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် compressor efficiency ပိုကောင်းစေနိုင်သည်။

(၂) Part Load Performance ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်း

System အများစုတွင် evaporator ၊ compressor နှင့် condenser တို့သည် အချိန်တိုင်းလိုလို full capacity ထက် နိမ့်သည့် အခြေအနေတွင် မောင်းနှင်ကြသည်။ Capacity control လုပ်နိုင်သည့်နည်းများစွာ ရှိသည့် အနက် efficient ပိုကောင်းစေမည့်နည်းများကို အသုံးပြုသင့်သည်။

(၃) Equipment များ လဲလှယ်ခြင်း၊ ပိုကောင်းအောင်ပြုလုပ်ခြင်း (Upgrading)

မော်တာများ ၊ condenser များ စသည့် refrigeration equipment များ upgraded လုပ်ခြင်း သို့မဟုတ် လဲလှယ်ခြင်း၊ efficiency ဖြစ်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်းနှင့် configuration လုပ်ခြင်းတို့ ပြုလုပ်သင့်သည်။

(၄) System Design ပိုကောင်းစေမည့်နည်းများကို အသုံးပြုခြင်း

Refrigeration system တစ်ခုကို ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရာတွင် multistage compression ၊ liquid subcooling ၊ defrost configuration နှင့် heat recovery စသည့် energy efficiency ပိုကောင်းစေမည့် အစီအမံ(feature) များကို ထည့်သွင်း အသုံးပြုသင့်သည်။

(၅) Refrigeration Load လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်း

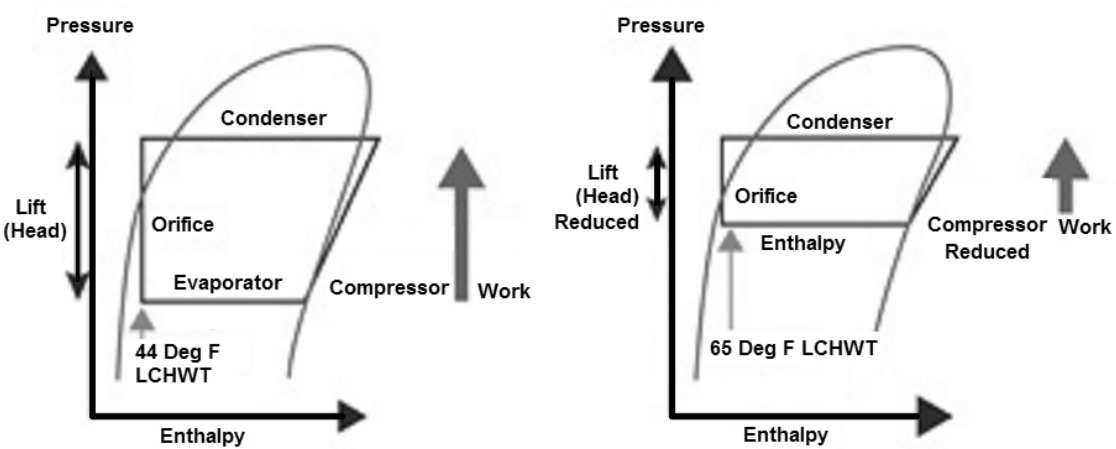
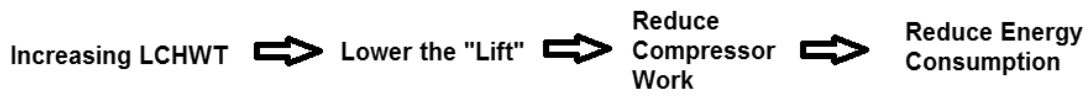
Cooling load လျော့ချနိုင်သည့်နည်း များစွာ ရှိသည်။ Insulation ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်း၊ ပိုကောင်းသည့် တံခါးများ(doors)ရွေးချယ်တပ်ဆင်ခြင်း နှင့် efficient ဖြစ်သည့် lighting system တပ်ဆင်ထားခြင်း တို့ဖြင့် cooling load လျော့ချနိုင်ပြီး စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုကို ပိုလျော့နည်းစေနိုင်သည်။

(၆) Commissioning

Commissioning လုပ်ခြင်းသည် စစ်ဆေးခြင်း(inspection) ၊ သုံးသပ်ခြင်း(review) နှင့် setpoint များ ချိန်ခြင်း (adjustment) ၊ control strategies နှင့် equipment feature များ စစ်ဆေးခြင်း၊ ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသည့် အတိုင်း (design intent) အလုပ်လုပ်စေရန် သေချာအောင်ပြုလုပ်ခြင်း၊ original specification များနှင့် ကိုက်ညီစေရန် ဆောင်ရွက်ခြင်း၊ performance နှင့် efficiency ပိုကောင်းစေရန် ပြုလုပ်ခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

(၇) Operation and Maintenance (O&M)

Optimal efficiency ရရှိရန်အတွက် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ အမြဲပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၂၀-၁ Leaving chilled water temperature (LCHWT)ကို မြှင့်တင်ခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့နည်းပုံ

Reducing Lift

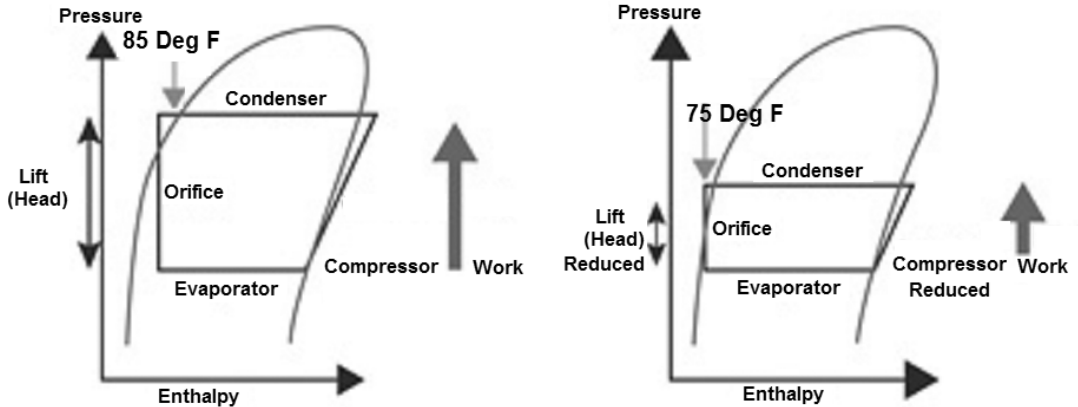
Lift နှင့် ပတ်သက်သည့် ယေဘုယျစည်းမျဉ်း သုံးမျိုးရှိသည်။

(၁) Suction pressure မြှင့်တင်ပေးခြင်းဖြင့် compressor capacity ပိုများစေနိုင်သည်။

(၂) Discharge pressure လျော့ချခြင်းဖြင့် power လျော့နည်းစေနိုင်သည်။

(၃) Suction pressure မြှင့်တင်ပေးခြင်း သို့မဟုတ် discharge pressure လျော့ချခြင်းဖြင့် BHP/RT (brake horsepower per refrigeration ton) efficiency ပိုကောင်းလာနိုင်သည်။

Lowering ECWT ⇒ Lower the "Lift" ⇒ Reduce Compressor Work ⇒ Reduce Energy Consumption



ပုံ ၂၀-၂ Entering Condenser water temperature (ECWT)ကို နိမ့်ချခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့နည်းပုံ

Raising Suction Pressure မြှင့်တင်ပေးရာတွင် ရင်ဆိုင်ရမည့် အတားအဆီးများ (Barriers)

တချို့သော system သို့မဟုတ် equipment များတွင် suction pressure မြှင့်တက်အောင် ပြုလုပ်လိုက်ခြင်းကြောင့် efficiency ပိုကောင်းနိုင်သော်လည်း မလိုလားအပ်သည့် ပြဿနာများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Suction pressure မြှင့်တက်လာခြင်းကြောင့် refrigerant flow rate နှင့် velocity ပိုများလာက oil separator တွင် ပြဿနာ ဖြစ်နိုင်သည်။ Screw compressor ၏ velocity ပိုများလာခြင်းကြောင့် oil separator သည် refrigerant မှ ချောဆီများကို ခွဲထုတ်ပစ်ရန် ခက်ခဲလာလိမ့်မည်။ ထို့ပြင် suction pressure မြှင့်တက်လာခြင်းကြောင့် capacity ပိုများပြီး overall efficiency ပိုကောင်းလာနိုင်သော်လည်း compressor ၌ သုံးစွဲသည့် horsepower ပိုများသောကြောင့် ဝန်ပိခြင်း(overload) ဖြစ်နိုင်သည်။ မော်တာတွင် unload လုပ်ရန်အတွက် current limiting device တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ် သည်။ Suction pressure မြှင့်တင်ခြင်း မပြုလုပ်ခင် oil separator ၏ performance နှင့် compressor ၏ မော်တာ အရွယ်အစားကို စစ်ဆေးသင့်သည်။

Reducing Discharge Pressure

“Discharge pressure” ကို “condensing pressure” သို့မဟုတ် “head pressure” ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆို လေ့ရှိသည်။ Compressor discharge နှင့် condenser တို့ အကြားတွင် အလွန် မြင့်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု မဖြစ်ပေါ်သမျှ ကာလပတ်လုံး အပြန်အလှန် လဲလှယ်ခေါ်ဆိုနိုင်သည်။

Reducing Condensing Pressure

System များအားလုံးတွင် ဖြစ်နိုင်သည့် အနိမ့်ဆုံး condensing pressure ဖြင့် မောင်းသင့်သည်။

Condensing Pressure ကို လျော့ချနိုင်ခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်မှုအပြင် တခြားရရှိနိုင်သည့် အကျိုးကျေးဇူးများ

(၁) ဖိအား(pressure)နိမ့်သောကြောင့် equipment များတွင် သက်ရောက်ခြင်းခံရသည့်အား(stress) လျော့နည်းသွားသည်။ အထူးသဖြင့် reciprocating compressor များတွင် ပို၍ လျော့နည်းသည်။

(၂) Condensing pressure နိမ့်ခြင်းကြောင့် compressor capacity နှင့် system capacity ပိုများနိုင်သည်။

(၃) Condensing pressure နိမ့်ချထားခြင်းကြောင့် မောင်းနေချိန်တွင်(in operation) အထူးဂရုစိုက် ပြုလုပ်ရန် လိုသည်။

Effect of Reducing Discharge

Refrigeration system များ၌ condensing temperature 1°F လျော့ချနိုင်ခြင်းကြောင့် efficiency 1% မှ 2% ပိုကောင်းလာနိုင်သည်။ အမှန်တကယ် ချွေတာနိုင်သည့် စွမ်းအင်ပမာဏသည် compressor မောင်းနေသည့် pressure ratio အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Minimum Condensing Pressure versus Approach

“Minimum allowable condensing pressure” နှင့် “approach” ကို ရှင်းလင်းကွဲပြားစွာ သဘောပေါက် သင့်သည်။ Discharge pressure လျော့ချခြင်းနှင့် ပတ်သက်၍ လွဲမှားသည့် အယူအဆ(common misconception) ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။

Reducing Condenser Approach

Condenser approach temperature ကို လျော့ချခြင်းသည် condensing pressure ကို လျော့ချနိုင်သည့် နည်းလမ်းတစ်ခု ဖြစ်သည်။ Condenser capacity ပိုများစေနိုင်သည်။ Energy consumption လျော့နည်း စေနိုင်သည်။ Outdoor condition ကို လိုက်၍ လျော့ချနိုင်သည်။ အပြင်ပေအပူချိန်(outdoor temperature)သည် ရာသီဥတု(season) နှင့် တည်နေရာ(geographical location)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲသည်။

Refrigeration system သည် minimum allowable condensing pressure set point ထက် ပိုမြင့်သည့် အပူချိန်တွင် မောင်းနေလျှင် condensing temperature သည် ambient wet bulb temperature ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲ နေသည်။ ပိုများလာသည့် condenser capacity ကြောင့် approach လျော့ချပေးနိုင်သည်။ Wet bulb temperature နှင့် condensing pressure ကျဆင်းခြင်းကြောင့် compressor ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy use) လျော့နည်းသွားသည်။

System ကို ခွင့်ပြုထားသည့် အနိမ့်ဆုံး(minimum allowable) condensing pressure ၌ မောင်းနေချိန် တွင် condenser capacity ပိုများလာသောကြောင့် ဖိအား(pressure)ထပ် မကျနိုင်တော့ပေ။ Condenser system များ၌ VSD ၊ step fan motor စသည်တို့ကို အသုံးပြု၍ capacity လျော့ချနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် condenser အတွက် အသုံးပြုရမည့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့နည်းစေနိုင်သည်။

ပိုကြီးသည့် condenser များကို ရွေးချယ်သည့်အခါ air velocity၊ air pressure drop နှင့် fan power တို့ထက် အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer)ဖြစ်ပေါ်မည့် မျက်နှာပြင် ဧရိယာ(surface area)ပိုများသည့် condenser များကို ဦးစားပေး ရွေးချယ်သင့်သည်။

လက်တွေ့အခြေအနေများတွင် condenser များသည် သတ်မှတ်ထားသည့် performance ထက် လျော့နည်းသည်။ Design rating ကြောင့် condenser rating၊ heat rejection load၊ saturated condensing temperature နှင့် ambient wet-bulb temperature အပေါ်တွင် အခြေခံ၍ condenser များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ကြံပြီး၊ ထိုအချက်များမှ လွဲချော်ခဲ့လျှင် သို့မဟုတ် သွေဖီခဲ့လျှင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့်အတိုင်း မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။

သတ်မှတ်ထားသည့် performance ထက် လျော့နည်းခြင်း(under perform)ကို ဖြစ်စေသည့်အချက်များမှာ

- (၁) Condenser များတွင် လေဝင်လေထွက် မကောင်းခြင်း၊ နေရာအကွာအဝေး(spacing) မမှန်ခြင်း ၊ proximity to steam သို့မဟုတ် တခြားသော humidity source များရှိနေခြင်း
- (၂) ပိုက်အရွယ်အစားသေးငယ်ခြင်းကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) များခြင်း၊ condensation ဖြစ်ပေါ်မည့် မျက်နှာပြင် ဧရိယာ(surface area)နည်းခြင်းနှင့် refrigerant အတွင်း၌ non-condensable gas များရှိနေခြင်း
- (၃) ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance) မလုံလောက်ခြင်း၊ ဥပမာ- tube အတွင်း scaling ဖြစ်ပေါ်ခြင်း၊ refrigerant

အတွင်း၌ non-condensable gas များရှိနေခြင်း၊ ရေပန်းများ(spray)ကောင်းစွာအလုပ်မလုပ်ခြင်း၊ ဘဲလ်ကြိုးများ ချော်နေခြင်း(belt slippage)၊ ရေဖိအား(water pressure) မလုံလောက်ခြင်း နှင့် drift eliminator ၌ ပိတ်ဆို့ နေခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

Reducing Minimum Condensing Pressure

Refrigeration system တစ်ခုကောင်းစွာ ပုံမှန်လည်ပတ်နေနိုင်သည့် အနိမ့်ဆုံးဖိအားသည် ခွင့်ပြုထားသည့် အနိမ့်ဆုံး(minimum allowable) condensing pressure ဖြစ်သည်။ Compressor limitations၊ liquid transfer issues နှင့် defrost စသည့် တခြားသော အချက်အလက်များသည် minimum allowable pressure အပေါ် အကျိုးသက်ရောက် နိုင်သည်။

Condensing pressure သည် ရာသီဥတု အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပြင်ပအပူချိန် (outdoor air temperature)အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ပြင်ပအပူချိန်(outdoor air temperature)မြင့်မားသည့် အချိန်တွင် အနိမ့်ဆုံး condensing pressure ရရှိရန် ခက်ခဲသည်။ Refrigeration system များတွင် အနိမ့်ဆုံး ဖိအား (minimum pressure)သည် 80 psig မှ 90 psig အတွင်းဖြစ်သည်။ အလွန် နိမ့်သည်။ ရရှိရန် ခက်ခဲသည့် အနိမ့်ဆုံး ဖိအား(minimum pressure)ဖြစ်သည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။

၂၀.၅ Chiller Efficiency ကောင်းစေမည့် နည်းများ

၂၀.၅.၁ Chilled Water Reset

Chiller များ၏ စံ(AHRI standard အရ) chilled water leaving temperature သည် 6.7°C ဖြစ်သည်။ 6.7°C ကို အခြေခံ၍ AHU များ၏ cooling coil များအရွယ်အစား(size)ကို ရွေးချယ် တပ်ဆင်ထားသည်။ အပူဆုံးနှင့် စိုထိုင်းမှု အများဆုံး အချိန်အတွက်သာ chilled water leaving temperature သည် 6.7°C ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။

သို့သော် မိုးအုံ့သောနေ့များ(cloudy days)၊ ဖိတ်ထူထပ်သောနေ့များ၊ မိုးရွာသောနေ့များ နှင့် ပြင်ပ အပူချိန် နိမ့်သည့် နေ့များအတွက် chilled water leaving temperature သည် 6.7°C ဖြစ်ရန် မလိုအပ်ပေ။ ထိုကဲ့သို့ အခြေအနေမျိုးတွင် chilled water leaving temperature set point ကို 6.7°C ထက် ပို၍ မြှင့်တင်ထားခြင်းဖြင့် chiller efficiency ပို ကောင်းစေနိုင်သည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုလျော့နည်း(energy saving) စေနိုင်သည်။ နိမ့်သော chilled water leaving temperature ရရှိရန်အတွက် chiller ၏ evaporator အတွင်း၌ refrigerant ဖိအား နိမ့်နိုင်သော လိုအပ် သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ နိမ့်သော refrigerant pressure ဖြစ်ရန်အတွက် chiller ၏ compressor သည် ပို၍ မြင့်မားသော refrigerant differential pressure ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် compressor အတွက် work input ပိုလိုအပ်သည်။

အကြမ်းဖြင်းအားဖြင့်(rule of thumb) chilled water leaving temperature ကို 1.0°C မြှင့်လိုက်တိုင်း compressor မော်တာ၌ 2% စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving) ဖြစ်နိုင်သည်။ အသေးစိတ်နားလည်ရန် အတွက် chiller တစ်လုံး အလုပ်လုပ်ပုံကို အသေးစိတ် နားလည် သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်သည်။

Outdoor temperature နှင့် RH (%) ကို လိုက်၍ chilled water leaving temperature setpoint ပြောင်းလဲပေးခြင်းကို "chilled water temperature reset" ဟု ခေါ်သည်။ လူကိုယ်တိုက်ရိုက်(manually) reset လုပ်နိုင်သလို BAS system မှတစ်ဆင့် auto reset လုပ်နိုင်သည်။

ဥပမာ- Trane chiller အမျိုးအစား ECV6E 56 (HFC 134a) မှ နံနက် 9:45 am မောင်းနေသည့် data များကို ဖော်ပြထားသည်။ Chilled water set point မှာ 6.7°C ဖြစ်သည်။

Table 20-7

Chilled Water Set Point	6.7°C
Leaving Chilled Water	6.7°C
Entering Chilled Water	10.1
Laving Condenser Water	28.4°C
Entering Condenser Water	30.7°C
Active Control Set Point	100%
Evaporator refrigerant Pressure	254.2Kpa
Condenser refrigerant Pressure	681.2Kpa
Saturated refrigerant Temperature	5.0°C
Condenser refrigerant Temperature	31.7°C
Evaporator Approach Temperature	1.6°C
Condenser Approach Temperature	1°C

Chiller မှ ထွက်လာသည့်ရေအပူချိန် (leaving chilled water temperature) 6.7°C ရရှိရန် အတွက် set point ကို 6.7°C အဖြစ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Leaving chilled water temperature သည် chilled water supply temperature ဖြစ်သည်။

Leaving chilled water သည် 6.7°C ရရန်အတွက် refrigerant temperature သည် 5.0°C ခန့် ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် refrigerant temperature သည် အမြင့်ဆုံး 5.0°C ဖြစ်မှသာ leaving chilled water 6.7°C မှ အပူ (heat) များ refrigerant ဆီသို့ ကူးပြောင်း (transfer) သွားနိုင်လိမ့်မည်။ Evaporator အတွင်း၌ refrigerant ၏ temperature 5.0 ဖြစ်ပေါ်ရန် HFC 134a Refrigerant အမျိုးအစားအတွက် evaporator refrigerant pressure သည် 254.2Kpa ဖြစ်ရမည်။

ကျန်သည့် condenser ဘက်ကို မပြောင်းလဲဟု ယူဆလျှင် leaving chilled water temperature နိမ့်နိမ့်ရရန်အတွက် evaporator refrigerant pressure နိမ့်ရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် compressor မှ ပို၍ အလုပ်လုပ်ရန် လိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် leaving chilled water temperature setpoint အနည်းငယ် မြှင့်တင်လိုက်ပါက evaporator pressure (kPa) အလွန်နိမ့်ရန် မလိုအပ်တော့ပေ။ Compressor သည် အပြင်းအထန် အလုပ် လုပ်ရန် မလိုတော့ပေ။ ထို့ကြောင့် စွမ်းအင်ချွေတာမှု (energy saving) ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

၂၀.၅.၂ Chiller အတွင်း၌ မှန်ကန်သည့် Refrigerant ပမာဏ ထည့်သွင်းထားခြင်း

Chiller တစ်လုံး အတွင်း၌ သင့်လျော်မှန်ကန်သော refrigerant ပမာဏကို ထည့်ထားရန် (charge လုပ်ထားရန်) အထူး အရေးကြီးသည်။ သတ်မှတ်ထားသော refrigerant ပမာဏထက် လျော့နည်းနေ (under charge) ပါက chiller သည် rated capacity ကို ထုတ်ပေးနိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ 500 RT chiller တစ်လုံးအတွင်း၌ သတ်မှတ် ထားသော refrigerant ပမာဏထက် လျော့နည်းပါက 500 RT မရှိနိုင်ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် 500 RT ရရှိရန် အတွက် လုံလောက်သော refrigerant ပမာဏ chiller အတွင်း၌ မရှိသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

သတ်မှတ်ထားသော refrigerant ပမာဏထက် ပိုများသော refrigerant ပမာဏထည့်သွင်း (over charged) ထားပါက ရသင့် ရထိုက်သော rated efficiency ကို မရရှိနိုင်တော့ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် work input ပိုမို လိုအပ်ပြီး (ပိုများသော refrigerant ပမာဏကို compress လုပ်ရန်အတွက်) တူညီသော refrigeration output ကိုသာ ရရှိသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Head pressure မြင့်တက်လာသောကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု (energy consumption) ပိုများလာလိမ့်မည်။

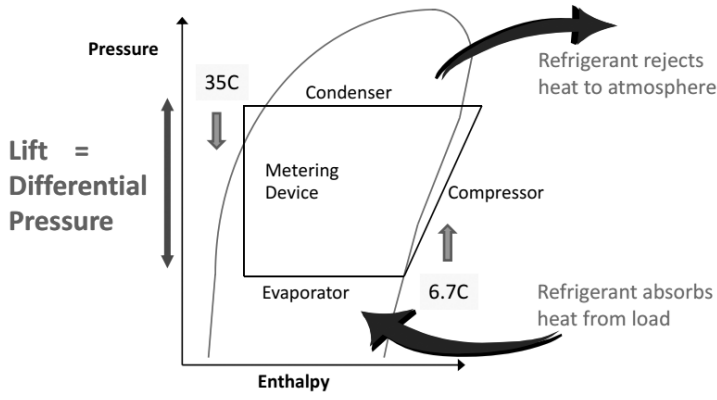
Chiller တစ်လုံးအတွင်း၌ refrigerant ပမာဏ မည့်မျှရှိသည်ကို အတိအကျသိရန် စစ်ဆေးခြင်း ကိစ္စသည် မလွယ်ကူသည့် ကိစ္စဖြစ်သည်။ ခန့်မှန်းမှုမျိုးသာ လုပ်နိုင်သည်။

၂၀.၅-၃ Refrigerant ယိုစိမ့်မှု (Leak) မရှိအောင် ပြုလုပ်ခြင်း

Chiller များ အားလုံး refrigerant ယိုစိမ့်ခြင်း(Leak) ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။ Positive suction pressure chiller ဆိုသည်မှာ chiller ၏ suction (condenser) နှင့် discharge (evaporator) pressure နှစ်မျိုး စလုံးသည် လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ထက် ပိုမြင့်သည်။ အနိမ့်ဆုံးဖိအားသည် လေထုဖိအား(atmospheric)ထက် ပိုမြင့်သောကြောင့် positive pressure ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။ Chiller ၏ suction pressure ၌ positive ဖြစ်ခြင်း သို့မဟုတ် negative ဖြစ်ခြင်းသည် ထို chiller တွင် အသုံးပြုထားသော refrigerant အမျိုးအစားပေါ်တွင် မူတည် သည်။ R134a အသုံးပြု chiller သည် positive suction pressure chiller ဖြစ်သည်။ Positive suction pressure chiller သည် chiller အတွင်းမှ refrigerant သည် လေထုအတွင်းသို့ ထွက်သွားခြင်းကို ယိုစိမ့်(leak)သည်ဟု ခေါ်ဆိုသည်။

Chiller အတွင်းရှိ refrigerant များ ယိုစိမ့်ခြင်း(Leak)ကြောင့် လိုအပ်သည့် refrigerant ပမာဏ ထက် လျော့နည်းကာ သတ်မှတ်ထားသော(rated) cooling capacity မထုတ်ပေးနိုင်တော့ပေ။ ထို့ကြောင့် လိုအပ်သည့် ထက် ပိုများသည့် chiller အရေအတွက် မောင်းရန် လိုအပ်သည်။ ဥပမာ- 300RT chiller သည် refrigerant leak ဖြစ်ခြင်း ကြောင့် 250RT cooling capacity ကိုသာ ပေးနိုင်သည်။ အကယ်၍ 280RT building load လိုအပ်သည့် အချိန်တွင် ထို 300RT chiller တစ်လုံးတည်း မောင်းခြင်းဖြင့် လုံလောက်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

R123 အသုံးပြုထားသည့် chiller များတွင် negative suction pressure chiller ဖြစ်သည်။ ယိုစိမ့်မှု(leak) ဖြစ်လျှင် လေထုအတွင်းမှ လေ(air)များသည် chiller အတွင်းသို့ဝင်ရောက်လာပြီး refrigerant နှင့် ရောနှောသွား ကြသည်။ Chiller အတွင်း၌ လေများ သို့မဟုတ် non condensable များရှိနေခြင်းကြောင့် efficiency နှင့် capacity ကျဆင်းနိုင်သည်။



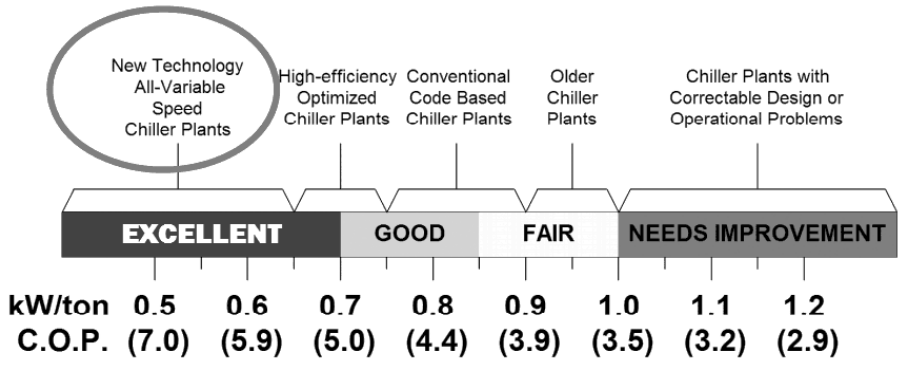
ပုံ ၂၀-၃ Reduce lift

၂၀.၅-၄ Supply Temperature ကို မြှင့်တင်ခြင်း

လက်ခံနိုင်သည့် အပူချိန်အထိ chilled water supply temperature မြှင့်တင်ခြင်းကြောင့် evaporating temperature ပိုမြင့်လာပြီး refrigeration efficiency ပိုကောင်းလာလိမ့်မည်။ 6°C chilled water supply temperature ၏ ကုန်ကျစရိတ်သည် 10°C ၏ ကုန်ကျစရိတ်ထက် 10% ခန့် ပိုများသည်။ Chilled water supply temperature မြှင့်တင်ခြင်းကြောင့် chiller efficiency ပိုကောင်းလာသော်လည်း fan coil unit များ၊ distribution system များ၊ terminal unit များ၌ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု အနည်းငယ် ပိုများလိမ့်မည်။

Supply temperature မြှင့်တင်နိုင်သည့်နည်းများ

- (၁) ကြီးမားသည့် efficient heat exchanger များကို တပ်ဆင်ခြင်း
- (၂) Chilled water သို့မဟုတ် supply air volume flow rate ကို မြှင့်တင်ပေးခြင်းဖြင့် supply temperature မြင့်မြင့်ဖြင့် မောင်းနိုင်သည်။ သို့သော် အရွယ်အစား ကြီးမားသည့် pump နှင့် fan များကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။ Pump နှင့် fan များ ကြီးပေးရန် မဖြစ်နိုင်ပါက pipe နှင့် duct များ၏ အရွယ်အစားကို ကြီးမားအောင် ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည်။
- (၃) Evaporator အတွင်းသို့ chilled water စီးနှုန်း(flow) ပိုများစေခြင်းကြောင့် ပန်အတွက်လိုအပ်သည့်စွမ်းအင် ပိုများလာနိုင်သည်။ ကြီးမားသည့် ပိုက်အရွယ်အစားကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် ကုန်ကျစရိတ် ပိုများ လာနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် chilled water supply temperature မြှင့်တင်ခြင်းနည်းသည် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သည်။



AVERAGE ANNUAL CHILLER PLANT EFFICIENCY IN KW/TON (C.O.P.)
(Input energy includes chillers, tower fans, and condenser & chilled water pumping)

ပုံ ၂၀-၄ ASHRAE မှ သတ်မှတ်ပေးထားသည့် annual average chiller plant efficiency (kW/RT)

၂၀.၆ Efficiency နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်များ

- (က) Low-temperature လုပ်ငန်းများ(application)တွင် two stage refrigeration သည် single stage ထက် ပို၍ efficient ဖြစ်သည်။ စားသောက်ကုန်လုပ်ငန်း(food processing) နှင့် စားသောက်ကုန် သိမ်းဆည်း (storage)သည့် လုပ်ငန်းများအတွက် ammonia သည် efficient အဖြစ်ဆုံး refrigerant ဖြစ်သည်။
- (ခ) Stamped-steel fan blade များသည် efficient မဖြစ်ကြပေ။
- (ဂ) Evaporator များတွင် အသုံးပြုသည့် axial fan များသည် centrifugal fan များထက် ပို၍ efficient ဖြစ်ကြသည်။
- (ဃ) မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed)ဖြင့် မောင်းသည့် evaporator fan များကို အများဆုံး တွေ့မြင်နိုင်သည်။ မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed)ဖြင့် မောင်းသောကြောင့် စွမ်းအင် ဖြုန်းတီးမှု(waste energy) ဖြစ်ပေါ်သည်။
- (င) ယေဘုယျအားဖြင့် ammonia evaporator များသည် recirculated သို့မဟုတ် flooded evaporator များ ဖြစ်ကြသည်။
- (စ) Solenoid များ၊ pressure regulator များ နှင့် valve များကောင်းစွာ အလုပ်မလုပ်ခြင်းကြောင့် system efficiency ကျဆင်းနိုင်သည်။

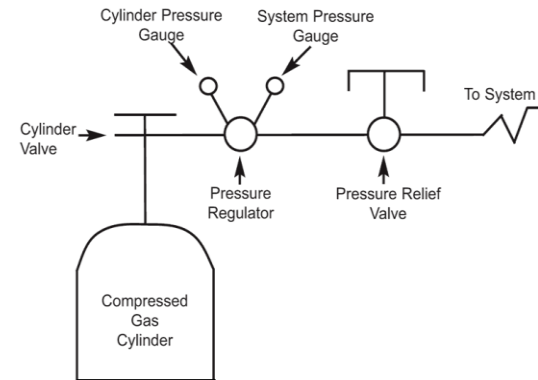
Chapter - 21 Servicing and Maintenance

Chiller များ၊ chilled water plant များ အတွင်းရှိ equipment များအား servicing ပြုလုပ်ရန်အတွက် ညွှန်ကြားချက်များ၊ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု ပြုလုပ်သည့် လုပ်ငန်းစဉ်များ(procedures) ၊ စာရွက်စာတမ်းများ(documentation)၊ စစ်ဆေးရမည့် အချက်(check list)များကို လုပ်ငန်းခွင်အားလုံးနီးပါးတွင် အင်္ဂလိပ်ဘာသာဖြင့်သာ ရေးသားကြသည်။ ပြီးခဲ့သည့် အခန်းများကို ဖတ်ရှု ပြီးနောက် နည်းပညာဆိုင်ရာ အင်္ဂလိပ်ဝေါဟာရများနှင့် ကျွမ်းဝင်နားလည်ပြီး ဖြစ်သည့်ဟု ယူဆ၍ တချို့ လုပ်ငန်းစဉ်များ(procedures)၊ form များ၊ troubleshooting procedure များနှင့် check list များကို မြန်မာဘာသာသို့ ပြန်ဆိုခြင်း မပြုလုပ်ထားပါ။

၂၁.၁ Pressure Testing

System အတွင်း ပိုက်များနှင့် ဆက်ထားသည့် နေရာများမှ ဓာတ်ငွေ့များ ယိုစိမ့်ခြင်း ရှိ၊ မရှိ စမ်းသပ်ခြင်း ကို "Pressure Test" လုပ်သည်ဟု ခေါ်သည်။ System အား တပ်ဆင်ပြီးလျှင် သော်လည်းကောင်း ယိုစိမ့်မှုများရှိ၍ ပြုပြင်ပြီးလျှင် သော်လည်းကောင်း refrigerant များ system အတွင်းသို့ မထည့်သွင်းမီ pressure test ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

Discharge service valve နှင့် suction service valve တို့ကို အလယ်(mid position)တွင် ထားရှိပြီး system အတွင်းသို့ ဖိအားမြင့်သည့်(compressed) နိုက်ထရိုဂျင် ဓာတ်ငွေ့ကို အနည်းဆုံးဖိအား 50 psi ခန့် ရရှိရန် ထည့်သွင်းပေးသည်။ ထို့နောက် stop valve ကို ပိတ်ထားပြီး system pressure ကို ဖတ်ယူသည်။



ထို့နောက် stop valve ကို ပိတ်ထားလျက် အနည်းဆုံး (၁၂)နာရီခန့်ကြာအောင် ထိန်းထားပြီးနောက် system pressureကို ဖတ်ယူရသည်။ မူလဖတ်ထားသည့် pressure နီးပါး ရှိနေရမည်။ ဖိအား(pressure) ကွာခြားမှုများ နေလျှင် system အတွင်း၌ ပေါက်နေသော နေရာမှ ယိုစိမ့်(leak) နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထိုယိုစိမ့်သည့်နေရာ များကို ရှာဖွေ ပြုပြင်ရန် လိုအပ်သည်။ လေ(compressed air)ကို အသုံးပြုနိုင်သော်လည်း ရေခိုးရေငွေ့များ ပါလာနိုင်သဖြင့် အသုံးမပြုသင့်ပါ။

ပုံ ၂၁-၁ Trouble shooting of charge conditions

နိုက်ထရိုဂျင် ဓာတ်ငွေ့ကို အသုံးပြု၍ သတ်မှတ်ထားသည့် ဖိအားခံနိုင်ရည် ရှိ ၊ မရှိ စစ်ဆေးခြင်း (guidelines for nitrogen pressure testing)

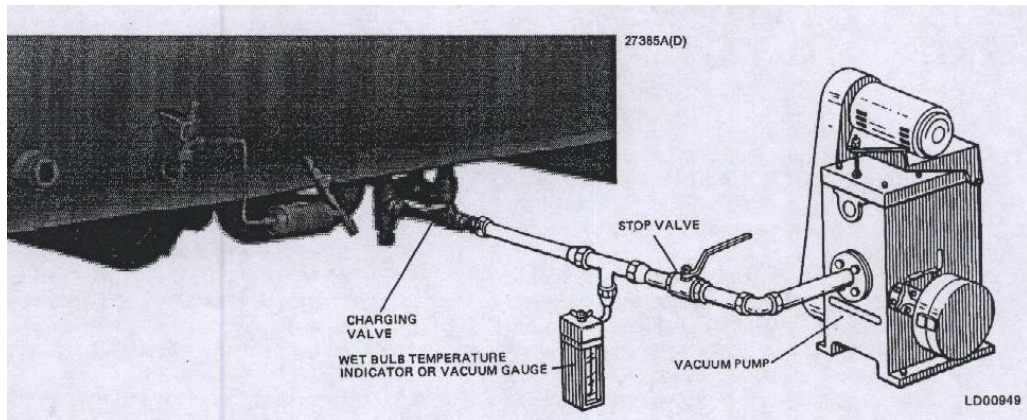
- (က) R-22 ကို အသုံးပြုထားသည့် system များအတွက် ဖိအား 200 psig ဖြင့် pressure test ပြုလုပ်ရမည်။
- (ခ) R-134a ကို အသုံးပြုထားသည့် system များအတွက် ဖိအား 150 psig ဖြင့် pressure test ပြုလုပ်ရမည်။
- (ဂ) R- R-123 ကို အသုံးပြုထားသည့် system များအတွက် ဖိအား 10 psig ဖြင့် pressure test ပြုလုပ်ရမည်။

၂၁.၂ Vacuum Drawing သို့မဟုတ် System Evacuation

Pressure test ပြုလုပ်၍ စစ်ဆေးပြီးနောက် ယိုစိမ့်မှု(Leak) မရှိကြောင်း သေချာသည့်အခါ refrigerant ထည့်သွင်းနိုင်ပြီ ဖြစ်သည်။ Chiller ထဲသို့ refrigerant မထည့်သွင်းခင် chiller အတွင်းရှိ လေ၊ တခြား ဓာတ်ငွေ့များ နှင့် ရေခိုးရေငွေ့ များကို ကုန်စင်အောင် စုပ်ထုတ်ပစ်ရန် လိုအပ်သည်။ ထိုသို့ စုပ်ထုတ်ခြင်းကို "evacuation" လုပ်သည်ဟု ခေါ်သည်။

ပုံ(၂၁-၂)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း evacuation ပြုလုပ်ရသည်။ Vacuum ပြုလုပ်ရာတွင် 2 torr သို့မဟုတ် 2 mmHg ခန့် ရရှိသည်အထိ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သောကြောင့် အမျိုးအစား ကောင်းသည့် vacuum pump ကို အသုံးပြု ရမည်။ System အတွင်းမှ vacuum ကို 2 torr ခန့် ရရှိပြီးချိန်တွင် stop valve ကို ပိတ်၍ vacuum pump ကို ရပ်တန့်ပြီး ခေတ္တစောင့်ကြည့်ပါ။ Vacuum pressure မှ တဖြည်းဖြည်း ပြန်တက်လာလျှင် system အတွင်း၌ ရေခိုး ရေငွေ့များ ကျန်နေသေး၍ အငွေ့ပျံကာ ဖိအား(pressure)မြင့်တက်လာခြင်း ဖြစ်သည်။ ရေခိုး ရေငွေ့များ ကုန်စင်အောင် vacuum ထပ်မံပြုလုပ်ရမည်။ 2 torr ခန့် အထိရောက်အောင် vacuum ထပ်ဆွဲမည်။ အကယ်၍ stop valve ပိတ်လိုက်ချိန်တွင် vacuum pressure သည် လျင်မြန်စွာ ပြန်တက်လာပါက ယိုစိမ့်(Leak)နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ 2 torr ခန့်မှ vacuum pressure ထပ် မတက်တော့လျှင် system အတွင်း၌ လေနှင့် ဓာတ်ငွေ့များ၊ ရေခိုးရေငွေ့များ ကုန်စင်ပြီဟု ယူဆနိုင်သည်။

အကယ်၍ 2 torr ခန့်ထိ စုပ်ယူနိုင်သော vacuum pump မရှိပါက dilution method ကို သုံး၍ vacuum ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ရှေးဦးစွာ system အတွင်းသို့ refrigerant ဓာတ်ငွေ့များ ထည့်သွင်းပါ။ ထို့နောက် မိနစ်(၃၀)ခန့် system ကို လည်ပတ်စေပြီး ထပ်မံ vacuum လုပ်ပစ်ရမည်။ ဤနည်းအတိုင်း (၃)ကြိမ်မျှ ပြုလုပ်ပြီးလျှင် system အတွင်း၌ လေနှင့် ဓာတ်ငွေ့ ရေခိုးရေငွေ့များ ကင်းစင်သွားပြီဟု ယူဆနိုင်သည်။ Vacuum pump မှ vacuum ရရှိသည်အထိ မဆောင်ရွက်နိုင်လျှင် အတွင်း၌ refrigerant ဓာတ်ငွေ့များ ရောနှော ပေးလိုက်ခြင်းဖြင့် လေနှင့် ရေခိုးရေငွေ့များ ပါဝင်မှုကို လျော့ချစေခြင်း(dilute လုပ်ပေးခြင်း) ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂၁-၂ System အတွင်းမှ ရေငွေ့များဖယ်ထုတ်ခြင်း (dehydration)

System အတွင်းမှ ရေငွေ့များဖယ်ထုတ်ခြင်း(dehydration) ဆိုသည်မှာ Wet Bulb အပူချိန် (temperature) 32°F ရရှိအောင် သို့မဟုတ် ဖိအား(pressure) 5mm Hg / 5000 microns ရရှိအောင် ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

၂၁.၃ System အတွင်းသို့ Refrigerant ထည့်သွင်းနည်းများ (Methods of Charging)

Refrigerant ထည့်သွင်းနည်း သုံးမျိုးရှိသည်။

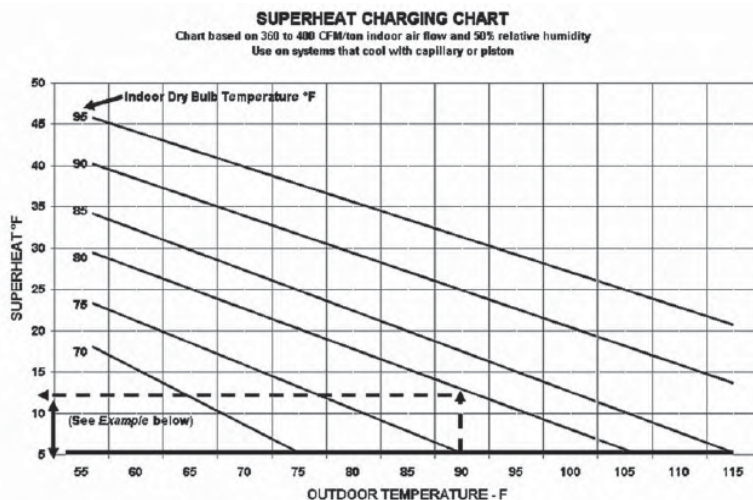
- (၁) အလေးချိန်ဖြင့် ထည့်သွင်းခြင်း(charging by weight)
အလေးချိန်ဖြင့် ထည့်သွင်းခြင်း ပြုလုပ်သည့်အခါ ထုတ်လုပ်သူများမှ ပေးထားသည့် အချက်အလက်များ (manufacturer's data)ကို အသုံးပြုသင့်သည်။
- (၂) Superheat အပူချိန်ဖြင့် refrigerant ထည့်သွင်းခြင်း (charging by superheat)
Fixed orifice ကို အသုံးပြုထားသည့် system များအတွင်းသို့ refrigerant ထည့်သွင်းခြင်း ပြုလုပ်သည့်အခါတွင် superheat အပူချိန်ကို အသုံးပြုသည်။
- (၃) Sub-cooled အပူချိန်ဖြင့် refrigerant ထည့်သွင်းခြင်း(charging by sub-cooled)
Thermal expansion valve (TXV)ကို အသုံးပြုထားသည့် system များအတွင်းသို့ refrigerant ထည့်သွင်းခြင်း ပြုလုပ်သည့်အခါတွင် sub-cooled အပူချိန်ကို အသုံးပြုသည်။

၂၁.၃.၁ Superheat Method

Superheat အပူချိန်ဖြင့် refrigerant ထည့်သွင်းခြင်း(charging by superheat)နည်းသည် fixed orifice တပ်ဆင်ထားသည့် system များအတွက် သင့်လျော်သည်။ အကြံပေးချက်များ

- (A) Measure entering dry bulb temperature of evaporator
- (B) Measure entering dry bulb temperature at condenser
- (C) Using charging table to determine recommended superheat (within + 5°F of chart reading)
- (D) Calculate the actual superheat
- (E) If actual superheat is greater than recommended superheat, charge must be added.
- (F) If actual superheat is less than the recommended value, charge must be removed

Superheat Charging Chart



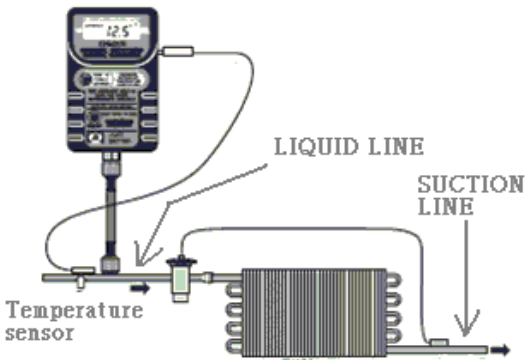
ပုံ ၂၁-၃ Superheat charging chart

၂၁.၃.၂ Subcooling Method

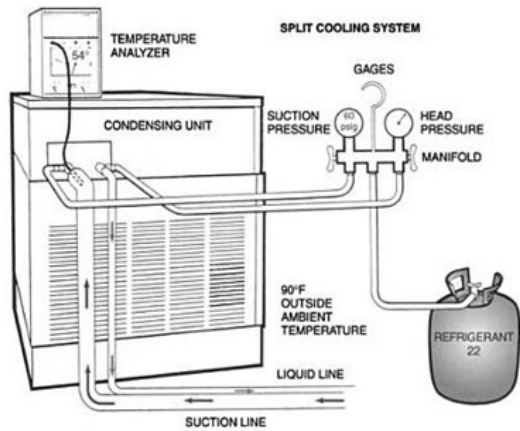
Sub-cooled အပူချိန်ဖြင့် refrigerant ထည့်သွင်းခြင်း(charging by sub-cooled)နည်းသည် thermal expansion valve တပ်ဆင်ထားသည့် system များအတွက် သင့်လျော်သည်။

အကြံပေးချက်များ

- (A) Measure liquid line operating pressure. Convert the pressure into saturation temperature using PT chart.
- (B) Measure actual liquid line temperature.
- (C) Calculate the subcooling and compare with equipment manual desired subcooling (tolerance of 2-3 °C).
- (D) If subcooling is too low- insufficient charge.
- (E) If subcooling is too high- overcharged.



ပုံ ၂၁-၄ Measure subcooling



ပုံ ၂၁-၅ Charging by superheat method

System မှ တပ်ဆင်ပြီးသည့်အခါ၊ ပြုပြင်ပြီးသည့်အခါ၊ refrigerant လျော့နည်းနေသည့်အခါများတွင် system အတွင်းသို့ refrigerant များ ထည့်သွင်းပေးရန် လိုအပ်သည်။ ထည့်သွင်းရာတွင် အငွေ့အနေဖြင့် ထည့်သွင်းခြင်း (vapor charging) နှင့် အရည်အနေဖြင့် ထည့်သွင်းခြင်း (liquid charging) ဟူ၍ နည်းနှစ်မျိုး ရှိသည်။

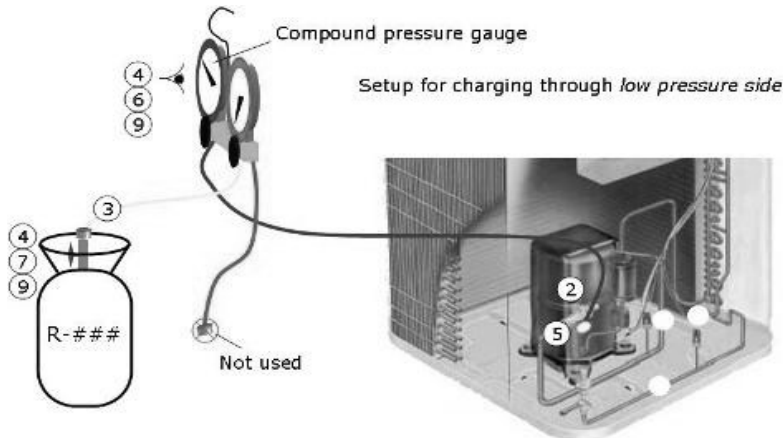
၂၁.၃.၃ (က) အငွေ့အနေဖြင့် ထည့်သွင်းခြင်း (Vapor Charging)

System အတွင်းသို့ refrigerant ကို အငွေ့အနေဖြင့် သွင်းယူခြင်း ဖြစ်သည်။ သေးငယ်သည့် system များတွင် လည်းကောင်း၊ သွင်းယူရမည့် refrigerant ပမာဏ မများလွန်းလျှင် လည်းကောင်း၊ vapor charging နည်းကို သုံးသည်။ Vapor charging လုပ်ရာတွင် compressor ၏ suction ဘက်မှ ထည့်သွင်းပြီး၊ အငွေ့အနေဖြင့် သွင်းယူရာတွင် refrigerant ဓာတ်ငွေ့၏ ထုထည် (specific volume) ကြီးမားသောကြောင့် အချိန် ကြန့်ကြာသည်။ သို့သော် ထုထည်များသောကြောင့် လိုအပ်သည့်ပမာဏ အတိအကျ ရအောင် ထည့်သွင်းရန် ပိုလွယ်ကူသည်။

ပုံ(၂၁-၆)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း vapor charging ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Evacuate လုပ်ပြီးနောက် refrigerant ဆလင်ဒါမှ ပိုက်လိုင်းကို service valve တွင် မဆက်သွယ်မီ ဆလင်ဒါမှ valve ကို အနည်းငယ် ဖွင့်၍ ဓာတ်ငွေ့များကို ပြင်ပသို့ ထွက်နေစေရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပိုက်လိုင်းအတွင်းမှ လေများကို refrigerant ဓာတ်ငွေ့ အားဖြင့် ပြင်ပသို့ တွန်းထုတ်ပစ်ခြင်း (purging) ဖြစ်သည်။ ဤကဲ့သို့ဓာတ်ငွေ့ အနည်းငယ် ထွက်နေချိန်တွင် ပိုက်လိုင်းကို service valve သို့ ဆက်ပေးရမည်။

ထိုသို့ ဓာတ်ငွေ့သွင်းမီ refrigerant ဆလင်ဒါ၏ အလေးချိန်ကို ချိန်တွယ်ပါ။ ထို့နောက် suction service valve ကို back seat နေရာမှ အလယ်သို့ ရွှေ့လိုက်ပြီး compressor ကို စတင် မောင်းပါ။ Refrigerant ဆလင်ဒါ valve ကို ဖြည်းဖြည်းစွာ ဖွင့်ပေးလိုက်ခြင်းအားဖြင့် ဓာတ်ငွေ့များကိုသွင်းယူသည်။ ဆလင်ဒါ valve ကို suction pressure 30 psi မကျော်အောင် ထိန်း၍ ဖွင့်ပေးရမည်။ ထို့နောက် refrigerant ဆလင်ဒါမှ လျော့ကျသွားသော အလေးချိန်ကိုကြည့်၍ သတ်မှတ်အလေးချိန်အတိုင်း gas များ system ထဲသို့ ဝင်ရောက်သွားလျှင် ဆလင်ဒါ valve ကို ပိတ်လိုက်ပါ။ ပြီးလျှင် suction service valve ကို back seat ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် ဓာတ်ငွေ့ ထည့်သွင်းခြင်း ပြီးဆုံးသည်။

Refrigerant ဆလင်ဒါ မှ ဓာတ်ငွေ့သွင်းယူခြင်း၊ အတွင်းရှိ ဓာတ်ငွေ့ရည်များ vapourize ဖြစ်ခြင်းဖြင့် temperature လျော့နည်းလာ တတ်သည်။ ထိုအခါ ဓာတ်ငွေ့များထွက်ရှိပြီး ထုထည်ကိုပါ လျော့ကျ စေတတ်၍ လိုအပ်လျှင် ဆလင်ဒါ ကို အပူအနည်းငယ်ပေးရန် လိုသည်။



ပုံ ၂၁-၆ ဖိအားနိမ့်သည့်ဘက်မှ refrigerant ထည့်သွင်းခြင်း (charging from low side)

ဖိအားနိမ့်သည့်ဘက်မှ refrigerant ထည့်သွင်းခြင်း (charging from low side)

- (၁) Stop the compressor.
- (၂) Know the refrigerant in the system, and get the correct refrigerant to be charged.
- (၃) Attach the refrigerant cylinder or canister to the center manifold's hose of the pressure gauge set.
- (၄) Purge the line by throttling the compound gauge's regulator, and the refrigerant cylinder's regulator. (Don't forget to close the regulators after purging)
- (၅) Attach compound pressure gauge's hose of the gauge set, to the suction service valve of the air conditioning unit. Make sure that the protective cap of the service valve is taken out.
- (၆) Open the compound gauge's regulator slightly.
- (၇) Throttle the refrigerant cylinder's regulator. The pressure within the system shall be less than the condensing pressure of the refrigerant.
- (၈) Operate the air conditioning unit.
- (၉) Close the cylinder's regulator when the pressure in the low pressure side reaches the design operating pressure.
- (၁၀) The charge should be adequate once the design pressure on the low side is reached, but it is good to check the superheat, and make sure that the sight glass is clear.
- (၁၁) Stop the air conditioning unit if the subcooling is inadequate. Repeat steps (7) to (10) until the charging is adequate

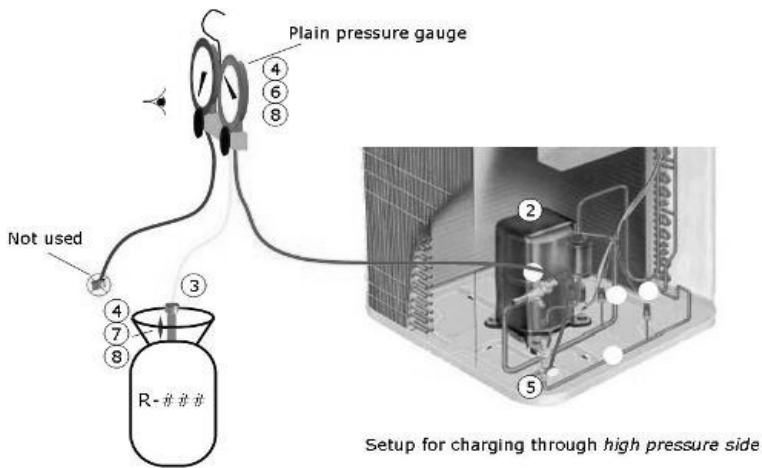
၂၁.၃.၄ (ခ) အရည်အနေဖြင့် ထည့်သွင်းခြင်း(Liquid Charging)

System အတွင်းသို့ refrigerant ကို အရည်အခြေအနေဖြင့် ထည့်သွင်းယူခြင်း ဖြစ်သည်။ အရည်အခြေအနေသည် အငွေ့အခြေအနေထက် သိပ်သည်းစွာ ပိုများသောကြောင့် ထည့်သွင်းချိန်(charging time) ပိုမြန်သည်။ သွင်းယူရာတွင် ဖိအားမြင့်သည့်ဘက်(high pressure side)ရှိ liquid charging valve မှတစ်ဆင့် ထည့်သွင်းရသည်။

ပုံ(၂၁-၇)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း ထည့်သွင်းနိုင်သည်။ ရှေးဦးစွာ ပိုက်လိုင်းကို liquid charging valve နှင့် မဆက်မီ ဆလင်ဒါ valve ကို အနည်းငယ်ဖွင့်ပေးပြီး purge လုပ်ပါ။ ပိုက်လိုင်းကို liquid charging valve နှင့် ဆက်သွယ်ပါ။ ထို့နောက် refrigerant ဆလင်ဒါကို မှောက်လျက်ထား၍ အရည်အနေဖြင့် သွင်းယူရန် အဆင်သင့်ပြုလုပ်ပါ။

Liquid receiver outlet valve ကို ပိတ်ထားပြီးမှ compressor ကို စတင် မောင်းပါ။ ထို့နောက် liquid charging valve ကို ဖွင့်လိုက်ပြီး refrigerant ဆလင်ဒါ မှ valve ကို ဖွင့်ပေးခြင်းဖြင့် refrigerant များ စတင် ထည့်သွင်းသည်။

Refrigerant ဆလင်ဒါ၏ အလေးချိန်ကို တိုင်းလျက်စောင့်ကြည့်နေခြင်းဖြင့် system အတွင်းသို့ သတ်မှတ် ထားသော refrigerant အလေးချိန် ဝင်ရောက်ရှိသွားသည့်အခါ refrigerant သွင်းယူမှု ပြီးဆုံးပြီ ဖြစ်သည်။ ထိုအခါ liquid charging valve နှင့် ဆလင်ဒါ charging valve တို့ကို ပိတ်ပြီး liquid receiver outlet valve ကို ပြန်ဖွင့်ပေးခြင်းဖြင့် system ကို ပုံမှန် လည်ပတ်စေနိုင်သည်။



ပုံ ၂၁-၇ ဖိအားမြင့်သည့်ဘက်မှ refrigerant ထည့်သွင်းခြင်း(charging from high side)

ဖိအားမြင့်သည့်ဘက်မှ refrigerant ထည့်သွင်းခြင်း(charging from high side)

Capillary tube များ တပ်ဆင်ထားသည့် system များအတွက် ဤနည်းသည့် အကောင်းဆုံးဖြစ်သည်။

- (၁) Stop the compressor.
- (၂) Know the refrigerant in the system, and get the correct refrigerant to be charged.
- (၃) Attach the refrigerant cylinder or canister to the center manifold's hose of the pressure gauge set.
- (၄) Purge the line by throttling the plain gauge's regulator, and the refrigerant cylinder's regulator. Don't forget to close the regulators after purging.
- (၅) Attach plain pressure gauge's hose of the gauge set, to the liquid line service valve of the air conditioning unit. Make sure that the protective cap of the service valve is taken out.
- (၆) Open the plain gauge's regulator slightly.
- (၇) Throttle the refrigerant cylinder's regulator.
- (၈) Close the cylinder's regulator when the pressure in the high pressure side reaches the design operating pressure.

- (င) Operate the air conditioning unit.
- (ဆ) Check the subcooling, and make sure that the sight glass is clear.
- (ဇ) Stop the air conditioning unit if the subcooling is inadequate. Repeat steps (7) to (10) until the charging is adequate.

Table 21-1 subcooling temperature and refrigerant charge

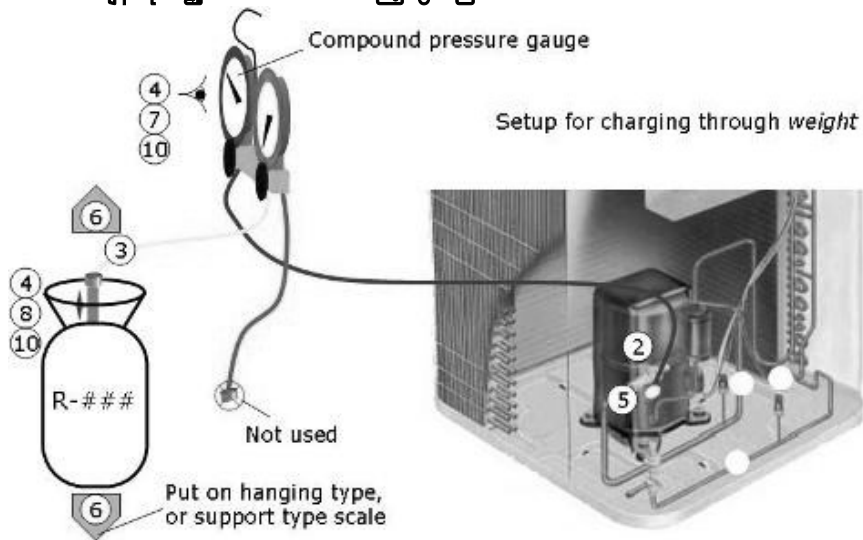
Subcooling (5-8 °C)	Status
Low	Insufficient charge
High	Overcharge

Superheat and Subcooling

Table 21-2 superheat and subcooling temperature and refrigerant charge

System Problem	Superheat	Subcooling	Conditions
Over-charged	Low	Low	Inadequate air flow
Under-charged	High	Low	Insufficient charge
	High	High	Blockage in circuit
	Low	High	Overcharge

၂၁.၃.၅ (ဂ) အလေးချိန်တိုင်း၍ Refrigerant ထည့်သွင်းခြင်း (Charging by Weight)



ပုံ ၂၁-၈ အလေးချိန်တိုင်း၍ refrigerant ထည့်သွင်းခြင်း (charging by weight)

This method is used to charge refrigerant to an evacuated, or newly assembled, and moisture removed air conditioning unit. The steps,

- (၁) Stop the compressor,
- (၂) Know the refrigerant to be handled by the system, and get the correct refrigerant to be charged.
- (၃) Attach the refrigerant cylinder or canister to the centre manifold's hose of the pressure gauge set.
- (၄) Purge the line by throttling the compound gauge's regulator, and the refrigerant cylinder's regulator. Don't forget to close the regulators after purging.

- (၅) Attach compound pressure gauge’s hose of the gauge set, to the suction service valve of the air conditioning unit. Make sure that the protective cap of the service valve is taken out.
- (၆) Put the cylinder on weighing scale, OR get adequate number of refrigerant canisters to charge the system.
- (၇) Open the compound gauge’s regulator slightly.
- (၈) Throttle the refrigerant cylinder’s regulator.
- (၉) Operate the air conditioning unit.
- (၁၀) Close the cylinder’s regulator when the correct amount of refrigerant is added to the system.
- (၁၁) Check the superheat, operating pressure, and make sure that the sight glass is clear.

၂၁.၃.၆ Trouble-Shooting of Charge Conditions

System Problem	Discharge Pressure	Suction Pressure	Superheat	Subcooling	Amps
Overcharge	↑	↑	↓	↑	↑
Undercharge	↓	↓	↑	↓	↓

ပုံ ၂၁-၉ Troubleshooting of charge conditions

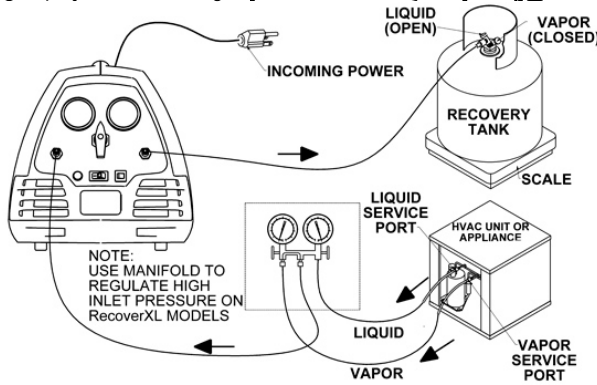
System အတွင်း၌ လုံလောက်သည့် refrigerant ပမာဏ ရှိရန်အတွက် အောက်ပါအချက်များကို သေချာအောင် ဆောင်ရွက်ပေးရမည်။

- (၁) The amount of refrigerant superheat is about 10°F (5.5°C) or as per manufacturer’s recommendation, OR
- (၂) The amount of refrigerant subcooling is about 10°F (5.5°C) or as per manufacturer’s recommendation, OR
- (၃) The sight glass after (or on) the filter dryer is clear after charging.
- (၄) Presence of bubbles means that there is no adequate charging

Evacuation လုပ်ပြီးသည့် system အတွင်းသို့ refrigerant များ ထည့်သွင်းသည့်အခါ tube freezing မဖြစ်ပေါ်အောင် cooler များအတွင်း၌ ဓာတ်ငွေ့အနေ(vapor form)ဖြင့်သာ ထည့်သွင်း ရမည်။

- (က) R-22 ကို အသုံးပြုထားသည့် system များအတွက် အရည်ဖိအား 60 psig သို့ရောက်အောင် ထည့်သွင်းရမည်။ (charge liquid @ 60psig)
- (ခ) R-134a ကို အသုံးပြုထားသည့် system များအတွက် အရည်ဖိအား 30 psig သို့ရောက်အောင် ထည့်သွင်းရမည်။ (charge liquid @ 30 psig)
- (ဂ) R-123 ကို အသုံးပြုထားသည့် system များအတွက် အရည်ဖိအား 18psig သို့ရောက်အောင် ထည့်သွင်းရမည်။ (charge liquid @ 30 psig)

၂၁.၃.၇ System အတွင်းမှ Refrigerant များ ထုတ်ယူခြင်း



System အတွင်း၌ refrigerant များ super charge ဖြစ်နေလျှင်သော်လည်းကောင်း၊ system အား ပြုပြင်ရန် လိုအပ်၍ refrigerant များကို system အတွင်းမှ ထုတ်ယူ သိမ်းဆည်း လိုလျှင် သော်လည်းကောင်း၊ အောက်ပါအတိုင်း ဆောင်ရွက်နိုင်သည်။

ရှေးဦးစွာ refrigerant ဆလင်ဒါ အလွတ်ကို ရေခဲနှင့်ရေ ရောစပ်၍ အအေးခံထားရမည်။

ပုံ ၂၁-၁၀ Removing refrigerant from the system

Discharge service valve မှ ပိုက်ကို ဆလင်ဒါတွင် မဆက်မီ discharge service valve ကို အနည်းငယ် လျှော့နည်းပြီး ပိုက်အတွင်းမှ လေများကို purge လုပ်ရမည်။

ထို့နောက် ပိုက်လိုင်းကို refrigerant ဆလင်ဒါနှင့်ဆက်(connect)ပြီးနောက် valve ကို ဖွင့်ပေးရမည်။ ထို့နောက် compressor မောင်းပြီး discharge service ကို အလယ်နေရာသို့ ရွှေ့ထားရမည်။ ထိုအချိန်တွင် compressor မှ ဖိသိပ်ပေးလိုက်သော refrigerant ဓာတ်ငွေ့များသည် condenser သို့ ဆက်မသွားတော့ဘဲ ပို၍ အေးသော refrigerant ဆလင်ဒါများ ထဲသို့ ငွေ့ရည်ဖွဲ့(condensation)ကာ ရောက်ရှိစေပေး နေလိမ့်မည်။ ဓာတ်ငွေ့ မထည့်မီနှင့် ထည့်ပြီး ဆလင်ဒါ အလေးချိန်ကို တိုင်းတာခြင်းဖြင့် system အတွင်းမှ refrigerant မည်မျှ ထုတ်ယူပြီး ဖြစ်သည်ကို သိနိုင်သည်။



ပုံ ၂၁-၁၁ Halide leak detector



ပုံ ၂၁-၁၂ Soap bubble test

၂၁.၃.၈ ယိုစိမ့်မှုရှာဖွေခြင်း (Leak Detection)

System အား အသုံးမပြုမီ လုံခြုံမှုရှိ ၊ မရှိ pressure test ပြုလုပ်စမ်းသပ်နိုင်ပြီး system အား အသုံးပြု နေစဉ်အတွင်း refrigerant ဓာတ်ငွေ့များ ယိုစိမ့်မှုရှိ၊ မရှိ စမ်းသပ်ခြင်းကို မယိုစိမ့်အောင်ကာကွယ်ခြင်း(leak protection) ဟု ခေါ်သည်။ ယိုစိမ့်မှု(leakage)ရှိ၊ မရှိ စမ်းသပ်သောနည်း နှစ်နည်းရှိသည်။

(က) ဆပ်ပြာရည်ဖြင့် စမ်းသပ်ခြင်း (Soap Bubble Test)

ဆပ်ပြာရည်ကို refrigerant ပိုက်လိုင်း တစ်လျှောက် သံသယ ဖြစ်သည့် နေရာများကို လိုက်လံ သုတ်လိမ်းကြည့်ခြင်း ဖြစ်သည်။ သုတ်လိမ်းပြီးနောက် ယိုစိမ့်နေသော ဓာတ်ငွေ့ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ပူဖောင်းကလေးများကို ကြည့်၍ ယိုစိမ့်သည့်နေရာကို အတိအကျ သိနိုင်သည်။

(ခ) Halide Leak Detector

Feron အမျိုးအစား refrigerant များ ယိုစိမ့်မှုရှိ၊ မရှိ စမ်းသပ်ရာတွင် သုံးသည်။ ပုံ(၂၁-၁၁)တွင် halide leak detector ကို ဖော်ပြထားသည်။ Halide Burner ပါရှိပြီး gas ဘူးအတွင်းတွင် အက်ဆီတလင်း ဓာတ်ငွေ့ကို အသုံးပြု၍

မီးရှို့ထားသည်။ မီးလောင်ရန်အတွက် လိုအပ်သည့် လေကို air tube အတွင်းမှ ဆွဲယူအသုံးပြုသည်။ Air tube ကို သံသယရှိသော ပိုက်လိုင်းတစ်လျှောက်ပေါ်မှ ဖြတ်သန်းစေရင်း burner မှ လေနှင့် လောင်ကျွမ်းချိန်တွင် အရောင်မဲ့စွာ လောင်ကျွမ်း၏။ Air tube အတွင်း Feron gas အနည်းငယ် ပါဝင်နေပါက အစိမ်းရောင် မီးလျှံအဖြစ်သို့ ပြောင်းသွားပြီး gas ပါဝင်မှုများနေပါက ခရမ်းရင့်ရောင်မီးလျှံအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားလိမ့်မည်။ မီးလျှံအရောင် ပြောင်းသွားခြင်းဖြင့် ဓာတ်ငွေ့ယိုစိမ့်မှု ရှိ မရှိကို စစ်ဆေး သိရှိနိုင်သည်။ Detector သည် လေထု အတွင်း၌ ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှု 0.01% ခန့် အထိ စစ်ဆေး နိုင်သည်။

(၁) အမိုးနီးယားဓာတ်ငွေ့ဖြင့် စမ်းသပ်ခြင်း

စမ်းသပ်မည့်စက္ကူပေါ် (test paper) တွင် အမိုးနီးယား နှင့် ဓာတ်ပြုလွယ်သည့် ဖီနိုပက်သလင်း ဓာတ်ဆေး ကို အရက်ယုံနှင့် ဖျော်၍ သုတ်ထားပြီး၊ test paper အဖြစ် အသုံးပြုသည်။ ၎င်းမှာ အရောင် မရှိသည့် စက္ကူဖြစ်သော်လည်း အမိုးနီးယား (ammonia) ဓာတ်ငွေ့နှင့် ထိတွေ့ပါက ပန်းရောင်သို့ ပြောင်းသွားသည်။

(၂) ကန့်ဓာတ်ငွေ့ဖြင့် စမ်းသပ်ခြင်း

ကန့်ဓာတ်ငွေ့ရှိ၍ ပိုက်လိုင်းများ တစ်လျှောက် ဖြတ်သန်းစစ်ဆေးရသည်။ ကန့် မီးခိုးငွေ့များသည် အမိုးနီးယား နှင့် ထိတွေ့ပါက အဖြူရောင် အခိုးအငွေ့များ ပေါ်လာခြင်းဖြင့် သိရှိနိုင်သည်။ ၎င်းကန့်ဓာတ်ငွေ့နှင့် အမိုးနီးယား အငွေ့သည် လူသားအတွက် အလွန် အန္တရာယ်ရှိ၍ စမ်းသပ်ရာတွင် အထူးသတိပြုရမည်။

(၃) Litmus စက္ကူဖြင့် စမ်းသပ်ခြင်း (litmus paper test)

အမိုးနီးယားသည် ရေတွင်ပျော်ဝင်သွား ပါက Alkali ဂုဏ်သတ္တိ ရှိသွားမည်။ ထို့ကြောင့် litmus စက္ကူ အနီကို ရေတွင်၍ ပိုက်လိုင်းများ တစ်လျှောက် စမ်းသပ်ပါက ဓာတ်ငွေ့ယိုစိမ့်မှု ရှိနေသော နေရာတွင် စက္ကူမှာ အနီသည် အပြာရောင်သို့ ပြောင်းသွားခြင်းကို ကြည့်၍ သိရှိနိုင်သည်။ အမိုးနီးယားသည် စူးရှသည့် အနံ့ရှိသည့် ဓာတ်ငွေ့ဖြစ်သဖြင့် ယိုစိမ့်မှုရှိလျှင် အနံ့အားဖြင့် အလွယ်တကူ သိရှိနိုင်သည်။

(၄) Electronic detector

Refrigerant များသည် လေထဲသို့ရောက်ရှိသည့်အခါတွင် ဓာတ်ပြိုကွဲမှု (decomposition) ဖြစ်ပေါ်သည်။ ပြိုကွဲသွားသည့် အက်တမ်များမှ ionization တန်ဖိုးကို လျှပ်စစ်ဓာတ်အား (electric current) ဝမာဏ အဖြစ်တိုင်း၍ လေထဲတွင် refrigerant များ ယိုစိမ့်နေကြောင်း သိရှိနိုင်သည်။ သို့သော် လေထဲ (ambient air) တွင် သဘာဝဓာတ်ငွေ့ ဓာတ်ဆီငွေ့ စသည့် မီးလောင်ပေါက်ကွဲနိုင်သည့် ဓာတ်ငွေ့များ (explosive or flammable vapors) ရှိနေပါက electronic detector ကို အသုံးပြုရန် ဖြစ်နိုင်ပေ။

၂.၁.၄ Chiller Commissioning

Chilled water system များကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည့် ရည်ရွယ်ချက် (၂)မျိုးဖြင့် မောင်းနှင်ရမည်။

ရည်ရွယ်ချက်(၁) လိုအပ်သည့် cooling load ကို လုံလောက်အောင် ထုတ်ပေးနိုင်ခြင်း (satisfy imposed cooling load)

လုံလောက်သည့် cooling load ထုတ်ပေး နိုင်ရမည်။ သင့်လျော်သည့် supply water temperature ထုတ်ပေးနိုင် ရမည်။ Variable flow system များတွင် လိုအပ်သည့် supply water flow ထုတ်ပေးနိုင်ရမည်။ လုံလောက်သည့် ကုန်ကျစရိတ် အနည်းဆုံးဖြင့် မောင်းနှင်ရမည်။

ရည်ရွယ်ချက်(၂) ကုန်ကျစရိတ် အနည်းဆုံးဖြင့် မောင်းနှင်ခြင်း (minimize the cost of cooling)

Chilled water temperature အမြင့်ဆုံးဖြင့် မောင်းနှင်ရမည်။ လိုအပ်သည့် cooling load ကိုလည်း ထုတ်ပေးနိုင်ရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လုံလောက်သည့် dehumidification ဖြစ်စေရမည်။

Condenser water supply temperature အနိမ့်ဆုံးဖြင့် မောင်းနှင်ရမည်။ တပ်ဆင်ပြီးသည့် chilled water system တစ်ခု စတင်မောင်းခြင်း (starting up)၊ စမ်းသပ်ခြင်း (testing)၊ subsystem များအားလုံးကို ဖြစ်ပေါ်လာမည့် အခြေအနေ အမျိုးမျိုးတို့၌ မောင်းနှင်အောင် စမ်းသပ်ခြင်း လုပ်ငန်းများကို "testing and commissioning" ပြုလုပ် သည်ဟု ခေါ်သည်။

ပထမဆုံး အဆင့်အနေဖြင့် တပ်ဆင်ထားသည့် chilled water plant တစ်ခုလုံးအား မှန်ကန်မှု ရှိ၊ မရှိ ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသည် အတိုင်း ဖြစ်မဖြစ် ၊ ထုတ်လုပ်နေသူများ၏ ညွှန်ကြားချက် အတိုင်း ဟုတ်မဟုတ် စသည့်တို့ကို စစ်ဆေးရန် လိုအပ်သည်။ Installation process ၊ ဒီဇိုင်းလိုအပ်ချက်(design requirement) နှင့်ကိုက်ညီမှု ရှိ၊ မရှိကို ပြန်လည် စစ်ဆေးသင့်သည်။ နောက်ဆုံးအကြိမ် ထပ်မံစစ်ဆေးခြင်း(final inspecting) ပြုလုပ်သင့်သည်။ Chiller များကို ပထမဆုံး အကြိမ် စတင်မောင်းခြင်း မပြုလုပ်ခင် chilled water pump ကို စတင် မောင်းရသည်။

အမှန်တကယ်ရရှိသည် chilled water flow သည် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် flow ထက် $\pm 5\%$ ခန့်သာ ကွာခြား စေရမည်။ Chilled water pump ကို အသင့် ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ရာတွင် အောက်ပါ အချက်များ ပါဝင်သင့်သည်။

- (၁) Check pump installation, including mountings, vibration isolators and connectors, and piping specialties (valves, strainer, pressure gauges, thermometers, etc.).
- (၂) Check pump shaft and coupling alignment.
- (၃) Lubricate pump shaft bearings as required by the manufacturer.
- (၄) Lubricate motor shaft bearings as required by the manufacturer.
- (၅) Turn shaft by hand to make sure the pump and motor turn freely.
- (၆) "Bump" the motor on and check for proper rotation direction.

၂၁.၄.၁ Chiller Pre-Commissioning Check Procedure

Pre-commissioning checks ဆိုသည်မှာ commissioning မပြုလုပ်ခင် လိုအပ်သောအရာများ ပြည့်စုံပြီး အသင့်ဖြစ်နေမှု ရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးခြင်း ဖြစ်သည်။

၂၁.၄.၂ Pre-Commissioning Checks

Chiller တစ်လုံးကို ပထမဆုံးအကြိမ် စတင်မောင်းခြင်းသည် အလွန်အရေးကြီးသည့် လုပ်ငန်းဖြစ်သည်။

Chiller တစ်လုံးကို ပထမဆုံးအကြိမ် စတင်မောင်းခြင်း မပြုလုပ်ခင် အောက်ပါ အချက်များကို စစ်ဆေးသင့်သည်။

- (A) Check the surroundings for safety before start of work
- (B) Inspect the unit for shipping or installation damage.
- (C) Chiller is properly installed and leveled
- (D) Vibration Isolators or Pads properly installed
- (E) Evaporator and Condenser water piping is complete
- (F) Water piping is supported properly and there is no strain on the water boxes
- (G) Strainers are clean and installed in both evaporator and condenser water circuits prior to water supply to chiller
- (H) Water connections arranged to match design specifications
- (I) Relief piping is complete and meets local building codes
- (J) Electrical wiring and Field control wiring modifications are complete per field wiring specifications

၂၁.၅ Chiller Testing and Commissioning

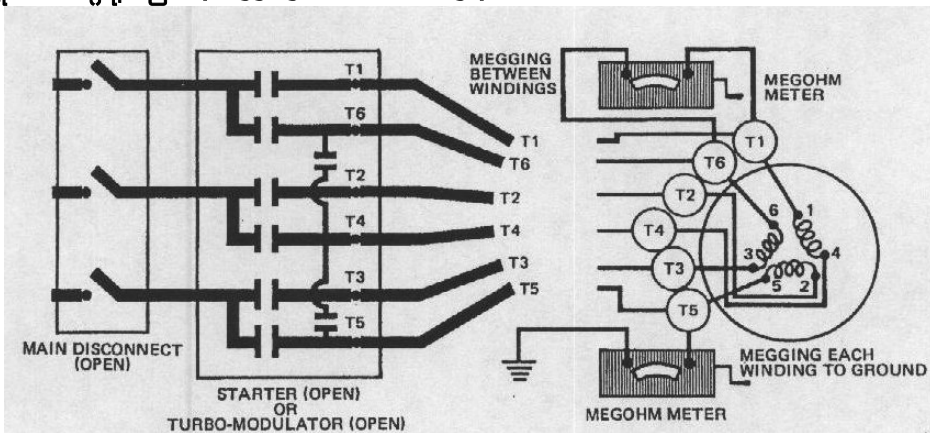
Chiller တစ်လုံးကို testing and commissioning ပြုလုပ်ရာတွင် အောက်ပါ အဆင့်များ ပါဝင်ရမည်။

- (A) Pressure Testing of the chiller to ensure chiller is leak-free
- (B) Vacuum Testing of the chiller to ensure the chiller is sufficiently dehydrated
- (C) Charging of compressor oil to correct level as per factory requirements
- (D) Charging of refrigerant to correct level as per factory requirements
- (E) Meggar testing of Chiller compressor motor
- (F) Checking of chiller control wirings and safety cut-out before power turn on
- (G) Power on the chiller to heat up the compressor oil for minimum 1 day before start up
- (H) Checking and configuration of chiller program settings
- (I) Start up chiller
- (J) Allow the compressor to run a short time, being ready to stop it immediately if any unusual noise or adverse conditions develop.
- (K) Check and record the operating parameters.

၂၁.၅.၁ Commissioning Procedure

- (A) Chiller Physical / Isolator Spring Check
- (B) Pressure Testing
- (C) System Dehydration
- (D) Refrigerant Charge
- (E) Motor Megger
- (F) Starter Sequence Check
- (G) Motor Rotation and Coupling Check
- (H) Safety Control Testing
- (I) Oil Charging / PRV Check
- (J) Water Flow Check
- (K) Test Run Chiller and Current Calibration

မော်တာကွိုင်အား မဂ္ဂရိုက်ခြင်း (Megging Motor Windings)



ပုံ ၂၁-၁၃ မော်တာကွိုင်အား မဂ္ဂရိုက်ခြင်း (meggering motor windings)

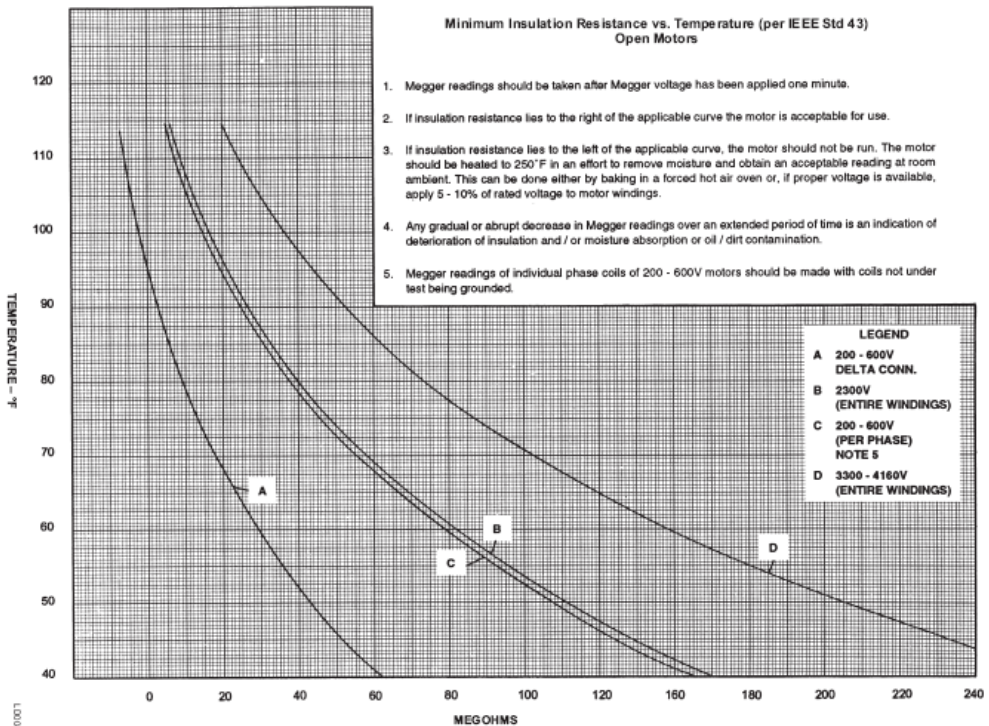
Megohm meter သို့မဟုတ် megger meter ကို အသုံးပြု၍ phases to phase နှင့် phase to ground resistance တန်ဖိုးများကို တိုင်းယူရမည်။ ရရှိသည့်တန်ဖိုး (reading) များကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည့် ဂရပ်ကို အသုံးပြု၍ အဓိပ္ပာယ် ပြန်ဆိုနိုင်သည်။

Insulation Vs Temperature

- (၁) Insulation resistance သည် ညာဘက်တွင်(right of curve) ရှိနေလျှင် မော်တာသည် လက်ခံနိုင်သည့် အဆင့် ဖြစ်သည်။
- (၂) Insulation resistance သည် ဘယ်ဘက်တွင်(left of curve) ရှိလျှင် မော်တာ ကို လက်ခံနိုင်သည့် အဆင့် (acceptable readings) သို့ရောက်သည်အထိ အပူပေးသင့်သည်။
- (၃) အချိန်အနည်းငယ် ကြာသည့်အခါ megger reading ကျဆင်းလာခြင်းသည် insulation ယိုယွင်းခြင်း (deterioration) သို့မဟုတ် ရေငွေ(moisture) ရှိနေခြင်း သို့မဟုတ် ချောဆီနှင့် အညစ်ကြေးများ(oil and dirt contamination) ရှိနေခြင်းဖြစ်သည်။

Starter Sequence Check

- (A) Check interfacing control between chiller and starter panel
- (B) Check contactors are in free action (Tapping @ 57% min)
- (C) Ensure safety interlocking and activate starter for free play
- (D) Apply power to starter and chiller control panel. Check voltage supply.
- (E) Check and set the contactor's transition timing at the motor starter panel
- (F) Record the voltage before and after the transition time



ပုံ ၂၁-၁၄ Minimum insulation resistance vs temperature graph

ချောဆီထည့်ခြင်း (Oil Charging)

Oil charging procedure

- (A) Immerse to suction connection of the oil pump in the new oil drum.
- (B) Connect the pump discharge connection to the oil charging valve.

- (C) Ensure air is removed from the oil pump. Pump the lines with oil and prevent air from being pumped into the system.
- (D) Manual run the oil pump and check the oil level.

Refrigeration Compressor ရော့ဆီအမျိုးအစားများ(Oil types)

York တံဆိပ် chiller များတွင် အသုံးပြုသည့် ရော့ဆီအမျိုးအစားများ(oil types)ကို ဥပမာအဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။

- For YK R-22 System York 'F' Oil
- For YK R-134a System York 'K' Oil
- For YT R-123 System York 'C' oil
- For YT R-11 System York 'C' Oil

PRV ကို စစ်ဆေးခြင်း(Checking)

- (A) Dismantle the linkage between the PRV and vane motor.
- (B) Manually push fully open and close back the PRV.
- (C) With PRV in fully close position, connect back the linkage.
- (D) Manually operate the PRV via the chiller control panel

Safety Control များကို စမ်းသပ်ခြင်း (Testing)

- (A) Low Water Temperature Cutout
- (B) High Pressure Cutout Switch
- (C) Low Oil Pressure
- (D) Flow Switch
- (E) Low Pressure Cutout
- (F) Motor Current
- (G) High Oil Temperature
- (H) High Discharge Temperature

၂၁.၆ Start Up Report

Chiller တစ်လုံးကို ပထမဆုံးအကြိမ် စတင်မောင်းနှင်ခြင်း(start up) ပြုလုပ်နေစဉ် သက်ဆိုင်သည့် အချက်အလက်များကို ရေးသား မှတ်တမ်းတင်ထားသည့် အစီရင်ခံစာ(report)ဖြစ်သည်။ Chiller များကို ထုတ်လုပ်သူများ (manufacturer)က သင်ကြားထားသည့် service technician များကသာ ပထမဆုံးအကြိမ် စတင်မောင်းနှင်ခြင်း(start up) ပြုလုပ်သင့်သည်။ စက်ရုံတွင် ပထမဆုံးအကြိမ် မောင်းနှင်ခြင်းကို "factory start-up" ဟုခေါ်သည်။ Start up report တွင် လိုအပ်သည့် အချက်အလက်အားလုံးကို မှတ်တမ်း တင်ထားရမည်။ Testing and commissioning လုပ်နေစဉ် အချိန်တွင် chiller ကို စစ်ဆေးရမည့် အချက်များ (checklist)ကို ဖော်ပြထားသည်။

Chiller တပ်ဆင်ပြီးနောက် စစ်ဆေးရမည့် အချက်များ (general installation checklist)

- (A) Test and balance completed (CHW and CDW flows within 25 to 10% of design)
- (B) Observe no visible water or oil leaks.
- (C) Observe no unusual noise or vibration.
- (D) Chilled water piping insulation in good condition.
- (E) Pressure gauges, thermometers installed and operable.
- (F) Confirm that O & M manuals are onsite.
- (G) Confirm that training provided for operating staff.

Functional performance နှင့် သက်ဆိုင်သည့် စစ်ဆေးရမည့် အချက်များ (checklist)

- (A) Confirm that the factory start-up and tests were completed and the chiller is ready to be placed into service.
- (B) Determine entering CHW temperature and compare to design.
- (C) Determine leaving CHW temperature is within 18F of setpoint.
- (D) Compute CHW range and compare to design.

လျှပ်စစ်ဖြင့်မောင်းသည့် (electric drive) chiller များအတွက်

- (A) Determine that the chiller FLA is within 5% of design.
- (B) Test volts, phase-to-phase.
- (C) Compute voltage imbalance and determine that the maximum of a-b-c-average/average is less than 2%.

Water cooled chiller များအတွက်

- (A) Confirm that the cooling tower has been commissioned (see Sec. 15.1)
- (B) Determine the entering CDW temperature and confirm that it is within 18F of setpoint.
- (C) Determine leaving CDW temperature and compare to design.
- (D) Determine CDW temperature range and compare to design.

Air cooled chiller များအတွက်

- (A) Determine ambient air temperature.
- (B) Determine chiller head pressure and compare to rated value.

Operations and Control

- (A) Confirm that chiller appears to meet load.
- (B) Confirm that chiller operates without alarm conditions or safety shutdowns.
- (C) Confirm that chiller start sequence operates properly.
- (D) Confirm that multi-chiller staging sequence operates properly.

၂၁.၇ Maintenance Requirements for Chillers (Regularly Scheduled Maintenance)

Periodic checks are specific tests that are performed annually (or more frequently) to evaluate some aspect of the chiller performance and include the following:

- (A) Leak testing (via the pressure method).
- (B) Purge operation (low pressure systems).
- (C) System dryness.
- (D) Lubricant level.
- (E) Lubricant filter pressure drop.

- (F) Refrigerant quantity or level.
- (G) Water flow rates. (Adjust the pumps to provide design flow and measuring the pressure drop across the evaporator and condenser. Compare these values to the manufacturer’s data to determine if internal scaling is occurring.)
- (H) Expansion valve operation (for reciprocating compressor systems).

၂၁.၇.၁ Recommended Chiller Monitoring Points

Table 21-3 recommended chiller-monitoring points as per ASHRAE Standard 147

Chilled Water (or other secondary coolant)	Flow	Condenser Water	Flow
	Inlet Pressure		Inlet Pressure
	Inlet Temperature		Inlet Temperature
	Outlet Pressure		Outlet Pressure
	Outlet Temperature		Outlet Temperature
Evaporator	Refrigerant Pressure	Condenser	Refrigerant Pressure
	Refrigerant Temp.		Refrigerant Temperature
Oil	Level	Refrigerant	Level
	Pressure		Compressor Discharge Temp.
	Temperature		Compressor Suction Temp.
	Vibration Levels		PPM Refrigerant Monitor Level
Purge	Exhaust Time	Logs	Date and Time Data
	Discharge Count		Signature of Reviewer
Ambient Temperatures	Dry Bulb	Ambient Temperatures	Amps Per Phase
	Wet Bulb		Volts Per Phase



ပုံ ၂၁-၁၅ Centrifugal chiller overhaul




ပုံ ၂၁-၁၆ Rotary screw chiller overhaul

၂၁.၇.၂ Periodic Maintenance Chiller Log

Periodic Maintenance Chiller Log			
Main Tab	Run Time		
	15 min	30 min	1 hr
Chiller Mode			
Evap Ent/Lvg Water Temp			
Cond Ent/Lvg Water Temp			
Active Chilled Water Setpoint (°F)			
Average Line Current (%RLA)			
Active Current Limit Setpoint (%RLA)			
Software Type			
Software Version			
Evaporator			
Evap Entering Water Temperature (°F)			
Evap Leaving Water Temperature (°F)			
Evap Sat Refrigerant Temp (°F)			
Evap Refrigerant Pressure (psia)			
Evap Approach Temp (°F)			
Evap Water Flow Switch Status			
Expansion Valve Position (%)			
Expansion Valve Position Steps			
Evap Rfgt Liquid Level (in)			
Condenser			
Cond Entering Water Temperature (°F)			
Cond Leaving Water Temperature (°F)			
Cond Sat Refrigerant Temp (°F)			
Cond Refrigerant Pressure (psia)			
Cond Approach Temp (°F)			
Cond Water Flow Switch Status			
Cond Head Pressure Ctrl Command (%)			
Compressor			
Compressor Starts			
Compressor Run Time			
System Refrigerant Diff Pressure (psid)			
Oil Pressure (psia)			
Compressor Refrigerant Discharge Temp (°F)			
Discharge Superheat (°F)			
% RLA L1 L2 L3 (%)			
Amps L1 L2 L3 (Amps)			
Volts AB BC CA			

၂၁.၇.၃ Maintenance Requirements for YK Chiller

YT chiller သည် R134a refrigerant ဖြင့်မောင်းသည့် centrifugal chiller အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။

 MAINTENANCE REQUIREMENTS FOR YORK YK CHILLERS		DAILY	WEEKLY	MONTHLY	YEARLY	OTHER
PROCEDURE						
Record operating conditions (on applicable Log Form)		X				
Check oil levels		X				
Check refrigerant levels			X			
Check oil return system operation				X		
Check operation of motor starter				X		
Check sump heater and thermostat operation				X		
Check three-phase voltage and current balance				X		
Verify proper operation/setting/calibration of safety controls ¹				X		
Verify condenser and evaporator water flows				X		
Leak check and repair leaks as needed ¹				X		
Check and tighten all electrical connections					X	
Megohm motor windings					X	
Replace oil filter and oil return filter/driers					X	
Clean or backflush heat exchanger (VSD, SSS Applications)					X	
Replace starter coolant (VSD, SSS Applications)					X	
Replace or clean starter air filters if applicable					X ²	
Perform oil analysis on compressor lube oil ¹					X	
Perform refrigeration analysis ¹					X	
Perform vibration analysis					X	
Clean tubes					X ²	
Perform Eddy current testing and inspect tubes						2 - 5 Years
Lubricate motor						Refer to motor manufacturer's recommendations

For operating and maintenance requirements listed above, refer to appropriate service literature, or contact your local YORK Service Office.


¹ This procedure must be performed at the specified time interval by an Industry Certified Technician who has been trained and qualified to work on this type of YORK equipment. A record of this procedure being successfully carried out must be maintained on file by the equipment owner should proof of adequate maintenance be required at a later date for warranty validation purposes.

² More frequent service may be required depending on local operating conditions.

Form 160.54-MR1 (801)

၂၁.၇.၄ Maintenance Requirements for YT Chiller

YT chiller သည် R123 refrigerant ဖြင့်မောင်းသည့် centrifugal chiller အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။

 MAINTENANCE RECOMMENDATIONS FOR YORK YT CHILLERS		DAILY	WEEKLY	MONTHLY	YEARLY	OTHER
PROCEDURE						
Record operating conditions (on applicable Log Form)		X				
Check oil levels		X				
Check refrigerant levels			X			
Check oil return system operation				X		
Check operation of motor starter				X		
Check operation of purge				X		
Check sump heater and thermostat operation				X		
Check three-phase voltage and current balance				X		
Verify proper operation/setting/calibration of safety controls ¹				X		
Verify condenser and evaporator water flows				X		
Leak check and repair leaks as needed ¹				X		
Check and tighten all electrical connections					X	
Megohm motor windings					X	
Replace oil filter and oil return filter/driers and purge strainers filter/driers					X	
Clean or backflush heat exchanger (VSD, SSS Applications)					X	
Replace starter coolant (VSD, SSS Applications)					X	
Replace or clean starter air filters if applicable					X ²	
Perform oil analysis on compressor lube oil ¹					X	
Perform refrigeration analysis ¹					X	
Perform vibration analysis					X	
Clean tubes					X ²	
Perform Eddy current testing and inspect tubes					X ²	2 - 5 years
Lubricate motor						Refer to motor manufacturer's recommendations

For operating and maintenance requirements listed above, refer to appropriate service literature, or contact your local YORK Service Office.


¹ This procedure must be performed at the specified time interval by an Industry Certified Technician who has been trained and qualified to work on this type of YORK equipment. A record of this procedure being successfully carried out must be maintained on file by the equipment owner should proof of adequate maintenance be required at a later date for warranty validation purposes.

² More frequent service may be required depending on local operating conditions

Form 160.55-MR1 (801)


၂၁.၇.၅ Maintenance Requirements for YR Chiller

YR chiller သည် rotary screw chiller အမျိုးအစားဖြစ်သည်။

 MAINTENANCE REQUIREMENTS FOR YORK YR CHILLERS		DAILY	WEEKLY	MONTHLY	YEARLY	OTHER
PROCEDURE						
Record operating conditions (on applicable Log Form)		X				
Check oil levels		X				
Check refrigerant levels			X			
Check oil return system operation				X		
Check operation of motor starter				X		
Check oil heater operation				X		
Check three-phase voltage and current balance				X		
Verify proper operation/setting/calibration of safety controls ¹				X		
Verify condenser and evaporator water flows				X		
Leak check and repair leaks as needed ¹				X		
Check and tighten all electrical connections				X		
Megohm motor windings					X	
Replace oil filter and oil return filter/driers					X	
Clean or backflush heat exchanger (SSS Applications)					X	
Replace coolant (After cleaning Hxer , SSS Applications)					X	
Replace or clean starter air filters if applicable					X ²	
Perform oil analysis on compressor lube oil ¹					X	
Perform refrigeration analysis ¹					X	
Perform vibration analysis					X	
Inspect all bearings					X	
Perform Eddy current testing and inspect tubes					X	every 40,000 hrs.
Clean tubes					X	
Lubricate motor					X ²	
Refer to motor manufacturer's recommendations						
For operating and maintenance requirements listed above, refer to appropriate service literature, or contact your local YORK Service Office.						
¹ This procedure must be performed at the specified time interval by an Industry Certified Technician who has been trained and qualified to work on this type of YORK equipment. A record of this procedure being successfully carried out must be maintained on file by the equipment owner should proof of adequate maintenance be required at a later date for warranty validation purposes.						
² More frequent service may be required depending upon local operating conditions.						
Form 160.81-MR1 (801)						

၂၁.၇.၆ Maintenance Requirements for YS Chiller

YS chiller သည် rotary screw chiller အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။

 MAINTENANCE REQUIREMENTS FOR YORK YS CHILLERS		DAILY	WEEKLY	MONTHLY	YEARLY	OTHER
PROCEDURE						
Record operating conditions (on applicable Log Form)		X				
Check oil levels		X				
Check refrigerant levels			X			
Check oil return system operation				X		
Check operation of motor starter				X		
Check oil heater operation				X		
Check three-phase voltage and current balance				X		
Verify proper operation/setting/calibration of safety controls ¹				X		
Verify condenser and evaporator water flows				X		
Leak check and repair leaks as needed ¹					X	
Check and tighten all electrical connections				X		
Megohm motor windings					X	
Replace oil filter and oil return filter/driers					X	
Clean or backflush heat exchanger (SSS Applications)					X	
Replace coolant (After cleaning Hxer - SSS Applications)					X	
Replace or clean starter air filters if applicable					X ²	
Perform oil analysis on compressor tube oil ¹					X	
Perform refrigeration analysis ¹					X	
Perform vibration analysis					X	
Inspect all bearings					X	every 40,000 hrs.
Clean tubes					X ²	
Perform Eddy current testing and inspect tubes						2 - 5 years
Lubricate motor						Refer to motor manufacturer's recommendations

For operating and maintenance requirements listed above, refer to appropriate service literature, or contact your local YORK Service Office.

¹ This procedure must be performed at the specified time interval by an Industry Certified Technician who has been trained and qualified to work on this type of YORK equipment. A record of this procedure being successfully carried out must be maintained on file by the equipment owner should proof of adequate maintenance be required at a later date for warranty validation purposes.

² More frequent service may be required depending on local operating conditions.

Form 160.80-MR1 (801)

၂၁.၇.၇ Maintenance Schedule

အောက်တွင် YT & YK Centrifugal Chiller အများအတွက် ထုတ်လုပ်သူက တိုက်တွန်းထားသည့် maintenance schedule ကို ဖော်ပြထားသည်။

Table 21-4 maintenance schedule

Maintenance	Hours of Operation									
	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000
Change Compressor Oil	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Change Oil Filter Elements	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Change Dehydrator Filter Driers	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Oil Analysis	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Condenser Tubes Cleaning	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Thrust Bearing and Proximity Sensor					X					X
Replacement of Shaft Seal					X					X
Revarnish of Motor Stator Windings & Bearings				X					X	
Pressure Test					X					X
Eddy Current Testing of Condenser Tubes					X					X
Inspection/Cleaning Cooler Tubes					X					X
Inspection/Overhaul of Compressor										X
Vibration Analysis	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

၂၁.၇.၈ Tube Cleaning



ပုံ ၂၁-၁၇ Tube cleaning



ပုံ ၂၁-၁၈ Tube cleaning

၂၁.၇.၉ Annual Shutdown

Scope of work for annual shutdown and condenser tube cleaning

- (၁) To dismantle and replace oil filter, filter driers and O ring.
- (၂) To drain out old compressor oil and recharge with new oil.
- (၃) To megger the compressor motor windings.

- (၄) To check and tighten control wires.
- (၅) To drain out water from condenser.
- (၆) To remove condenser water box cover (non piping end).
- (၇) To clean the tubes by using nylon brushes.
- (၈) To paint with anti rust paint at the internal surface of the water box.
- (၉) To replace water box gasket.
- (၁၀) To fix back the cover and fill in water.
- (၁၁) Re-commission the chiller.

၂၁.၈ Long Term Maintenance

- (၁) Heat exchanger tube များကို (၅)နှစ်လျှင် တစ်ကြိမ် Eddy current (electro-magnetic) testing ပြုလုပ်သင့်သည်။ Chiller သက်တမ်းကြာမြင့်ခဲ့လျှင် (၂)နှစ် သို့မဟုတ် (၃)နှစ်လျှင် တစ်ကြိမ် ပြုလုပ်သင့်သည်။ Tube များ ကွဲအက်နေခြင်း(crack)နှင့် tube အလွန်ပါးနေခြင်း (thinning)ကို သိနိုင်သည့် စမ်းသပ်ခြင်း(testing)များ ပြုလုပ်သင့်သည်။
- (၂) Compressor နှင့် rotating component များကို (၅)နှစ်လျှင် တစ်ကြိမ် စစ်ဆေးခြင်း(inspection) ပြုလုပ်သင့်သည်။ (၅)နှစ် တစ်ကြိမ် centrifugal compressor များမှ impeller သို့မဟုတ် screw compressor များမှ rotor များ၊ capacity control device များနှင့် linkage and bearing များကို ကြည့်ရှု စစ်ဆေးသင့်သည်။ ပြန်လည် တပ်ဆင်(reassemble) နေစဉ် seal များ နှင့် gasket များကို စစ်ဆေးရမည်။
- (၃) Component များကို chiller manufacturer များက တိုက်တွန်းထားသည့်အတိုင်း ပြုလုပ်ရမည်။ စစ်ဆေးရမည်။ လဲလှယ်ခြင်း ပြုလုပ်သင့်သည်။
- (၄) အင်ဂျင်ဖြင့်မောင်းသည့်(engine-drive) vapor compression cycle chiller များအတွက် ပြုလုပ်ရမည့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများသည် လျှပ်စစ်ဖြင့်မောင်းသည့်(electric-drive) chiller များနှင့် တူညီသည်။ အင်ဂျင်နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများကို ထုတ်လုပ်သူ ညွှန်ကြားချက် အတိုင်း ပြုလုပ်သင့်သည်။ အင်ဂျင် အမျိုးအစားနှင့် လောင်းစာဆီ အမျိုးအစား အပေါ်တွင် မူတည်၍ ဆောင်ရွက် ရမည့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ ကွဲပြားသည်။

၂၁.၉ Overhaul လုပ်ခြင်း

အောက်တွင် overhaul လုပ်ခြင်းနှင့် သက်ဆိုင်သည့် လုပ်ငန်း(scope of work)များကို ဖော်ပြထားသည်။

- (၁) To deliver transfer unit to site
- (၂) To transfer the refrigerant out from the chiller to the recovery unit.
- (၃) To isolate the chiller power supply.
- (၄) To disconnect Compressor Motor power cable
- (၅) To erect the hoisting framework and equipments.
- (၆) To hoist down the Compressor Motor from the chiller mounting and send to workshop for overhaul
- (၇) To hoist down the Compressor to plant room floor level
- (၈) To dismantle the Compressor for inspection, overhaul and replace the overhaul parts.
- (၉) To assemble back the Compressor and check all the tolerance base on spec.

- (၁၀) Installed the Compressor back on to the chiller after overhaul
- (၁၁) To deliver the Compressor Motor from workshop to site after Compressor Motor overhaul
- (၁၂) Install the Compressor Motor onto the chiller
- (၁၃) Re-connect the Compressor Motor cable
- (၁၄) To flush, clean the oil pump and oil line with nitrogen
- (၁၅) To flush the entire system with nitrogen
- (၁၆) To pressure test the chiller with nitrogen gas to 150 psig and perform leak check and hold the pressure for overnight to ensure system tightness.
- (၁၇) To vacuum the system to requirement standard
- (၁၈) To charge in refrigerant into the system.
- (၁၉) To replace the Compressor oils and all the filters
- (၂၀) To dismantle the Condenser and Cooler water box
- (၂၁) To perform Condenser and Cooler tubes cleaning
- (၂၂) To flush clean the Condenser and Cooler tubes with water
- (၂၃) To perform Eddy Current Test to determine the Condenser and Cooler tubes wall thickness
- (၂၄) To cover the Condenser and Cooler water box
- (၂၅) To turn 'ON' power supply to the chiller and heat up the compressor oil
- (၂၆) To re-commission the chiller.

၂၁.၁၀ Troubleshooting

၂၁.၁၀.၁ Detecting and Correcting Problems

Refrigeration and air-conditioning plant များ ရှိယွင်းခြင်း၊ ကောင်းစွာ အလုပ် မလုပ်ခြင်းတို့ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည့် ဇယား၌ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် symptom များနှင့် ဖြစ်နိုင်သည့် အကြောင်းများ (possible causes) နှင့် ပြုပြင်ရမည့် ကိစ္စများ (corrective measures) ကို ဖော်ပြထားသည်။ ပြဿနာ ရှာဖွေ ဖော်ထုတ်နည်း (troubleshooting) နှင့် စမ်းသပ်ရမည့် အဆင့် (test procedure) များကို ဖော်ပြထားသည်။

Table 21-5

Trouble	Possible Cause	Corrective Measure
High condensing pressure.	Inlet water warm.	Purge air from condenser
	Air on non-condensable gas in system.	Increase quantity of condensing water.
	Insufficient water flowing through condenser.	Increase quantity of water.
	Condenser tubes clogged or scaled.	Clean condenser water tubes.
	Too much liquid in receiver, condenser tubes submerged in liquid refrigerant.	Draw off liquid into service cylinder.
Low condensing pressure.	Too much water flowing through condenser.	Reduce quantity of water.

	Water too cold.	Reduce quantity of water.
	Liquid refrigerant flooding back from evaporator.	Change expansion valve adjustment, examine fastening of thermal bulb.
	Leaky discharge valve.	Remove head, examine valves. Replace any found defective.
Frosting or sweating of a liquid line.	Refrigerant line restriction.	Check for partially closed stop valve, or stuck solenoid valve.
	System low on refrigerant.	Check for leaks, add refrigerant.
High suction pressure.	Overfeeding of expansion valve.	Regulate expansion valve, check bulb attachment.
Compressor crankcase sweating	Leaky suction valve.	Remove head, examine valve and replace if worn.
Low suction pressure.	Restricted liquid line and expansion valve or suction screens.	Rump down, remove, examine and clean screens,
	Insufficient refrigerant in system.	Check for refrigerant storage.
	Too much oil circulating in system.	Check for too much oil in circulation. Remove oil.
	Improper adjustment of expansion valves	Adjust valve to give more flow.
	Expansion valve power element dead or weak	Replace expansion valve power element.
Compressor short cycles on low-pressure control.	Low refrigerant charge.	Locate and repair leaks. Charge refrigerant.
	Thermal expansion valve not feeding properly.	Adjust, repair or replace thermal expansion valve.
	a. Dirty strainers.	a. Clean strainers.
	b. Moisture frozen in orifice or orifice plugged with dirt.	b. Remove moisture or dirt (use system dehydrator).
	c. Power element dead or weak	c. Replace power element.
	Water flow through evaporators restricted or stopped. Evaporator coils plugged, dirty, or clogged with frost.	Remove restriction. Check water flow. Clean coils or tubes.
	Defective low-pressure control switch.	Repair or replace low-pressure control switch.
Compressor runs continuously.	Shortage of refrigerant.	Repair leak and recharge system.
	Leaking discharge valves.	Replace discharge valves.
Compressor short cycles on high-	Insufficient water flowing through condenser, clogged condenser.	Determine if water has been turned off. Check for scaled or fouled

pressure control switch.		condenser.
	Defective high-pressure control switch.	Repair or replace high-pressure control switch.
Compressor will not run.	Seized compressor.	Repair or replace compressor.
	Cut-in point of low-pressure control switch too high.	Set L. P. control switch to cut-in at correct pressure.
	High-pressure control switch does not cut-in.	Check discharge pressure and reset P. H. control switch.
	1 .Defective switch.	1. Repair or replace switch.
	2. Electric power cut off.	2. Check power supply.
	3. Service or disconnect switch open.	3.Close switches.
	4. Fuses blown.	4. Test fuses and renew if necessary.
	5. Over-load relays tripped.	5. Re-set relays and find cause of overload.
		6. Check voltage (should be within 10 percent of nameplate rating).
	6. Low voltage.	7. Repair or replace motor.
		8. Close switch manually to test power supply. If OK, check control circuit including temperature and pressure controls.
	7. Electrical motor in trouble.	9. Check oil level in crankcase. Check oil pump pressure.
	8. Trouble in starting switch or control circuit.	
9. Compressor motor stopped by oil pressure differential switch.		
Decreased capacity of the compressor.	High vapor superheat.	Adjust or replace expansion valve.
Sudden loss of oil from crankcase.	Liquid refrigerant slugging back to compressor crank case.	Adjust or replace expansion valve.
Capacity reduction system falls to unload cylinders.	Hand operating stem of capacity control valve not turned to automatic position.	Set hand operating stem to automatic position.
Compressor continues to operate at full or partial load.	Pressure regulating valve not opening.	Adjust or repair pressure regulating valve.

Capacity reduction system fails to load cylinders.	Broken or leaking oil tube between pump and power element.	Repair leak.
Low discharge pressure with high suction pressure.	Discharge relief valve leaking back to the suction side.	Replace relief valve.
Compressor continues to operate unloaded.	Pressure regulating valve not closing.	Adjust or repair pressure regulating valve.
Compressor oil brownish in color	Copper plating caused by moisture in the system.	Change filter drier, or dehydrator.
Compressor oil gray or metallic.	Compressor bearing wear or piston scoring.	Replace or overhaul compressor.
Compressor oil black	Carbonization resulting from air in the system.	Remove air from system.

၂၁.၆၆.၂ Trouble Diagnosis Chart

Table 21-6 trouble diagnosis chart

Trouble Diagnosis Chart		
Symptom	Conditioning may be cause by	Correction
High head pressure	1. Air or noncondensable gas in system	1. Purge air from condenser
	2. Inlet warm water	2. Increase quantity of condensing water
	3. Insufficient water flowing through condenser	3. Increase quantity of water
	4. Condenser clogged or scaled up	4. Clean condenser tubes
	5. Too much liquid in receiver, condenser tubes submerged in liquid refrigerant	5. Draw off liquid into service drum
Low head pressure	1. Too much water flowing through condenser	1. Reduce quantity of water
	2. Water too cold, unthrottled	2. Reduce quantity of water
	3. Loose thermal bulb	3. Check and tighten thermal bulb
	4. Leaky discharge valve	4. Remove head, examine valve diaphragm; replace if found defective
High Suction pressure	1. Overfeeding of expansion valve	1. Regulate expansion valve; check bulb attachment

	2. Leaky suction or discharge valve	2. Remove head, examine valve disks; replace if worn
	3. Hand bypass open or, if in use in place of expansion valve, open too much	3. Check hand bypass valve
Low suction pressure	1. Restricted liquid line and expansion valve or suction screens	1. Pump down, remove, examine, and clean screens
	2. Insufficient gas in system	2. Check for gas shortage
	3. Moisture in system, causing freezing of expansion valve	3. Wrap hot cloths around expansion valve and cycle through dehydrator
	4. Too much oil circulating in system	4. Check for too much oil in circulation; remove oil
	5. Improper adjustment of expansion valves	5. Adjust valves to give greater flow
	6. 1/4-inch or more frost on evaporator coils	6. Defrost
Compressor short cycles (on high-pressure cutout)	1. Insufficient water flowing through condenser, clogged condenser cutout	1. Determine if water has been secured; check for scaled or fouled condenser
	2. High-pressure cutout incorrectly set	2. Check setting of high-pressure cutout
	3. System overcharged with refrigerant	3. High-pressure cutout may be tripping as a result of insufficient condenser capacity because tubes are submerged
Compressor short cycles (on low-pressure cutout)	1. Coils in refrigerators clogged with frost	1. Defrost coils
	2. Liquid, suction, or expansion valve screens clogged	2. Pump down and clean screen
	3. Thermal bulb on expansion valve has lost charge	3. Detach thermal bulb from suction line and hold in palm of one hand with the other hand gripping the suction line; if flooding through is observed, bulb has not lost its charge; if no flooding through is noticed, replace expansion valve
Compressor runs continuously	1. Shortage of refrigerants	1. Test refrigerant; if short of liquid, add amount necessary; test for leaks
	2. Discharge valve leaks badly	2. Remove head of compressor, and repair or replace valves

Compressor noisy	1. Vibration because not bolted to foundation rigidly	1. Bolt down rigidly
	2. Too much oil in circulation, causing hydraulic knock	2. Check oil level
	3. Slugging due to flooding back of refrigerant	3. Expansion valve open too wide, close; thermal bulb incorrectly placed or loose, check
	4. Wear of parts such as piston pins, bearings, etc.	4. Determine location of cause; repair or replace compressor
	5. Flywheel loose	5. Check key, tighten flywheel nut
Compressor will not start	1. Overload tripped, fuses blown	1. Reset overload, replace fuses and examine for cause of condition
	2. Switch out	2. Throw in switch
	3. No charge of liquid in system operated by low-pressure control	3. With no liquid in system, there is insufficient pressure to throw in low-pressure control; recharge system with liquid; stop leaks
	4. Dirt or foreign matter on control points of either high- or low-pressure cutouts	4. Check and clean points
Head gasket leaks	1. Head bolts stretched, or washers crushed	1. Examine gaskets, replace if necessary; tighten head bolts; replace washers
Cylinders and crankcase sweating	1. Too much oil in circulation; too much refrigerant in circulation	1. Examine for conditions of refrigerant and oil charge; correct anything wrong
	2. Hand bypass valve open or, if in use in place of expansion valve, open too much	2. Check hand bypass valve

-End-

Chapter-22 Water Treatment

Condenser များ၊ chiller များ နှင့် ဘွိုင်လာ(boiler) များတွင် အသုံးပြုမည့် ရေများကို ဓာတုဗေဒနည်းဖြင့် ပြုပြင်စီမံ (chemical treatment)ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ရေထဲတွင် ပျော်ဝင်နေသည့် သတ္တုဓာတ်များ အနည်ကျပြီး heat transfer ဖြစ်ပေါ်မည့် မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ချေး(scale) ဖြစ်ပေါ်ကာ အပူစီးကူးမှု လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။ ရေထဲတွင် အက်စစ်ဓာတ် ပါဝင်မှု များလျှင် သတ္တုများကို ဓာတ်ပြုနိုင်သည်။ အရပ်စကားဖြင့် "အက်စစ်စားသည်" ဟုခေါ်သည်။ Biological growth ဖြစ်ပေါ်ခြင်းကြောင့်လည်း အပူစီးကူးမှု လျော့နည်းနိုင်သည်။ Cooling tower များ၏ အတွင်းပိုင်းသည် လေထု (atmosphere) နှင့် အမြဲထိတွေ့နေသောကြောင့် ပြဿနာများစွာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Cooling tower တွင်လည်ပတ်နေသည့် ရေထဲ၌ အလွယ်တကူ လျင်မြန်စွာ ပေါက်ပွားနိုင်သည့် ဗက်တီးရီးယားများ ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သည့် "Legionnaires' disease" သည် အန္တရာယ် အလွန်ကြီးမားသည်။

Chilled water system များသည် closed circuit ဖြစ်သောကြောင့် လေထု(atmosphere)နှင့် မထိတွေ့နိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် water treatment နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ပြဿနာ အနည်းငယ်သာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သော်လည်း လျစ်လျူ မရှုသင့်ပေ။ Air conditioning system များတွင် water treatment အစီအမံများ မဖြစ်နေ ပါဝင်ရမည်။

ကြီးမားသော အဆောက်အဦများတွင် centralized air conditioning system များကို တပ်ဆင် လေ့ရှိသည်။ Centralized air conditioning system များ၏ အရွယ်အစားသည် refrigeration ton (၃၀၀) မှ (၁၀၀၀) ကျော် ဝန်းကျင် ရှိသည်။ Centralized air conditioning system များတွင် air cooled chiller သို့မဟုတ် water cooled chiller များကို အသုံးပြုသည်။ ရေ(water)ကို heat transfer media အဖြစ် အသုံးပြုသည်။ AHU သို့မဟုတ် FCU နှင့် chiller evaporator အကြားတွင် လည်ပတ်နေသော ရေကို chilled water circuit/loop ဟုခေါ်သည်။

Cooling tower နှင့် chiller condenser အကြားတွင် လည်ပတ်နေသော ရေကို condenser water circuit/loop ဟုခေါ်သည်။ Chilled water loop သည် closed loop ဖြစ်ပြီး condenser water loop သည် open loop သည်။ Chilled water သည် ပိုက်အတွင်း၌သာရှိနေပြီး ပြင်ပလေနှင့် မထိတွေ့နိုင်သောကြောင့် closed loop ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ Condenser water သည် cooling tower ၌ ပြင်ပလေနှင့် ထိတွေ့သောကြောင့် open loop ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် open to atmosphere ဖြစ်သည်။ Closed loop ဖြစ်စေ၊ open loop ဖြစ်စေ ACMV system သို့မဟုတ် HVAC system များအတွင်း၌ လည်ပတ်နေသော ရေကို treatment လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

၂၂.၁ Closed Loop Chiller Water System

Closed loop chiller water system အတွင်း၌ရှိသော ရေများကို နှစ်ပေါင်းများစွာ ကြာသည့်တိုင်အောင် အသုံးပြုတတ်ကြသည်။ တစ်ခါတစ်ရံမှာသာ chilled water ကို ဖောက်ထုတ်ရန် သို့မဟုတ် blowdown လုပ်ရန် လိုအပ်သောကြောင့် မပြောပလောက်သော ပမာဏ အနည်းငယ်သာ ရေဆုံးရှုံးမှု(chiller water loss) ဖြစ်လေ့ ရှိသည်။

ဤကဲ့သို့ ဖောက်ထုတ်ခြင်းမရှိ၊ အသစ်လဲခြင်းမရှိဘဲ ကြာမြင့်စွာ အသုံးပြုသောကြောင့် closed loop chiller water system အတွင်း၌ အလွန်သေးငယ်သည့် အမှုန်(abrasive particles) များ ၊ အညစ်ကြေးများ ၊ အမှိုက် သရိုက်များ ရှိနိုင်သည်။ ထိုအရာသည် chiller များ၊ pump များ၊ AHU များ၊ FCU များ စသည့် equipment များ နှင့် piping system ကို အန္တရာယ်ပေးနိုင်သည်။ Equipment များကို ပျက်စီး(breakdown) စေသောကြောင့် လည်းကောင်း၊ ပြုပြင်ရန် လိုအပ်သောကြောင့် လည်းကောင်း၊ မျှော်လင့်မထားသော ရပ်နားရခြင်း(unscheduled shutdowns)များ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Heat transfer ဖြစ်သည့် မျက်နှာပြင်များတွင် အနည်ထိုင်ခြင်း၊ သံချေး နှင့် ကြေးချေးတက်ခြင်း တို့ကြောင့် heat transfer performance ညံ့ဖျင်းလာနိုင်သည်။ လိုသည်ထက် ပိုများသော စွမ်းအင်(energy)များကို အသုံးပြုရသောကြောင့် စွမ်းအင်ဖြုန်းတီးရာလည်း ရောက်သည်။

၂၂.၁.၁ Heat Transfer Coefficient vs. Fouling

Table 22-1 heat transfer coefficient vs. fouling

Scale thickness (Inches)	Overall heat transfer coefficient (BTU/ft ² /°F)	Loss in heat transfer (%)
0.000	92.77	0
0.012	63.10	31.98%
0.024	47.81	48.46%
0.036(0.91mm)	38.49	58.51%
0.048	32.20	62.00%
0.060	27.69	70.00%
0.0625 (1/16 inch)	26.89	71.00%

Chiller ၏ evaporator သို့မဟုတ် condenser အတွင်းရှိ copper tube များ၏ အတွင်းနံရံ၌ ကြေးချေး တက်ခြင်း သို့မဟုတ် အနည်ထိုင်ခြင်းကို "fouling" ဖြစ်သည်ဟု ပြောဆိုသည်။ အထက်ပါဇယားသည် ကြေးချေး တက်ခြင်း သို့မဟုတ် အနည်ထိုင်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်သော ချေး(scale) အထူနှင့် overall heat transfer coefficient (BTU/ft²/°F)၏ ဆက်သွယ်မှုကို ဖော်ပြထားသည်။

Scale အထူများလာလေ heat transfer coefficient နည်းလာလေ ဖြစ်ပြီး heat transfer loss ပိုများလာလေ ဖြစ်သည်။

Table 22-1 ၏ ပထမလိုင်းသည် chiller အသစ်၏ copper tube တွင် ကြေးချေးတက်ခြင်း သို့မဟုတ် အနည်ထိုင်ခြင်း မရှိသောကြောင့် 0.00 ဖြစ်သည်။ ထိုအခြေအနေတွင် overall heat transfer coefficient (BTU/ft²/°F)သည် 92.77 BTU/ft²/°F ဖြစ်သည်။ 92.77 BTU/ft²/°F ၏ အဓိပ္ပာယ်မှာ (၁)စတုရန်းပေ ပတ်လည် ရှိသော heat transfer ဧရိယာနေရာတွင် အပူချိန်(၁)ဒီဂရီ ကွာခြားမှုအတွက် heat transfer ဖြစ်နိုင်သော အပူပမာဏ မှာ 92.77 BTU ဖြစ်သည်။ အကယ်၍သာ scales thickness သည် 0.012 လက်မ ဖြစ်လျှင် heat transfer ဖြစ်မှု 31.98% လျော့နည်းသွားပြီး overall heat transfer coefficient သည် 63.10 BTU သာ ဖြစ်နိုင်တော့မည်။

Closed loop chiller water system အတွင်း၌ရှိသော ရေ၏အရည်အသွေး(water quality)ကို အောက်ပါ control limit အတိုင်း ထိန်းသိမ်းထားရန် လိုအပ်သည်။

Table 22-2 water quality control limit

	Conductivity (micro S)	pH	Turbidity (TFU)	Iron (PPM)
Control Limit	<2,500	8 to 11	<20	<3 ppm

Closed loop chiller water ၏ conductivity (micro S) သည် 2500 micro S ထက်နည်းရမည်။ Closed loop chiller water ၏ pH တန်ဖိုးသည် (၈)မှ(၁၁)အတွင်း ရှိရမည်။ pH ၏ တန်ဖိုးသည် ရေထဲတွင် အက်စစ်(acid)ဓာတ်ပါဝင်မှု၊ အယ်ကာလိုင်း(alkaline)ဓာတ်ပါဝင်မှုကို ဖော်ပြသည်။ Closed loop chiller water အတွက် သင့်လျော်သော pH တန်ဖိုးသည် (၈)မှ(၁၀)အတွင်း ဖြစ်သည်။ (၈)ထက်နည်းပြီး (၁၀)ထက်များပါက ဆက်လက် အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။

သန့်စင်သည့် ရေ(pure water) ၏ pH တန်ဖိုးသည် (၇) ဖြစ်သည်။ pH တန်ဖိုး (၇)ထက်နည်းလျှင် အက်စစ်ဓာတ်များသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် acidic ဖြစ်သည်။ pH တန်ဖိုး(၇)ထက် များလျှင် basic သို့မဟုတ် alkaline ဖြစ်သည်။ အယ်ကာလိုင်းဓာတ်များသည်။ Closed loop chiller water သည် အက်စစ်ဓာတ်များလွန်းလျှင် equipment အတွင်းရှိ သတ္တုများနှင့် ဓာတ်ပြုနိုင်သည်။ အက်စစ်ဓာတ်သည်ကို ဆိုလိုသည်။ အယ်ကာလိုင်းဓာတ် များလွန်းလျှင် equipment အတွင်းရှိ သတ္တုများ နှင့် ဓာတ်ပြုနိုင်သည်။

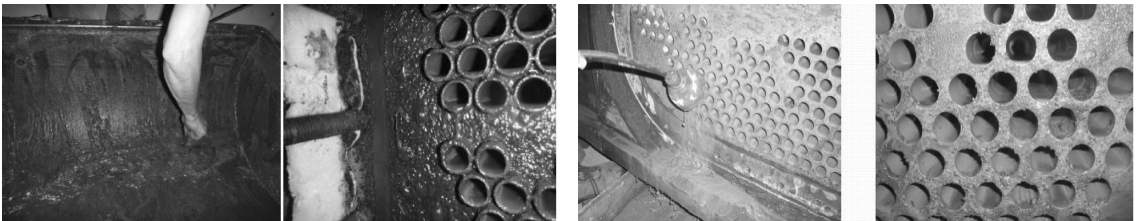


Closed loop chiller water ၏ ရေကြည်လင်မှု(turbidity)သည် 20 TFU ထက် နည်းရမည်။ ရေ၏ကြည်လင်မှု ရေကြည်လင်မှု(turbidity) တန်ဖိုး များလေ ရေသည် နောက်ကျိလေဖြစ်သည်။ TFU သည် ရေကြည်လင်မ (turbidity)၏ ယူနစ်ဖြစ်သည်။ အောက်ပါပုံသည် turbidity (FTU) တန်ဖိုး(၅)၊ (၅၀) နှင့် (၅၀၀) တို့ကိုပြထားသောပုံ ဖြစ်သည်။ Turbidity (FTU) တန်ဖိုး (၅) သည် အလွန်ကြည်လင်သောရေ ဖြစ်သည်။

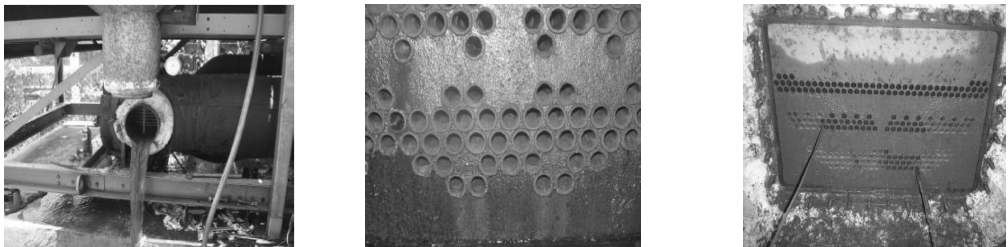
ပုံ ၂၂-၁ Turbidity(FTU)

Closed loop chiller water ၏ Iron(ppm) သံမှုန်များ ပါဝင်မှု မှာ 3 ppm ထက် နည်းရမည်။ သံမှုန် များသည် pipe များနှင့် စက်များမှ ပဲ့ကြွေလာသောသံမှုန်များ ဖြစ်သည်။

သံမှုန်ပါဝင်မှု များလေ Turbidity (FTU) များလေ ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရေ ကြည်လင်မှု ပိုနည်းလေ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂၂-၂ Tube များ ညစ်ပတ်နေပုံ



ပုံ ၂၂-၃ Tube cleaning ပြုလုပ်ပြီးပုံ

၂၂.၂ Open Loop Condenser Water System

Open loop condenser water ကို သင့်လျော်မှန်ကန်သော ထိန်းသိမ်းမှု မပြုလုပ်လျှင် မလိုလားအပ်သည့် ပြဿနာများစွာ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။ ဖြစ်လေ့ဖြစ်ထရှိသော ပြဿနာများမှာ ချေးဖြစ်ပေါ်ခြင်း(scale formation)၊ သံချေးတက်ခြင်း (corrosion)၊ နှင့် biological fouling တို့ ဖြစ်သည်။

၂၂.၂.၁ Scale Formation

ရေထဲတွင် ပါဝင်သည့် သတ္တုများ(mineral content)ကြောင့် ချေးဖြစ်ပေါ်(scale formation)သည်။ ရေထဲတွင် Calcium နှင့် Sodium သတ္တုဓာတ်များ ပါဝင်နေကြသည်။ ထိုသတ္တုဓာတ်များသည် ရေ၏ အပူချိန် ပြောင်းလဲခြင်း နှင့် ဓာတ်ပြုခြင်း တို့ကြောင့် scale formation ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထင်ရှားသော ဥပမာတစ်ခုမှာ ရေခဲခန်းအိုး အတွင်းဘက်တွင် ချေးကပ်နေခြင်းသည် scale formation ပင်ဖြစ်သည်။ လပေါင်းများစွာ ကြာလာသည့်အခါတွင် ထို အနည်ကျမှုများ(deposits) များသည် heat exchange မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် တဖြည်းဖြည်း ထူထပ်လာကာ ချေးအလွှာ တစ်ခုအဖြစ် တည်ရှိ လာသည်။ ချေးအလွှာ(scale formation)သည် chiller condenser ၏ copper tube အတွင်း နံရံများ၊ cooling tower ၏ basin များ၊ in fill များပေါ်တွင် ဖြစ်ပေါ်လာကာ cooling tower ၏ heat rejection performance ကို ညံ့ဖျင်း ဆိုးဝါးစေသည်။ ထို့ကြောင့် open loop condenser water system အတွက် water treatment system မရှိမဖြစ် လိုအပ်သည်။ Cooling tower water treatment system ဟုလည်း ခေါ်ဆိုကြသည်။

၂၂.၂.၂ Inside Corrosion

ရေထဲတွင် ပါဝင်သည့် ကယ်စီယမ်(Calcium) နှင့် ဆိုဒီယမ်(Sodium) စတင်ပျော်ဝင်(dissolve)ခြင်းကို သံချေးတက်ခြင်း(corrosion)ဟုခေါ်ဆိုနိုင်သည်။ Oxidation effect ကြောင့် ဖြစ်သည်။ Open system တွင် ရေနှင့် လေ တို့နှင့် အချိန်တိုင်း ထိတွေ့နေသောကြောင့် သံချေးတက်ခြင်း(corrosion) ပိုဖြစ်နိုင်သည်။ သံချေးတက်ခြင်း (corrosion)ကြောင့် system တစ်ခုလုံးသည် ပို၍ လျှင်မြန်စွာ ပျက်စီး ယိုယွင်းလာသည်။ Corrosion ဖြစ်မှုကို ကာကွယ်ရန် water treatment လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

၂၂.၂.၃ Fouling

Heat exchanger များရှိ အပူစီးကူးမှု(heat transfer)ဖြစ်ပေါ်သည့် ဧရိယာ၏ မျက်နှာပြင်ပေါ်၌ ရေညှိ၊ ချွေညှိများ ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။ Scale accumulation ဖြစ်သည်ဟု ပြောလေ့ရှိသည်။ ထိုကဲ့သို့ ဖြစ်ခြင်းကြောင့် heat exchanger ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကျဆင်းသွားသည်။ ထို့ကြောင့် heat exchanger အရွယ်အစား ရွေးချယ်စဉ်က ထိုအချက်ကို ထည့်သွင်းစဉ်းစားကာ အနည်းငယ်မျှ အပိုဆောင်းပေးထားရန် လိုအပ်သည်။ Fouling allowance ဟု ခေါ်သည်။ Fouling allowance ထားရှိရမည့် ပမာဏကို အပူစီးကူးမည့်(heat transfer)မျက်နှာပြင်ဧရိယာ၏ ရာခိုင်နှုန်းဖြင့် သတ်မှတ် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။

Fluid များထဲတွင် ခဲ(small stone)၊ သဲ(sand) စသည့် suspended solid များ ပါဝင်နေလေ့ရှိသည်။ Shell and tube exchange များသည် သေးငယ်သည့် suspended solid များကို လက်ခံနိုင်သော်လည်း plate heat exchanger များရှိ flow channel များမှာ အလွန်ကျဉ်းမြောင်းသောကြောင့် suspended solid များကို လက်ခံနိုင် စွမ်း မရှိပေ။ သို့သော် plate heat exchanger များ၌ fluid velocity အလွန်များသောကြောင့် turbulence flow ဖြစ်ပေါ်ကာ fouling ဖြစ်နိုင်ခြေ နည်းသည်။

Shell and tube exchange များ၌ tube length ကို ရှည်ပေးသဖြင့် အပူစီးကူးမည့်မျက်နှာပြင်(heat transfer surface)ဧရိယာ ပိုများနိုင်သည်။ Tube ကို ရှည်အောင်ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် fluid velocity မပြောင်းလဲပေ။ သို့သော် plate heat exchanger များ၌ flow channel များ၏ အရေအတွက် အပေါ်မူတည်၍ flow velocity ကွဲပြားသည်။ Plate အရေအတွက်များလေ၊ flow channel များလေဖြစ်ပြီး၊ fluid velocity နည်းလေ ဖြစ်သည်။ Velocity နည်းသွားသောကြောင့် plate heat exchange ၏ performance လည်း ကျဆင်းသွားလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် plate များ ထပ်ထည့်ရန် လိုအပ်ပြန်သည်။

၂၂.၂.၄ Biological Fouling

အချိန်တိုင်း cooling tower အားလုံး သို့မဟုတ် chiller အားလုံးသည် လည်ပတ်မောင်းနှင် နေကြသည် မဟုတ်ပေ။ cooling tower တချို့နှင့် chiller တချို့တို့သည် မောင်းရန် မလိုအပ်သောကြောင့် သော်လည်းကောင်း၊ နားရန် လိုအပ်သောကြောင့် သော်လည်းကောင်း၊ ရပ်ထားရသည့် အချိန်များ ရှိကြသည်။ ထိုသို့ ရပ်ထားချိန်များတွင် condenser water လည်ပတ်မှုသည်လည်း ရပ်တန့်နေသည်။ ထိုသို့ စီးဆင်းခြင်းမရှိသည့် ရေ(stagnant water)ထဲ၌ ဘက်တီးရီးယား(bacteria) ၊ fungus ၊ algae နှင့် protozoa တို့ကို ပေါက်ပွားစေနိုင်သည်။

ရေတွင်ရှိသော ဇီဝပိုးမွှား(microorganisms) များကြောင့် အပူစီးကူးမည့်မျက်နှာပြင်(heat transfer surface)ပေါ်တွင် ဘိုင်အိုလော့ဂျီကယ်အလွှာ(biological film) တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ ထိုအလွှာ ဖြစ်ပေါ်လာပါက တိုက်ချွတ်ရန် အလွန် ခက်ခဲသည်။ ယင်းကို “biological fouling” ဟုလည်းခေါ်သည်။ Biological fouling သည် cooling tower system တွင် ဖြေရှင်းရန် အခက်ခဲဆုံးနှင့် အဆိုးဆုံး ပြဿနာဖြစ်သည်။ Biological fouling ကြောင့် heat transfer နည်းခြင်း ၊ in-fill များ ကောင်းစွာ အလုပ်မလုပ်တော့ခြင်း ၊ ရေပိတ်ဆို့မှုများ ဖြစ်ပေါ်ခြင်း၊ သံချေးကြေး ချေးတက်ခြင်း နှင့် မိုက်ခရို ဩဂဲနီယမ်များ(microorganisms) ပေါက်ပွားလာခြင်းတို့ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။ အနီးရှိ လူများ၊ ထိန်းသိမ်းရေး ပြုလုပ်သူများ၏ ကျန်းမာရေးကိုလည်း ထိခိုက်စေနိုင်သည်။ ထိုသို့ biological fouling ဖြစ်မှုကို ကာကွယ်ရန် water treatment လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Water treatment system တစ်ခုတွင် microbiological controls ၊ corrosion rate controls နှင့် water quality parameter control တို့ ပါဝင်ရမည်။

၂၂.၂.၅ Microbiological Controls

Microbiological control သည် လူကို အန္တရာယ်ပြုနိုင်သော ပိုးမွှားများနှင့် ဘက်တီးရီးယား ဖြစ်ပေါ်မှုကို ထိန်းချုပ်ရန်အတွက် ညွှန်ကြားချက်(guide line)များ ချမှတ်ပေးထားသည်။ ထို ညွှန်ကြားချက်(guide line) များသည် ရေထဲတွင် ပိုးမွှားများ နှင့် ဘက်တီးရီးယားများ မည့်သည့်မျှ ပါဝင်နေသည်၊ မည့်သည့်စမ်းသပ်နည်း(testing method) ဖြင့် စစ်ဆေးရန် လိုအပ်သည်ကို ဖော်ပြပေးထားသည်။

Table 22-3 microbiological control limit and test frequency

	Microbiological Analysis	Frequency	Control Criteria
1	Standard Plate Count(SPC)	Monthly	< 100 ၊000 CFU/mL
2	Legionalla Pneumophilla	Once every 3 months	Negative detection
3	Sulfate Reducing Bacteria	Once every 6 months	Negative detection
4	Denitrifying Bacteria	Once every 6 months	Negative detection
5	Pseudomonas	Once every 6 months	< 500 CFU/mL

အထက်ပါစမ်းသပ်မှုများကို နိုင်ငံတကာကလက်ခံသည့် စံနှစ်များ(international standards) ဖြင့် စစ်ဆေးပေးရမည်။

Standard Plate Count(SPC) ဆိုသည်မှာ သတ်မှတ်ထားသော ရေပမာဏ အတွင်း၌ ရှိနေသော bacteria အကောင်စု CFU (colony-forming units) ကလေးများ၏ အရေအတွက် ဖြစ်သည်။(The total number of bacteria in a specified amount of water.)

လက်ခံနိုင်သည့်အဆင့်မှာ condenser water ရေပမာဏ 1mL ထဲတွင် ဗက်တီးရီးယား(bacteria) အကောင်ရေ CFU 100,000 မကျော်ရန် ဖြစ်သည်။ Legionella Pneumophila ဆိုသည်မှာ legionellosis သို့မဟုတ် Legionnaires' disease ရောဂါကို ဖြစ်စေသော Legionella Pneumophila bacteria ကိုဆိုလိုသည်။ ထို ဘက်တီးရီးယား ရှိ၊ မရှိကို စစ်ဆေးရန် လိုအပ်သည်။

Sulfate reducing bacteria များရှိ၊ မရှိသိနိုင်ရန် condenser water ကို ဓာတ်ခွဲခန်းသို့ ပေးပို့ စမ်းသပ်ရမည်။ လက်ခံနိုင်သည့်အဆင့်မှာ condenser water ရေပမာဏ တစ်မီလီလီတာ(1 mL)အတွက် Pseudomonas Bacteria အကောင်ရေ CFU 500 မကျော်ရန် ဖြစ်သည်။

၂၂.၂.၆ Corrosion Rate Controls

Table 22-4 corrosion rate controls

	Corrosion Rate Analysis	Test Method	Control Criteria
1	Mild Steel		< 1 mpy
2	Copper		< 0.1 mpy

သံချေးတက်မှု သို့မဟုတ် သံချေးစားမှုနှုန်းကို ထိန်းသိမ်းရန် ဖြစ်သည်။ ACMV system တွင် အသုံးပြုသော ပိုက်များမှာ galvanized iron ၊ mild steel ၊ carbon steel နှင့် black steel တို့ ဖြစ်သည်။ သံချေးစားနှုန်း(corrosion rate) ၏ unit မှာ mpy ဖြစ်သည်။

၂၂.၂.၇ Water Quality Parameter Controls

Table 22-5 water quality controls parameter

	Water Quality Analysis	Test Method	Control Criteria
1	pH Value	Field Test Kit & Laboratory method APHA 3120B	Between 7 to 8.8
2	Total Dissolved Solid	Field Test Kit & Laboratory method APHA 3120B	< 3000 ppm
3	Iron (Fe)	Field Test Kit & Laboratory method APHA 3120B	< 1.00 mg/L
4	Copper (Cu)	Laboratory method APHA 3120B	<0.50 mg/L
5	Zinc (Zn)	Laboratory method APHA 3120B	<2 mg/L
6	Chloride	Laboratory method APHA 3120B	< 500 ppm Cl
7	Total Hardness	Laboratory method APHA 3120B	<800 ppm

Condenser water ၏ သင့်လျော်သော pH Value မှာ (၇) မှ (၈.၈) အတွင်း ဖြစ်သည်။ Condenser water ၏ pH value (၇)ထက် နည်းခြင်းသည် condenser water တွင် အက်စစ်ဓာတ်များခြင်းဖြစ်သည်။ (၈.၈)ထက် များခြင်းသည် အယ်ကာလိုင်းဓာတ်များခြင်း ဖြစ်သည်။ အက်စစ်ဓာတ်များသည့် သို့မဟုတ် အယ်ကာလိုင်းဓာတ် များသည့် condenser water သည် ပိုက်များ နှင့် စက်ပစ္စည်းများကို ဓာတု(chemical) နည်းဖြင့် ဓာတ်ပြုနိုင်သည်။ ကြေးများ၊ သံများကို စားပစ်နိုင်သည်။

Condenser water အတွင်း၌ Total Dissolved Solid(TDS) များသည် 3000 ppm ထက် ပိုမများစေရ။ Total Dissolved Solid(TDS)သည် condenser water အတွင်း၌ ပျော်ဝင်နေသည့် အစိုင်အခဲများ ဖြစ်သည်။ PPM ဆိုသည်မှာ part per million ဖြစ်သည်။ Condenser water အလေးချိန် ကီလိုဂရမ် တစ်သန်းတွင် Total Dissolved Solid (TDS) အလေးချိန် ကီလိုဂရမ် (၃၀၀၀) ထက် ပိုမများစေရ။

Condenser water အတွင်းတွင် ပိုက်များ၊ စက်များမှ တိုက်စားမှုကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော သံမှုန့်၊ သံစများ ရှိသည်။ သံမှုန့်၊ သံစများ [Iron(Fe)] ကို လစဉ်တိုင်းတာရန် လိုအပ်သည်။ Condenser water တစ်လီတာ ထဲတွင် သံမှုန့်၊ သံစများ [Iron(Fe)] ၏ အလေးချိန် 1.00 mg မကျော်ရန်ဖြစ်သည်။ Condenser water ထဲတွင် ပိုက်များ၊ စက်များမှ တိုက်စားမှုကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော ကြေးမှုန့်၊ ကြေးစများရှိသည်။ ကြေးမှုန့်၊ ကြေးစများ [Copper(Cu)]ကို လစဉ်တိုင်းတာရန် လိုအပ်သည်။ Condenser water တစ်လီတာ အတွင်းတွင် ကြေးမှုန့်၊ ကြေးစများ[Copper(Cu)] ၏ အလေးချိန် 0.50 mg မကျော်ရန် ဖြစ်သည်။

Condenser water အတွင်း၌ ပိုက်များ စက်များမှ တိုက်စားမှုကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော သွတ်မှုန့် သွတ်စများ ရှိသည်။ သွတ်မှုန့်၊ သွတ်စများ Zinc(Zn) ကို လစဉ်တိုင်းတာရန် လိုအပ်သည်။ Condenser water တစ်လီတာ ထဲတွင် သွတ်မှုန့်၊ သွတ်စများ Zinc(Zn) ၏ အလေးချိန် 2.00 mg မကျော်ရန် ဖြစ်သည်။ အောက်ပါ ဇယားသည် စင်ကာပူနိုင်ငံမှ ရှော့ပင်းစင်တာ(shopping center)တစ်ခု၏ cooling tower များတွင် လည်ပတ်နေသော condenser water ကို ဓာတ်ခွဲခန်းသို့ ပို့၍ စမ်းသပ်မှုမှ ရရှိလာသော ရလဒ်(result) များဖြစ်သည်။ Water treatment company သည် condenser water နှင့် chiller water ၏ အရည်အသွေး(quality)များကို သတ်မှတ် ထားသော တန်ဖိုးများ အတွင်း၌ ရှိနေအောင်လုပ်ရန် တာဝန်ရှိသည်။ လစဉ် certified လုပ်ထားသော ဓာတ်ခွဲခန်းသို့ပို့၍ စမ်းသပ်မှု(test) လုပ်ကာ ရလဒ်(result) များကို အဆောက်အဦ ပိုင်ရှင်ထံသို့ တင်ပြရသည်။

2. WATER ANALYSES (PPM)									
SAMPLE	M - Alk	Chloride	CaH	Conductivity (uS/cm)	pH	PO4	Tfe	Cu	NO2
CT 1 (Main Bldg)	81.3	208	260	1138	8.7	8.29	0.24	0.06	-
CT 2 (Main Bldg)	53.9	192	240	517	8.4	7.8	0.22	0.01	-
CT 3 (Main Bldg)	73.6	262	221	1430	8.8	8.45	<0.51	0.1	-
CT 4 (Main Bldg)	53.4	213	224	166	8.3	6.9	0.27	0.05	-
Chiller (Main Bldg)	-	-	-	2100	10.3	-	<0.52	0.1	610
3. RECOMMENDED READINGS									
CTS	<300	<500	<800	<1500	7 - 9	8-14	<2	<1	-
Chiller	-	-	-	<4000	8 - 11	-	<2	<1	>600

၂၂.၂.၈ ကုန်ကျစရိတ်(Cost)

Approch temperature နိမ့်သည့် လုပ်ငန်း(application)များအတွက် plate heat exchanger များသည် ဈေး သက်သာသည်။ Plate heat exchanger ကို သုံးလျှင် အစဦးကုန်ကျစရိတ်(initial cost) နည်းသည်။ Approach temperature ကျယ်လျှင် သို့မဟုတ် များလျှင် shell and tube heat exchanger ကို သုံးရန် သင့်လျော်သည်။ Stainless steel ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Application များအတွက် ကုန်ကျစရိတ် ပိုသက်သာ စေနိုင် သည်။

၂၂.၃ Water Treatment for Chilled Water

Chilled water system များကို“closed recirculating water” system များဟု သတ်မှတ် လေ့ရှိသည်။ Closed system များတွင် ရရှိနိုင်သည့် အကျိုးကျေးဇူး(advantage)များမှာ

- (၁) Closed system များတွင် ရေယိုစိမ့်ခြင်း(leakage) နှင့် တစ်ခါတစ်ရံ ရေဖောက်ထုတ်ခြင်း တို့ကြောင့် ရေဆုံးရှုံးမှု အနည်းငယ်သာ ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် ရေထပ်ဖြည့်ရန် make-up water လိုအပ်ပေ။ ရေမာဏ များစွာ ပြန်ဖြည့်ရန် မလိုအပ်သောကြောင့် အနယ်ကျခြင်း မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။
- (၂) Closed system အတွင်းသို့ ရေများဖြည့်ပြီး ပိတ်မိနေသည့်လေ(entrained air) လေများကို ချူထုတ်ပြီးနောက် closed system အတွင်း၌ anaerobic environment ဖြစ်နေသောကြောင့် biological fouling ပြဿနာ မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။
- (၃) Closed system များတွင် သံချေး၊ ကြေးချေးတက်ခြင်း ပြဿနာ(corrosion problem) နည်းသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ရေများသည် လေထဲရှိ အောက်စီဂျင်နှင့် အမြဲတမ်းထိတွေ့နေရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ အပူချိန် နိမ့်သောကြောင့်လည်း corrosion ဖြစ်နိုင်ခြေ နည်းပါသည်။

Closed system များတွင် corrosion ဖြစ်ပေါ်စေသည့် အကြောင်းများမှာ oxygen pitting ၊ galvanic action နှင့် crevice attack တို့ဖြစ်သည်။ Corrosion ဖြစ်ခြင်းကို ကာကွယ်ရန်အတွက် "shot feed" method ဟု ခေါ်သည့် chemical treatment တစ်မျိုးကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

Closed system ၌ ရေဖြည့်ပြီးနောက် ဓာတုပစ္စည်းများ(chemicals) တစ်ကြိမ်ထည့်ထားရုံဖြင့် အဆင်ပြေနိုင်သည်။ Chilled water system အများစုတွင် ကြေး၊ သံ၊ စတီး စသည့် သတ္တုပစ္စည်းများကို ရောနှော၍ အသုံးပြုသောကြောင့် molybdate corrosion inhibitor သည် အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။ 200-300 ppm molybdate သည် သတ်မှတ်ထားသည့် treatment limits ဖြစ်သည်။

၂.၄ Chemical Treatment and Cleaning

Cooling tower များကို ရတုတစ်ထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Cooling tower များကြောင့် ကပ်ဘေးဆိုးများ[outbreak of legionellosis (Legionnaires' disease)]ကျရောက်နိုင်သည်။ Cooling tower များသည် လေထဲတွင် ပါရှိနေသည့် အမှုန်များကို ဖယ်ရှားပေးနိုင်သည်။ 200 ton cooling tower ကို နာရီပေါင်း (၁၀၀)မောင်းလျှင် လေထဲတွင် ပါရှိနေသည့် အမှုန် အလေးချိန် ပေါင် (၆၀၀)ခန့်ကို ဖယ်ရှားပေးနိုင်သည်။ လေထုနှင့် အမြဲ ထိတွေ့နေသောကြောင့် သံချေးတက်ခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ ရေငွေ့ပျံခြင်းကြောင့် ကျန်နေသည့်ရေထဲတွင် calcium carbonate များ တစ်စထက်တစ်စ ပိုများလာလိမ့်မည်။ ရေစေးဖြစ်သည်ဟု ပြောလေ့ရှိသည်။ Condenser tube များပေါ်တွင် အနည်ထိုင်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် အပူစီးကူးခြင်း ညံ့ဖျင်းစေနိုင်သည်။

Cooling tower များကို စနစ်တကျ သန့်ရှင်းရေးပြုလုပ်သင့်သည်။ ပုံမှန် စစ်ဆေးမှုများပြုလုပ်ပေးသင့်သည်။ Cooling tower များအတွက် water treatment system တပ်ဆင်ထားသင့်သည်။

(၁) Blowdown

Water treatment program များ၌ ရှိသင့်ရှိထိုက်သော Cycle of Concentration(COC) ကို သတ်မှတ်လေ့ရှိသည်။ Concentration မြင့်သည့် condenser water များကို ဖောက်ထုတ်ပြီး ရေအသစ်ကို ထပ်ဖြည့်ခြင်းဖြင့် ပုံမှန် ရှိသင့်ရှိထိုက်သော concentration level သို့ရောက်အောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ထိုသို့ ဖောက်ထုတ်ခြင်း ကို "bleed off" သို့မဟုတ်"blowdown" လုပ်သည်ဟု ခေါ်သည်။ ဖောက်ထုတ်သည့် ရေကို "bleed off water" ဟုခေါ်သည်။

ပျော်ဝင်နေသည့် ဓာတ်သတ္တုများ ပါဝင်မှုများခြင်း(high concentration)ကို ရေစေးခြင်း (hardness) ဖြစ်သည် ဟုလည်း ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ ရေစေးခြင်း(hardness)ကို တိုင်းသည့် ယူနစ်(unit) သည် ppm ဖြစ်သည်။

Cycle of concentration ဆိုသည်မှာ condenser water အတွင်း၌ ပျော်ဝင်နေသည့် အရောဝတ္ထုများ (dissolved solid) များ၏ ပမာဏကို ပြန်ဖြည့်ရန်ရေ(make up water)၏ ပမာဏနှင့် စားထားခြင်း ဖြစ်သည်။

$$Cycle\ of\ concentration = \frac{The\ amount\ of\ dissolved\ solids\ in\ the\ condenser\ water}{The\ amount\ of\ make\ up\ water}$$

Blown down လုပ်ရန် လိုအပ်သော ပမာဏမှာ

$$Blown\ Down = \frac{Evaporation\ Rate}{Cycle - 1}$$

BD = Blown down flow

Cycles = cycle of concentration

Cycle of concentration သည် အများအားဖြင့် (၅) မှ (၁၀) အတွင်း ဖြစ်သည်။ Blowdown rate သည် total flow rate ၏ 0.5 မှ 1.0% အတွင်း ဖြစ်သည်။

(၂) Scale Prevention

pH (acid levels) ကို လက်ခံနိုင်သည့် အဆင့်တွင် ထိန်းထားရန် အလွန် အရေးကြီးသည်။ pH (acid levels) ကို ထိန်းရန်အတွက် acids ၊ inorganic phosphates စသည်တို့ကို အသုံးပြုသည်။

(၃) Corrosion Control

အောက်စီဂျင်၊ carbon dioxide (carbonic acid)၊ low pH ၊ high dissolved solid တို့ကြောင့် သံချေးတက်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် blowdown ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် သံချေးတက်ခြင်းကို လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Blowdown လုပ်ခြင်းသည် အသင့်လျော်ဆုံးသောနည်း ဖြစ်သည်။

(၄) Biological growth

Slime နှင့် ရေညှိ(algae)များ မတက်အောင် ကလိုရင်း(chlorine) သို့မဟုတ် ကလိုရင်းကွန်ပေါင်း(chlorine compound)များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ မျိုးမတူသည့် ကွန်ပေါင်းနှစ်မျိုးကို အသုံးပြု၍ organism ဖြစ်ပေါ်ခြင်းကို တားဆီးနိုင်သည်။

(၅) Foam and Scum

Organic material များ အလွန်အမင်းရှိနေခြင်းကြောင့် အမြှုတ်(foam)များ ဖြစ်ပေါ်သည်။ ပုံမှန် သန့်ရှင်းရေး ပြုလုပ်ခြင်းသည် အကောင်းဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။

Cooling tower များအတွက် treatment လုပ်သည့် နည်းပညာသစ်များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Cooling water အတွင်းသို့ ozone (O₃) ထည့်ပေးနိုင်သည်။

Ozone သည် ပြင်းအားကောင်းသည့် oxidizer ဖြစ်သည်။ သင့်လျော်သည့်ပမာဏကို စနစ်တကျ အသုံးပြုခြင်းကြောင့် biological growth ဖြစ်ခြင်းကို လျော့ချနိုင်သည်။ Ozone များ ကြွင်းကျန်ရစ်ပါက ပိုက်များ၊ သံထည်ပစ္စည်းများ အလွယ်တကူ သံချေးတက်နိုင်သည့် အန္တရာယ် ကျရောက်နိုင်သည်။ ဓာတုပစ္စည်းများ မပါဝင်သည့် (non-chemical) treatment ကိုလည်းအသုံးပြုနိုင်သည်။ Non-chemical treatment သည် လျှပ်စစ်သံလိုက်ဓာတ် (electromagnetism)ကို အသုံးပြု၍ dissolved solid များကို ဖယ်ရှားခြင်းနှင့် biological growth မဖြစ်ပေါ်အောင် တားဆီး ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

၂၂.၅ Makeup Water

Cooling tower မှ ရေဆုံးရှုံးမှု(water loss)ဖြစ်ပေါ်ရသည့် အကြောင်းများမှာ

- (၁) Evaporation loss
- (၂) Drift loss နှင့်
- (၃) Blown down loss သို့မဟုတ် bleed off loss တို့ကြောင့် ဖြစ်သည်။

ထိုအချက် သုံးချက်လုံးကို သေချာစွာ တွက်ချက်နိုင်မှသာ make up water system ကိုသေချာစွာ ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်နိုင်မည် ဖြစ်သည်။

Condenser water system သည် open system ဖြစ်သောကြောင့် condenser water များ ရေငွေ့ပျံခြင်း (evaporation)ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် ပြန်ဖြည့်ရန်ရေ(makeup water)လိုအပ်သည်။ Chiller efficiency သည် condenser water အရည်အသွေးပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Chemical သို့မဟုတ် non chemical water treatment ကို သုံးခြင်းဖြင့် condenser water ၏ အရည်အသွေး(quality)ကို လက်ခံနိုင်သည့် အဆင့်တွင် ထိန်းထားနိုင်သည်။ သံချေး၊ ကြေးချေး တက်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်၊ ရေညှိဖြစ်ခြင်းမှ တားဆီးရန်(prevent scaling) နှင့် chiller ၏ condenser tube များ ချေးတက်ခြင်း(fouling)မှ ကာကွယ်ရန် အတွက် water treatment system လိုအပ်သည်။

တိုက်နေသည့်လေကြောင့် cooling tower များတွင် drift ဖြစ်ပေါ်သည်။ အကြမ်းအားဖြင့် evaporation၊ drift and blowdown တို့ကြောင့် ဆုံးရှုံးသွားသည့် ရေပမာဏသည် tower flow rate ၏ ၂%ခန့် ဖြစ်သည်။ Cooling tower ၊ condenser water ၊ make up water အကြောင်းကို Air Conditioning and Mechanical Ventilation (Vol. 1)တွင် အသေးစိတ် လေ့လာနိုင်သည်။



CHILLERS AND CHILLED WATER SYSTEMS KAUNG HTAT NYUNT

- Air conditioning and refrigeration ပညာရပ်တွင် chiller များ နှင့် refrigeration machine များသည် အဓိကကြည့်သည့် equipment များ ဖြစ်ကြသည်။ Chiller များ နှင့် chilled water plant များ အကြောင်းကို အခြေခံမှ စ၍ အသေးစိတ် စနစ်တကျ နားလည်အောင် အဆင့်ဆင့် ရှင်းလင်းစွာ ဖော်ပြထားပါသည်။
- စားအုပ်ပေါင်း (၂၀) ကျော်ကို ဝိုင်းရံ၍ လုပ်ငန်းခွင် အတွေ့အကြုံများနှင့် ပေါင်းစပ်ကာ သင့်လျော်ရာ ပေါင်းစည်းမှုများ အလိုက် အခန်းပေါင်း (၂၀) ကျော်ခွဲ၍ သရုပ်ပြပုံ(၄၅၀)ကျော်တို့နှင့်တကွ ရိုးရှင်းသည့် မြန်မာစကားဖြင့် ဖော်ပြထားပါသည်။
- သာမိုဒိုင်းနမ်စ် သဘောတရားများကို အခြေခံ၍ chiller နှင့် air conditioning unit အမျိုးမျိုး တည်ဆောက်ထားပုံ၊ အလုပ်လုပ်ပုံ၊ capacity control လုပ်ပုံ၊ သင့်လျော်မှုကန်သည့် chiller အရွယ်အစား ခွဲခြားချက်ပုံ၊ လိုအပ်ချက်များနှင့် ကိုက်ညီသည့် chilled water plant တစ်ခုကို ဒီဇိုင်းလုပ်ပုံ၊ တပ်ဆင်ပုံ၊ မောင်းနှင်ပုံ၊ စွမ်းအင် ခြေတာနိုင်သည့်နည်းများကို ရှာဖွေပုံ၊ chiller များ ဖြည့်တင်းပေးပုံနှင့် မျှို့ပွားချက်ရာစွန့်ပစ်ပုံကို အလွယ်ကူဆုံး ဖြစ်အောင် ဖော်ပြထားပါသည်။