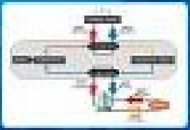
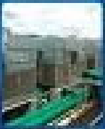
AIR CONDITIONING AND MECHANICAL VENTILATION

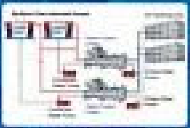
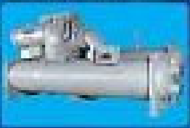
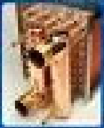
VOLUME ONE

ကောင်းထက်ညွန့်

AIR CONDITIONING AND MECHANICAL VENTILATION BY KAUNG HTET NYUNT





AIR CONDITIONING AND MECHANICAL VENTILATION VOLUME ONE

မာတိကာ

Chapter - 1 Fundamental and Basic Concept

၁.၁ ယူနစ်များ (Units of Measurement)	1-1
၁.၂ Atmospheric Pressure ၊ Absolute Pressure ၊ Gauge Pressure and Vacuum Pressure	1-1
၁.၂.၁ Pressure of Liquid Column သို့မဟုတ် Head	1-5
၁.၃ အပူ(heat)နှင့် အပူချိန်(temperature)	1-7
၁.၃.၁ ဒြပ်ဝတ္ထုများ၏ အနိမ့်ဆုံး အပူချိန် (Absolute Zero)	1-7
၁.၃.၂ Absolute Temperature စကေး(Scale)	1-8
၁.၄ အပူချိန်(Temperature) ပြောင်းခြင်းကြောင့် လေထုထည်(Volume) ပြောင်းလဲခြင်း	1-9
၁.၅ ဖိအား(Pressure) ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် လေထုထည်(Volume) ပြောင်းလဲခြင်း	1-11
၁.၆ Enthalpy	1-12
၁.၇ Sensible Heat and Latent Heat	1-14
၁.၈ အပူ(Heat)ကို တိုင်းတာသည့် ယူနစ်များ	1-18
၁.၉ ရေ၏အသွင်ပြောင်းလဲမှုများ (Phase Change of Water)	1-20
၁.၁၀ စတင် အရည်ပျော်သည့် အပူချိန် (Melting Temperature)	1-21
၁.၁၁ စတင်ဆူပွက်သည့် အပူချိန်(Boiling Point)	1-21
၁.၁၂ Condensation Temperature	1-21
၁.၁၃ Solidification Temperature	1-21
၁.၁၄ Saturated ၊ Subcooled နှင့် Superheated	1-27
၁.၁၅ Saturated Property Table (Steam Table)	1-28

Chapter - 2 Understanding Psychrometrics

၂.၁ Psychrometric နိဒါန်း	2-1
၂.၁.၁ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)	2-5
၂.၁.၂ အငွေ့မှ အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်း (Condensation)	2-5
၂.၂ လေကို စံအဖြစ် သတ်မှတ်ခြင်း(Standard Air)	2-5
၂.၃ အပူ သိုလှောင်နိုင်စွမ်း (Specific Heat of Air)	2-6
၂.၄ ဖိအားများနှင့် သက်ဆိုင်သည့် Dalton's Law	2-8
၂.၅ Psychrometric Chart ပေါ်ရှိလိုင်းများ	2-9
၂.၅.၁ Dry Bulb အပူချိန်(Temperature)လိုင်းများ	2-9
၂.၅.၂ Wet Bulb အပူချိန်(Temperature)လိုင်းများ	2-10
၂.၅.၃ Dew Point အပူချိန်(Temperature)	2-12
၂.၅.၄ အေးသည့် မျက်မှာပြင်များပေါ်၌ Condensation ဖြစ်ပေါ်ခြင်း	2-16
၂.၅.၅ Humidity Ratio လိုင်းများ	2-18
၂.၅.၆ Relative Humidity လိုင်းများ	2-18
၂.၅.၇ လေတစ်ယူနစ်၏ ထုထည်(Specific Volume)	2-22
၂.၅.၈ လေမှ သိုလှောင်ထားသည့် အပူစွမ်းအင် (Enthalpy) လိုင်းများ	2-23
၂.၆ Sensible Heat ပြောင်းလဲခြင်း(Cooling နှင့် Heating)	2-26
၂.၇ Latent Heat ပြောင်းလဲခြင်း (Humidification နှင့် Dehumidification)	2-26

၂.၈ Sensible နှင့် Latent Process နှစ်မျိုး တစ်ပြိုက်နက် ဖြစ်ပေါ်ခြင်း 2-30
၂.၉ Air Mixing Process 2-38
၂.၁၀ Determining Supply Air Condition 2-38
၂.၁၂ Psychrometric Analysis 2-44
၂.၁၃ Contact Factor (CF)၊ Bypass Factor (BF) နှင့် Effective Surface Temperature (EST) 2-47
၂.၁၄ Reheat လုပ်ခြင်း 2-49
၂.၁၅ Fan မှ ထွက်သော အပူ(Heat)များကြောင့် Fan Heat Gain (FHG) ဖြစ်ပေါ်ခြင်း 2-49
၂.၁၆ Water Spray into Air Steam (Adiabatic Saturation) 2-51
၂.၁၇ Steam Injection 2-52
၂.၁၈ Chilled Water Air Washer 2-53
၂.၁၉ လေ့ကျင့်ရန် ပုစ္ဆာများ 2-54

Chapter - 3 Air Handling Units

၃.၁ Air Handling Unit (AHU) အမျိုးအစားများ 3-1
၃.၂ AHU ၏ အစိတ်အပိုင်း(Component)များ 3-3
၃.၂.၁ Mixing Box 3-3
၃.၂.၂ လေစစ် (Air Filter) 3-4
၃.၂.၃ Heating Coil 3-6
၃.၂.၄ Cooling Coil 3-6
၃.၂.၅ Humidifier 3-6
၃.၂.၆ Fan သို့မဟုတ် Blower 3-6
၃.၃. Air Handling Unit Technical Data များ 3-6
၃.၄ Air Handling Unit နှင့် Fire Mode 3-10
၃.၅ Cooling Coils နှင့် Heating Coils 3-11
၃.၅.၁ Direct Expansion Coil(DX Coil) 3-12
၃.၅.၂ Chilled Water Cooling Coil 3-13
၃.၅.၃ Hot Water Heating Coil 3-14
၃.၅.၄ Steam Heating Coil 3-14
၃.၆ Coil အရွယ်အစား (Size) 3-15
၃.၇ AHU Cooling Coil တည်ဆောက်ပုံ 3-16
၃.၇.၁ Coil ၏ Row နှင့် Fin များ 3-17
၃.၈ Dry Coil နှင့် Wet Coil 3-19
၃.၉ AHU Cooling Coil Specification 3-20
၃.၁၀ Sensible Capacity ၊ Latent Capacity နှင့် Total Capacity 3-24
၃.၁၁ Cooling Coil Header Connection 3-26
၃.၁၂ AHU နှင့် အတူ တပ်ဆင်ရမည့် Pipe ၊ Fitting နှင့် Device များ 3-27
၃.၁၂.၁ (A) Gate Valves 3-28
၃.၁၂.၂ (B) Pressure Gauge 3-28
၃.၁၂.၃ (C) Temperature Gauge သို့မဟုတ်Thermometer 3-29
၃.၁၂.၄ (D) Strainer 3-29
၃.၁၂.၅ (E) Balancing Valve 3-29
၃.၁၂.၆ (F) Chilled Water Control Valve သို့ Modulating Valve 3-29
၃.၁၃ AHU နှင့် FCU Drain ပိုက်များ 3-30

၃.၁၄ Air Handling Unit (AHU) နှင့် သက်ဆိုင်သည့် စည်းမျဉ်း(Code)များ 3-31
၃.၁၄.၁ AHU Fan System Design Criteria 3-31
၃.၁၅ VAV AHU တစ်လုံး ၏ Controller နှင့် Control Logic 3-33
၃.၁၅.၁ Description of DDC Inputs and Outputs 3-34
၃.၁၅.၂ DDC Terminal Block Assignment (UAH2484L) 3-38
၃.၁၅.၃ AHU Control Logic 3-38

Chapter - 4 Cooling Towers

၄.၁ Introduction 4-1
၄.၂ Cooling Tower နှင့်သက်ဆိုင်သော အခေါ်အဝေါ်များ(Technical Terms) 4-2
၄.၃ Condenser Water Piping Configuration 4-4
၄.၃.၁ One to One System (Individual System) 4-5
၄.၃.၂ Common Condenser water Header at Chiller and Cooling Tower 4-6
၄.၃.၃ Common Condenser Water Header at Cooling Tower 4-6
၄.၄ Classification of Cooling Towers 4-7
၄.၅ Cross Flow Tower နှင့် Counter Flow Tower တို့၏ အားနည်းချက် နှင့် အားသာချက်များ 4-9
၄.၆ Direct Contact သို့မဟုတ် Open Cooling Tower နှင့် Closed Circuit Cooling Tower 4-10
၄.၇ Cooling Tower ၌ ပါဝင်သည့် အစိတ်အပိုင်း(Component)များ 4-12
၄.၈ အလုပ်လုပ်ပုံ (Principle of Operation) 4-17
၄.၉ ဒီဇိုင်း အခြေအနေများ (Design Conditions) 4-21
၄.၁၀ Cooling Tower Heat Transfer 4-22
၄.၁၁ Cooling Tower Performance Factors 4-24
၄.၁၂ Condenser Water Flow Rate 4-25
၄.၁၃ စုပ်ယူသည့် အပူနှင့် စွန့်ထုတ်သည့် အပူပမာဏ တူညီခြင်း (Heat Balancing) 4-26
၄.၁၄ ရွေးချယ်ရာတွင် ထည့်သွင်း စဉ်းစားရမည့် အချက်များ (Selection Consideration) 4-28
၄.၁၅ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း (Cooling Tower Sizing) 4-30
၄.၁၆ တပ်ဆင်ခြင်း (Installation of Cooling Tower) 4-31
၄.၁၇ Capacity Control 4-32
၄.၁၈ Condenser Water Temperature Reset 4-36
၄.၁၉ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခြင်း(Maintenance) 4-38
၄.၂၀ Make Up Water 4-38
၄.၂၁ ဖြည့်ရေကန် အရွယ်အစား တွက်ချက်ခြင်း (Makeup Water Tank Size) 4-41
၄.၂၂ Cooling Tower Piping 4-43
၄.၂၃ လေ့ကျင့်ရန် မေးခွန်း နှင့် အဖြေများ 4-43

Chapter - 5 Air Distribution Systems

၅.၁ Duct အမျိုးအစားများ(Types) 5-3
၅.၁.၁ Duct ပုံသဏ္ဍာန် (Shapes of Air Duct) 5-3
၅.၁.၂ Flexible Connection သို့မဟုတ် Flexible Duct 5-3
၅.၁.၃ Vertical Duct and Horizontal Duct 5-4
၅.၁.၄ Supply Air Duct ၊ Return Air Duct and Outdoor Air Duct 5-4
၅.၁.၅ Duct Layout 5-5
၅.၂ Duct System များကို အဆင့်အတန်း(Classification) ခွဲခြား သတ်မှတ်ခြင်း 5-6

၅.၃ Duct များ ပြုလုပ်ခြင်း (Duct Construction) 5-8
၅.၃.၁ Duct ပြုလုပ်ရန် ပစ္စည်းအမျိုးအစား ရွေးချယ်ခြင်း (Ductwork Materials) 5-10
၅.၃.၂ Duct Seal 5-11
၅.၃.၃ Duct အပြင်ဘက်၌ Insulation ပြုလုပ်ထားခြင်း (External Insulation) 5-14
၅.၃.၄ Duct အတွင်း၌ Insulation ပြုလုပ်ထားခြင်း (Internal Insulation) 5-15
၅.၃.၅ Access Doors 5-16
၅.၃.၆ Duct Test Holes 5-16
၅.၃.၇ Duct fittings 5-16
၅.၄ Duct Support နှင့် Hanger 5-17
၅.၅ Duct Properties 5-19
၅.၅.၁ Duct Heat Gain သို့မဟုတ် Duct Heat Loss 5-19
၅.၅.၂ Aspect Ratio 5-19
၅.၅.၃ ဆူညံသံများကို ထိန်းချုပ်ခြင်း (Sound Control) 5-20
၅.၅.၄ လေယိုစိမ့်မှု (Duct leakage) 5-22
၅.၅.၅ SMACNA Ductwork Testing 5-23
၅.၆ Duct အရွယ်အစား ရွေးချယ်နည်း (Sizing) အမျိုးမျိုး 5-24
၅.၆.၁ Duct အရွယ်အစား(Sizing) တွက်နည်းများ 5-24
၅.၆.၂ ပွတ်တိုက်မှုကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(Friction Losses in Duct) 5-27
၅.၆.၃ Head and Pressure 5-27
၅.၆.၄ Friction Chart မှ ဖိအားကျဆင်းမှု(Pressure Drop) တွက်ယူနည်း 5-29
၅.၆.၅ Calculation for Duct Static Pressure Loss by Formula 5-31
၅.၇ Duct ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ခြင်း (Duct Design) 5-35
၅.၇.၁ Design လုပ်ရန်အတွက် လိုအပ်သော အချက်အလက်များ (information) 5-35
၅.၇.၂ Duct Design Criteria 5-37
၅.၇.၃ Design Procedure 5-37
၅.၈ Fire Dampers 5-39
၅.၈.၁ Fire Compartments 5-39
၅.၈.၂ Fire Damper တည်ဆောက်ထားပုံ 5-41
၅.၈.၃ Standard Fire Damper သို့မဟုတ် Static Fire Damper 5-41
၅.၈.၄ Fire damper များကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(Pressure Drop)ဖြစ်ပေါ်ခြင်း 5-41
၅.၉ Control Dampers 5-42
၅.၉.၁ (က) Two Position Duty 5-46
၅.၉၂ (ခ) Capacity Control Duty 5-49
၅.၉.၃ (ဂ) Mixing duty 5-52
၅.၁၀ Air Distribution Devices 5-54
၅.၁၀.၁ Air Pattern အမျိုးမျိုး 5-54
၅.၁၀.၂ Air Diffuser အမျိုးမျိုး 5-58
၅.၁၀.၃ Diffuser အမျိုးမျိုးတို့၏ Characteristic Length 5-60
၅.၁၀.၄ လေထွက်ပေါက်(Air Outlet)မှ ဖြစ်ပေါ်သည့် ဆူညံသံ(Noise Level) 5-60
၅.၁၀.၅ Plenum Slot Diffuser မှ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ဆူညံသံများကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြခြင်း 5-60
၅.၁၁ Duct Cleaning 5-61

Chapter - 6 Fans and Blowers

၆.၁ Total Pressure ၊ Static Pressure and Velocity Pressure 6-1
၆.၂ Positive Pressure Duct and Negative Pressure Duct 6-3
၆.၃ Duct အတွင်းရှိ လေ၏ Velocity Profile 6-4
၆.၄ Fan နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ဝေါဟာရများ 6-5
၆.၅ Fan Equations 6-6
၆.၅.၁ Fan Pressure and Velocity Relationship 6-7
၆.၅.၂ Fan Efficiency 6-8
၆.၆ Fan အမျိုးအစားများ 6-9
၆.၆.၁ Fan နှင့် Blower တို့၏ ခြားနားချက် 6-10
၆.၆.၂ Fan Rating နှင့် အဆင့်အတန်း(Class) 6-10
၆.၆.၃ Overloading Fan and Non Overloading Fan 6-11
၆.၇ Axial Fan များ 6-12
၆.၇.၁ Axial Fan များ အလုပ်လုပ်ပုံ(Principle of Operation) 6-12
၆.၇.၂ Axial Fan Impeller Design 6-13
၆.၇.၃ Axial Fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(Performance) 6-14
၆.၈ Centrifugal Fan များ 6-15
၆.၈.၁ Centrifugal Fan များ အလုပ်လုပ်ပုံ(Principle of Operation) 6-16
၆.၈.၂ Centrifugal Fan များ၏ Impeller နှင့် Blade Design များ 6-20
၆.၈.၃ Centrifugal Fan ၏ Velocity Triangle 6-24
၆.၈.၄ Centrifugal Fan Arrangement 6-25
၆.၉ Stall ဖြစ်ခြင်း ၊ Stall Region နှင့် Stall Characteristics 6-26
၆.၁၀ System အတွင်း၌ ဖြစ်ပေါ်သော လေခုခံအား (System Resistance) 6-28
၆.၁၀.၁ System Resistance Curve ပြောင်းလဲပုံ 6-28
၆.၁၀.၂ Duct System ရှိ Damper များကြောင့် System Curve ပြောင်းလဲပုံ 6-29
၆.၁၀.၃ လေစစ်(Air Filter)များ ကြောင့် System Curve ပြောင်းလဲပုံ 6-30
၆.၁၁ Fan Performance Curve သို့မဟုတ် Pressure - Volume Curve 6-31
၆.၁၂ Fan Law (သို့မဟုတ်) Law Of Fan Performance 6-34
၆.၁၃ Fan Curves နှင့် System Resistance Curves 6-37
၆.၁၄ Design Operating Point နှင့် Actual Operating Point 6-40
၆.၁၅ Fan Control 6-41
၆.၁၅.၁ မြန်နှုန်း(Speed) ပြောင်း၍ Control လုပ်ခြင်း 6-43
၆.၁၅.၂ System Damper ဖြင့် Control လုပ်ခြင်း 6-43
၆.၁၅.၃ Inlet Louver Damper နှင့် Inlet Guide Vane (IGV) ဖြင့် Control လုပ်ခြင်း 6-43
၆.၁၆ Multiple Fan Systems - Fans in Series and Parallel 6-45
၆.၁၆.၁ Two Fans in Series 6-47
၆.၁၆.၂ Two Fans in Parallel 6-47
၆.၁၆.၃ Additional Consideration 6-49
၆.၁၆.၄ Isolation Damper အမျိုးအစားများ 6-49
၆.၁၆.၅ Review 6-50

၆.၁၇ လေ၏ သိပ်သည်းဆကြောင့် Fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(Performance)ပြောင်းလဲခြင်း 6-51
၆.၁၈ Noise Consideration 6-53
၆.၁၉ Fan Selection Criteria 6-54
၆.၂၀ မေးခွန်း နှင့် အဖြေများ 6-54

Chapter - 7 Ventilation

၇.၁ လေအရည်အသွေး (Indoor Air Quality) 7-1
၇.၁.၁ လေအရည်အသွေး(IAQ) ညံ့ဖျင်းသည့် အကြောင်းများ (Causes of Poor IAQ) 7-1
၇.၁.၂ လေအရည်အသွေး(IAQ) ကောင်းမွန်အောင် ထိန်းသိမ်းနည်းများ (IAQ Control Methods) 7-2
၇.၁.၃ လေအရည်အသွေး(IAQ) အပေါ် အကျိုးသက်ရောက်နိုင်သည့် အချက်များ (IAQ Factors) 7-2
၇.၁.၄ လေအရည်အသွေး(IAQ) နှင့် လေထဲတွင် ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ် ပါဝင်မှု(CO_2 Levels) 7-2
၇.၂ သဘာဝအတိုင်း လေဝင်လေထွက်ကောင်းအောင်ပြုလုပ်ခြင်း(Natural Ventilation) 7-3
၇.၂.၁ Stack Effect 7-4
၇.၂.၂ ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် လိုအပ်သော အချက်အလက်များ (Design Information) 7-6
၇.၂.၃ Design outputs 7-6
၇.၂.၄ တွက်နည်း (Calculation Approach) 7-7
၇.၂.၅ Design Watch Points 7-7
၇.၃ Mechanical Ventilation 7-8
၇.၃.၁ အခန်းအတွင်း၌ Positive Pressure ဖြစ်ပေါ်ခြင်းနှင့် Negative Pressure ဖြစ်ပေါ်ခြင်း 7-8
၇.၄ Hospital Operation Room Ventilation 7-8
၇.၄.၁ Ceiling Construction 7-12
၇.၅ အဆောက်အဦတိုင်း၏ မရှိမဖြစ် လိုအပ်သော အခန်းများ(Essential Rooms) ၏ MV System 7-13
၇.၅.၁ (က) လှေကားများ (Exit Staircase) နှင့် အရေးပေါ် ထွက်ပေါက်သို့သွားလမ်းများ 7-14
၇.၅.၂ (ခ) Smoke Stop Lobby 7-17
၇.၅.၃ (ဂ) Fire Command Center (FCC) Room 7-18
၇.၅.၄ (ဃ) Smoke Stop Lobby and Fire Fighting Lobby 7-20
၇.၅.၅ (င) Fire Pump Room နှင့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပေးစက်အခန်း(Generator Room) 7-22
၇.၅.၆ (စ) Flammable and Explosive Substances Rooms 7-24
၇.၅.၇ (ဆ) ချက်ပြုတ်ရာနေရာများ(Kitchen) 7-24
၇.၆ Air Handling Systems 7-30
၇.၆.၁ Smoke Tripping of AHU 7-31
၇.၇ Engineered Smoke Control System - Design Consideration and Over View 7-33
၇.၇.၁ Designed Fire Size 7-36
၇.၇.၂ Smoke Extraction System တွက်နည်း ဥပမာ 7-39
၇.၈ Basement Car Park CO Monitoring and Ventilation Fan Control System 7-43
၇.၈.၁ Safe Level of ကာဗွန်မိုနောက်ဆိုဒ်ဓာတ်ငွေ့(CO) ဓာတ်ငွေ့ 7-43
၇.၈.၂ Understanding of Basement Car Park Mechanical Ventilation System Design 7-44
၇.၈.၃ Basement Car Park COMonitoring System's Design Consideration 7-46
၇.၈.၄ ကာဗွန်မိုနောက်ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ Sensor 7-48
၇.၈.၅ Control Strategies နှင့် သတိပြုရန်အချက်များ 7-48
၇.၈.၆ ချွေတာနိုင်သည့် စွမ်းအင် ပမာဏ တွက်နည်း (Energy Saving) ဥပမာ 7-49
၇.၉ Mechanical Smoke Purging System for Basement Car Park 7-50
၇.၁၀ ပြင်ပလေ လိုအပ်ချက်(Outdoor Air Requirement) 7-52

ကောင်းထက်ညွှန့်	မာတိကာ

၇.၁၀.၁ ASHRAE Standard 62.1 - 2004 (Minimum Ventilation Rates) 7-53
၇.၁၁ Supply Air Rate 7-55
၇.၁၁.၁ ပြင်ပလေဝင်ပေါက်များ (Outdoor Air Intake) 7-57
၇.၁၂ Contamination မပါသော လေများ၊ အနံ့ဆိုးများ မပါသော လေကောင်းလေသန့် 7-58
၇.၁၂.၁ လေများကို အဆင့်အတန်း ခွဲခြားသတ်မှတ်ခြင်း နှင့် ပြန်လည်အသုံးပြုခြင်း 7-58
၇.၁၂.၂ Return Air ၊ Transfer Air နှင့် Exhaust Air တို့ကို အဆင့်အတန်းခွဲခြင်း 7-59
၇.၁၃ Exhaust Air 7-61
၇.၁၃.၁ Toilet Ventilation Rates 7-61
၇.၁၃.၂ Minimum Exhaust Rates 7-61
၇.၁၃.၃ Exhaust Air Rates and Pressure Relationship 7-62

Chapter-1 Fundamental and Basic Concept

၁.၁ ယူနစ်များ(Units of Measurement)

Air Conditioning and Mechanical Ventilation (ACMV) နှင့် Heating ၊ Ventilation and Air Conditioning (HVAC) လုပ်ငန်းခွင် တို့၌ US ယူနစ် နှင့် SI ယူနစ် နှစ်မျိုးစလုံးကို အသုံးပြုကြသည်။ US တွင် အသုံးပြုသောကြောင့် US ယူနစ် (IP ယူနစ်) ဟုလည်း ခေါ်ဆိုသည်။ English system သို့မဟုတ် Imperial system ဟုလည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ လက်မ(inch)၊ ပေါင်(pound) စသည်ဖြင့် တိုင်းတာကြသည်။

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသောပုံ၌ အနက်ရောင်ဖြင့် ဖော်ပြထားသောနိုင်ငံ လေးနိုင်ငံသည် US ယူနစ် သို့မဟုတ် Imperial system ကို အသုံးပြုသော နိုင်ငံများ ဖြစ်ကြသည်။

ပုံ ၁-၁ ကမ္ဘာပေါ်တွင် နိုင်ငံ လေးနိုင်ငံတည်းသာ Imperial System ကို အသုံးပြုကြသည်။

SI ယူနစ် ကို Metric system ဟုလည်း ခေါ်ဆိုကြပြီး နိုင်ငံအများစုက အသုံးပြုကြသည်။ Air conditioning equipment များကို ထုတ်လုပ်သောကုမ္ပဏီ အများစုသည် အမေရိကန် ကုမ္ပဏီများ ဖြစ်ကြသောကြောင့် ACMV နှင့် HVAC လုပ်ငန်းခွင်တို့၌ English system (Imperial system) နှင့် မကင်းနိုင်ပေ။

Equipment ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturers)၏ ဖော်ပြချက်(specification)များတွင် ယူနစ် နှစ်မျိုးစလုံးဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် ACMV သို့မဟုတ် HVAC အင်ဂျင်နီယာ တစ်ယောက်သည် ယူနစ်နှစ်မျိုးစလုံးကို ကျွမ်းကျင်စွာ အသုံးပြုတတ်ရမည်။ လိုအပ်လျှင် ယူနစ်တစ်ခုမှ တခြားယူနစ်တစ်ခုသို့ လျှင်မြန်စွာ ပြောင်းယူနိုင် ရမည်။ English system (Imperial system)ကို အင်္ဂလိပ် လူမျိုးတို့က စတင် အသုံးပြုခဲ့ကြသော်လည်း ယခုအခါ အင်္ဂလန် တစ်နိုင်ငံလုံးက SI ယူနစ်ကို အသုံးပြု နေကြသည်။

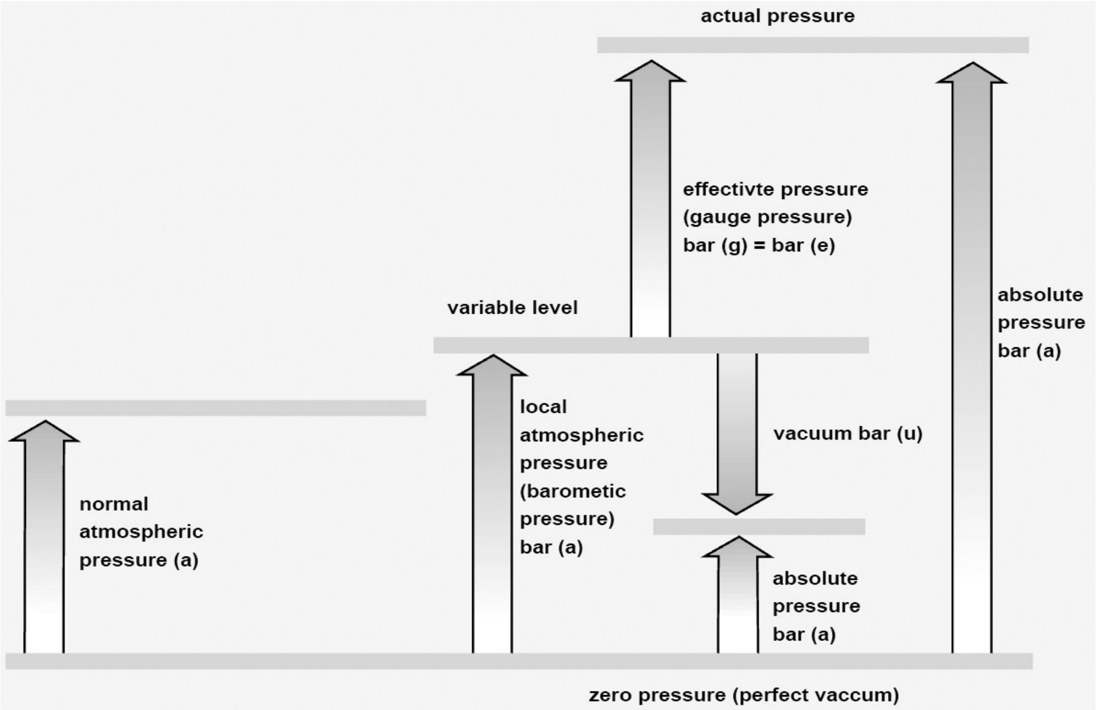
၁.၂ Atmospheric Pressure ၊ Absolute Pressure ၊ Gauge Pressure and Vacuum Pressure

ဖိအား အမျိုးမျိုးရှိသည်။ Atmospheric pressure ၊ Absolute pressure ၊ Gauge pressure၊ Positive pressure ၊ Negative pressure နှင့် Vacuum pressure စသည်ဖြင့် ဖိအား၏ တန်ဖိုး နှင့် အဓိပ္ပာယ်ကို လိုက်၍ အမျိုးမျိုး ခေါ်ဆိုကြသည်။

လေထုဖိအား(Atmospheric Pressure)

ပင်လယ်ရေမျက်နှာပြင်(sea level)ပေါ်သို့ သက်ရောက်နေသည့် ဖိအား(theoretical standard barometric pressure)ကို SI ယူနစ် နှင့် IP ယူနစ်တို့ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

Torr	kPa	Inch of Hg	M Bar	Psia	Psig
760	101.4	29.92	1000	14.696	0.0



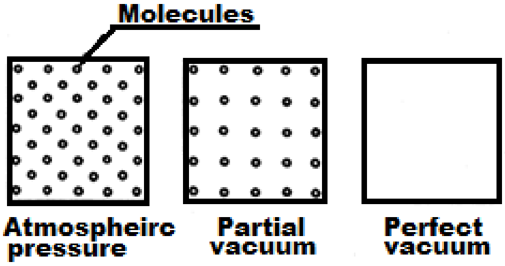
ပုံ ၁-၂ ဖိအား အမျိုးမျိုးတို့ကို ဖော်ပြထားပုံ

အထက်ပါ ပုံ(၁-၂)သည် Absolute pressure ၊ Gauge pressure နှင့် Absolute pressure တို့၏ ဆက်စပ်မှုကို ဖော်ပြထားပုံ ဖြစ်သည်။

Vacuum

လေထုဖိအား(atmospheric pressure) ထက်နိမ့်သည့် ဖိအားကို vacuum pressure[Pvac] ဟုခေါ်သည်။ ဖိအား လုံးဝထပ်ကျအောင် ပြုလုပ်၍ မရနိုင်တော့သည့် လေဟာနယ်(vacuum)ကို "**Perfect Vacuum**" (absolute vacuum)ဟု ခေါ်သည်။ ဖိအားလုံးဝမရှိ(zero pressure)ဟု ဆိုလိုသည်။ လေထုဖိအား (atmospheric pressure) ထက်နိမ့်ပြီး perfect vacuum ထက်မြင့်သည့် ဖိအား(pressure)ကို "Partial Vacuum" ဟု ခေါ်သည်။

နေရာတစ်ခု(space)တွင် မည်သည့် အငွေ့(gas) သို့မဟုတ် အရည်(liquid)မျှ မရှိသည့် အခြေအနေကို လေဟာနယ်(complete vacuum)ဖြစ်နေသည် ဟုခေါ်သည်။ ထိုအခြေအနေ၌ ဖိအားလုံးဝမရှိ(zero pressure) ဟုလည်း သတ်မှတ်သည်။ မည်သည့် ဖိအား(pressure)ကိုမဆို ထို complete vacuum သို့မဟုတ် zero pressure မှ စတိုင်းလျှင် ရရှိသည့် တန်ဖိုးကို "**Absolute Pressure**" ဟုသတ်မှတ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဖိအားတစ်ခု၏ ရည်ညွှန်းရာအမှတ်(reference point)သည် complete vacuum သို့မဟုတ် zero pressure ဖြစ်လျှင် ထိုဖိအား၏ တန်ဖိုးကို absolute pressure (Pabs) တန်ဖိုးဟု သတ်မှတ်သည်။



Perfect vacuum(absolute vacuum)သည်

0 kgf/cm^2

0 mm Hg

0 Pa

0 psi နှင့်

0 in Hg(0 mm Hg)တို့ ဖြစ်သည်။

ပုံ ၁-၃ လေထုဖိအား(atmospheric pressure)၊ Partial Vacuum နှင့် Perfect Vacuum တို့ကို နှိုင်းယှဉ်ပုံ

လေထုဖိအား (atmospheric pressure) တန်ဖိုး နှင့် gauge pressure တန်ဖိုးကို ပေါင်းလျှင် "**Absolute Pressure**" တန်ဖိုးကို ရသည်။

ပင်လယ်ရေမျက်နှာပြင်(sea level)၌ ရှိသည့်ဖိအားကို လေထုဖိအား(atmospheric pressure)(Patm) ဟုခေါ်သည်။ Pabs နှင့် Patm ကို နှိုင်းယှဉ်လျှင် Patm သည် Pabs ထက် 14.7 psi ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် Patm သည် 14.7 psi absolute ဖြစ်သည်။ 14.7 psia ဟု ရေးလေ့ရှိသည်။

ဖိအားတိုင်းသည့်ကိရိယာ(instrument)များသည် များသောအားဖြင့် fluid တစ်ခုခု၏ ဖိအားနှင့် လေထုဖိအား(atmospheric pressure)တို့ ကွာခြားချက်ကို တိုင်းခြင်းဖြစ်သည်။ တိုင်းယူရရှိသည့် ဖိအားသည် လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ထက်များလျှင် "Gauge Pressure"(Pg)ဟု ခေါ်သည်။ Absolute pressure ၊ atmospheric pressure နှင့် gauge pressure တို့၏ ဆက်သွယ်ချက်မှာ

$$P_{abs} = P_{atm} + P_g$$

Gauge pressure ဆိုသည်မှာ gauge သို့မဟုတ် instrument ဖြင့် တိုင်း၍ရသော ဖိအားကို ဆိုလိုသည်။ Absolute pressure သည် gauge pressure နှင့် atmospheric pressure တို့ ပေါင်း၍ရသော ဖိအားဖြစ်သည်။

psig	psi ၏ နောက်တွင် g ဖြင့် ဖော်ပြလျှင် "Guage Pressure" ဖြစ်သည်။	Positive pressure
psia	psi ၏ နောက်တွင် a ဖြင့် ဖော်ပြလျှင် "Absolute Pressure" ဖြစ်သည်။	Positive pressure or Negative pressure
psiv	psi ၏ နောက်တွင် v ဖြင့် ဖော်ပြလျှင် "Vacuum Pressure" ဖြစ်သည်။	Negative pressure

Absolute ၊ atmospheric နှင့် vacuum pressure တို့ ၏ ဆက်သွယ်ချက်မှာ

$$P_{abs} = P_{atm} - P_{vac}$$

Atmospheric pressure မှ vacuum pressure ကို နှုတ်လျှင် absolute pressure ကိုရသည်။

ပုံ ၁-၄ Compression Gauge

ပုံ ၁-၅ Compound Gauge

ပုံ ၁-၆ Compound Gauge

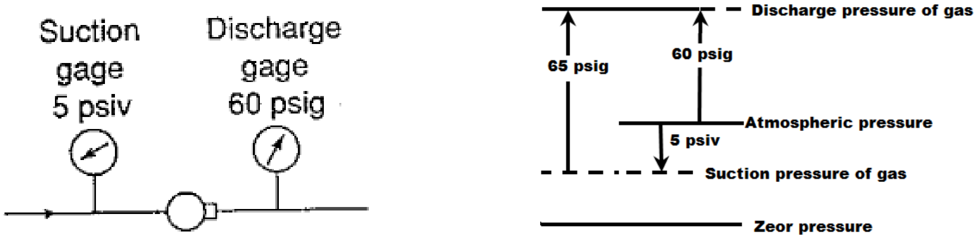
တချို့သော pressure gauge များသည် vacuum pressure နှင့် gauge pressure နှစ်မျိုးလုံးကို တိုင်းနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။

Compression gauge ဖြင့် gauge pressure ကိုသာ တိုင်းနိုင်သည်။ Compound gauge ဖြင့် gauge pressure နှင့် absolute pressure နှစ်မျိုးလုံးကို တိုင်းနိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် compound gauge ဖြင့် positive pressure နှင့် negative pressure (vacuum pressure) နှစ်မျိုးလုံးကို ဖတ်ယူနိုင်သည်။

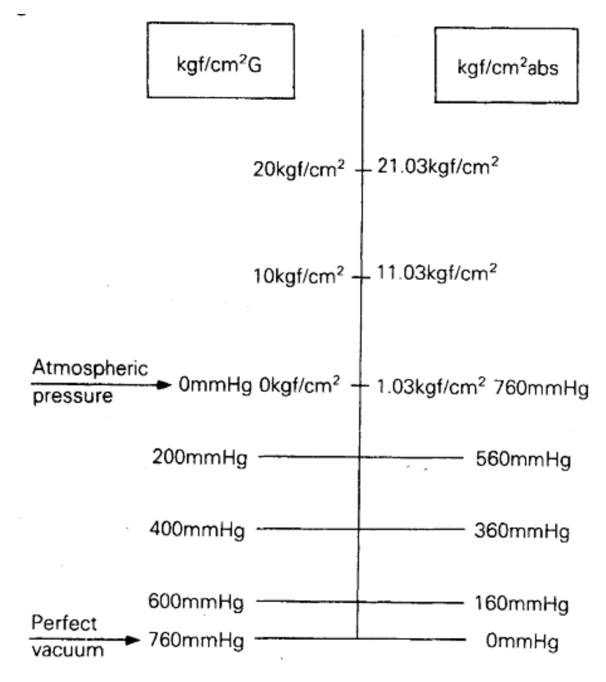
ဥပမာ- Compressor တခု၏ အဝင်ဘက်ရှိ ဖိအား(suction pressure)သည် 5 psiv ဖြစ်ပြီး အထွက်ဘက်ရှိ (discharge pressure)သည် 60 psig ဖြစ်သည်။ ထို compressor သည် ဖိအား မည်မျှတိုးအောင် ပြုလုပ်နိုင်သနည်း။

$$P_{abs} = P_{atm} - P_{vac} = 60 - (-5) = 65 \text{ psi}$$

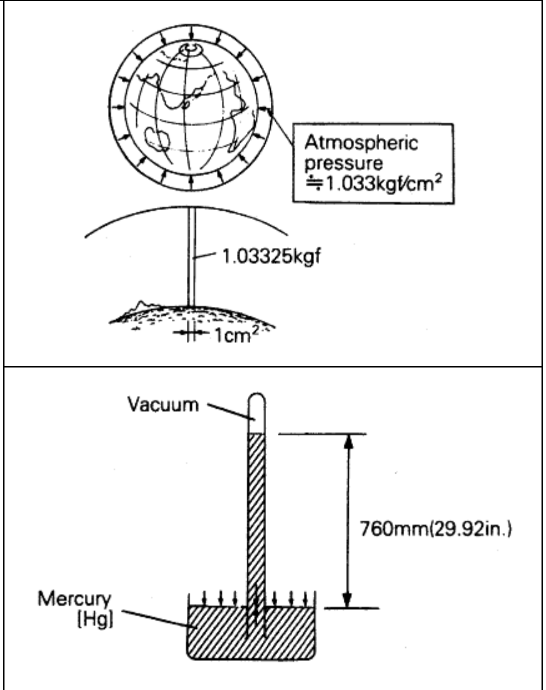
Standard Temperature & Pressure (STP) ဆိုသည်မှာ 14.696 Psia နှင့် 60°F (101.33 kPa absolute နှင့် 15.6°C) တို့ကို ဆိုလိုသည်။



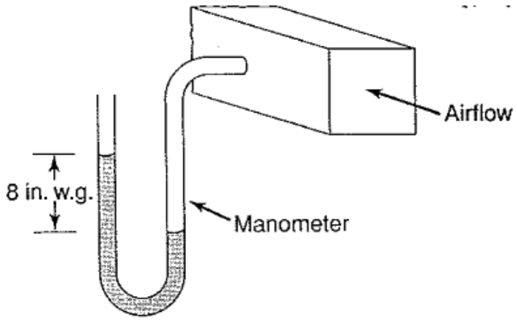
ပုံ ၁-၇ Suction pressure နှင့် Discharge pressure



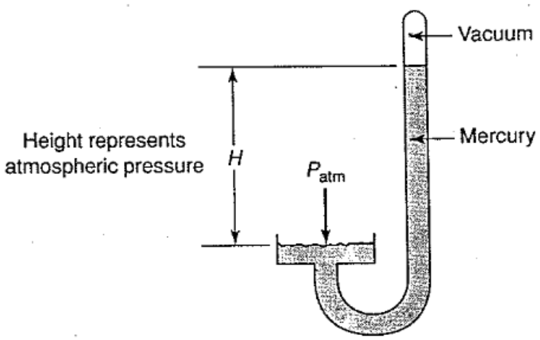
ပုံ ၁-၈ လေထုဖိအား(Atmospheric Pressure)



ပုံ ၁-၉ Atmospheric Pressure တိုင်းပုံ



ပုံ ၁-၁၀ Positive pressure

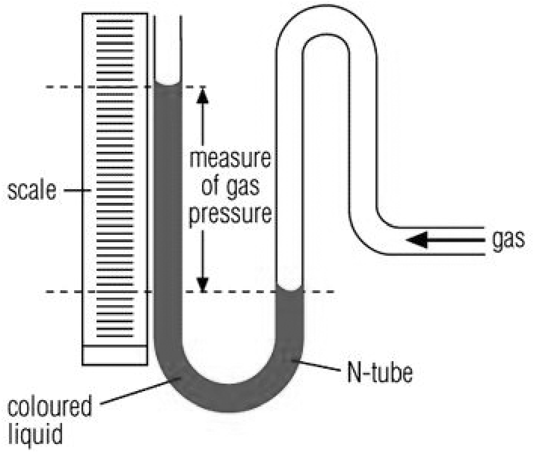


ပုံ ၁-၁၁ Atmospheric Pressure တိုင်းပုံ

၁.၂.၁ Pressure of Liquid Column သို့မဟုတ် Head

ACMV လုပ်ငန်းခွင်များတွင် ဖိအား(pressure)များကို အရည်(liquid) တစ်မျိုးမျိုး၏ အမြင့်ဖြင့်လည်း ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ အသုံးများသော အရည်(liquid)သည် ရေ(water)နှင့် မာကျူရီ(mercury)တို့ ဖြစ်ကြသည်။

ACMV equipment များဖြစ်သော fan များနှင့် pump များအတွက် "**Head**" ဆိုသည့် နည်းပညာ ဝေါဟာရ(technical term)ကို အမြဲ သုံးလေ့ရှိသည်။ Head ဆိုသည်မှာ အရည်၏ ဒေါင်လိုက်အမြင့်(height of liquid column)ပင် ဖြစ်သည်။ ဖိအား(pressure)ကို Head ဖြင့် ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဖိအားကို အရည်၏ အမြင့်ဖြင့် ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁-၁၂ Manometer

Manometer သည် ဖိအား(pressure)ကို အရည် (liquid) တစ်မျိုး ၏ အမြင့်(height)ဖြင့် ဖော်ပြရန် တိုင်းယူသည့် ကိရိယာ ဖြစ်သည်။

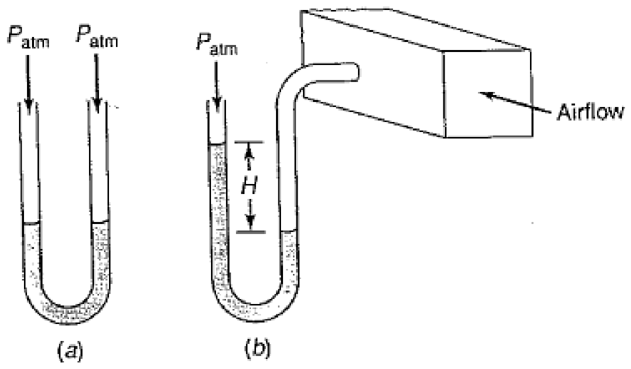
$$P = d \, x \, H$$

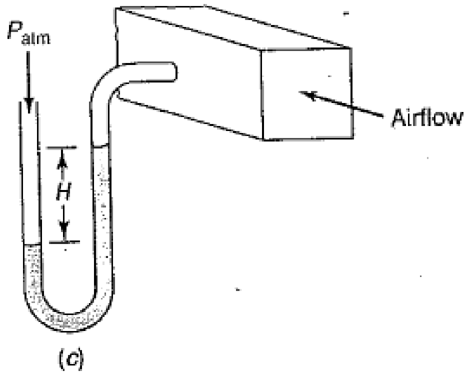
P = pressure exerted by a liquid

d = density of liquid(lb/ ft^3)

H = height of liquid(ft)

$$P = \rho \, g \, H$$





ပုံ ၁-၁၃ Positive pressure   ပုံ ၁-၁၄ Negative pressure

အထက်ပါပုံတွင် manometer ဖြင့် dcut အတွင်းရှိ positive pressure နှင့် negative pressure တို့အား တိုင်းယူပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

ပုံ(a) တွင် manometer ၏ အဝ နှစ်ဖက် စလုံးအပေါ်၌ လေထုဖိအား(atmospheric pressure) သက်ရောက်နေသောကြောင့် အရည်(liquid)၏ အမြင့်တူညီကြသည်။

ပုံ(b) တွင် manometer ၏ အဝ တစ်ဖက်၌ လေထုဖိအား(atmospheric pressure)သက်ရောက်နေပြီး ကျန် အဝတစ်ဖက်သည် duct အတွင်း ရှိ positive pressure(atmospheric pressure ထက်များသည့်) ဖိအားသက်ရောက်ခြင်း ခံနေရသောကြောင့် လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ဘက်ရှိ အရည်၏ level သည် ပို၍ မြင့်တက်နေသည်။ ထိုအမြင့်သည် duct အတွင်းရှိ positive pressure ၏ ပမာဏကို ဖော်ပြသည်။

ပုံ(c) တွင် manometer ၏ အဝ တစ်ဖက်သည် လေထုဖိအား(atmospheric pressure) သက်ရောက်နေပြီး ကျန် အဝတစ်ဖက်သည် duct အတွင်း ရှိ negative pressure (atmospheric pressure ထက်

နည်းသည့်) ဖိအား သက်ရောက်နေသောကြောင့် duct ဘက်ရှိ အရည်၏ အမြင့်သည့် duct အတွင်းရှိ negative pressure ပမာဏကို ဖော်ပြသည်။

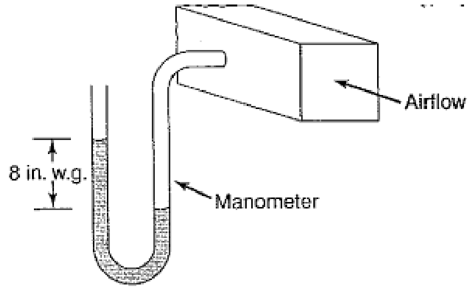
ဥပမာ - ပေ(၃၀၀)မြင့်သည့် အဆောက်အဦ တစ်ခု၌ရှိသော ဒေါင်လိုက်ထောင်ထားသည့်ပိုက်(vertical pipe) တစ်ချောင်း သည် chilled water တို့ဖြင့် ပြည့်နေသည့်အခါ အောက်ခြေ၌ရှိသော ဘား(valve) သည် ဖိအား(pressure) မည်မျှ သက်ရောက်ခြင်း ခံရမည်နည်း။ ရေ၏ သိပ်သည်းဆသည် 62.4 lb/ft^3 ဖြစ်သည်။

$$P = d\,x\,H = 62.4\,lb/ft^3\ x\,300\,ft = 18,720\,lb/ft^2 = 130\,psig$$

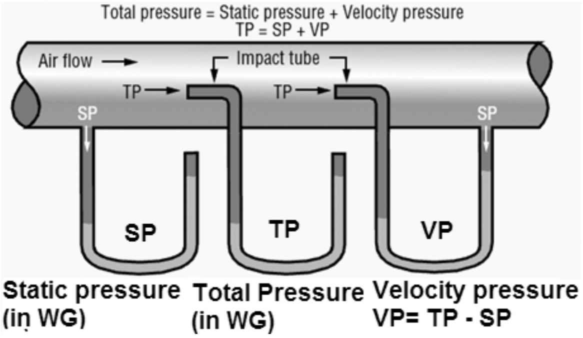
ထို့ကြောင့် ပေ(၃၀၀)ကျော် မြင့်သည့် အဆောက်အဦ၏ အောက်ခြေတွင်ရှိသော ဒေါင်လိုက်ထောင်ထားသည့် chilled water riser ပိုက်၌ တပ်ဆင်ထားသော ဘား(valve)သည် ဖိအား 130 psig သက်ရောက်ခြင်း ခံရမည်။

အဆောက်အဦ ပိုမြင့်လေ အောက်ခြေ၌ရှိသော ဘား(valve)များနှင့် compoment များသည် ရေဖိအား ပိုများများ သက်ရောက်ခြင်း ခံရလေ ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့် မိုးပျံတိုက်များ(high raise buildings)၏ chiller water circuit များတွင် အဆောက်အဦ၏ အမြင့်ကို လိုက်၍ ပိုင်းခြား(break) ထားရသည်။ အထပ်မြင့်လွန်းလျှင် အောက်ခြေရှိ ဘား(valve)များနှင့် ကိရိယာများသည် အလွန်များသည့် ရေ၏ ဖိအား သက်ရောက်ခြင်းခံ ကြရသည်။ ထို့ကြောင့် ဖိအား တူညီအောင် chiller water circuit များကို ခွဲခြားထားခြင်း(break) ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁-၁၅ Manometer



ပုံ ၁-၁၆ Total pressure=Static Pressure+Velocity Pressure

ဥပမာ technician တစ်ယောက်သည် duct တစ်ခုအတွင်းရှိ ဖိအား(pressure)ကို တိုင်းယူလိုသည်။ ထို့ကြောင့် manometer ၏ ထိပ်ဝတစ်ဖက်ကို duct အတွင်းသို့ ထည့်၍ ကျန်သည့် ထိပ်ဝတစ်ဖက်ကို လေထဲ (atmosphere)တွင်ထား၍ တိုင်းယူရသည်။ တိုင်းယူသည့် ရေ၏အမြင့်(height of the water column)သည် ၈လက်မ (8 inches) ဖြစ်သည်။ 8 inchs WG ဟု ရေးလေ့ရှိသည်(wg= inch of water gauge)။ Duct အတွင်း၌ ဖိအား(total pressure) မည်မျှရှိ သနည်း။

$$H = \frac{8\text{ in Wg}}{12} = 0.667\,ft\ of\ Wg$$
$$P = d\,x\,H = 62.4\,lb\ per\ ft^3\ x\ 0.667\,ft$$
$$= 41.6\ \text{lb per}\ ft^3\ \text{x}\ \frac{1\,ft^2}{144} = 0.29\text{ psig}$$

Duct ထဲတွင် ရှိသည့် လေဖိအား(air pressure)သည် 0.29 psig ဖြစ်သည်။ လေထုဖိအား (atmospheric pressure)ထက် 0.29 psi ပိုမြင့်သည်။

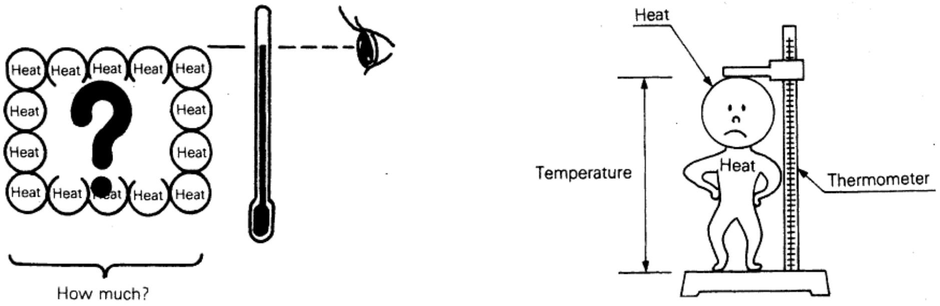
ရေ၏ သိပ်သည်းဆ(density)သည် မာကြူရီ(mercury)၏ သိပ်သည်းဆ (density)ထက် ပိုများ သောကြောင့် အလွန်နည်းသည့် ဖိအား(pressure)ကို တိုင်းရာတွင် မာကျူရီ(mercury)ကို အသုံးပြုကြသည်။

ထို့ကြောင့် အလွန်နိမ့်သည့် ဖိအား(low pressure)ကို တိုင်းရန်အတွက် ပြုလုပ်ထားသည့် manometer ထဲတွင် သိပ်သည်းဆ (density) နည်းသည့် mercury(Hg)ကို အသုံးပြုရသည်။

၁.၃ အပူ(heat)နှင့် အပူချိန်(temperature)

အပူ(heat) ဆိုသည်မှာ အပူချိန်(temperature) မြင့်သည့်နေရာမှ အပူချိန်(temperature) နိမ့်သည့် နေရာသို့ အလိုလျောက်စီးဆင်း(transfer)သွားသည့် စွမ်းအင်ပုံစံ(form of energy)တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ အပူချိန် (temperature)ဆိုသည်မှာ အရာဝတ္ထုတစ်ခု သို့မဟုတ် ဒြပ်တစ်ခု၏ အပူကြောင့်ဖြစ်သော လှုပ်ရှားမှု(thermal activity)ကို ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။

အပူကြောင့်ဖြစ်သော လှုပ်ရှားမှု(thermal activity)သည် ထိုဒြပ်ဝတ္ထုအတွင်း မော်လီကျူး(molecules) များ၏ အလျင်(velocity) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အပူချိန် (temperature) မြင့်သည့် အရာဝတ္ထုများတွင် အပူကြောင့်ဖြစ်သောလှုပ်ရှားမှု(thermal activity) များကြသည်။ သို့သော် ဒြပ်ဝတ္ထုအတွင်းရှိ မော်လီကျူး များ၏ အလျင်(velocity)ကို တိုက်ရိုက်တိုင်းတာရန် မဖြစ်နိုင်။ ထို့ကြောင့် အပူကြောင့်ဖြစ်သော လှုပ်ရှားမှု (thermal activity) မည်မျှများသည် သို့မဟုတ် နည်းသည်ကို သိနိုင်ရန်အတွက် အပူချိန် (temperature)ဖြင့် တိုင်းတာ ဖော်ပြကြသည်။



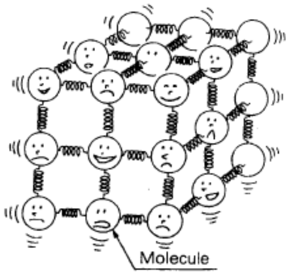
ပုံ ၁-၁၇ အပူ(heat)ကို အပူချိန်(temperature)ဖြင့် တိုင်းယူပုံ

> အပူ(heat)သည် အပူချိန်မြင့်ရာ(high temperature)မှ အပူချိန်နိမ့်ရာ(low temperature)သို့ မည်သည့် အကူအညီမျှ မပါဘဲ အလိုအလျောက် စီးဆင်းနိုင်သည်။ အပူချိန်ခြားနားချက်(temperature difference) မရှိလျှင် အပူစီးဆင်းခြင်း(heat flow) မဖြစ်နိုင်ပေ။

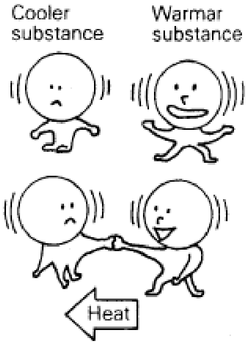
အပူချိန်၏ ယူနစ်သည် Fahrenheit ၊ Rankine ၊ Celsiusနှင့် Kelvin တို့ဖြစ်သည်။ Air con ဘာသာရပ် တွင် Fahrenheit နှင့် Celsius ကိုသာ အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။

$$°C \ x \ 9/5 + 32 = °F \quad or \quad (°F - 32) \ x \ 5/9 = °C$$

၁.၃.၁ ဒြပ်ဝတ္ထုများ၏ အနိမ့်ဆုံးအပူချိန်(Absolute Zero)



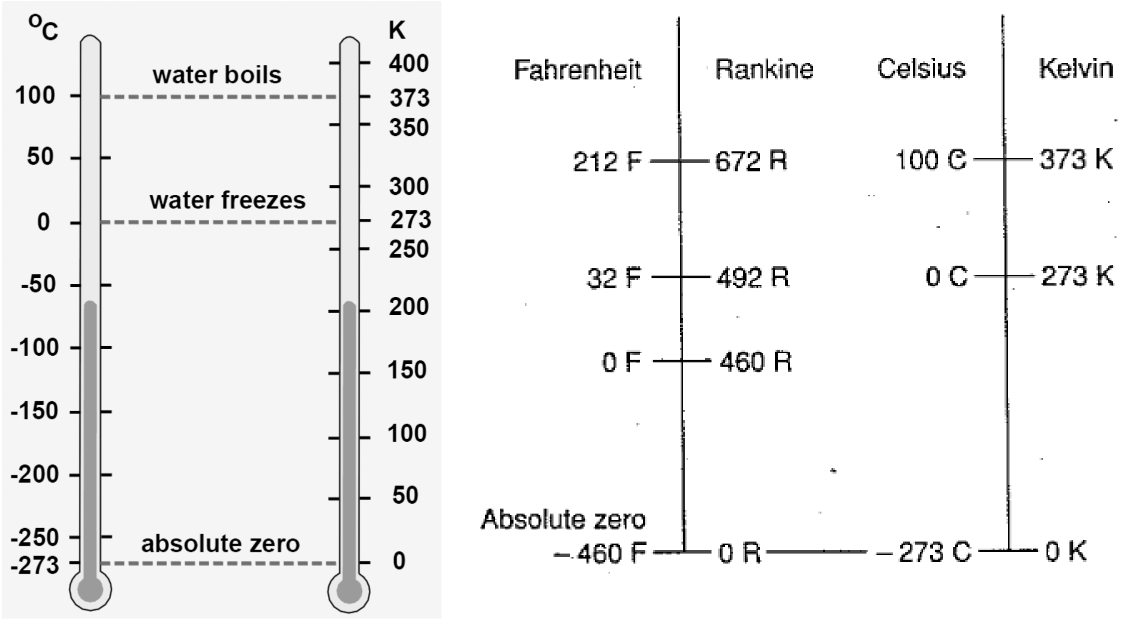
ပုံ ၁-၁၈ အရာဝတ္ထုများအတွင်းရှိ မော်လီကျူးလေးများ



ပုံ ၁-၁၉ Absolute Zero State

အရာဝတ္ထုများအတွင်းရှိ မော်လီကျူးလေးများ၏ လှုပ်ရှားမှု(motion) လုံးဝကင်းမဲ့သည့် အချိန်၊ တုန်ခါမှု (vibration) မရှိတော့သည့် အခိုက်ကို "**Absolute Zero**" ဟု သတ်မှတ်သည်။ Absolute Zero အခိုက်တွင် အရာဝတ္ထုတစ်ခုသည် အပူစွမ်းအင် ပိုင်ဆိုင်မှု ကင်းမဲ့နေသည်။

Absolute zero သည် အရာဝတ္ထုတစ်ခု၏ အနိမ့်ဆုံး အပူချိန်(temperature) ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် absolute zero ဖြစ်နေသည့် အရာဝတ္ထုမှ မည်သည့် အပူစွမ်းအင်(heat energy)ကိုမျှ ထုတ်ယူ၍ မရနိုင်ပေ။ Absolute zero နှင့် 0°C (zero°C သို့ zero°F) တို့နှင့် မတူညီကြောင်း သတိပြုပါ။ Absolute Zero သည် 0 K သို့မဟုတ် -273°C သို့မဟုတ် 0°R သို့မဟုတ် -460°F နှင့် ညီမျှသည်။



ပုံ ၁-၂၀ ဖာရင်ဟိုက် စကေး နှင့် celsius စကေး တို့၏ absolute zero

၁.၃.၂ Absolute Temperature စကေး(Scale)

Thermodynamic ပုစ္ဆာများ ဖြေရှင်းရန်နှင့် အပူချိန် အလွန်နိမ့်သည့် လုပ်ငန်း (very low temperature application) များအတွက် absolute temperature scale နှစ်ခုကို အသုံးပြုသည်။ SI ယူနစ်၏ absolute zero scale သည် Kelvin scale ဖြစ်သည်။ 0 Kelvin(0 K)သည် -273°C နှင့် ညီမျှသည်။ IP ယူနစ်၏ absolute zero scale သည် Rankin scale ဖြစ်သည်။ 0°Rankin(0°R)သည် -460°F နှင့် ညီမျှသည်။

$$\boldsymbol{Rankin} = \boldsymbol{Fahrenheit} + \mathbf{460}$$
$$\boldsymbol{Kelvin\,s} = \boldsymbol{Celsius} + \mathbf{273}$$

Kelvin စကေးပေါ်ရှိ အစိပ်ငယ်များ(division)သည် Celsius scale ပေါ်ရှိ အစိပ်ငယ်များ(division)နှင့် တူညီသည်။ IP ယူနစ်၏ absolute zero scale သည် Rankin ဖြစ်သည်။ Rankin စကေးပေါ်ရှိ အစိပ်ငယ်များ (division)သည် ဖာရင်ဟိုက်စကေး(Fahrenheit scale)ပေါ်ရှိ အစိပ်ငယ်များနှင့် တူညီသည်။ Celsius စကေးကို -273°C အထိ ဆန့်လိုက်လျှင် Kelvin စကေး ဖြစ်သည်။ ဖာရင်ဟိုက်စကေး(Fahrenheit scale)ကို -460°F အထိ ဆန့်လိုက်လျှင် Rankin စကေးဖြစ်သည်။

၁.၄ အပူချိန်(Temperature)ပြောင်းခြင်းကြောင့် လေထုထည်(Volume)ပြောင်းလဲခြင်း

"လေ(air)၌ အလေးချိန် ရှိသည်။ လေသည် နေရာယူသည်" ဆိုသည်ကို တစ်ခါတစ်ရံ လက်ခံရန် ခက်ခဲ တတ်သည်။ လွယ်ကူသည့် စမ်းသပ်မှုများ ကိုယ်တိုင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် နားလည် သဘောပေါက်နိုင်သည်။

လေထုထည်(volume)သည် ထိုလေ၏ အပူချိန်(temperature)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ ဖိအားကို မပြောင်းလဲအောင် ထိန်းထားနိုင်လျှင်(under constant pressure)လေသည် သတ်မှတ်ထား သောနှုန်း(definite rate)ဖြင့် ကျယ်ပြန့်ခြင်း(expansion) သို့မဟုတ် ကျုံ့ခြင်း(contraction) ဖြစ်ပေါ်သည်။

$$Volume \propto Temperature(\,Pressure\ =\ Constant\,)$$

အပူကြောင့် ပြောင်းလဲသည့် လေထုထည်(volume)ကို အပူချိန် 0°F ၌ရှိသော လေထုထည်၏ အပိုင်းဂဏန်း (friction)ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

လေသည် ပူလျှင် ပွလာသည်။ အပူချိန် 100°F ၌ ရှိသောလေထုထည်(volume)သည် 0°F တွင်ရှိသော လေထုထည်ထက် ပိုများသည်။ လေသည် အပူချိန် 0°F မှ 1°F တက်တိုင်း 0°F ၌ ရှိသော လေထုထည်ထက် 1/460 ဆ များလာသည်။ (အပုံ(၄၆၀)ပုံလျှင် (၁)ပုံ ပိုများလာသည်။) အပူချိန်ကျဆင်းသွား၍ အေးလာလျှင် လည်း ထိုနည်းတူ ကျုံ့လာလိမ့်မည်။ -100°F တွင်ရှိသော လေ၏ထုထည်သည် 0°F တွင် ရှိသော လေထုထည် ထက် 21.7%(100/460) နည်းသည်။ (ကျုံ့သည်)။ တစ်နည်းအားဖြင့် အပူချိန် -100°F တွင်ရှိသော လေ၏ ထုထည်သည် 0°F တွင်ရှိသော လေထုထည်၏ (100-21.7=78.3) 78.3% သာဖြစ်သည်။

ထိုနှုန်းအတိုင်း ကျုံ့သွားလျှင် အပူချိန် -460°F သို့ရောက်သည့် အချိန်တွင် လေသည် ပျောက်ကွယ် သွားရတော့မည် ဖြစ်သည်။ ထိုအချက်သည် မဖြစ်နိုင်သည့်ကိစ္စ တစ်ခုဖြစ်သည်။ လက်တွေ့ အခြေအနေတွင် အပူချိန် -460°F သို့ မရောက်မီ လေသည် အရည်(liquid)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားလိမ့်မည်။

သီအိုရီအရ မည်သည့် အရာဝတ္ထု(substance)ကိုမဆို -460°F အထိ အေးအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် -460°F ကို absolute zero temperature ဟုခေါ်သည်။ -460°F ကို ရည်ညွှန်းရာ အမှတ် (reference)အဖြစ် သတ်မှတ်၍ ရောက်ရှိနေသော အပူချိန်ကို ဖော်ပြလျှင် "**Absolute Temperature**" ဟုခေါ် သည်။ ထို့ကြောင့် 100°F တွင် ရှိသည့် လေ၏ absolute temperature သည် 100°F +460 = 560°R ဖြစ်သည်။ 20°F တွင် ရှိသော လေ၏ absolute temperature သည် 20°F + 460 = 480°R ဖြစ်သည်။

Absolute temperature ၏ သဘောတရား(concept)သည် လေ၏ထုထည်ကို ဖော်ပြရန်အတွက် အသုံးဝင်ရုံ သာမက air con နှင့် သက်ဆိုင်သော သဘောတရား(theory)များကို ရှင်းလင်းစွာ နားလည် သဘောပေါက်အောင် အထောက်အကူ ပြုနိုင်သည်။

ဖိအား မပြောင်းလဲလျှင်(constant pressure) လေထုထည်(volume) နှင့် အပူချိန်(temperature) တို့သည် အောက်ပါ ပုံသေနည်း အတိုင်း ဆက်သွယ်မှု ရှိသည်။

$$\frac{V2}{V1} = \frac{T2}{T1}\ (at\ constant\ pressure)$$

$$V2 \quad = \ V1\,\frac{T2}{T1}$$

V_1 = Initial volume of air T_1 = Initial absolute temperature

V_2 = Final volume of air T_2 = Final absolute temperature

ဥပမာ- လေသည် အပူချိန် 45°F တွင် ထုထည်(volume) 2100 ft^3 ရှိလျှင် ထိုလေကို 125°F သို့ ရောက်အောင် အပူပေးလိုက်လျှင် ထုထည်(volume) မည်မျှ ဖြစ်သွားမည်နည်း။

Initial absolute temperature = 460 + 45°F = 505°R

Final absolute temperature = 460 + 125°F = 585°R

$$V2 \quad = \quad V1\,\frac{T2}{T1}$$

= 2100 x 585 / 505 = 2432.7 ft^3 volume @ 125°F

ဉပမာ- လေသည် အပူချိန် 110°F တွင် ထုထည်(volume) 1500 ft^3 ရှိလျှင် ထိုလေကို 70°F သို့ရောက်အောင် အအေးခံလိုက်လျှင် ထုထည်(volume) မည်မျှ ဖြစ်သွားမည်နည်း။

Initial absolute temperature = 460 + 110°F = 570

Final absolute temperature = 460 + 70°F = 530

$$V2 \quad = \quad V1\,\frac{T2}{T1}$$

= 1500 x 530 / 570 = 1395 ft^3 volume @ 70°F

ဉပမာ- အပူချိန် 100°F တွင်ရှိသော လေ၏ထုထည်(volume)သည် 20°F အပူချိန်တွင်ရှိသော လေ၏ထုထည် ထက် ရာခိုင်နှုန်း မည်မျှ ပိုများမည်နည်း။

$$\frac{100+460}{20+460} = \frac{560}{480}$$

= 1.167 or 16.7% Larger (၁၆.၇% ပိုများသည်။)

V_2/V_1 = T_2/T_1 ပုံသေနည်းသည် အပူချိန်သိသည့် လေ၏ ထုထည်မှ တခြားအပူချိန် တစ်ခုသို့ ပြောင်းလျှင် ရှိနေမည် ထုထည်ကိုသာ ရှာဖွေနိုင်သည်။

အပူချိန်တစ်ခုတည်းကိုသာ သိလျှင် ထုထည်(volume)ကို အထက်ပါ ပုံသေနည်း(formula)ဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။ ထိုသို့ အမြဲပြောင်းလဲနေသည့် လေကို တစ်ညီတစ်ညွတ်တည်း ရည်ညွှန်းပြောဆိုရန် အတွက် reference point တစ်ခု သတ်မှတ်ထားသည်။ ထို reference point သည် Standard Air Condition ဖြစ်သည်။

"**Standard Air Condition**" ဆိုသည်မှာ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air)တစ်ပေါင်သည် အပူချိန် 70°F နှင့် ဖိအား 14.7 psia အောက်တွင် 13.34 ft^3 ထုထည်ရှိသည့် အခြေအနေကို ဆိုလိုသည်။

V_2/V_1 = T_2/T_1 T_1 = 70°F, V1 = 13.34 ft^3

V_2 = V_1 T_2/T_1 T_1 = 70 + 460 = 530°F

V_2 = 13.34 x T_2 / 530

အထက်ပါ ပုံသေနည်းအရ T_2 ကို သိလျှင် V_2 ကို တွက်ယူနိုင်သည်။ V_2 ကို သိလျှင် T_2 ကို တွက်ယူနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ဖိအား(pressure) 14.7 psia တွင် လေတစ်ပေါင်၏ ထုထည်(volume) နှင့် အပူချိန်(temperature)၏ ဆက်သွယ်မှုမှာ

V = T/39.7 ဖြစ်သည်။(IP ယူနစ် အတွက်သာ အသုံးပြုနိုင်သည်။)

ဉပမာ- အလေးချိန် ပေါင် 120(lb) ရှိသည့် လေသည် အပူချိန် 90°F နှင့် ဖိအား 14.7 psia အခြေအနေတွင် ထုထည်(volume)မည်မျှ ရှိမည်နည်း။

$$\boldsymbol{V} = \frac{\boldsymbol{T}}{\mathbf{39.7}} = \frac{\mathbf{90 + 460}}{\mathbf{39.7}}$$

= 550/39.7 = 13.85 ft^3 volume @ 90°F = 13.85 ft^3/lb

အလေးချိန်ပေါင်(၁၂၀) အတွက် = 120 lb x 13.85 ft^3/lb = 1662 ft^3

၁.၅ ဖိအား(Pressure) ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် လေထုထည်(Volume) ပြောင်းလဲခြင်း

သတ်မှတ်ထားသည့် အလေးချိန်ရှိသည့် လေကို ဖိအား(pressure) ပြောင်းပေးလျှင် ထိုလေ၏ ထုထည်(volume) ပြောင်းလဲသည်။

ထိုသို့ ပြောင်းလဲခြင်းသည် လေအတွက် သာမက ဓာတ်ငွေ့အားလုံး(gases) အတွက်လည်း မှန်ကန်သည်။ Super heated steam အတွက်လည်း မှန်ကန်သည်။

လေထဲတွင် ရှိနေသည့် ရေခိုးရေငွေ့သည် ဖိအား အလွန်နိမ့်သည့် (low pressure) superheated steam ဖြစ်သည်။

လက်တွေ့တွင် ဓာတ်ငွေ့များ(gases)ကို အချိန်တိုတိုအတွင်း လျှင်မြန်စွာ ဖိသိပ်(compress)လျှင် အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။ တွက်ချက်မှုများ ရှင်းလင်းရန်အတွက်သာ အပူချိန်ပြောင်းလဲခြင်း(temperature changes) မရှိဟု ယူဆ တွက်ချက်ကြခြင်း ဖြစ်သည်။

$$\frac{V2}{V1} = \frac{P1}{P2}$$

P_1 = Initial pressure, psia P_2 = Final pressure, psia

ဥပမာ - ထုထည်(volume) (၃)ကုဗပေ(3 ft^3) ရှိသော ဆလင်ဒါ(cylinder) တစ်ခုအတွင်း၌ 14.7 psia ဖိအား ရှိသည်။ ထို ဆလင်ဒါ(cylinder) အတွင်းရှိ လေကို 13 psig သို့ရောက်အောင် ဖိသိပ်(compress)လျှင် လေ၏ ထုထည် မည်မျှ ဖြစ်မည်နည်း။

Initial absolute pressure = 14.7 psia

Final absolute pressure = 14.7+13 = 27.7 psia

$$V2 = V1\,\frac{P1}{P2}$$

= 3 x 14.7/27.7 = 1.59 ft^3 volume @ 13 psig

ဥပမာ - ဖိအား 25 psig အောက်တွင် ထုထည်(volume) (၁၀)ကုဗပေ(10 ft^3) ရှိသောလေကို 75 psig သို့ ရောက်အောင် ဖိသိပ်(compress)လိုက်လျှင် final pressure တွင် ရှိမည့် လေထုထည်(volume)ကို ရှာပါ။

Initial absolute pressure = 14.7 + 25 = 39.7 psia

Final absolute pressure = 14.7 + 75 = 89.7 psia

$$V2 = V1\,\frac{P1}{P2}$$

= 10 x 39.7/89.7 = 4.43 ft^3 volume at 75 psig

Air con ဘာသာရပ်တွင် လေ(air) နှင့်ပတ်သက်သည့် တွက်ချက်မှုများ အများဆုံး ပြုလုပ်ကြသည်။ ထို့ကြောင့် လေ၏ ထုထည် (volume)နှင့် ဖိအား(pressure) ဆက်သွယ်မှုများသည် လေ(standard air) တစ်ပေါင် (14.7 psia ၊ 70°F ၊ 13.34 ft) ကို အခြေခံသည်။

$V_2 = V_1\ P_1/P_2$ = 13.34 x 14.7/P

$$V = \frac{196}{P}$$

အပူချိန် 70°F ၌ရှိသော လေ တစ်ပေါင်၏ ထုထည်(volume)သည် V = 196/P ft^3/lb ဖြစ်သည်။

ဥပမာ - ဖိအား 82 psig နှင့် အပူချိန် 70°F တွင်ရှိသော လေ တစ်ပေါင်၏ ထုထည်(volume)ကိုရှာပါ။

Gauge pressure ကို absolute pressure သို့ပြောင်းပါ။

Absolute pressure = 14.7 + 82 = 96.7psia

V = 196/P = 196/96.7 = 2.03 ft^3/lb @ 82 psig or 96.7 psia

အောက်ပါ ဥပမာဖြင့် ဖိအား(pressure)နှင့် အပူချိန်(temperature)တစ်ပြိုင်နက် ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် ထုထည် (volume)ပြောင်းလဲပုံ တွက်နည်းဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

ဥပမာ - လေထုဖိအား(atmospheric pressure) 14.7 psia နှင့် အပူချိန် 85°F တွင် ရှိသော လေထုထည် 10ft^3 ကို ဖိအား 30 psig သို့ ရောက်အောင် ဖိသိပ်(compress)လျှင် အပူချိန် 125°F အထိ မြင့်တက်သွားသည်။ နောက်ဆုံး အခြေအနေ(condition)၌ရှိသော လေ၏ ထုထည်(volume)ကို ရှာပါ။

(၁) ပထမဦးစွာ ဖိအား(pressure)ကြောင့် ပြောင်းသည့် ထုထည်(volume)ကို ရှာပါ။

Initial absolute pressure = 14.7 psia

Final absolute pressure = 14.7 + 30 = 44.7 psia

$$V2 = V1\,\frac{P1}{P2}$$

= 10 x 14.7/44.7 = 3.29 ft^3

(၂) ထို့နောက် အပူချိန် မြင့်တက်လာမှုကြောင့် final temperature တန်ဖိုး ပြောင်းလာသည်။ ထုထည် (volume)ကို ရှာရန်

Initial absolute temperature = 460 + 85 = 545°R

Final absolute temperature = 460 + 125 = 585°R

$$V2 = V1\,\frac{P1}{P2}$$

= 3.29 x 585/545 = 3.53 ft^3/lb volume @ final air 125°F @ 30 psig

$$V = 0.37\frac{T}{P}$$

အထက်ပါ ပုံသေနည်းမှ လေတစ်ပေါင်၏ ထုထည်(volume)ကို ထိုလေ၏ အပူချိန်(temperature)နှင့် ဖိအား (pressure)ကို သိလျှင် တွက်ယူနိုင်သည်။

၁.၆ Enthalpy

Enthalpy ဆိုသည်မှာ ဒြပ်ဝတ္ထုတစ်ခုက သိုလှောင်ထားသည့် အပူပမာဏ(heat content)ဖြစ်သည်။ Heat content နှင့် Enthalpy တို့သည် အဓိပ္ပာယ်တူကြသည်။ Heat content သို့မဟုတ် Enthalpy သည် ဒြပ်ဝတ္ထုတစ်ခု၏ အပူပိုင်ဆိုင်မှုကို ဖော်ပြသည့် တန်ဖိုးဖြစ်သည်။ Enthalpy နှင့် Heat သည် အဓိပ္ပာယ် မတူညီပါ။

> တစ်နေရာမှ အခြားတစ်နေရာသို့ ကူးပြောင်း(transfer)သွားနိုင်သည့် စွမ်းအင်(form of energy)ကိုသာ "Heat" အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ အရာဝတ္ထုတစ်ခု၏ အပူပိုင်ဆိုင်မှု သို့မဟုတ် သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားသည့် အပူကို Enthalpy အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Enthalpyသည် ဒြပ်ဝတ္ထုတစ်ခု၏ ကူးပြောင်း(transfer)နိုင်သည့် စွမ်းအင်(energy)နှင့် ကျန်သည့်စွမ်းအင်(energy) အားလုံးကို ဖော်ပြသည့် ပိုင်ဆိုင်မှု တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။

ဥပမာ လူတစ်ယောက်၏ ရွှေ့ပြောင်းနိုင်သည့် ပိုင်ဆိုင်မှုသည် Heat နှင့် တူသည်။ ရွှေ့ပြောင်းနိုင်သည့် ပိုင်ဆိုင်မှု နှင့် မရွှေ့ပြောင်းနိုင်သည့်အရာ အားလုံးတို့သည် "Enthalpy" ဖြစ်သည်။ (အချိန် အခိုက်အတန့် အတွက် ဖြစ်သည်။) အရာဝတ္ထုတစ်ခု၏ အပူပိုင်ဆိုင်မှု သို့မဟုတ် သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားသည့် အပူ (Enthalpy)အားလုံးကို အခြား တစ်နေရာရာသို့ ကူးပြောင်း(transfer)နိုင်လျှင် Enthalpy တန်ဖိုးနှင့် Heat တန်ဖိုးတို့ တူညီကြသည်။

သို့သော် လက်တွေ့တွင် ကူးပြောင်း(transfer)နိုင်သည့် အပူ(heat)ပမာဏသည် Enthalpy (သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားသည့် အပူပမာဏ)ထက် နည်းလေ့ရှိသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် သိုလှောင်ထားသမျှ အပူအားလုံးကို လုံးဝကုန်စင်အောင် ကူးပြောင်း(transfer)သွားအောင်လုပ်ရန် အလွန်ခဲယဉ်းသည်။ (လူတစ်ယောက်သည် သူ့၏ ပိုင်ဆိုင်သမျှအားလုံးကို တစ်ပြားမကျန် စွန့်လွှတ် ပေးကမ်းရန် မဖြစ်နိုင်သကဲ့သို့ ဖြစ်သည်။)

အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer)ဖြစ်ရန်အတွက် အပူချိန်ခြားနားချက်(temperature difference) ရှိရန် လိုသည်။ ပိုင်ဆိုင်မှုများသူကသာ ပိုင်ဆိုင်မှု နည်းသူကို ပေးကမ်းစွန့်ကြဲလေ့ရှိသကဲ့သို့ Enthalpy မြင့်သည့်(temperature မြင့်သည့်) အရာဝတ္ထုကသာ Enthalpy နိမ့်သည့်(temperature နိမ့်သည့်) အရာဝတ္ထုထံသို့ အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer) ဖြစ်နိုင်သည်။

အပူချိန်(temperature)၊ အပူ(heat) နှင့် Enthalpy တို့ကို ရှင်းလင်းကွဲပြားစွာ နားလည်ရန် လိုသည်။ အပူချိန်(temperature)သည် ဒြပ်ဝတ္ထုတစ်ခု၏ thermal level သို့မဟုတ် thermal intensity ကိုသာပြဆိုသည်။ Thermal level မြင့်သည့် ဒြပ်ဝတ္ထုသည် အပူချိန်မြင့်သည်။

အပူချိန်မြင့်သည့် ဒြပ်ဝတ္ထု(high temperature body)သည် အပူပိုင်ဆိုင်မှု(Enthalpy)များသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အပူ သိုလှောင်ထားမှု များသည်။ ထို Enthalpy ထဲမှ ကူးပြောင်း(transfer)သွားနိုင်သည့် အပူစွမ်းအင်ကိုသာ "Heat" ဟုပြောဆို ကြသည်။ အပူကူပြောင်းခြင်း(heat transfer)ဖြစ်ရန် အပူချိန်မြင့်သည့် (ပေးမည့်)နေရာမှ အပူချိန်နိမ့်သည့် (လက်ခံမည့်) နေရာသို့ စီးဆင်းမည့် အပူပမာဏ(amount of heat)သည် ဒြပ်ဝတ္ထု(mass) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Definition - heat is defined as the form of energy that is transferred between two systems by virtue of temperature difference.

System တစ်ခုအတွင်းရှိ စွမ်းအင်(energy) ပြောင်းလဲမှုသည် ထို system ထဲသို့ ထည့်သည့် စွမ်းအင်(E_{in}) ပမာဏမှ ထို system ထဲမှ ထုတ်လိုက်သည့် စွမ်းအင်(E_{out})ပမာဏကို နှုတ်ခြင်းနှင့် ညီမျှသည်။

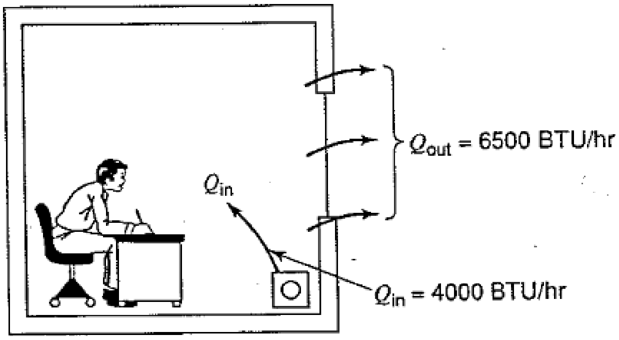
$$E_{Change} = E_{in} - E_{out}$$

E_{ch} = change in stored energy in the system

E_{in} = energy added to (entering) the system

E_{out} = energy removed (leaving) the system

ဥပမာ- ရုံးခန်းတစ်ခု၏ အပူပေးစက်(room hot water heater)တစ်ခုမှ 4,000 Btu/hr အပူပမာဏကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။



ပုံ ၁-၂၁ အခန်းအတွင်းမှ အပူများထွက်သွားပုံ

အခန်းအတွင်းမှ အပူသည် အပြင်ဘက်သို့ 6500 Btu/hr နှုန်းဖြင့် ထွက်သွားသည်။ အခန်းသည် မည်သည့် အခြေအနေ ဖြစ်လာမည်နည်း ။ မည့်သို့ ကာကွယ် ရမည်နည်း။

$$E_{Change} = E_{in} - E_{out}$$

= 4000 Btu/hr - 6500 Btu/hr

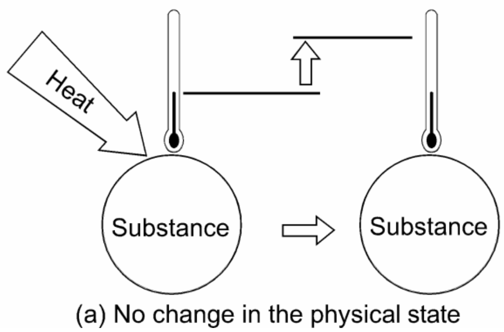
= - 2500 Btu/hr

အနှုတ်လက္ခဏာသည် အခန်းအတွင်းမှ အပူများ ဆုံးရှုံးနေသည်ကို ဖော်ပြသည်။ အခန်းအတွင်းမှ ထွက်သွားသည့် အပူပမာဏသည် အပူပေးစက်(heater)မှ ထုတ်ပေးသည့် အပူပမာဏထက် များသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

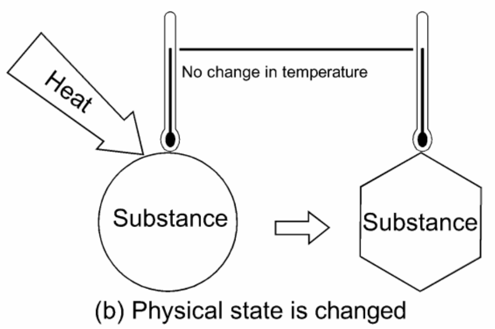
အပူ(heat) ဆုံးရှုံးမှုကြောင့် Enthalpy လျော့နည်းမှုကို ဖြစ်ပေါ်စေပြီး အခန်း၏ အပူချိန် ကျဆင်းလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် အပူဆုံးရှုံးမှု နည်းအောင် insulate လုပ်ခြင်းဖြင့် ကာကွယ်နိုင်သည်။ သို့မဟုတ် 25,000 Btu/hr ထုတ်ပေးနိုင်သည့် လျှပ်စစ်အပူပေးစက်(electric heater)ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

Air con ဘာသာရပ်ကို ကျွမ်းကျင်စွာ တတ်မြောက်ရန် လေ နှင့် ရေ တို့၏ သဘာဝ (nature) ကို အသေးစိတ် လေ့လာရန် လိုသည်။

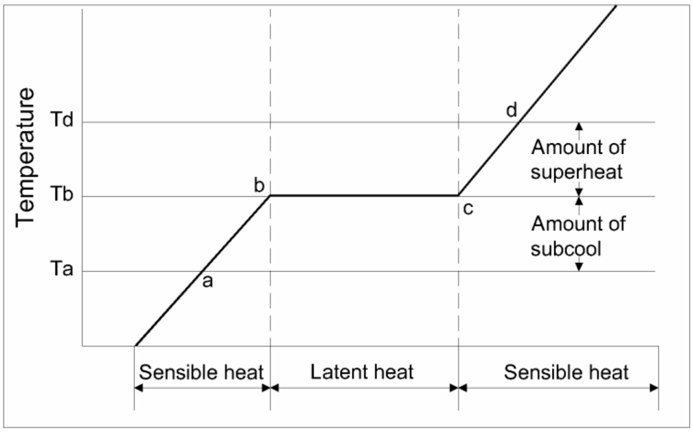
၁.၇ Sensible Heat and Latent Heat



ပုံ ၁-၂၂ (a) Sensible Heat



ပုံ ၁-၂၂ (b) Latent Heat



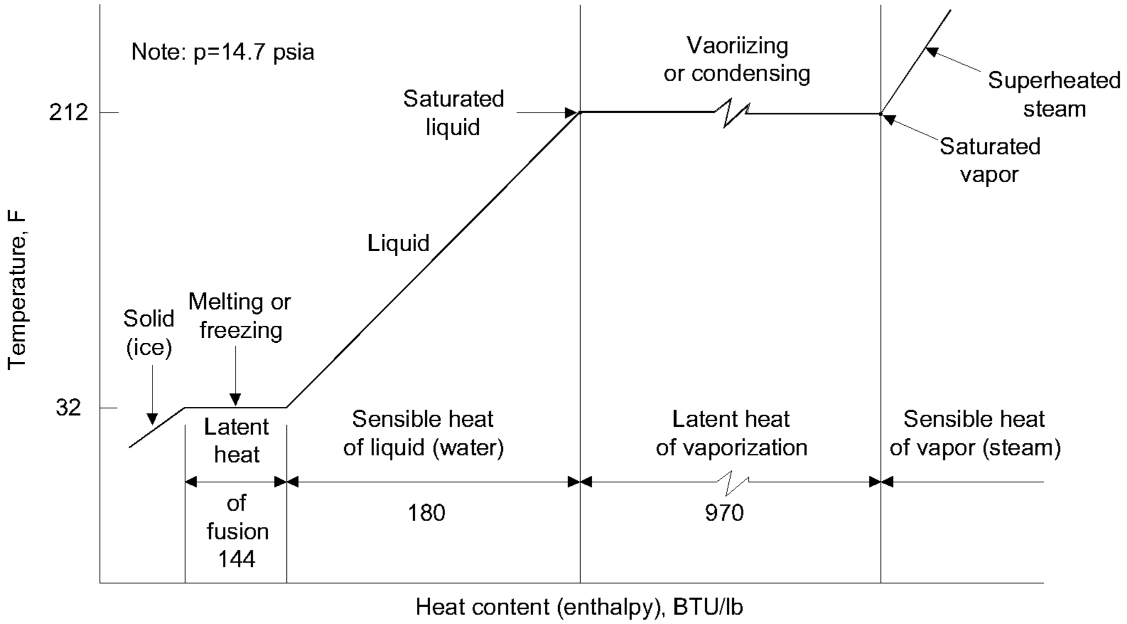
ပုံ ၁-၂၃ Sensible Heat and Latent Heat

အပူပေးခြင်း(heat addition) သို့မဟုတ် အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(removal of heat)ဖြင့် အရာဝတ္ထုများ (substance) များ၏ physical state များကို ပြောင်းလဲနိုင်သည်။

ဒြပ်ထုများကို အပူပေးသည့်အခါ(heat added) အခြေအနေ နှစ်မျိုး ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

(၁) ဒြပ်ထုများကို အပူပေးသည့်အခါ(heat added) အပူချိန်(temperature) မြင့်တက်လာပြီး phase သို့ state ပြောင်းလဲခြင်း မရှိလျှင် ထိုဖြစ်စဉ်(process)ကို "**Sensible Heat Change Process**" ဟုခေါ်သည်။ ထည့်ပေးသည့် အပူ(heat)ကို "**Sensible Heat**" ဟုခေါ်သည်။ အပူကို ဖယ်ထုတ်လျှင်လည်း ထိုနည်းတူပင် ဖြစ်သည်။

(၂) အပူပေးသည့်အခါ(heat added) အပူချိန်ပြောင်းလဲခြင်းမရှိဘဲ phase သို့မဟုတ် state သာ ပြောင်းလဲလျှင် ထိုထည့်ပေးအပူကို "**Latent heat**" ဟုခေါ်သည်။



ပုံ ၁-၂၄ Temperature-enthalpy(heat content)change of water at 14.7 psi a surrounding pressure.

Sensible Heat

Sensible heat Equation: $Q_s = m\,x\,C_p\,x\,\Delta t \;=\; m\,x\,C_p\,(t_2 - t_1)$

Q_s = rate of sensible heat added or removed from substance (Btu/hr)

m = weight rate flow of substance (lb/hr)

C_p = specific heat of substance at constant Pressure Btu/lb (°F)

$\Delta t = t_2 - t_1$ = temperature change or 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 သည် မဖြစ်သလောက် နည်းသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

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 water) ဖြစ်သည်။

$$Q_s = m\,x\,C_p\,x\,\Delta t$$

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

$m = 500\ \text{GPM x}\ \frac{500\ \text{lb/hr}}{1\ \text{GPM}}$ (for water 1GPM = 500 lb/hr)

= 250,000 lb/hr

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

$$Q_s = 250{,}000\frac{lb}{hr}\ x\ 1\frac{Btu}{lb\,°F}\ x(43 - 55)$$

=-3,000,000 Btu/hr

အနှုတ် လက္ခဏာသည် အပူ(heat)များကို ရေမှ ဖယ်ထုတ်လိုက်သည် ဟုဆိုလိုသည်။ ထို့ကြောင့် ရေသည် နွေးရာ(အပူချိန်မြင့်ရာ)မှ အေးသွား(အပူချိန်နိမ့်ဆင်းသွား)သည်။

Btu/hr မှ Refrigeration သို့ပြောင်းရန် 1 RT (Refrigeration Ton) 12,000 Btu/hr = 3.517 kW

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

cooling capacity ကို kW(kilowatt)ဖြင့် ဖော်ပြရန်

$$30{,}000{,}000\ Btw/hr\ x\ \frac{1\ kW}{3410\ Btu/hr} = 880\ kW$$

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

ဥပမာ-ဘွိုင်လာ(boiler) တစ်လုံး ၏ fuel oil preheater သည် ပျက်စီးသွားသောကြောင့် အရန်(spare) heater ကို အစားထိုး အသုံးပြုရန် ဖြစ်သည်။ အရန်(spare) heater ၏ capacity သည် 100,000 Btu/hr ဖြစ်သည်။ ဘွိုင်လာ(boiler) ၏ လောင်စာဆီစီးနှုန်း(fuel oil flow rate) 10 GPM ဖြစ်ပြီး 60˚F အပူချိန်ရှိသော fuel oil ကို 180˚F သို့ရောက်အောင် အပူပေးရန် လိုအပ်သည်။ လောင်စာဆီ၏ သိပ်သည်းဆ(density of oil)သည် 8.0 lb/gal ဖြစ်ပြီး လောင်စာဆီ(fuel oil) ၏ specific heat သည် 0.5 Btu/lb˚F ဖြစ်သည်။ အရန် အပူပေးစက်(spare heater) ၏ capacity သည် အစားထိုး အသုံးပြုနိုင်လောက်အောင် အရွယ်အစား ကြီးမကြီးကို တွက်ပါ။

ပထမဦးစွာ လောင်စာဆီ(fuel oil)၏ ထုထည်စီးနှုန်း(GPM)ကို အလေးချိန်စီးနှုန်း(lb/hr)သို့ ပြောင်းရန် လိုအပ်သည်။

$$m = 10\frac{gal}{min}\ x\ \frac{60min}{1hr}\ x\ \frac{8.0\ lb}{gal} = 4800\ lb/hr$$

$$\boldsymbol{Q_s = m\ x\ C\ \ x\ TC = m\ x\ c(t_2 - \ t_1)}$$

$$Tc = \ (t_2 - \ t_1) = \frac{100{,}000\ Btu/hr}{4800\frac{lb}{hr}x\ 0.5Btu/lbF} = 42°F$$

$$T_2 = 42 + t_1 = 42 + 60 = 102°F$$

အရန် အပူပေးစက်(spare heater)သည် 10 GPM နှုန်းဖြင့် အပူချိန် 60˚F ရှိသော လောင်စာဆီ(fuel oil)ကို အပူချိန် 102˚F သို့ရောက်အောင် အပူပေး နိုင်သည်။

ဥပမာ Air con duct အတွင်း၌ ရှိသော လျှပ်စစ်အပူပေးစက်(electric heater)၏ capacity သည် 2 kW ဖြစ်သည်။ အပူမပေးခင် လေ၏ အပူချိန်သည် 80˚F ဖြစ်ပြီး heater ကို ဖြတ်ပြီးနောက် လေ၏ အပူချိန်သည် 100°F ဖြစ်သည်။ Duct အတွင်းတွင် လေစီးနှုန်း(air flow rate) မည်မျှ ရှိသည်ကို ft^3/min(CFM)ဖြင့် ဖော်ပြပါ။ အပူပေးစက်(heater)ထုတ်လုပ်သူများ ရောင်းချသူများသည် အပူပေးစက်(heater)၏ heating capacity ကို kW(kilowatt) ဖြင့်သာ ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။

(၁) Heater capacity ကို Btu/hr သို့ ပြောင်းပါ။

1kW = 3,410 Btu/hr

$$Q_s = 2kW\ x\ \frac{3410\ Btu/hr}{1\ kW} = 6{,}820\ Btu/hr$$

(၂) Sensible heat equation ကို သုံး၍ mass flow rate ကို ရှာရန် - လေ၏ specific heat မှာ

$$C_p = 0.24\frac{Btu}{lb\ °F}$$

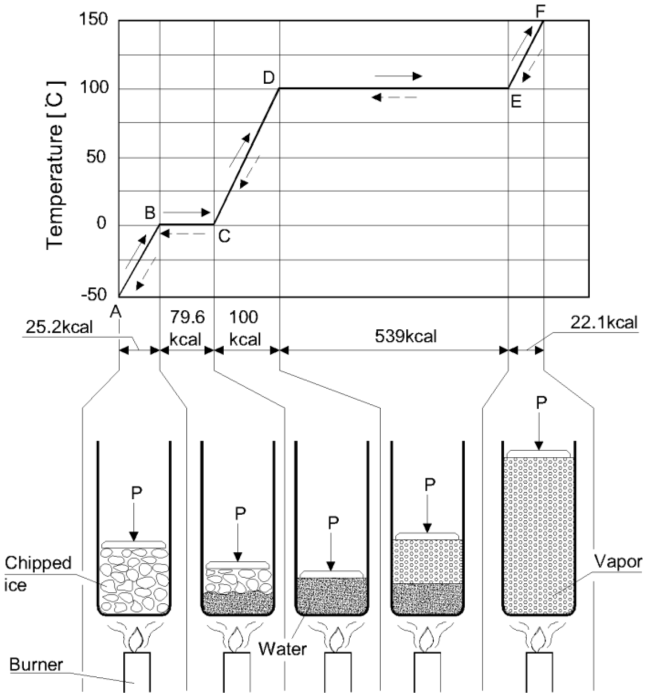
$$Q_3 = m \; x \; Cp \; x \; \Delta t$$

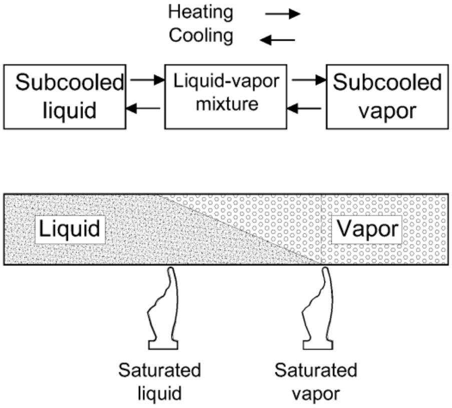
$$m = \frac{\mathrm{Qs}}{\mathrm{C\;x}\;\Delta t} \;\mathrm{x}\; \frac{6820\;\mathrm{Btu/hr}}{0.24\frac{\mathrm{Btu}}{\mathrm{lb\;°F}}\;x\;20F} = 1420\;lb/hr$$

(၃)   CFM သို့ပြောင်းရန်

$$CFM = 1420\frac{lb}{hr}\;\;x\;\frac{1\;hr}{60\;min}\;x\;\frac{1\;ft^3}{0.075\;lb} = 316\;ft^3/min$$

Latent Heat





ပုံ ၁-၂၅ ရေခဲမှ ရေနွေးငွေ့ အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲပုံ   ပုံ ၁-၂၆

အရည်(liquid)အဖြစ်မှ အငွေ့(vapor)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲရန်အတွက် ထည့်ပေးရသည့်အပူကို "**Latent Heat of Vaporization**" ဟုခေါ်သည်။ အငွေ့(vapor)အဖြစ်မှ အရည်(liquid) အဖြစ်သို့ရောက်အောင် ထုတ်ယူပစ်ရသည့် အပူကို "**Latent Heat of Condensation**" ဟုခေါ်သည်။

ရေ၏ "Latent Heat of Vaporization" နှင့် "Latent Heat of Condensation" တို့သည် တန်ဖိုး တူညီကြသည်။ 970 Btu/lb (2257 kJ/Kg)ဖြစ်သည်။

အစိုင်အခဲ(solid) အဖြစ်မှ အရည်(liquid)အဖြစ်သို့ ပြောင်းရန်အတွက် ထည့်ပေးရသည့် အပူကို "**Latent Heat of Solidification**" ဟုခေါ်သည်။ အရည်(liquid) အဖြစ်မှ အစိုင်အခဲ(solid) အဖြစ်သို့ ပြောင်းရန်အတွက် ထုတ်ယူရသည့် အပူကို "**Latent Heat of Fusion**" ဟုခေါ်သည်။

ရေ၏ "Latent Heat of Solidification" နှင့် "Latent Heat of Fusion" တို့သည် ပမာဏအားဖြင့် တူညီကြသည်။ 144 Btu/lb (334 kJ/Kg) ဖြစ်သည်။

ဒြပ်ထု(substance) အမျိုးအစားကို လိုက်၍ saturation temperature ကွဲပြားကြသည်။ လေထုဖိအား (atmospheric pressure)အောက်တွင် ရေသည် အပူချိန် 100°C ၌ ဆူပွက်ခြင်း(boiling) ဖြစ်ပြီး အရက်ပျံ

(alcohol)သည် 78°C တွင် စတင်ဆူပွက်ခြင်း(boiling) ဖြစ်သည်။ R-22 ဓာတ်ငွေ့သည် -40.8°C တွင် စတင်ဆူပွက်ခြင်း(boiling) ဖြစ်သည်။

ဥပမာ ရေအပေါ်တွင် ဖိအား 0.1MPa(atmospheric pressure) သက်ရောက်နေလျှင် ထိုရေ၏ saturation temperature သည် 100°C ဖြစ်သည်။ ရေ၏ ဖိအား(pressure)သည် 0.2MPa ဖြစ်လျှင် ရေ၏ saturation temperature သည် 119°C ဖြစ်သွားသည်။ ရေဖိအား(pressure)သည် 0.05MPa ဖြစ်လျှင် ရေ၏ saturation temperature သည် 81°C ဖြစ်သည်။

Latent heat of vaporization (condensation)

Substance	Btu/lb	kJ/Kg
air		2501
Water	970 at 212°F	2257 at 100°C
R-12	68.2 at 5°F	159 at 15°C
R-22	93.2 at 5°F	217 at 15 °C
R-407C	-	294 at 15 °C
R-410A	-	233 at 15 °C
R-134a	-	209 at 15 °C

Latent Heat Formula

$$Q = m \, x \, \Delta h$$

ဥပမာ ရေအလေးချိန် (၁၀)ကီလိုဂရမ်ကို 100°C ၌ အရည်(liquid)အဖြစ်မှ အငွေ့(gas)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားစေရန် လိုအပ်သည့် အပူ ပမာဏကို ရှာပါ။

ရေ၏ Latent Heat of Vaporization သည် 2257 kJ/kg ဖြစ်သည်။

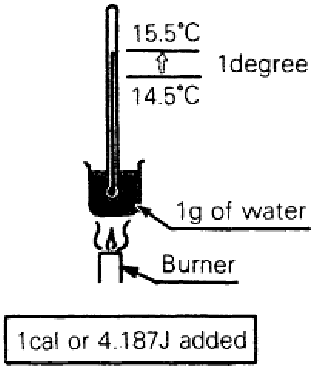
Q = 10 kg x 2257 kJ/kg = 22,570 kJ လိုအပ်သည်။

၁.၈ အပူ(Heat)ကို တိုင်းတာသည့် ယူနစ်များ

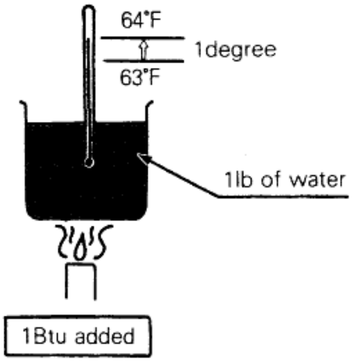
အပူချိန်တိုင်းသည့် သာမိုမီတာ(thermometer)သည် intensity of heat ကိုသာ တိုင်းနိုင်သည်။ အပူပမာဏ(quantity of heat)ကို မတိုင်းတာနိုင်ပေ။ လက်တွေ့တွင် အပူပမာဏ(quantity of heat) မည်မျှနည်းသည် သို့မဟုတ် မည်မျှများသည်ကို တွက်ချက်ပြောဆိုရန် လိုအပ်သည်။ အပူပမာဏ(quantity of heat)ကို တိုင်းယူသည့် ယူနစ် များစွာရှိသည်။

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

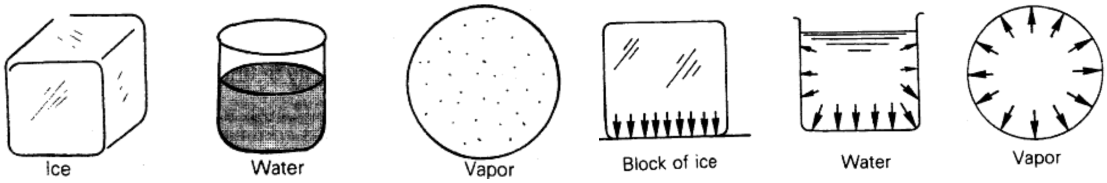
ယူနစ်	ရေ၏အလေးချိန်	အပူချိန်(တက်/ကျ)	အပူပမာဏ(amount of heat)
Kilocalorie [kcal]	1 kg	1°C	1 kcal
Joule [J]	1 g	1°C	4.187 J
Kilojoule[kJ]	1 kg	1°C	4.187 kJ
British Thermal Unit [BTU]	1 lb	1°F	1 Btu



ပုံ ၁-၂၇ အပူပမာဏ 1 cal (4.187J) ထည့်ပေးခြင်း



ပုံ ၁-၂၈ အပူပမာဏ 1 Btu ထည့်ပေးခြင်း

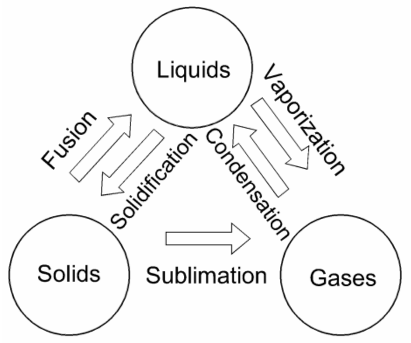


ပုံ ၁-၂၇ ရေခဲ(ice)၊ ရေ(water) နှင့် ရေငွေ့(vapor)တို့မှ သက်ရောက်နေသည့် ဖိအားအမျိုးမျိုး

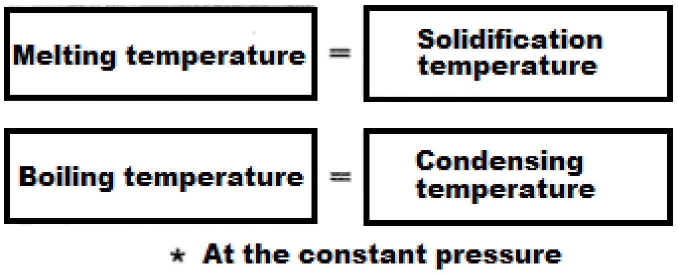
အပူ(heat)၏ ယူနစ်တစ်ခု မှ တစ်ခုပြောင်းယူရန် ဆက်သွယ်ချက်

Conventional metric systems		S.I metric system		Yard-pound system
cal	kcal	J	kJ	Btu
1	0.001	4.186	0.004186	0.003968
1000	1	4186	4.186	3.968
0.2389	0.0002389	1	0.001	0.000948
238.9	0.2389	1000	1	0.9480
252	0.2520	1055	1.055	1

အပူပေးခြင်း(heat addition)ကြောင့် အစိုင်အခဲ(solid)မှ အရည်(liquid) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်းကို “**Fusion**” ဟုခေါ်သည်။ အရည်(liquid)အဖြစ်မှ အငွေ့(vapor)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်းကို “**Vaporization**” ဟုခေါ်သည်။



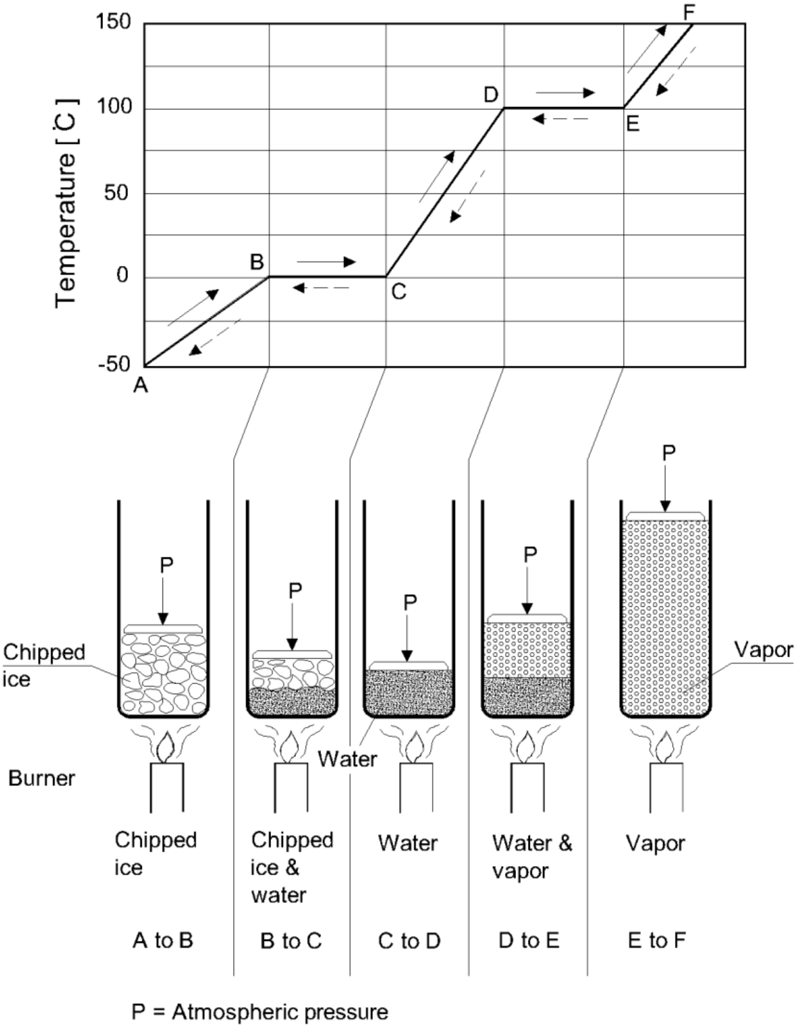
ပုံ ၁-၂၉



ပုံ ၁-၃၀

အစိုင်အခဲ(solid)မှ အငွေ့(vapor)အဖြစ်သို့ (အရည်အဖြစ်သို့ တစ်ဆင့် ပြောင်းလဲခြင်းမရှိ) တိုက်ရိုက် ပြောင်းလဲခြင်းကို "**Sublimation**" ဟုခေါ်သည်။ အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat removal)ကြောင့် အငွေ့(vapor) အဖြစ်မှ အရည်(liquid) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်းကို "**Condensation**" ဟုခေါ်သည်။ အရည်(liquid)အဖြစ်မှ အစိုင်အခဲ(solid) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်းကို "**Solidification**" ဟုခေါ်သည်။

၁.၉ ရေ၏ အသွင်ပြောင်းလဲမှုများ (Phase Change of Water)



ပုံ ၁-၃၁ အပူပေးခြင်းကြောင့် ရေခဲ(ice)မှ ရေငွေ့(water vapor)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲပုံအဆင့်ဆင့်

A မှ B ခွက်တစ်ခုအတွင်း၌ အပူချိန် -50°C ရှိသော ရေခဲတုံးကလေးများအား ထည့်၍ မီးဖိုဖြင့် အပူပေးလျှင် ရေခဲတုံးကလေးများ၏ အပူချိန်သည် တဖြည်းဖြည်း မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ ထို့နောက် 0°C(32°F) သို့ရောက်လျှင် အပူချိန်မြင့်တက်လာမှုသည် ရပ်တန့်သွားလိမ့်မည်။

B မှ C 0°C(32°F)အပူချိန်သို့ရောက်ရှိလျှင် ရေခဲတုံးကလေးများ စတင် အရည်ပျော်လာမည်။ ရေခဲတုံး ကလေးများအဖြစ် ရှိနေသမျှ အပူချိန်သည် 0°C (32°F)မှ မြင့်တက်လာလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ အချိန် ခဏကြာလျှင် ရေခဲတုံးများအားလုံးသည် အရည်အဖြစ်သို့ ရောက်ရှိသွားလိမ့်မည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် 0°C(32°F) ရေ(liquid) အဖြစ်သို့ ရောက်သွားသည်။ ထိုအချိန်တွင် မီးဖိုမှ အပူပေးနေပြီး ရေခဲတုံးများ၏ အပူချိန်သည် မြင့်တက်လာခြင်းမရှိလျှင် မီးဖိုမှ ပေးနေသည့် အပူများသည် မည်သည့်

နေရာသို့ ရောက်ရှိ ကုန်သနည်း။ ထိုအပူများသည် 0°C(32°F) ရေခဲတုံး(ice)အဖြစ်မှ 0°C(32°F) ရေ(liquid) အဖြစ်သို့ အသွင်(phase) ပြောင်းရန် အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအင်အဖြစ်သို့ ရောက်ရှိသွားသည်။

C မှ D ရေခဲများ အားလုံး အရည်ပျော်ပြီးနောက် အပူချိန် 0°C(32°F) မှ 100°C(212°F)သို့ ရောက်အောင် တဖြည်းဖြည်း အပူချိန် တိုးလာသည်။

D မှ E အပူချိန် 100°C(212°F)သို့ ရောက်ပြီးနောက် အပူချိန် ဆက်မတက်တော့ဘဲ ရေများ စတင်ဆူပွက်လာကာ ရေနွေးငွေ့ 100°C(vapor) အဖြစ်သို့ စတင်ပြောင်းလဲလာသည်။ အချိန်ခဏ အကြာတွင် ရေ(water) အားလုံးသည် 100°C ရေနွေးငွေ့အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။

E မှ F ခွက်အတွင်း၌ ရေအဖြစ်မရှိတော့ဘဲ ရေနွေးငွေ့များသာ ဖြစ်နေသည့် အခြေအနေကို saturated vapor ဟုခေါ်သည်။ 100°C(212°F) ရေငွေ့(vapor) မှတဖြည်းဖြည်း အပူချိန်တက်လာသည်။ Saturated vapor ဖြစ်ပြီးနောက် ဆက်တက်လာသည့် အပူချိန်ကို "**Superheat Temperature**" ဟုခေါ်သည်။

၁.၁၀ စတင် အရည်ပျော်သည့် အပူချိန် (Melting Temperature)

အစိုင်အခဲ(solid)အဖြစ်မှ အရည်(liquid)အဖြစ်သို့ပြောင်းသည့် အပူချိန်ကို စတင်အရည်ပျော်သည့် အပူချိန်(melting temperature) သို့မဟုတ် အရည်ပျော်မှတ်(melting point)ဟု ခေါ်သည်။ လေထုဖိအား (atmospheric pressure) အောက်တွင် ရေ(water)၏ အရည်ပျော်မှတ်(melting point)သည် 0°C (32°F) ဖြစ်သည်။

၁.၁၁ စတင်ဆူပွက်သည့် အပူချိန်(Boiling Point)

အရည်(liquid)အဖြစ်မှ အငွေ့(vapor) အဖြစ်သို့ ပြောင်းသည့် အပူချိန်ကို စတင်ဆူပွက်သည့် အပူချိန် (boiling temperature) သို့မဟုတ် ရေဆူမှတ်(boiling point) သို့မဟုတ် evaporation temperature သို့မဟုတ် vaporization temperature သို့မဟုတ် saturation temperature ဟု အသုံးပြုပုံကိုလိုက်၍ အမျိုးမျိုး ရေးသား ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ လေထုဖိအား(atmospheric pressure) အောက်တွင် ရေ၏ ရေဆူမှတ် (boiling point)သည် 100°C(212°F)ဖြစ်သည်။
အထက်ပါ ဖြစ်စဉ်များသည် အပူပေးခြင်း(heat adding) အတွက် ဖြစ်သည်။

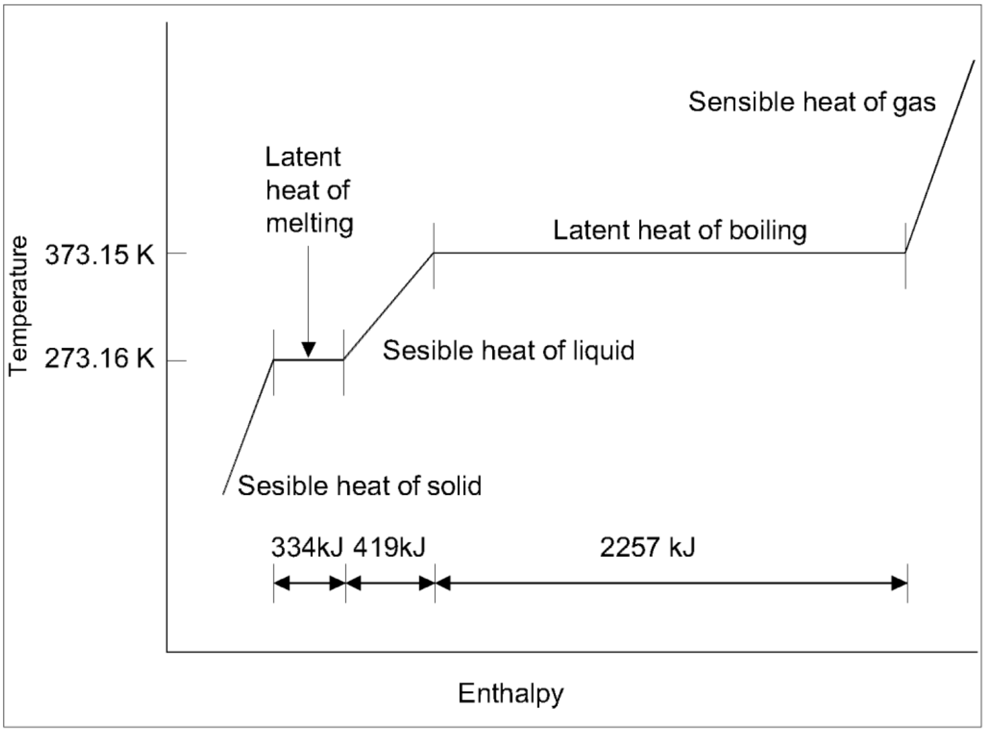
၁.၁၂ Condensation Temperature

အငွေ့(vapor)အဖြစ်မှ အရည်(liquid)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသည့်အပူချိန်ကိုcondensing temperature သို့မဟုတ် saturation temperature ဟုခေါ်သည်။ ရေ၏ condensation temperature သည် 100°C (212°F)ဖြစ်သည်။

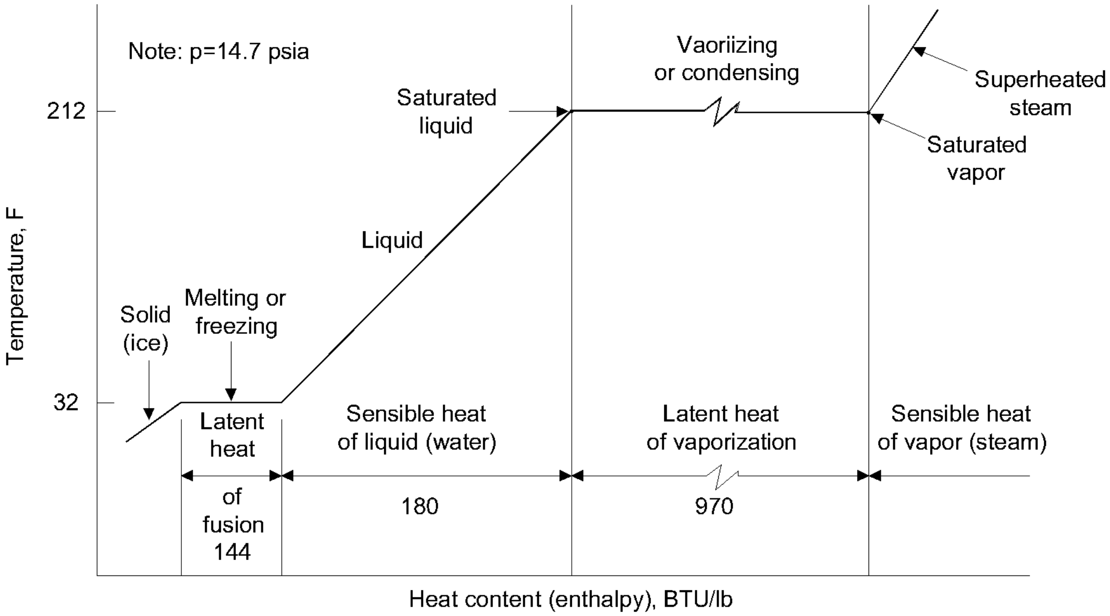
၁.၁၃ Solidification Temperature

အရည်အဖြစ်မှ အစိုင်အခဲ(solid)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသည့် အပူချိန်ကို "**Solidification Temperature**" ဟုခေါ်သည်။ ရေ၏ solidification temperature သည် 0°C (32°F) ဖြစ်သည်။ အထက်ပါ ဖြစ်စဉ်များသည် အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat removal) အတွက် ဖြစ်စဉ်များ ဖြစ်သည်။

အထက်ပါ ရေဆူမှတ်(boiling point) နှင့် အရည်ပျော်မှတ်(melting point) တို့သည် လေထုဖိအား (atmospheric pressure)အတွက်သာ မှန်သည်။ ရေ(water)၏ ရေဆူမှတ်(boiling point)လည်း ထိုရေအပေါ်တွင် သက်ရောက်နေသော ဖိအားကို မူတည်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။



ပုံ ၁-၃၂ ရေ၏ sensible heat နှင့် latent heat တန်ဖိုးများ (SI ယူနစ်)



ပုံ ၁-၃၃ ရေ၏ sensible heat နှင့် latent heat တန်ဖိုးများ (IP ယူနစ်)

အပူချိန် 32°F(0°C)၌ ရေခဲများ အရည်ပျော်ခြင်းကို melting ဖြစ်သည် ဟုခေါ်သည်။ အရည်ပျော်ခြင်းကြောင့် ရေခဲများက အနီးဝန်းကျင်(surrounding)မှ အပူ(heat)များကို စုပ်ယူလိုက်သည်။ ရေခဲများတွင် အပူတိုးခြင်း သို့မဟုတ် အပူစုပ်ယူခြင်း(latent heat gain) ဖြစ်ပေါ်ပြီး၊ အနီးဝန်းကျင်(surrounding)တွင် အပူဆုံးရှုံးခြင်း(heat loss) ဖြစ်ပေါ်သည်။

ရေခဲအဖြစ်မှ ရေအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်း(melting)ကို "**Latent Heat of Fusion**" ဟု ခေါ်သည်။ ရေအဖြစ်မှ ရေခဲအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်း "**Latent Heat of Solidification**" ဟု ခေါ်သည်။ Latent heat ဆိုသည်မှာ အပူချိန်(temperature) ပြောင်းလဲခြင်းမရှိဘဲ အသွင်(phase) ပြောင်းလဲရန်အတွက် လိုအပ်သော အပူ(heat)ကို ဆိုလိုသည်။

ရေ၏ latent heat of fusion နှင့် latent heat of solidification တန်ဖိုးတို့ တူညီကြသည်။ 144 Btu/lb (334 kJ/Kg)ဖြစ်သည်။ ရေတစ်ပေါင်ကို အရည်အဖြစ်မှ ရေခဲအဖြစ်သို့(freezing) phase ပြောင်းရန် အတွက် 144 Btu ပမာဏရှိသော အပူကို ရေမှ ဖယ်ထုတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ပြောင်းပြန် အားဖြင့် ရေခဲ တစ်ပေါင် အရည်ပျော်လျှင် (melting) 144 Btu ပမာဏရှိသော အပူကို ရေခဲမှ စုပ်ယူသွားသည်။

> Latent heat တွင် အပူချိန်(temperature)ပြောင်းလဲမှု မရှိသောကြောင့် ယူနစ်တွင် အပူချိန် (temperature) °C သို့မဟုတ် °F မပါဝင်ပေ။

အပူချိန် (0°C)32°F ၌ ရေခဲများအားလုံး အရည်ပျော်ပြီးနောက် ရေ၏ အပူချိန်သည် 32°F မှ တဖြည်းဖြည်း တက်လာသည်။ အပူချိန်(temperature) ပြောင်းလဲပြီး၊ အသွင်(phase)ပြောင်းလဲမှု မရှိလျှင် sensible heat ဟု သတ်မှတ်သည်။ ရေ ၏ sensible heat သည် IP ယူနစ် တွင် 32°F မှ 212°F အတွင်း၌ သာ ဖြစ်နိုင်သည်။ ရေတစ်ပေါင်ကို အပူချိန် 1°F မြင့်တက်ရန်အတွက် 1Btu ပမာဏရှိသော အပူ(heat) ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ရေ တစ်ပေါင်ကို 1°F ကျဆင်းရန် အတွက် ရေမှ 1 Btu အပူပမာဏကို ဖယ်ထုတ် ပေးရမည်။

ရေခဲမှတ် 32°F မှ ရေဆူမှတ် 212°F ထိရောက်ရန်အတွက် 180°F မြင့်တက်ရန် လိုအပ်သည်။ ရေတစ်ပေါင်အတွက် အပူချိန် 32°F မှ 212°F အထိရောက်ရန် ပေးရမည့် အပူပမာဏသည် 180 Btu ဖြစ်သည်။ 180°F x 1 Btu/lb°F = 180 Btu/lb ဖြစ်သည်။

ရေသည် အပူချိန် 212°F သို့ရောက်လျှင် အပူချိန် ဆက်မတက်တော့ဘဲ စတင် ဆူပွက်လာသည်။ အပူချိန်ပြောင်းလဲမှု မရှိဘဲ liquid phase မှ vapor phase သို့ ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်သောကြောင့် latent heat ဖြစ်သည်။ 212°F ရေ(liquid)အဖြစ်မှ ရေငွေ့(vapor) အဖြစ်သို့ ပြောင်းရန်အတွက် လိုအပ်သော အပူကို "Latent Heat of Vaporization" ဟုခေါ်သည်။ Latent heat of vaporization ၌ အရည်(liquid)တွင် အပူ စုပ်ယူခြင်း(heat gain) ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့နည်းတူ ရေငွေ့(vapor) အဖြစ်မှ ရေအဖြစ်(liquid)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲရန်အတွက် ဖယ်ထုတ်ရမည့် အပူပမာဏကို "Latent Heat of Condensation" ဟုခေါ်သည်။

> ရေ(water)အဖြစ်မှ ရေငွေ့အဖြစ်သို့ ပြောင်းရန် ရေတစ်ပေါင်လျှင် latent heat of vaporization အပူပမာဏ 970 Btu စုပ်ယူသည်။ ရေခိုးရေငွေ့(vapor)မှ ရေအဖြစ်သို့ ပြောင်းရန် ဖြစ်ပြီး ရေငွေ့မှ တစ်ပေါင်လျှင် latent heat of condensation အပူပမာဏ 970 Btu စွန့်ထုတ်သည်။ (ဖယ်ထုတ် ပေးရသည်)။ 970 Btu/ lb ဖြစ်သည်။

အထက်ပါ ဖြစ်စဉ်များ အားလုံးသည် ဖိအား(pressure)14.7 psia atmospheric pressure at sea level အခြေအနေ အတွက်သာ မှန်သည်။ ရေနှင့် ရေငွေ့တို့ကို 14.7 psia ထက် ပိုမြင့်သည် ဖိအား သက်ရောက် ခြင်း ခံနေရပါက ရေဆူမှတ်(boiling point) မြင့်တက်သွားပြီး ပေးရမည့် အပူပမာဏ(Btu/lb) ပိုများ လိမ့်မည်။

> ရေဆူမှတ်(boiling point)နှင့် condensing temperature တို့သည် ဖိအား(pressure) ပေါ်တွင် မူတည် နေသည်။ ရေသည် ဖိအား 14.7 psia အောက်တွင် အပူချိန် 212°F သို့ရောက်လျှင် စတင် ဆူပွက်သည်။

အကယ်၍ ရေကို 24.9psia ဖိအားပေးလျှင် ထိုရေသည် အပူချိန်212°F တွင် ရေဆူလိမ့်မည်မဟုတ်ပေ။ ရေသည် အပူချိန် 240°F ရောက်မှသာ စတင် ဆူပွက်လိမ့်မည်။ ဖိအား 24.9 psia အောက်တွင် ရေဆူမှတ် (boiling point) သို့မဟုတ် စတင်ဆူပွက်မည့် အပူချိန်(boiling temperature)သည် 240°F ဖြစ်သည်။

ရေသည် ရေဆူမှတ်(boiling point)သို့ရောက်ပြီး ရေငွေ့(vapor) မဖြစ်သေးခင်(ရေငွေ့မပျံသေးခင်) အခြေအနေကို "**Saturated Liquid**" ဟုခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် 100% liquid အခြေအနေကို ဆိုလိုသည်။ ရေများအားလုံး ရေငွေ့ပျံပြီး ရေတစ်စက်မှ မကျန်တော့သည့် အခြေအနေကို "**Saturated Vapor**" ဟုခေါ်သည်။ 100% vapor အခြေအနေကို ဆိုလိုသည်။

h_f (Enthalpy of fluid)

အရည် အခြေအနေတွင် ရှိနေသည့်အခိုက် ပိုင်ဆိုင်သည့် Enthalpy တန်ဖိုးကို h_f (Enthalpy of fluid)ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

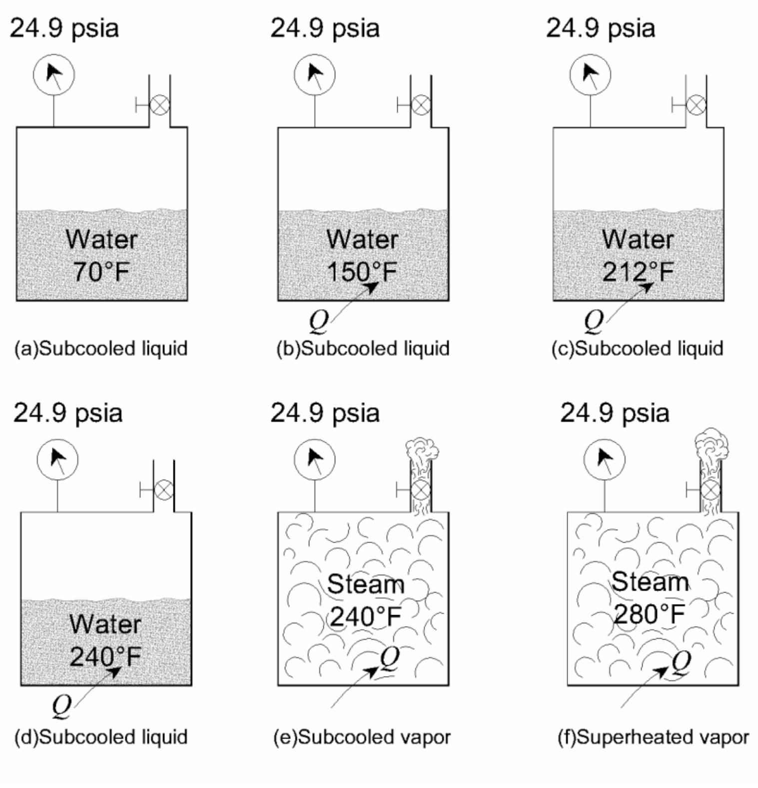
h_g (Enthalpy of gas)

အငွေ့ အခြေအနေတွင် ရှိနေသည့်အခိုက် ပိုင်ဆိုင်သည့် Enthalpy တန်ဖိုးကို h_g (Enthalpy of gas) ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

h_{fg}(Enthalpy of fluid and gas mixture)

အရည်နှင့် အငွေ့ ရောနှောနေသည့် အခြေအနေ(fluid and gas mixture)တွင် ရှိနေသည့် အခိုက် ပိုင်ဆိုင်သည့် Enthalpy တန်ဖိုးကို h_{fg}(Enthalpy of fluid and gas mixture)ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

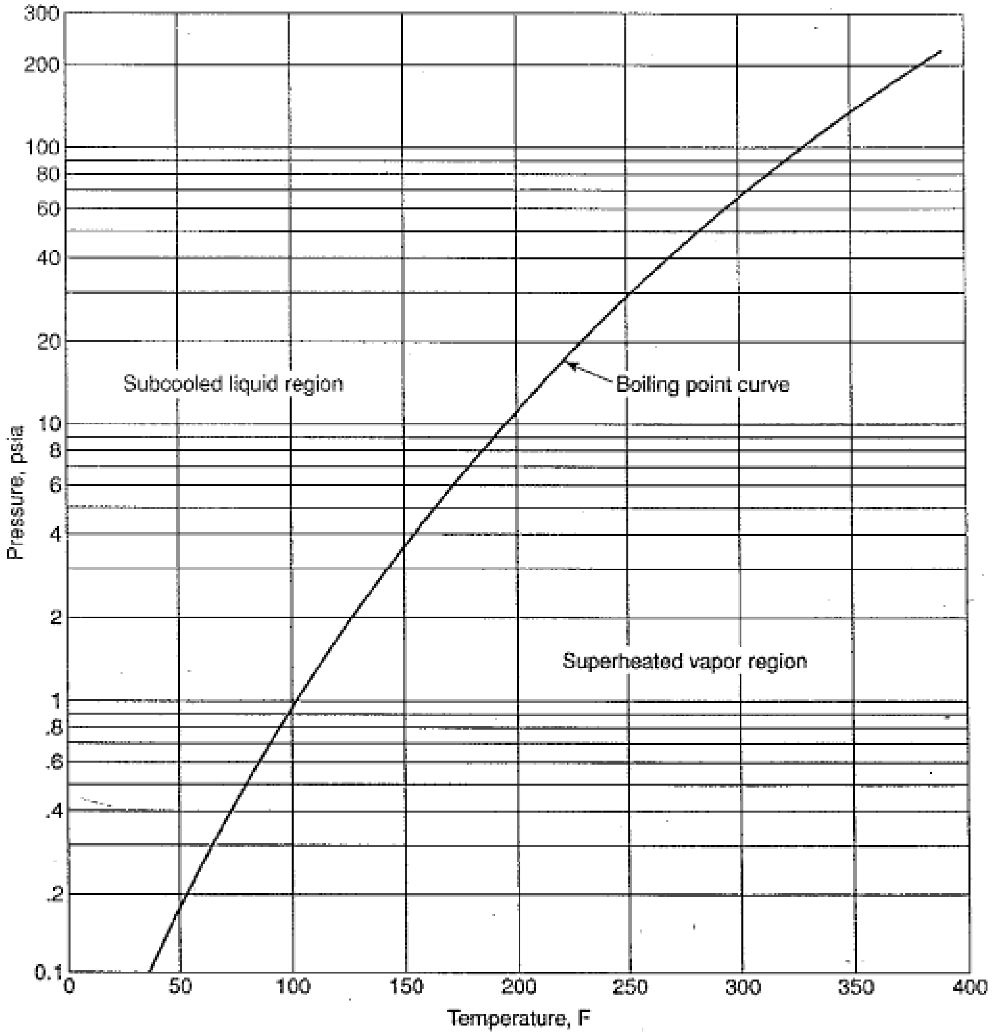
Saturated liquid (100% liquid) အခြေအနေနှင့် saturated vapor (100% vapor) အခြေအနေနှင့် နှစ်ခုအကြားမှ အခြေအနေများကို liquid-vapor mixture ဟုခေါ်သည်။



ပုံ ၁-၃၄ Boiling point pressure-temperature curve for water(saturation vapor pressure curve)

ရေသည် ဖိအား(pressure) 6 psia အောက်တွင် အပူချိန် 170°F(67.7°C) ရောက်လျှင် စတင် ဆူပွက်သည်။ ပုံ(၁-၃၅)တွင် ရေဖိအား(pressure)နှင့် သက်ဆိုင်သည့် boiling point curve သို့မဟုတ် saturation vapor pressure curve ကို ဖော်ပြထားသည်။ လိုင်း(curve)၏ ဘယ်ဘက်တွင် ရေသည် အရည်(liquid phase) အဖြစ်ရှိပြီး လိုင်း(curve)၏ ညာဘက်တွင် ရေသည် ရေငွေ့(vapor phase)အဖြစ် တည်ရှိသည်။

ထိုလိုင်းပေါ်တွင် ရေသည် အရည်(liquid)အဖြစ်၊ ရေငွေ့(vapor)အဖြစ်နှင့် ရောနေသည့် liquid vapor mixture အဖြစ် တည်ရှိနိုင်သည်။ သတ်မှတ်ထားသည့် ဖိအားအတွက် လိုင်း(curve)ပေါ်ရှိ အမှတ်(point)များသည် boiling temperature နှင့် condensation temperature များ ဖြစ်ကြသည်။

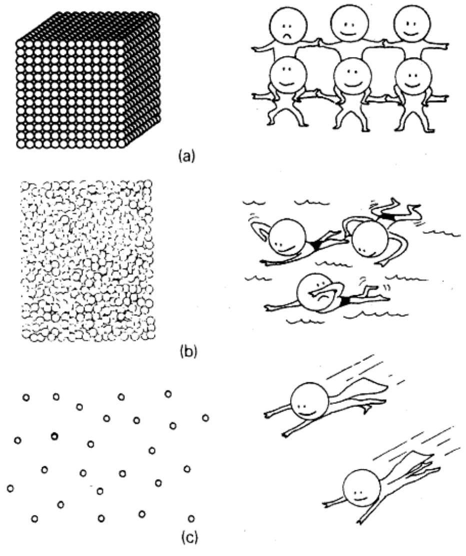


ပုံ ၁-၃၅ Boiling point pressure-temperature curve for water(saturation vapor pressure curve)

ဥပမာ-ရေသည် 25 psia ဖိအားအောက်၌ 225°F အပူချိန်တွင် အရည်(liquid)အဖြစ် တည်ရှိ နေမည်လော သို့မဟုတ် ရေနွေးငွေ့(steam)အဖြစ် တည်ရှိ နေမည်လော။ ဂရပ်ပေါ်တွင် 25 psia ဖိအားနှင့် 225°F အပူချိန် ဖြတ်မှတ်သည် လိုင်း၏ ဘယ်ဘက်တွင် ရှိသောကြောင့် အရည်(liquid)အဖြစ် တည်ရှိမည် ဖြစ်သည်။

Fluid အားလုံးသည် ဖိအား(pressure)ကို လိုက်၍ ရေဆူမှတ်(boiling point) ပြောင်းလဲနေသည်။ ဖိအား(pressure) မြင့်လာလေ fluid အားလုံး၏ boiling point သို့မဟုတ် condensing point မြင့်လာလေ ဖြစ်သည်။ ဖိအားနည်းလာလေ boiling point သို့မဟုတ် condensing point နိမ့်လာလေ ဖြစ်သည်။

ဆူပွက်ခြင်းဖြစ်စဉ်(process of boiling) နှင့် အရည်ဆူအမှတ်(boiling point) တို့သည် ဖိအား(pressure) ပေါ်တွင် အဘယ်ကြောင့် အခြေခံရသည်ကို အရည်(liquid)နှင့် အငွေ့(gases)တို့၏ "**Molecular Kinematic Theory**" ကို အသုံးပြု၍ ရှင်းပြနိုင်သည်။



ပုံ ၁-၃၆ ရေမော်လီကျူးများ

အရာဝတ္ထုများ အားလုံးကို မော်လီကျူး(molecules) လေးများဖြင့် ဖွဲ့စည်းထားသည်။ မော်လီကျူး ကလေးများသည် လှုပ်ရှားနေကြပြီး တစ်ခုနှင့်တစ်ခု ဆွဲငင်အား ပိုများလေ၊ တစ်ခုနှင့် တစ်ခု နီးကပ်စွာ တည်ရှိလေ ဖြစ်သည်။

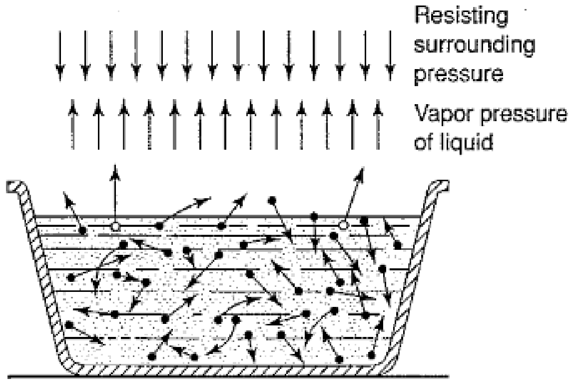
အရည်(liquid)အခြေအနေတွင်ရှိသော ဆွဲငင်အား (attractive force)သည် အငွေ့(vapor) အခြေအနေတွင် ရှိသော ဆွဲငင်အား(attractive force)ထက် ပိုများသည်။

ထို့ကြောင့် အရည်(liquid) အခြေအနေတွင် မော်လီကျူးများသည် gases အခြေအနေ ထက်စာလျှင် တစ်ခုနှင့် တစ်ခု ပိုမိုနီးကပ်စွာ တည်ရှိကြသည်။

အငွေ့(vapor) အခြေအနေတွင် ရှိသော မော်လီကျူးများသည် အရည်(liquid) အခြေအနေ တွင်ရှိသော မော်လီကျူးများထက် ပိုမို လျင်မြန်စွာ လှုပ်ရှား နေကြသည်။

အငွေ့အခြေအနေ(gases state)တွင် ရှိသော မော်လီကျူးများသည် အရည်အခြေအနေ(liquid state) တွင်ရှိသော မော်လီကျူးများထက် အပူစွမ်းအင်(heat energy) ပိုင်ဆိုင်မှု ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် အရည်(liquid)ကို အငွေ့(vapor)အဖြစ် ပြောင်းသွားစေရန်အတွက် အပူပေးရခြင်း ဖြစ်သည်။ ထည့်ပေးလိုက်သည့် အပူသည် မော်လီကျူးလေးများ အကြားရှိ အချင်းချင်း ဆွဲငင်အား(attractive force)ထက် ပိုများမှသာ အရည်(liquid) အဖြစ်မှ အငွေ့(vapor) အဖြစ်သို့ ရောက်နိုင်သည်။

> အရာဝတ္ထုများ၏ အပူချိန်သည် မော်လီကျူးများ၏ ပျမ်းမျှအလျင်(average velocity) ပင်ဖြစ်သည်။ မော်လီကျူးများ၏ ပျမ်းမျှအလျင်(average velocity) များလာလေ ထိုအရာဝတ္ထု၏ အပူချိန်(temperature) ပိုမြင့်လေ ဖြစ်သည်။ အချို့မော်လီကျူးကလေးများသည် ပို၍မြန်မြန်၊ အချို့ မော်လီကျူးကလေး များသည် ခပ်နှေးနှေး လှုပ်ရှား နေကြသော ပျမ်းမျှအလျင်(average velocity)ဖြင့် ရည်ညွှန်း ပြောဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁-၃၇ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်ပုံ

ရေ၏ အပူချိန် မြင့်တက်လာလျှင် ရေ၏ အပေါ်ယံမျက်နှာပြင်တွင် အလွန်နေးသောနှုန်းဖြင့် ရေငွေ့ပျံခြင်း (evaporation)ဖြစ်ပေါ်သည်။

နေ့အခါ အပူချိန်မြင့်မားသည့်အခါ ပင်လယ်ရေ မျက်နှာပြင်၊ကန်ရေပြင်နှင့်ရေလှောင်ကန် မျက်နှာပြင်တို့၌ ဤကဲ့သို့ ရေငွေ့ပျံခြင်း (evaporation) ဖြစ်ပေါ်သည်။

နွေရာသီတွင် ကန်ရေများ ခမ်းခြောက်သွားရသည့်အကြောင်းမှာရေငွေ့ပျံခြင်း (evaporation) ကြောင့်ပင် ဖြစ်သည်။

ထိုကဲ့သို့ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်ခြင်းကြောင့် အနည်းငယ်သော အအေးဓာတ်(slight cooling effect)ကို ရရှိနိုင်သည်။ ထိုကဲ့သို့ ဖြစ်၍ ရသည့် အအေးဓာတ်(cooling effect)ကို "**Evaporative Cooling**" ဟုခေါ်သည်။

ရေငွေ့ပျံစေခြင်းဖြင့် အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း (evaporative cooling)ကို အခန်း-၄ (chapter-4) တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

ဖိအား 14.7 psia တွင် အပူချိန် 70°F ရှိသော ရေခွက် တစ်ခွက်အတွင်းရှိ မော်လီကျူးများ၏ ပျမ်းမျှ အလျင် (average velocity)သည် သိပ်မမြင့်မားသောကြောင့် ရေမှ ထွက်ခွာ(escape) မသွားနိုင်ပေ။

အချို့သော မော်လီကျူးလေး များသည် ပြင်ပမှ (70°C ထက်မြင့်သည့် အပူချိန်)ရသည့် အပူကြောင့် velocity မြင့်တက်လာကာ (average velocity ထက်များသည်။) ရေခွက်မှ လွတ်မြောက်သွား (escape) ကြသည်။

အနီးအနား(surrounding)မှ အပူများကို ရေမော်လီကျူးလေးများက စုပ်ယူသွားသည်။ ဝါဂွမ်းကို အရက်ပျံ(alcohol)စွတ်၍ လူအရေပြားကို သုတ်လိုက်လျှင် အေးသည့် ခံစားမှုမျိုးကို ရနိုင်သည်။ အရက်ပျံ (alcohol)မှ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporate) ဖြစ်ရန်အတွက် လိုအပ်သော အပူစွမ်းအင်ကို အရေပြားမှ စုပ်ယူ လိုက်ခြင်းကြောင့် အရေပြား၌ အပူဆုံးရှုံးခြင်း(heat loss)ဖြစ်ကာ အေးသည့် ခံစားမှုကို ရခြင်းဖြစ်သည်။

အရည်(liquid)၏ မျက်နှာပြင်(surface)မှ လွတ်မြောက်သွားသည့် မော်လီကျူးများသည် အငွေ့ (vapor)အဖြစ်သို့ ရောက်သွားသည်။ အရည်(liquid)၏ မျက်နှာပြင်ပေါ်သို့ သက်ရောက်နေသော ဖိအား (pressure)ကို vapor pressure ဟုခေါ်သည်။ ထိုအရည်၏ မျက်နှာပြင်(liquid surface)ပေါ်သို့ vapor pressure ထက်မြင့်သည့် အနီးဝန်းကျင်ရှိဖိအား(surrounding pressure) သက်ရောက်နေလျှင် ရေငွေ့ပျံခြင်း (evaporation) အလွယ်တကူ မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။ ထို့ကြောင့် ပိုမိုများသည့် အပူစွမ်းအင်ရရန် လိုအပ်သည်။ အပူ ပိုပေးရသောကြောင့် အရည်(liquid)၏ အပူချိန် ပိုမြင့်လာသည် မော်လီကျူးများလည်း ပိုမိုလျှင်မြန်စွာ လှုပ်ရှား လာကြသည်။

ပိုမြင့်သည့် အပူချိန်သို့ရောက်မှ မော်လီကျူးများ၏ အားကောင်းသော velocity ကြောင့် အရည်၏ bond ကို ကျော်လွန်ကာ အငွေ့(vapor)အဖြစ် လွတ်မြောက်သွားသည်။ ထိုမော်လီကျူးများ လွတ်မြောက်သွား သည့် အခြေအနေတွင် vapor pressure of liquid သည် အနီးဝန်းကျင်မှ ဖိအား(surrounding pressure)ထက် များသည့် အခြေအနေ ဖြစ်သည်။

အနီးဝန်းကျင်မှ ဖိအား(surrounding pressure)များလာလေ ဆူပွက်(boil)ရန် သို့မဟုတ် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ဖြစ်ရန်အတွက် vapor pressure of liquid များများရရန် လိုအပ်လေ ဖြစ်သည်။ Vapor pressure မြင့်တက်ရန်အတွက် မော်လီကျူးများ၏ အလျင်(velocity)များရမည် ဖြစ်ပြီး အရည် (liquid) ၏ အပူချိန်(temperature)လည်း များရမည် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ရေဆူမှတ်(boiling point) သို့မဟုတ် boiling pressure များလာခြင်း ဖြစ်သည်။

မော်လီကျူး အချင်းချင်း ဆွဲငင်ထားသော molecular bond ကို ဖြိုဖျက်ရန် အတွက် boiling process ဖြစ်နေစဉ်အတွင်း အပူ(heat)များကို အဆက်မပြတ် ထည့်ပေးရသော်လည်း အပူချိန်(temperature) မြင့်တက် လာခြင်း မရှိသလို မော်လီကျူးများ၏ အလျင်(velocity)လည်း မြင့်တက်လာလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

၁.၁၄ Saturated ၊ Subcooled နှင့် Superheated

စတင်ဆူပွက်ခြင်း(boiling)ဖြစ်သည့် အပူချိန်(temperature)ကို ဖိအား(pressure)နှင့်တကွ တွဲ၍ ဖော်ပြရန် လိုသည်။ ဆူပွက်ခြင်း(boiling) ဖြစ်သည့် အပူချိန်(temperature)နှင့် ဖိအား(pressure)ကို saturated condition ဟုခေါ်သည်။

ရေဆူမှတ်(boiling point)ကို နည်းပညာဝေါဟာရဖြင့် ပြောဆို သုံးနှုန်းသည့် စကားလုံးသည် saturation temperature နှင့် saturation pressure ဖြစ်သည်။ Substance များသည် အရည်(liquid)၊ အငွေ့

(vapor) နှင့် အရည်နှင့် အငွေ့အရော(liquid-vapor mixture) စသဖြင့် တည်ရှိသောကြောင့် saturated liquid နှင့် saturated vapor ဟူ၍ နှစ်မျိုးခွဲခြား ပြောဆိုရခြင်း ဖြစ်သည်။

Saturated vapor ဆိုသည်မှာ boiling temperature ၌ ရာနှုန်းပြည့်အငွေ့(100% vapor) အခြေအနေ ဖြစ်နေခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ Saturated liquid ဆိုသည်မှာ boiling temperature ၌ ရာနှုန်းပြည့် အရည်(100% liquid) အခြေအနေ ဖြစ်နေခြင်းကို ဆိုလိုသည်။

အငွေ့အပူချိန်(vapor temperature)သည် saturation temperature သို့မဟုတ် ရေဆူမှတ်(boiling point) ထက် ပိုမြင့်နေလျှင် ထို အငွေ့(vapor)ကို superheated vapor ဟုခေါ်သည်။

အရည်(liquid)၏ အပူချိန်(temperature)သည် saturation temperature(condensing point)ထက် ပိုနိမ့်နေလျှင် subcooled liquid ဟုခေါ်သည်။ ဖိအား(pressure) တစ်မျိုးတွင် saturation temperature တစ်ခုသာရှိနိုင်ပြီး subcooled temperature များစွာနှင့် superheat temperature များစွာ ရှိနိုင်သည်။ Saturation temperature တွင် phase နှစ်မျိုးလုံးကို တွေ့နိုင်သည်။

၁.၁၅ Saturated Property Table (Steam Table)

Substance များ၏ saturation temperature နှင့် သက်ဆိုင်သည့်ဖိအား(corresponding pressure) ကို ဖော်ပြရန်အတွက် ဇယား(table)များ ပြုစုထားသည်။

ရေ၏ saturated property table ကို saturated steam table သို့မဟုတ် steam table ဟုခေါ်သည်။ Steam table ကို အသုံးပြုရသည့် တွက်ချက်မှု များစွာရှိသည်။ Air con ပညာရပ် လေ့လာသူများအတွက် saturation temperature ကို steam table မှ ဖတ်ယူရန် လိုအပ်သည်။ Saturation temperature နှင့် corresponding pressure သည် အမြဲတမ်း ပုံသေတွဲထားသောကြောင့် saturation temperature သိလျှင် corresponding pressure ကို ဖတ်ယူနိုင်သည်။ Corresponding pressure ကိုသိလျှင် saturation temperature ကို ဖတ်ယူနိုင်သည်။

ဥပမာ ရေကို 10 psia အထိ ဖိအားပေးလိုက်လျှင် ထိုရေ၏ ရေဆူမှတ်သည် မည်မျှ ဖြစ်မည်နည်း။ မည်သည့် အပူချိန်တွင် ရေဆူမည်နည်း။ 10 psia သည် corresponding pressure ဖြစ်သည်။ Steam table မှ 10 psia လိုင်းမှ ဖတ်လျှင် saturation temperature (boiling point) 193°F ကို ရရှိမည်။ 193°F တွင် ရေဆူမည်။

ဥပမာ - ရေကို 150 psia ဖိအားပေးပြီး 300°F သို့ရောက်အောင် အပူပေးထားလျှင် ထိုရေသည် အရည်(liquid) အခြေအနေတွင် ရှိနေမည် သို့မဟုတ် အငွေ့(vapor)အဖြစ် ရှိနေမည်ကို ဆုံးဖြတ်ပေးပါ။

Steam table မှ 150 psia လိုင်းအတိုင်း ဖတ်လျှင် saturation temperature(boiling point)သည် 358°F ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ရေကို 150 psia ဖိအားပေးလျှင် ထိုရေသည် 358°F သို့ ရောက်မှသာလျှင် စတင်ဆူပွက်ခြင်း ဖြစ်မည်။ လက်ရှိ 300°F သည် 358°F ထက်နိမ့်သောကြောင့် subcool region တွင်သာ ရှိသေးသည်။ အရည်(liquid) အဖြစ်သာ ရှိနေဦးမည်။

-End-

Chapter-2 Understanding Psychrometrics

လေ့လာရန် အဓိက အချက်များ-

(က) "Air conditioning" ဘာသာရပ်၌ Psychrometrics ၏ အရေးပါမှုကို နားလည် သဘောပေါက်ရန်။

(ခ) Dry Bulb အပူချိန်၊ Wet Bulb အပူချိန်၊ Relative Humidity(RH)၊ specific humidity ၊ Dew Point ၊ Enthalpyနှင့် "Standard Air"စသည့် Psychrometrics ဝေါဟာရများကို အဓိပ္ပာယ်(physical meaning) နှင့်တကွ နားလည် သဘောပေါက်ရန်။

(ဂ) Psychrometric chart ပေါ်၌ လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိ(air property)လိုင်းများ ရေးဆွဲနိုင်ရန် နှင့် ယူနစ်များကို ရှင်းလင်းစွာ နားလည် သဘောပေါက်ရန်။

(ဃ) Psychrometric chart ကို အသုံးပြု၍ သိထားပြီး လေ၏ဂုဏ်သတ္တိ(air property) နှစ်မျိုးမှ တစ်ဆင့် ကျန်ရှိသည့် လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ(properties of air) အားလုံးကို တွက်ယူနိုင်ရန်။

(င) Sensible heat ၊ latent heat နှင့် total heat တို့၏ သဘောတရား(concept)နှင့် အပြန်အလှန် ဆက်စပ်မှုများကို နားလည် သဘောပေါက်ရန်။

(စ) မတူညီသည့် လေနှစ်မျိုး ပေါင်းစပ်ပြီးဖြစ်ပေါ်လာသည့်လေ(mixed air)၏ ဂုဏ်သတ္တိများ(properties)ကို နားလည်သဘောပေါက်ပြီး တန်းဖိုးများကို တွက်ယူနိုင်ရန်။

(ဆ) Psychrometric ညီမျှခြင်း(equation)များကို သုံး၍ sensible ၊ latent နှင့် total cooling/heating load တို့ကို တွက်ချက်တတ်ရန် တို့ဖြစ်သည်။

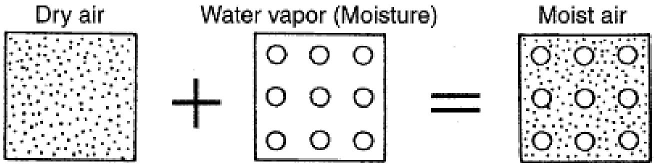
၂.၁ Psychrometric နိဒါန်း

American Society of Heating, Refrigerating, and Air conditioning Engineers (ASHRAE) အဖွဲ့၏ အဓိပ္ပာယ်ဖွင့်ဆိုချက်အရ "Air Conditioning" ဆိုသည်မှာ "လေအပူချိန်(temperature)၊ လေ၏ စိုထိုင်းဆ(humidity)၊ လေသန့်စင်မှု(cleanliness) နှင့် လေဖြန့်ဖြူးမှု(distribution) တို့ကို အခန်း၏ လိုအပ်ချက် နှင့် ကိုက်ညီအောင် တစ်ပြိုင်နက် ပြုပြင်စီမံ(treat)ပေးခြင်းသည် air conditioning ဖြစ်စဉ်(process) ဖြစ်သည်"

> "Air conditioning is the process of treating air so as to control simultaneously its temperature, humidity, cleanliness and distribution to meet the requirements of the conditioned space"

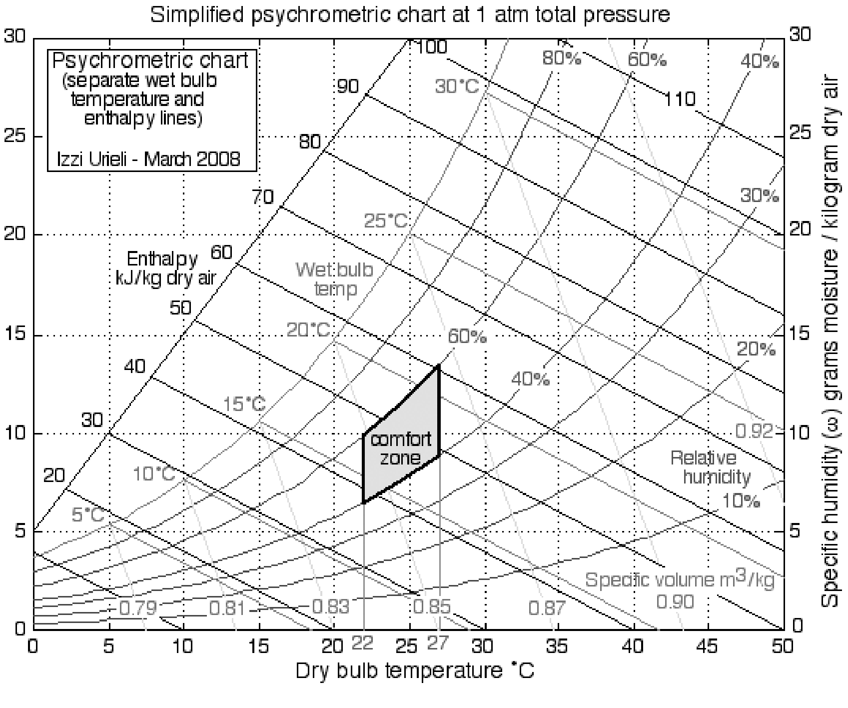
တစ်နည်းအားဖြင့် air con ပညာရပ်သည် ကျွန်ုပ်တို့ အနီးရှိ လေကို အေးအောင် သို့မဟုတ် နွေးအောင် ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Air con ပညာရပ်တွင် "Comfort air conditioning" နှင့် "Industrial air conditioin" ဟု၍ နှစ်မျိုး ကွဲပြားသည်။ "**Comfort Air Conditioning**" ဆိုသည်မှာ လေကို လူများ သက်သောင့်သက်သာ (confortable) ဖြစ်စေမည့် အခြေအနေတစ်ခုသို့ ရောက်အောင် ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ "**Industrial Air Conditioin**" ဆိုသည်မှာ စက်ရုံ၊ အလုပ်ရုံများ၊ လုပ်ငန်းများ နှင့် process များတွက် လေကို လိုအပ်သည့် အခြေအနေသို့ ရောက်အောင် ပြုပြင်စီမံခြင်း(air treatment) ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် လေကို လိုအပ်သလို အေးအောင် သို့မဟုတ် နွေးအောင် ပြုလုပ်နိုင်ရန်အတွက် လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(properties of air) အကြောင်း ကို အသေးစိတ် နားလည်ရန် လိုအပ်သည်။

Psychro သည် ဂရိဝေါဟာရဖြစ်ပြီး "cold" ဟု အဓိပ္ပာယ် ရသည်။ Psychrometer သည် လေထု (atmosphere)ထဲတွင် ရှိသည့် aqueous vapor ကို တိုင်းတာသည့် ကိရိယာ(instrument) တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ လေထဲတွင်ရှိသော ရေငွေ့ပါဝင်မှုကို တိုင်းသည့်ကိရိယာကို "Hygrometer" ဟု ခေါ်သည်။ Psychrometrics ဆိုသည်မှာ air-water vapor သို့မဟုတ် " moist air " ကို လေ့လာသည့် ဘာသာရပ် ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၁ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) နှင့် ရေငွေ့(water vapor)ရောနေသည့် "moist air"

နေ့စဉ် ခေါ်ဝေါ်ပြောဆိုနေသည့် "လေ" ဆိုသည်မှာ moist air ကို ရည်ညွှန်း ပြောဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air)နှင့် ရေငွေ့(water vapor)တို့ ရောနေသည့် mixture ကို "Moist Air" ဟု ခေါ်သည်။ ကျွန်ုပ်တို့အနီးရှိလေသည် "Moist Air" ဖြစ်သည်။ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air)သည် တွက်ချက်မှု လွယ်ကူစေရန် အတွက်သာ ပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ လေသည် သဘာဝအရ လုံးဝ ခြောက်သွေ့ခြင်း မရှိသော်လည်း စနစ်တကျ တွက်ချက်မှုများ ပြုလုပ်ရန် အတွက် ဖြစ်သည်။ လက်တွေ့တွင် ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) အဖြစ် သီးသန့် တည်ရှိနိုင်သည့် အခြေအနေ မရှိသလောက် နည်းပါးသည်။



ပုံ ၂-၂ သက်သောင့်သက်သာ ဖြစ်စေသည့် အပူချိန်နှင့် စိုထိုင်းဆ နေရာ(ဇုန်)ကို ဖော်ပြထားသည်။

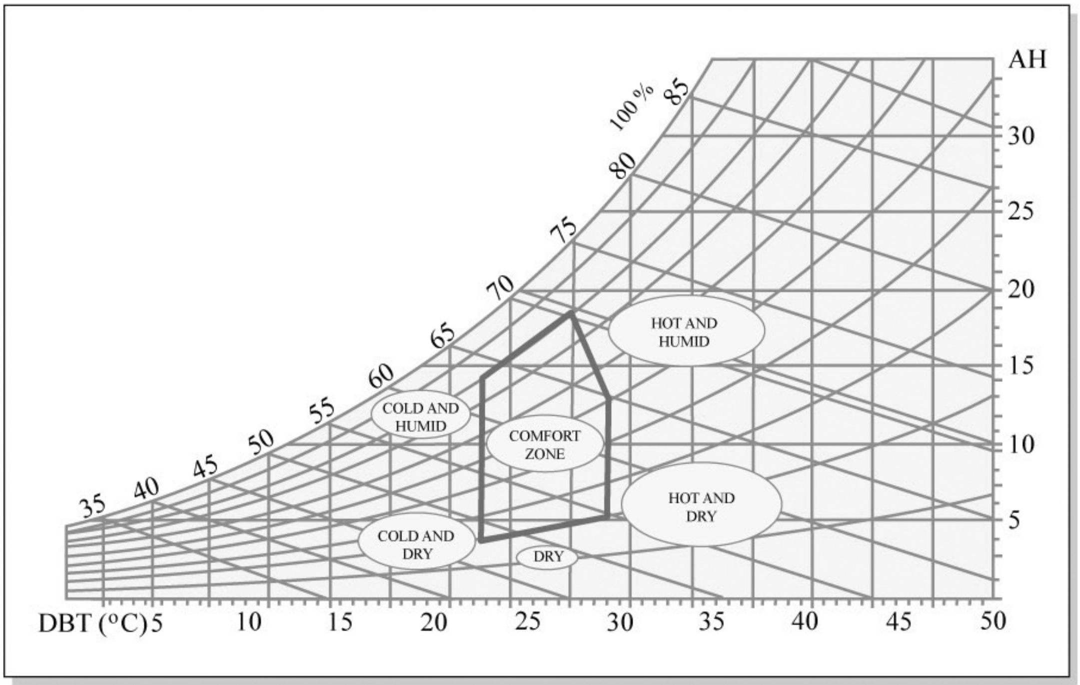
ဤအခန်းတွင် ပထမဦးစွာ လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(properties of air)ကို လေ့လာကြမည်။ ထို့နောက် air conditioning system များ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရန်အတွက် လေကို မည်သို့ ပြုပြင်စီမံ(treat)ရမည်ကို ဆက်လက် လေ့လာရမည်။

လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ(properties of air)ကို ဇယား(table)ပုံစံ သို့မဟုတ် ဂရပ်(chart) ပုံစံမျိုးဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။ ဂရပ်(chart) ပုံစံမျိုးဖြင့် ဖော်ပြထားသော လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ (properties of air)ကို "Psychrometric Chart" ဟု ခေါ်သည်။ "Psychrometrics Chart" ကို လိုင်း(line)များစွာဖြင့် ဖွဲ့စည်း တည်ဆောက်ထားသည်။ ရှိသမျှ အချက်အလက် အားလုံး ပါဝင်အောင် စနစ်တကျ ရှင်းလင်းစွာ တည်ဆောက် ထားခြင်းကြောင့် အလွန် အသုံးဝင်သည်။ Air conditioning process များကို လေ့လာရန် အတွက်လည်း အသုံးဝင်သည်။

SI ယူနစ် ဂရပ်(chart) နှင့် IP ယူနစ် ဂရပ်(chart)ဟု နှစ်မျိုး ကွဲပြားသည်။ မိမိအသုံးပြုသည့် ယူနစ်ကို လိုက်၍ chart ကို ရွေးချယ်ရသည်။

Psychrometric chart ကို နားလည်ခြင်းဖြင့် air conditioning ပြဿနာများကို အလွယ်တကူ ဖြေရှင်းနိုင်သည်။ စက်မှုလုပ်ငန်းများ(industires)၏ cooling process နှင့် heating process များအတွက် Psychrometric chart ကို အသေးစိတ် တိတိကျကျ နားလည်ရန် လိုအပ်သည်။

Air con အင်ဂျင်နီယာ တစ်ယောက်သည် Psychrometrics ဘာသာရပ်ကို ကျွမ်းကျင် ပိုင်နိုင်စွာ သဘော ပေါက်ထားရန် လိုအပ်သည်။ သို့မှသာ ကောင်းမွန် မှန်ကန်သည့် air conditioning system တစ်ခုကို ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ခြင်းနှင့် ချို့ယွင်းချက် ရှာဖွေခြင်း(trouble shooting)တို့ကို ဆောင်ရွက်နိုင်မည် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် "Psychrometric Chart" ကို ကျွမ်းကျင်စွာ နားလည်နိုင်ရန်အတွက် လိုင်း(line) တစ်ခုချင်းစီ၏ သဘော သဘာဝကို အဓိပ္ပာယ်(physical meaning)နှင့်တကွ နားလည် သဘောပေါက်အောင် လေ့လာရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၂-၃ ရာသီဥတု အမျိုးမျိုးကို Psychrometric chart ပေါ်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

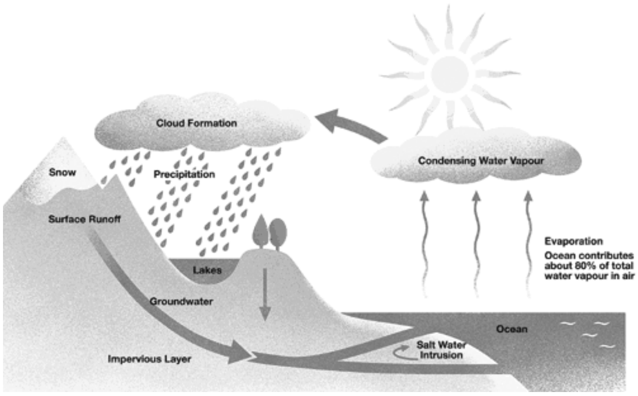
Constant Enthalpy လိုင်းနှင့် constant Wet Bulb လိုင်းတို့သည် အမှန်တကယ် မျဉ်းပြိုင်(parallel) များ မဖြစ်သော်လည်း ဂရပ် (chart)ပေါ်တွင် မျဉ်းပြိုင်အဖြစ် ရေးဆွဲထားလေ့ရှိသည်။

လေသည် အပူချိန်ကို လိုက်၍ ၎င်း၏ တန်ဖိုးများ ပြောင်းလဲနေသည်။ ထိုအတူပင် ဖိအား(pressure)နှင့် ရာသီဥတု(weather)ကြောင့်လည်း လေ၏ တန်ဖိုးများ ပြောင်းလဲမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။ အချိန်နှင့်အမျှ လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ ပြောင်းလဲနေသည်။ ထိုသို့ ပြောင်းလဲမှုတိုင်းကို လိုက်၍ ရှုပ်ထွေး ခက်ခဲသော အသေးစိတ် တွက်ချက်မှုများ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် "Psychrometric Chart" အသုံးပြု၍ ရှင်းလင်း လွယ်ကူသောနည်းဖြင့် လိုအပ်သော အဖြေကို ခဏအတွင်း ရရှိနိုင်သည်။

Air-conditioning equipment များ၏ အဓိက ဆောင်ရွက်ချက်မှာ လေကို လိုသလို ပြုပြင် ပြောင်းလဲပေးရန် ဖြစ်သည်။ ထိုပြောင်းလဲစေသည့် ဖြစ်စဉ်ကို "process" ဟုခေါ်သည်။ မိမိလိုအပ်သလို ဖြစ်စေချင်သည့် process များ ကို Psychrometric chart ပေါ်တွင် ရေးဆွဲ တွက်ချက်ခြင်းဖြင့် air conditioning equipment များ ရွေးချယ်ခြင်း နှင့် air-conditioning ပြဿနာများကို ဖြေရှင်းခြင်းတို့ ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Process များကို အစအခြေအနေတစ်ခုမှ အဆုံးအခြေအနေတစ်ခု အထိရောက်အောင် လိုင်း(line) များဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။ မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်းဖြစ်သော(straight line) process များ ရှိသလို မျဉ်းကွေး(curve) အတိုင်း ဖြစ်သော process များလည်း ရှိသည်။ မျဉ်းဖြောင့် အတိုင်းသာ ဖြစ်သော ဖြစ်စဉ်(process) များကို အများဆုံး တွေ့ရလေ့ ရှိသည်။

အလွန်ပေါ့ပါးသည့် လေသည် သူ့ထက်လေးသည့် ရေကို သယ်ဆောင်ထားနိုင်သည်ဆိုပါက ယုံကြည်ပါသလား?



ပုံ ၂-၄ လေက ရေကို သယ်ဆောင်ထားသည့် ဥပမာများ

လေက ရေကို သယ်ဆောင်ထားနိုင်ကြောင်းကို ဥပမာများဖြင့် သက်သေပြနိုင်သည်။ အလွန် ဆန်းကြယ်သည့် သက်တံနှင့် ပန်းချီဆရာရှုံး လောက်အောင်လှပသည့် ရောင်စုံ တိမ်တိုက်များသည် လေက ရေကို သယ်ဆောင်ထားသည့် အကောင်းဆုံး ဥပမာများ ဖြစ်ကြသည်။

လေ(air)က သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေ(water)ကို ပုံသဏ္ဍာန် သုံးမျိုးဖြင့် တွေ့မြင်နိုင်သည်။ လေထဲတွင် ရေ(water)ကို မိုးသီးများ၊ ဆီးနှင်းများ(snow)၊ hail များကဲ့သို့ အစိုင်အခဲ(solid form)အဖြစ် တွေ့မြင်နိုင်သကဲ့သို့ မိုးစက်များ(rain drops)၊ မြူများ(mist)ကဲ့သို့ အရည်(liquid form)အဖြစ်လည်း တွေ့မြင်နိုင်သည်။ အခန်းအတွင်း(indoor)ရှိ လေထဲ၌ ပါဝင်နေသည့် ရေကို ရေငွေ့အဖြစ်(vapor form)သာ တွေ့မြင်နိုင်သည်။ လေက သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့များသည် "Superheated Low-Pressure Steam"များ ဖြစ်ကြသည်။

> လေကို အေးအောင် သို့မဟုတ် နွေးအောင် လုပ်လိုသည့် အခါတိုင်း၌ ထိုလေထဲတွင် ပါဝင်နေသည့် ရေငွေ့ပမာဏကို သိရန် လိုအပ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် လေတစ်မျိုးတည်းကို သာမက လေနှင့် ရောနေသည့် ရေငွေ့များကိုလည်း အတူတကွ အေးအောင်၊ နွေးအောင်ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

လေထဲတွင်ပါဝင်နေသည့် ရေငွေ့ပမာဏကို သိရှိရန်အတွက် မိမိတွက်ချက်မည့် လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ (properties of air)ကို သိရန်လိုအပ်သည်။ လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(properties of air)ကို သိနိုင်ရန်အတွက် Psychrometric chart ကို ကျွမ်းကျင်စွာ နားလည် သဘောပေါက်ထားရမည်။

လေထုအတွင်းသို့ ရေငွေ့များ မည်ကဲ့သို့ ရောက်ရှိလာသည်ကို နားလည်နိုင်ရန်အတွက် ရေငွေ့ပျံခြင်း (evaporation) နှင့် အငွေ့မှ အရည် အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်း(condensation)ဖြစ်စဉ် နှစ်ခုကို အသေးစိတ် လေ့လာရန် လိုအပ်သည်။

၂.၁.၁ ရေငွေ့ပျံခြင်း(Evaporation)

ပူ၍ပေါ့ပါးနေသည့်လေ(hot air)သည် ရေငွေ့များကို စုပ်ယူသိုလှောင်ထားနိုင်သော စွမ်းရည် ရှိသည်။ ရေအဖြစ်မှ ရေငွေ့များအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည့်ဖြစ်စဉ်ကို ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ဟု ခေါ်သည်။ ထိုဖြစ်စဉ်သည် ရေမျက်နှာပြင် အပေါ်ယံတွင် ဖြစ်လေ့ရှိသည်။ ရေကို ဆူပွက်အောင် ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော ရေငွေ့ပျံခြင်းသည်လည်း evaporation ဖြစ်စဉ် တစ်မျိုးပင် ဖြစ်သည်။

ကျောက်စားပွဲမျက်နှာပြင်ကို ရေစိုအဝတ်ဖြင့် သုတ်လိုက်သည့်အခါ မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ရေများ စိုသွားလိမ့်မည်။ ထိုရေများ ခြောက်သွေ့သွားခြင်းသည် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်စဉ်ကြောင့် ရေငွေ့ပျံသွားခြင်း ဖြစ်သည်။ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)သည် ရေ(water)အတွက်သာ သုံးသည့် ဝေါဟာရ ဖြစ်သည်။

Vaporization သည် အငွေ့အဖြစ်သို့ ပြောင်းနိုင်သည့် အရာအားလုံးအတွက် သုံးသည့် ဝေါဟာရ ဖြစ်သည်။ အငွေ့အဖြစ်သို့ ပြောင်းခြင်း(vaporization)ဖြစ်ရန်အတွက် အပူထည့်ပေးရန်(heat addition) လိုအပ်သည်။

၂.၁.၂ အငွေ့မှ အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်း (Condensation)

အပူချိန်ကျဆင်းလာ၍ အေးလာသည့်လေသည် ၎င်း၌သယ်ဆောင်ထားသော ရေငွေ့များကို ဆက်လက် မသယ်ဆောင်နိုင်တော့သောကြောင့် စွန့်ထုတ်ပစ်ရသည်။ ထိုသို့ လေထဲ၌ ရှိသော ရေငွေ့များ ရေအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားစေခြင်းကို condensation ဖြစ်စဉ်(evaporation ၏ ပြောင်းပြန်ဖြစ်စဉ်) ဟုခေါ်သည်။ အငွေ့အဖြစ်မှ အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်း(condensation) ဖြစ်ရန်အတွက် အပူဖယ်ထုတ်ပေးရန်(heat removal) လိုအပ်သည်။

လေထုထဲတွင် ပါဝင်နေသည့် ရေငွေ့ပမာဏ(water vapor content)သည် လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေက သယ်ဆောင်ထားနိုင်သည့် ရေငွေ့ပမာဏ (water vapor content)သည် ထိုလေ၏ Dry Bulb အပူချိန်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေ၏ Dry Bulb အပူချိန် မြင့်လေ ရေငွေ့ပမာဏများများ သယ်ဆောင်နိုင်လေ ဖြစ်သည်။ လေ၏ Wet Bulb အပူချိန် မြင့်လေ လေထဲတွင် သယ်ဆောင်ထားပြီးဖြစ်သည့် ရေငွေ့ပါဝင်မှု(water vapor content) များလေ ဖြစ်သည်။

လေသည် ရေငွေ့(water vapor)ပမာဏမည်မျှ **သယ်ဆောင်ထားနိုင်သည်ကို** လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်က ဖော်ပြသည်။ လေမှ ရေငွေ့(water vapor) ပမာဏ မည်မျှ **သယ်ဆောင်ထားပြီး ဖြစ်သည်ကို** လေ ၏ Wet Bulb အပူချိန်က ဖော်ပြပေးသည်။

Saturated Air and Unsaturated Air

လေသည် အပူချိန်တစ်ခု၌ သယ်ဆောင်နိုင်စွမ်းရှိသည့် အများဆုံး ရေငွေ့ပမာဏ(water vapor content)ကို သယ်ဆောင်ပြီးဖြစ်၍ နောက်ထပ်လက်မခံနိုင်တော့လျှင် "**Saturated Air**" ဟုသတ်မှတ်သည်။ လေသည် ရေငွေ့(water vapor)ကို ထပ်မံ လက်ခံနိုင်သေးလျှင် "**Unsaturated Air**" ဟုခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရေငွေ့(water vapor)ကို ထပ်မံ လက်ခံနိုင်သည့်(စုပ်ယူနိုင်သည့်) လေကို unsaturated air ဟု ခေါ်သည်။

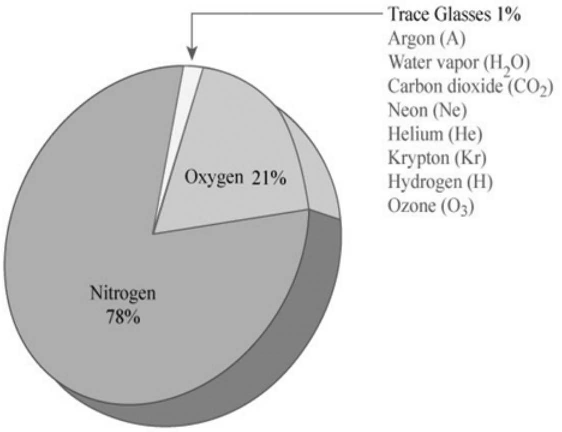
၂.၂ လေကို စံအဖြစ် သတ်မှတ်ခြင်း (Standard Air)

လူသားများ အသက်ရှင်ရန်အတွက် ရှူသွင်းနေသည့် လေထဲတွင် နိုက်ထရိုဂျင်ဓာတ်ငွေ့ ၇၈%၊ အောက်စီဂျင်ဓာတ်ငွေ့ ၂၁% ၊ ရေငွေ့များ နှင့် အခြား ဓာတ်ငွေ့များ ၁% တို့ ပါဝင်သည်။ လေ(moist air)သည် နေရာဒေသ၊ အချိန်၊ ရာသီဥတု ပေါ်တွင် မူတည်၍ ပြောင်းလဲနေတတ်သောကြောင့် သင်ကြားမှုများ၊ တွက်ချက်

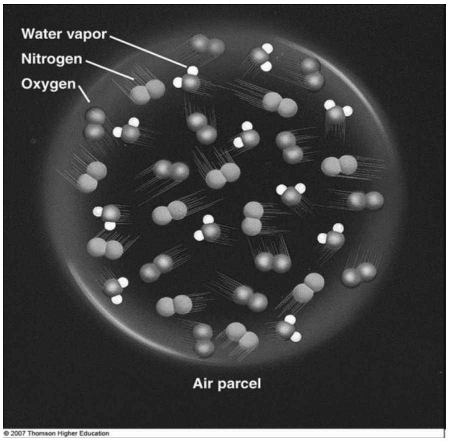
မှုများ ပြုလုပ်ရာတွင် တူညီမှုရှိစေရန် အများနားလည် လက်ခံသည့် စံ(standard) တစ်ခု သတ်မှတ်ရန် လိုအပ်သည်။

ပင်လယ်ရေ မျက်နှာပြင်(sea level)၌ ရှိသော လေထုဖိအား 29.921 in.Hg (atmospheric pressure)နှင့် အပူချိန် (၇၀) ဒီဂရီဖာရင်ဟိုက်(70°F)၌ ရှိသောလေကို စံ("Standard conditions at Sea Level")အဖြစ် သတ်မှတ်ခဲ့ကြသည်။

Standard atmospheric pressure 1013.25 mbar (101 325 Pa) အခြေအနေတွင် ရှိသော လေ၏ မော်လီကျူလာ mass သည် 28.97 ဖြစ်သည်။ လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(specific properties)ကို ခြောက်သွေ့သောလေ၏ သတ်မှတ်ထားသော တစ်ယူနစ်(unit weight of dry air)ပေါ်တွင် အခြေခံ၍ ဖော်ပြ လေ့ရှိသည်။



ပုံ ၂-၅ လေထဲတွင် ပါဝင်သည့် ဓာတ်ငွေ့များ



ပုံ ၂-၆ လေထဲတွင် ရေမှုန်များ ပါဝင်နေပုံ

၂.၃ အပူ သိုလှောင်နိုင်စွမ်း (Specific Heat of Air)

ကမ္ဘာပေါ်ရှိ အရာဝတ္ထုများ အားလုံးသည် အပူ(heat)ကို သိုလှောင် သိမ်းဆည်းထားနိုင်စွမ်း ရှိသည်။ အပူ(heat)ကို သိုလှောင် သိမ်းဆည်းထားနိုင်စွမ်းကို specific heat ဟု ခေါ်သည်။

Specific heat တန်ဖိုးများလေ ထိုအရာဝတ္ထုသည် အပူပမာဏ(amount of heat)များများကို သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားနိုင်စွမ်း များလေဖြစ်သည်။

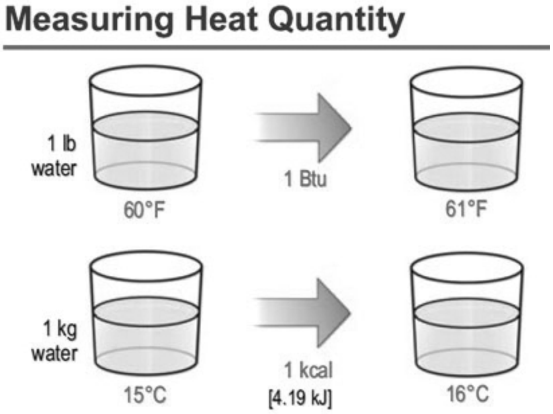
အဓိပ္ပာယ်ဖွင့်ဆိုချက်: ဒြပ်ထု(mass) တစ်ယူနစ် ရှိသော အရာဝတ္ထုတစ်ခုကို အပူချိန် 1°F သို့မဟုတ် 1°C မြင့်တက်ရန် အတွက် လိုအပ်သော အပူပမာဏကို "**Specific Heat**" ဟုခေါ်သည်။

ရေ တစ်ကီလိုဂရမ်(1 kg)ကို အပူချိန် 1°C မြင့်တက်ရန်အတွက် ထည့်ပေးရမည့် စွမ်းအင်(energy) ပမာဏကို တစ် ကီလိုကယ်လိုရီ(1 kilocalorie)ဟု ခေါ်သည်။ ရေတစ်ပေါင်(1 lb)ကို အပူချိန် 1°F မြင့်တက်ရန် ထည့်ပေးရမည့် စွမ်းအင်(energy)ပမာဏကို 1 BTU (British Thermal Unit) ဟုခေါ်သည်။ Specific heat သည် အပူကို သိုလှောင်နိုင်စွမ်း ဖြစ်သည်။ BTU နှင့် kilocalorie တို့သည် specific heat ၏ ယူနစ်များ ဖြစ်ကြသည်။

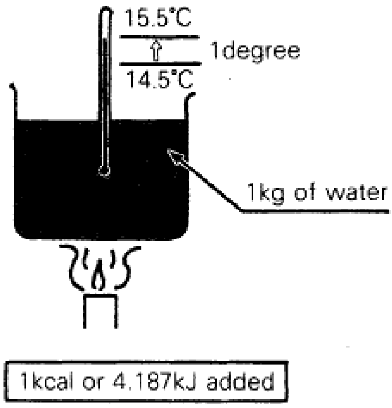
ခြောက်သွေ့သောလေ(dry air)၏ specific heat သည် အပူချိန်(temperature)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေ လေ့ရှိသည်။ သို့သော် တွက်ချက်မှုများ လွယ်ကူစေရန်အတွက် လေ၏ specific heat တန်ဖိုးကို **Cp =1.006 kJ/kg K** ဖြင့် အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။

Cp =1.006 kJ/kg K ၏ အဓိပ္ပာယ်မှာ ခြောက်သွေ့သောလေ တစ်ကီလိုဂရမ်(dry air 1 Kg)ကို တစ်ဒီဂရီ celsius (1°C) မြင့်တက်ရန် အတွက် 1.006 kJ ပမာဏရှိသည့် အပူထည့်ပေးရန်(heat add) လိုအပ်သည်။ အပူချိန် 68°F (20°C) လေ(air)နှင့် ရေ(water)တို့မှ သယ်ဆောင်ထားနိုင်သည့် အပူပမာဏ(heat energy) ကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။

ရေ၏အပူချိန် တစ်ဒီဂရီ celsius နိမ့်ဆင်းရန်အတွက် 1.006 kJ ပမာဏရှိသည့် အပူဖယ်ထုတ်(heat remove) ပေးရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၂-၇ 1 BTU နှင့် 1 kcal ၏ အဓိပ္ပာယ်ဖွင့်ဆိုချက်



ပုံ ၂-၈ 1 kcal ၏ အဓိပ္ပာယ်ဖွင့်ဆိုချက်

	Air	Water
Density at 68°F (lb/ ft^3)	0.075	62.4

လေ(air)၊ ရေ(water) နှင့် ရေခဲ(ice)တို့ ၏ specific ကို IP ယူနစ် နှင့် SI ယူနစ် တို့ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

Substance	Specific heat	
	Conventional metric and Yard-pound system (Btu/lb °F)	S.I metric system (kJ/kg K)
air	0.243	1.005
Water	1.0	4.187
Ice	0.504	2.110
Wood	0.327	1.369
Iron	0.129	0.540
Mercury	0.0333	0.139
Alcohol	0.615	2.575
Copper	0.095	0.398

ရေတစ်ပေါင်(1 lb)ကို အပူချိန် 1°F မြင့်တက်ရန် အတွက် လိုအပ်သော အပူစွမ်းအင်(energy) ပမာဏသည် 1 BTU ဖြစ်သည်။ **ခြောက်သွေ့သည့် လေတစ်ပေါင်(1 lb of dry air)**ကို အပူချိန် 1°F မြင့်တက်ရန် အတွက် လိုအပ်သော အပူစွမ်းအင်(energy)ပမာဏသည် 0.24 BTU ဖြစ်သည်။ ရေ၏ အပူ သိုလှောင်နိုင်စွမ်းသည် လေထက် လေးဆခန့် ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် ရေသည် လေထက် specific heat ပိုမြင့်သည်။ သဘာဝအားဖြင့် ရေသည် လေထက် ပို၍ အပူကို သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားနိုင်စွမ်း များသည်။ ထို့ကြောင့် ရေကို အေးအောင် သို့မဟုတ် နွေးအောင် ပြုလုပ်ရန် စွမ်းအင်(energy) ပိုလိုအပ်သည်။

Total heat of moist air

Sensible heat	+ Latent heat	= Total heat
ခြောက်သွေ့သောလေ (dry air) နှင့် ရေငွေ့(water vapor)တို့အပူချိန် ပြောင်းလဲရန် အတွက် လိုအပ်သော အပူပမာဏ	+ ရေငွေ့များ(water vapor)အဖြစ် phase ပြောင်းလဲရန် အတွက် လိုအပ်သောအပူပမာဏ	= စုစုပေါင်းလိုအပ်သည့် အပူပမာဏ

Latent Heat ဆိုသည်မှာ ရေငွေ့များ(water vapor)က သိမ်းဆည်းထားသော အပူစွမ်းအင်ဖြစ်သည်။ [Latent heat is the energy stored in water vapor.]

Sensible heat ဆိုသည်မှာ ခြောက်သွေ့သောလေ(dry air)က သိမ်းဆည်းထားသော အပူစွမ်းအင်ဖြစ်သည်။ [Sensible Heat is the energy stored in dry air.]

၂.၄ ဖိအားများနှင့် သက်ဆိုင်သည့် Dalton's Law

ဓာတ်ငွေ့အရော(mixture)၏ စုစုပေါင်းဖိအား(total pressure)သည် ထို mixture တွင် ရှိသော ဒြပ်(substance)များ တစ်ခုချင်းစီ၏ ဖိအား(partial pressure)များ ပေါင်းခြင်းနှင့် ညီမျှသည်။

Dalton's Law is the total pressure equals the sum of the partial pressure.

$$P = Pa + Pw$$

P = Total pressure

Pa = Partial pressure of dry air

Pw = Partial pressure of water vapor

အပူချိန် 25°C ရှိသည့် လေ(moist air)၏ ဖိအား(total pressure)သည် 1013.25 mbar ဖြစ်သည်။ Saturated vapor ၏ partial pressure သည် 31.66 mbar ဖြစ်ပြီး ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) ၏ partial pressure သည် 971.59 mbar ဖြစ်သည်။

Partial pressure of dry air (Pa) = 31.66 mbar

Partial pressure of saturated vapor (Pw) = 971.59 mbar

Total(standard) pressure (P) = 1013.25 mbar

Humidity ratio ကို ရေငွေ့ဖိအား(partial pressure of water vapor) နှင့် ခြောက်သွေ့သည့်လေ၏ ဖိအား(partial pressure of dry air)တို့၏ အချိုးဖြင့်လည်း ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$W = \frac{Mw}{MA} = 0.662\ x\ \frac{Pw}{Pa}$$

ဥပမာ - လေထဲ၌ ရှိသော ရေငွေ့ဖိအား(partial pressure of water vapor) သည် 0.20 psia ဖြစ်သည်။ ထိုအချိန်တွင် လေထု၏ barometric pressure(atmospheric pressure) သည် 14.6 psi ဖြစ်လျှင် humidity ratio ကို ရှာပါ။

Dalton's Law $P = Pa + Pw$

Pa = P – Pw

Pa = 14.6-0.2 = 14.4 Psia

Humidity ratio ပုံသေနည်း အရ

$$W = 0.622\ x\ \frac{Pw}{Pa} = \frac{0.622\ x\ 0.2}{14.4} = 0.0086\ lb\ w/\ lb\ d.a$$

ထို့ကြောင့် ရေငွေ့များ(water vapor) ၏ partial pressure ကိုသိလျှင် Humidity Ratio ကို သိနိုင်သည်။

Humidity ratio 0.0086 ၏ အဓိပ္ပာယ် ဖွင့်ဆိုချက်မှာ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) အလေးချိန် တစ်ပေါင် (1lb)တွင် ရေငွေ့ပါဝင်မှု(water vapor content)သည် 0.0086 lb ဖြစ်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။

$$W = 0.0086\, lb\, w/lb\, d.a \;\; x\, 7000\, gr/\, lb \; = \; 60.2\, gr\, w/lb\, d.a$$

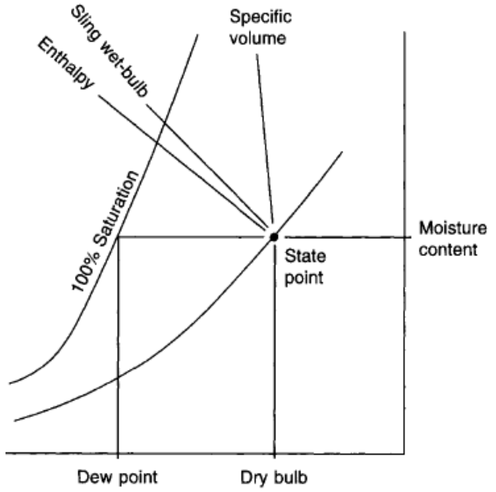
ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) အလေးချိန်တွင် တစ်ပေါင်တွင် ရေငွေ့(water vapor) 60.2 grain ပါဝင်သည် ဟု ဆိုလိုသည်။

အလေးချိန်ကို တိုင်းတာသည့် **"Grains"** ယူနစ် ကို Psychrometrics တွင် သုံးလေ့ရှိသည်။ 7000 grains သည် 1 lb နှင့်ညီမျှသည်။ SI ယူနစ်တွင် ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air)၏ ယူနစ်သည် ကီလိုဂရမ် (kg) ဖြစ်သည်။ IP ယူနစ် တွင် ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) ၏ ယူနစ်သည် ပေါင်(lb) ဖြစ်သည်။

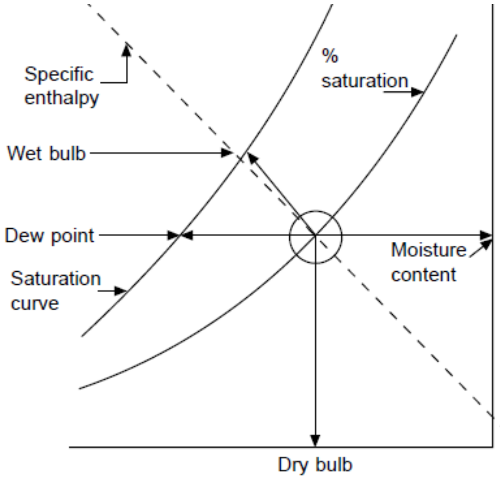
$$\textbf{\textit{Relative Humidity}}\ (\%) = \frac{Pw}{Pws}\ x\, 100$$

RH	=	Relative Humidity %
Pw	=	Partial pressure of water vapor at Dry Bulb temperature
Pws	=	Satuation pressure of water vapor at Dry Bulb temperature

၂.၅ Psychrometric Chart ပေါ်ရှိလိုင်းများ

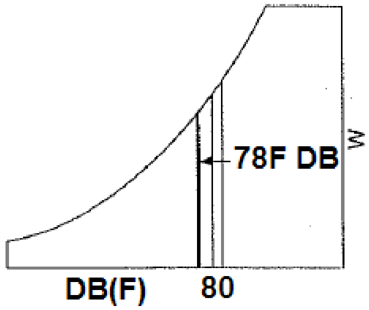


ပုံ ၂-၉ Psychrometric Chart ပေါ်ရှိလိုင်းများ



ပုံ ၂-၁၀ Psychrometric Chart ပေါ်ရှိလိုင်းများ

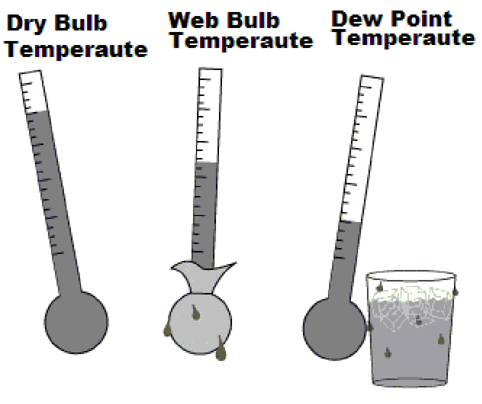
၂.၅.၁ Dry Bulb အပူချိန်(Temperature)လိုင်းများ



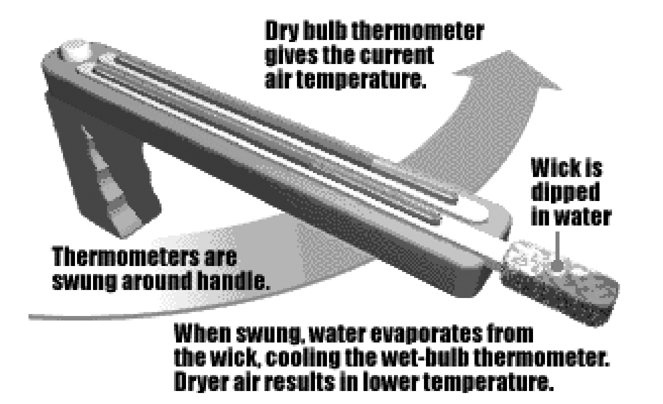
ပုံ ၂-၁၁ Dry Bulb အပူချိန် လိုင်းများ

သာမိုမီတာဖြင့် တိုင်း၍ရသော လေ၏ အပူချိန်ကို Dry Bulb အပူချိန်(temperature) ဟုခေါ်သည်။ သတင်းစာ၊ အင်တာနက် နှင့် မိုးလေဝသဌာနတို့၌ ဖော်ပြလေ့ရှိသည့် အပူချိန်သည် Dry Bulb အပူချိန် (temperature) ဖြစ်သည်။ Dry Bulb အပူချိန် (temperature)ကို မပါမဖြစ် ဖော်ပြလေ့ ရှိသည်။ DB ဟု အတိုခေါက် ရေးသား ဖော်ပြလေ့ ရှိသည်။

Constant Dry Bulb temperature လိုင်းများကို "Psychrometric Chart" ပေါ်တွင် မျဉ်းမတ်များ (vertical line)ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ မျဉ်းမတ် (vertical line) တစ်ခုပေါ်၌ ရှိသော Dry Bulb အပူချိန် (temperature) တန်ဖိုးများ တူညီကြသည်။

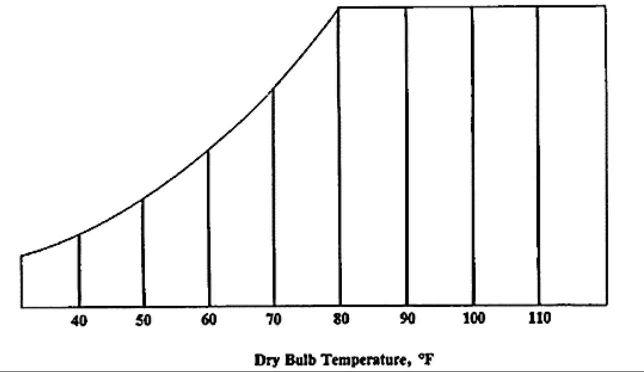


ပုံ ၂-၁၂ Dry Bulb ၊ Wet Bulb နှင့် Dew Point အပူချိန် တို့ကို အရှင်းလင်းဆုံး ဖော်ပြထားသည်။

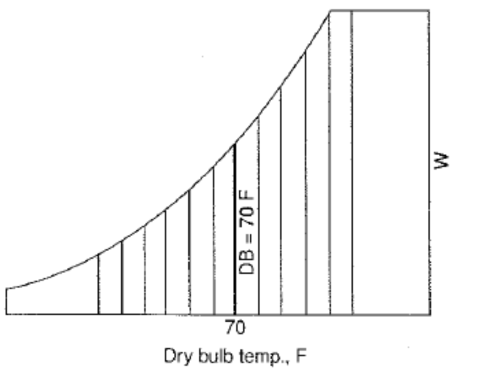


ပုံ ၂-၁၃ Sling Thermometer သည် Dry Bulb နှင့် Wet Bulb အပူချိန် တို့ကို တိုင်းယူရန် အလွယ်ကူဆုံးသော ကိရိယာ ဖြစ်သည်။

အောက်ပါပုံများသည် IP ယူနစ်ဖြင့် ရေးဆွဲထားသော Psychrometric chart ဖြစ်သည်။ မျဉ်းမတ်များ (vertical line)သည် Dry Blub အပူချိန်လိုင်း(temperature line)များ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၁၄ Dry Blub အပူချိန်လိုင်း(temperature line)များ



ပုံ ၂-၁၅ Dry Blub အပူချိန်လိုင်း

၂.၅.၂ Wet Bulb အပူချိန်(Temperature)လိုင်းများ

Wet Bulb အပူချိန်ကို ရေဆွတ်ထားသည့် ဝါဂွမ်း သို့မဟုတ် အဝတ်စဖြင့် ပတ်ထားသော သာမိုမီတာဖြင့် တိုင်းယူရသည်။ Wet Bulb အပူချိန် တိုင်းယူရန် သာမိုမီတာသည် ရေစိုစွတ်နေရန် လိုအပ်ပြီး၊ လေတိုက်နေရန်(moving air) လိုအပ်သည်။ သာမိုမီတာသည် ရေဖြင့် စိုစွတ်နေမှသာ Wet Bulb အပူချိန် ဖြစ်နိုင်သည်။ ရေ၏ စိုစွတ်မှုကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော အအေးဓာတ်(cooling effect)သည် Wet Bulb အပူချိန်ကို Dry Bulb အပူချိန် ထက်နိမ့်စေသည်။ Wet Bulb အပူချိန်ကို WB ဟု အတိုခေါက် ရေးသား ဖော်ပြ လေ့ရှိသည်။

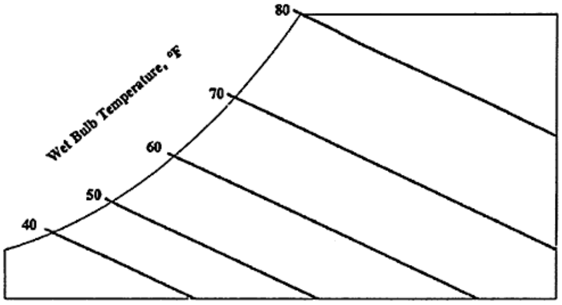
Wet Bulb အပူချိန်သည် ရေများ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်ရန်အတွက် လိုအပ်သည့် အပူများကို စုပ်ယူ လိုက်သောကြောင့် Wet Bulb အပူချိန်သည် Dry Bulb အပူချိန်ထက် နိမ့်သွားခြင်း ဖြစ်သည်။ Wet Bulb အပူချိန်သည် လေထဲ၌ရှိသော ရေငွေ့ပမာဏ (amount of moisture)ကို ဖော်ပြသည်။

Dry Bulb အပူချိန်သည် Wet Bulb အပူချိန်ထက် အမြဲမြင့်(များ) လေ့ရှိသည်။ လေထုထဲ၌ ရေငွေ့များ(water vapor)များ ရာနှုန်းပြည့် (၁၀၀%)ရှိနေသည့် အခိုက်အတန့်၌သာ Dry Bulb အပူချိန် နှင့် Wet Bulb အပူချိန်တို့ တူညီကြသည်။ Dry Bulb အပူချိန်သည် Wet Bulb အပူချိန်ထက် နည်းရန်(နိမ့်ရန်) မဖြစ်နိုင်ပေ။

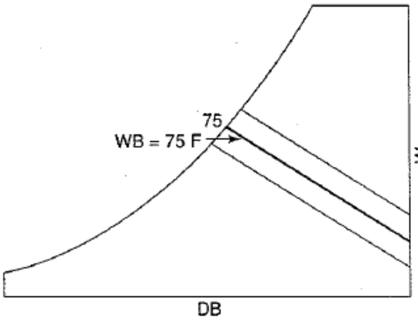
လေထုထဲ၌ ရေငွေ့များ(water vapor) ရာနှုန်းပြည့် ရှိနှင့်ပြီးလျှင် (စိုထိုင်းဆများလျှင်) ရေငွေ့ပျံခြင်း (evaporation) မဖြစ်နိုင်တော့သောကြောင့် အအေးဓာတ်(cooling effect)နည်းကာ Dry Bulb အပူချိန် နှင့် Wet Bulb တို့၏ အပူချိန်ကွာခြားမှု နည်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။

Dry Bulb အပူချိန်(temperature) နှင့် Wet Bulb အပူချိန်(temperature) တို့၏ ခြားနားချက်သည် လေထု၏ စိုထိုင်းဆ(humidity)ကို ဖော်ပြသည်။ ခြားနားချက်နည်းလျှင် စိုထိုင်းဆ (humidity)များ၍ ခြားနားချက်များလျှင် စိုထိုင်းဆ(humidity) နည်းသည်။ Dry Bulb အပူချိန် နှင့် Wet Bulb အပူချိန်တူလျှင် စိုထိုင်းဆ(humidity)သည် ရာနှုန်းပြည့်(၁၀၀%) ဖြစ်သည်။

ပုံတွင်ပြထားသည့် မျဉ်းစောင်းများသည် တူညီသော Wet Bulb အပူချိန်ကို ဖော်ပြသည်။ Wet Bulb အပူချိန်သည် adiabatic saturation အပူချိန် ဖြစ်သည်။



၂-၁၆ Dry Bulb အပူချိန်လိုင်း



ပုံ ၂-၁၇ Dry Bulb အပူချိန်လိုင်း

မျဉ်းစောင်းများ(sloping lines)သည် Wet Blub အပူချိန်လိုင်းများ ဖြစ်သည်။ Wet Blub အပူချိန်၏ တန်ဖိုးများကို လိုင်း၏ ဘယ်ဘက်ထိပ်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

Dry Bulb အပူချိန်နှင့် Wet Bulb အပူချိန် တို့၏ ခြားနားချက်ကို **"Wet Bulb Depression"** ဟု ခေါ်သည်။ Wet Bulb depression သုညဖြစ်လျှင် Dry Bulb အပူချိန်နှင့် Wet Bulb အပူချိန် တူညီပြီး 100% humidity ဖြစ်သည်။ Dry Bulb အပူချိန်နှင့် Wet Bulb အပူချိန် တူညီသည့်အခိုက်တွင် လေသည် saturated air ဖြစ်သည်။

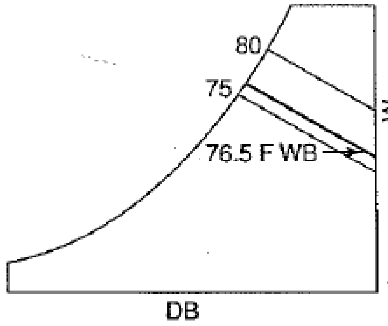
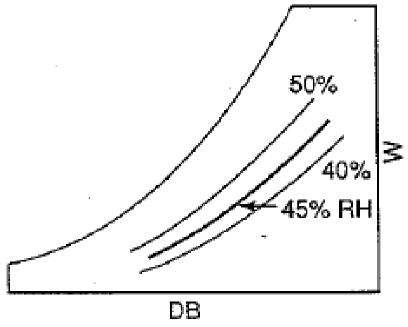
$$Wet\ bulb\ depression\ =\ Dry\ Bulb\ Temperature\ -\ Wet\ Bulb\ Temperature$$

ဥပမာ မြန်မာနိုင်ငံ နွေရာသီ အညာဒေသ၏ နေ့လယ်အချိန်တွင် Dry Bulb အပူချိန်သည် (၃၇) ဒီဂရီ celsius (37°C) ဖြစ်ပြီး Wet Bulb အပူချိန်သည် (၃၁) ဒီဂရီ celsius ဖြစ်သည်။ သို့သော် အီကွေတာရပ်ဝန်း အမေဇုန် အမြိစိမ်း သစ်တော၏ နေ့လယ်အချိန်တွင် Dry Bulb အပူချိန် သည် (၃၇)ဒီဂရီ celsius (37°C)ဖြစ်ပြီး Wet Bulb အပူချိန်သည် (၃၃)ဒီဂရီ celsius (33°C) ဖြစ်သည်။ Dry Bulb အပူချိန် နှစ်ခု တူညီကြသော်လည်း Wet Bulb အပူချိန် နှစ်ခု မတူညီကြပေ။

မြန်မာနိုင်ငံ အညာဒေသ၏ နွေရာသီသည် ခြောက်သွေ့၍ ပူအိုက်သောရာသီဥတုဖြစ်ပြီး အီကွေတာ ရပ်ဝန်း အမေဇုန်အမြိစိမ်းသစ်တောသည် စိုစွတ်၍ ပူအိုက်သော ရာသီဥတုဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အမေဇုန် အမြိစိမ်း သစ်တောမှ လေထုသည် အညာဒေသမှ လေထုထက် ရေငွေ့များ(water vapor)ကို ပိုမိုသယ်ဆောင် ထားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ အမေဇုန်အမြိစိမ်းသစ်တောမှ လေထုကို စိုထိုင်းဆမြင့်(high humidity) သည်ဟု

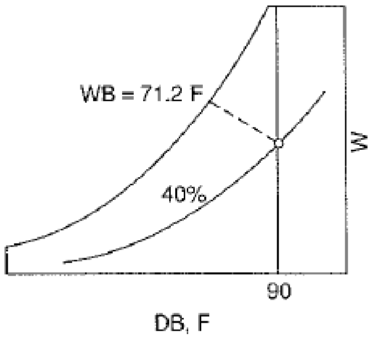
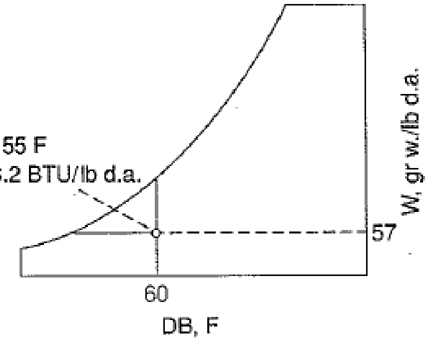
သတ်မှတ်ပြီး အညာဒေသမှ လေထုကို စိုထိုင်းဆ နိမ့်သည်(low humidity)ဟု သတ်မှတ်သည်။ ထို့ကြောင့် အမေဇုန်သစ်တောမှ လေထုကို ပူအောင် သို့မဟုတ် အေးအောင် လုပ်ရန် အတွက် အညာဒေသမှ လေထုထက် စွမ်းအင်(energy) ပိုလိုအပ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အမေဇုန်တောအတွင်းမှ လေထုသည် ရေငွေ့များ (water vapor)ကို ပိုမို သယ်ဆောင် ထားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

ဥပမာ 76.5°F WB လိုင်းကို Psychrometric chart ပေါ်တွင် ဆွဲပြပါ။ ဥပမာ 45% RH လိုင်းကို Psychrometric chart ပေါ်တွင် ဆွဲပြပါ။

	
၂-၁၈ 76.5°F Wet Bulb လိုင်း	၂-၁၉ 45% RH လိုင်းကို psychrometric

မိုးလေဝသဌာနမှ ရရှိသည့် အချက်အလက်သည် 90°F DB နှင့် 40% RH ဖြစ်လျှင် WB အပူချိန်ကို ရှာပါ။

Cooling coil တစ်ခုမှ ထွက်လေ(leaving air)သည် 60°F DB နှင့် 55°F WB ဖြစ်လျှင် Humidity Ratio နှင့် Specific Enthalpy ကို ရှာပါ။

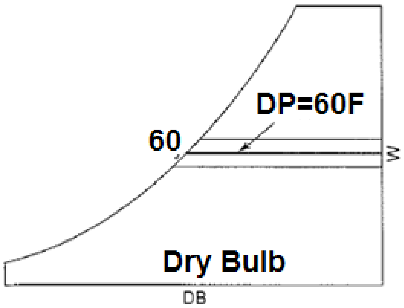
	
ပုံ ၂-၂၀ 90°F DB နှင့် 40% RH ဖြတ်မှတ် (intersection point) မှ WB 71.2°F ကို ရသည်။	ပုံ ၂-၂၁ 60°F DB နှင့် 55°F WB မှ humidity ratio 55°F နှင့် specific enthalpy 23.3 Btu/lb d.a ကို ရသည်။

၂.၅.၃ Dew Point အပူချိန်(Temperature)

ပုံသေဖိအား(constant barometric pressure) အောက်တွင် လေထဲ၌ ရှိသော ရေငွေ့များ(water vapor)သည် ရေ(liquid water) အဖြစ်သို့ စတင် ပြောင်းသည့် အပူချိန်ကို "**Dew Point Temperature**" ဟု သတ်မှတ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ ပြောင်းလဲသွားသည့် ရေများကို condensed water သို့မဟုတ် dew ဟုခေါ်သည်။ Dew Point သည် water-to-air saturation temperature ဖြစ်သည်။ Dew Point သည် Relative Humidity (RH)နှင့် သက်ဆိုင်သည်။

Relative Humidity (RH) မြင့်လေ Dew Point နှင့် လက်ရှိ လေအပူချိန် (current air temperature)တို့ နီးကပ်လေ ဖြစ်သည်။ Relative Humidity 100% ဖြစ်လျှင် Dew Point နှင့် လက်ရှိ လေအပူချိန် (current air temperature)တို့ တူညီကြသည်။

100% RH အချိန်၌ လေသည် စုပ်ယူသယ်ဆောင်နိုင်သမျှ ရေငွေ့(water vapor)ပမာဏ အားလုံးကို သယ်ဆောင် ထားပြီးဖြစ်သည်။ အကယ်၍ လေ၏ အပူချိန် နှင့် ဖိအား(pressure) ပိုမြင့်လာလျှင် Dew Point အပူချိန် ပိုမြင့်လာ လိမ့်မည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေသည့် ရေငွေ့ သယ်ဆောင်နိုင်စွမ်း ပိုများလာသည်။

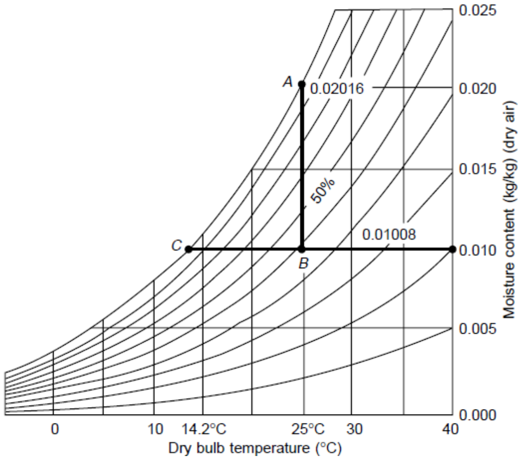


ပုံ ၂-၂၂ Dew Point လိုင်း

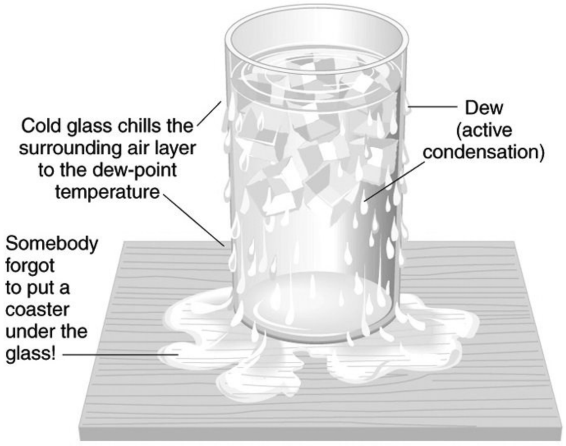
လေက သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့ ပမာဏ မပြောင်းလဲလျှင် Relative Humidity(RH) နိမ့်ဆင်း လာလိမ့်မည်။ အပူချိန် 80°F DB နှင့် 100% Relative Humidity(RH) အခြေအနေနှင့် အပူချိန် 100°F Dry Bulb နှင့် 100% Relative Humidity (RH) အခြေအနေတွင် အပူချိန်များသည့် 100°F Dry Bulb လေသည် အပူချိန်နည်းသည့် 80°F Dry Bulb လေထက် ပိုများသည့် ရေငွေ့ပမာဏကို သယ်ဆောင်ထားနိုင်သည်။

Dew Point အပူချိန် နှင့် လက်ရှိအပူချိန်(current air temperature)တို့ တူညီနေသည့် အခိုက် လေသည် သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့များကို ဆက်လက် မသယ်ဆောင်နိုင်တော့ဘဲ ရေအဖြစ်သို့ စတင် ပြောင်းလဲသွားကာ condensation ဖြစ်စဉ် စတင် ဖြစ်ပေါ်သည်။

> Dew Point အပူချိန်ဆိုသည်မှာ ရေငွေ့(water vapor)များ လေထဲမှ စတင် ထွက်ခွာသွားသည့် လေ၏ အပူချိန်ကို ဆိုလိုသည်။ လေထဲမှ ရေငွေ့များသည် Dew Point အပူချိန် ထက်နိမ့်သည့် မျက်နှာပြင် ပေါ်တွင် ရေသီးခြင်း(condensation) ဖြစ်ပေါ်စေသည်။



ပုံ ၂-၂၃ Dew Point လိုင်း



ပုံ ၂-၂၄ Condensation ဖြစ်ပုံ

Point A အောက်ပုံတွင် ပြထားသည့် အမှတ် A(point A) ၌ Dry Bulb အပူချိန် 25°C ရှိသည့် saturated air တစ် ကီလိုဂရမ်သည် ရေငွေ့(water vapor content) 0.02016 kg ကို သယ်ဆောင် ထားနိုင်စွမ်း ရှိသည်။

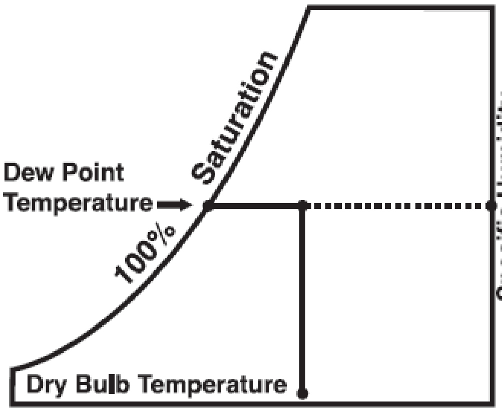
Point B ထိုလေသည် 25°C ၌ပင် 50% saturated ဖြစ်သွားပါက ရေငွေ့(water vapor content) 0.01008kg ကို သယ်ဆောင်ထားလိမ့်မည်။ 100% saturated air တစ် ကီလိုဂရမ်မှ သယ်ဆောင် ထားနိုင်သည့် ရေငွေ့(water vapor content)ထက် တစ်ဝက်သာ သယ်ဆောင် ထားနိုင်သော ကြောင့် 50% saturated ဖြစ်ခြင်းသည်။

Dew Point အပူချိန်တန်ဖိုးကို Wet Bulb အပူချိန် တန်ဖိုးများမှ ဖတ်ယူရသည်။

25°C လေကို တဖြည်းဖြည်းခြင်း အေးအောင် ပြုလုပ်ပါက B မှ C သို့ ဆက်ထားသည့် မျဉ်းဖြောင့် (line BC) အတိုင်းသွားပြီး saturation line ပေါ်ရှိ အမှတ် C (point C) သို့ရောက်ရှိ လိမ့်မည်။ ရေငွေ့ (water vapor content) ပါဝင်မှုသည် ရှိမြဲအတိုင်း မပြောင်းလဲဘဲ Dry Bulb အပူချိန်သာ ကျဆင်းလာခြင်းကို ဆိုလိုသည်။

Saturation line ပေါ်ရှိ အမှတ်C (point C)သို့ ရောက်ရှိချိန်တွင် သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့(water vapor content)0.010 08 kg သည် လေက အများဆုံး သယ်ဆောင်နိုင်သော ပမာဏသို့ ရောက်ရှိသွားခြင်း ဖြစ်သည်။ ထိုအချိန်တွင် လေ၏ Dry Bulb သည် 14.2°C သို့ရောက်ရှိနေပြီးဖြစ်သည်။ ထိုသို့ 14.2°C သို့ ရောက်ရှိ ပြီးနောက် လေသည် သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့ပါဝင်မှု (water vapor content) 0.01008 kg ကို ဆက်လက် သယ်ဆောင်ကာ 14.2°C ထက်နိမ့်သည့် အပူချိန်သို့ ကျဆင်းရန် မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။

တစ်နည်းအားဖြင့် 14.2°C ထက်နိမ့်အောင် ပြုလုပ်ပါက လေသည် သယ်ဆောင် ထားသည့် 0.01008kg မှ ရေငွေ့အချို့ကို ရေအဖြစ် စွန့်ထုတ်လိမ့်မည်။ အမှတ် C (point C) သို့ ရောက်ရှိလာသည့် မူလ အမှတ် B (original point B)ကို Dew Point အပူချိန်ဟု ခေါ်သည်။ Dew Point ဆိုသည်မှာ ရေငွေ့များ(water vapor)ဖြင့် ရာနှုန်းပြည့်(၁၀၀%) ပြည့်ဝနေသော နေသောလေ(saturated air)၏ အပူချိန် ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၂၅ Dew point လိုင်း

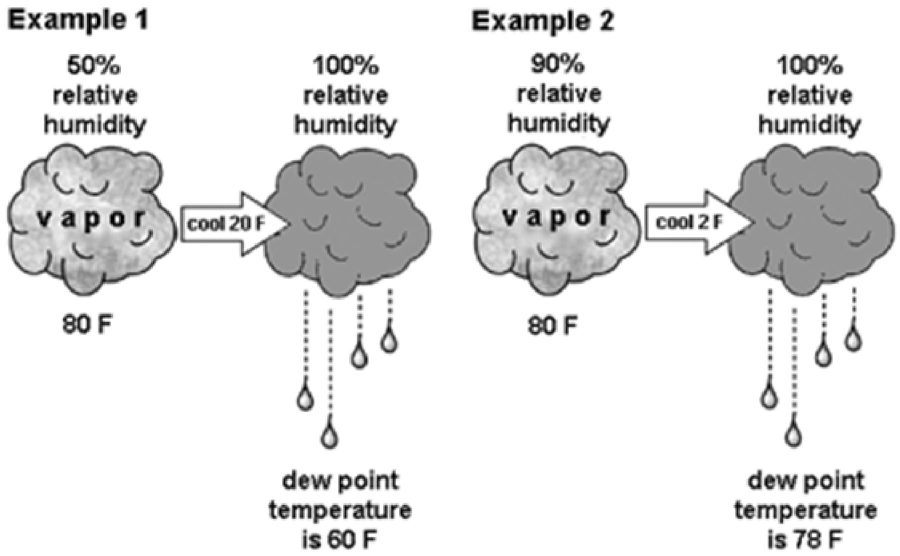
ပုံ ၂-၂၆ Condensation ဖြစ်ပုံ

Dew point အပူချိန်တွင် လေသည် ထိုရေငွေ့များကို ဆက်လက်ထိန်းထားနိုင်ခြင်း မရှိတော့ဘဲ ရေအဖြစ်သို့ စတင်ပြောင်းလဲကာ condensation ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

Condensation ဖြစ်စဉ် စတင်သည့် အပူချိန်(temperature)သည် Dew Point အပူချိန် (temperature) ဖြစ်သည်။

ထိုအပူချိန်ကို ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်စဉ်၏ အဆုံးဟုလည်း ခေါ်ဆိုသည်။ သိမ်းဆည်းထားသမျှ ရေငွေ့များကို ပြန်ထုတ်နေသည့် အချိန်တွင် မည်သည့် ရေငွေ့ကိုမျှ ထပ်မံ လက်ခံနိုင်စွမ်း မရှိသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

Dry Bulb အပူချိန် နှင့် Web Bulb အပူချိန်တို့ တူညီသည့် အခိုက်မှ အပူချိန်ကို Dew Point အပူချိန် ဟုခေါ်ဆိုသည်။ ထိုအခိုက်၌ Dry Bulb ၊ Web Bulb နှင့် Dew Point အပူချိန်တို့ အားလုံး တူညီကြသည်။ ထိုအခိုက်၌ Relative Humidity(RH)သည် 100% ဖြစ်သည်။ လေသည် သယ်ဆောင်နိုင်သမျှ ရေငွေ့ပမာဏ အားလုံး သယ်ဆောင်ပြီး ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၂၇ Dew point အပူချိန်

Dew Point အပူချိန်ကို 100% RH လိုင်းပေါ်တွင် တွေ့နိုင်သည်။ ထိုအခြေအနေတွင် ရှိသော လေထုသည် ရေငွေ့များ(water vapor)ကို အပြည့်အဝ သယ်ဆောင်ထားပြီး ဖြစ်သည်။ ထိုအပူချိန်ထက် မြင့်နေသမျှ ကာလပတ်လုံး ရေငွေ့များ(water vapor)ကို ဆက်လက် သယ်ဆောင် ထားလိမ့်မည်။

Dew Point အပူချိန်ကို တိုင်းရန်အတွက် ဖန်ခွက်တစ်ခုထဲတွင် ရေခဲတုံးလေးများထည့်ပါ။ ပုံ(၂-၁၂)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း ဖန်ခွက်နံရံ၌ ရေသီးကလေးများ တွေ့ရလျှင် သာမိုမီတာဖြင့် ဖန်ခွက်နံရံနှင့် အနီးကပ်ဆုံး လေ၏ အပူချိန်ကို တိုင်းလျှင် အနီးစပ်ဆုံး Dew Point အပူချိန်ကို ရမည်။

Dew Point အပူချိန်(temperature) ဆိုသည်မှာ ရေငွေ့(moisture or water vapor)များ လေထဲမှ စတင် ထွက်ခွာသွားသည့် လေ၏အပူချိန်ကို ဆိုလိုသည်။ Dew Point အပူချိန်(temperature)၌ လေထဲမှ ရေငွေ့(moisture or water vapor)များသည် Dew Point အပူချိန်(temperature) ထက်နိမ့်သည့် မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် condensation ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။

Dew Point အပူချိန်သည် 100% RH လိုင်းပေါ်မှ စတင်ဆွဲသည့် ရေပြင်ညီမျဉ်း(horizontal line) ဖြစ်သည်။ Dew Point အပူချိန်၊ Dry Bulb အပူချိန် နှင့် Wet Bulb အပူချိန်တို့ တူညီသည့် အခိုက်တွင် ရှိသည့် လေကို "Saturated Air" ဟုခေါ်သည်။

$$Dew\ Point\ Temperature = Dry\ Bulb\ Temperature = Wet\ Bulb\ Temperature$$

ထိုအခိုက်အတန့်တွင် လေ(saturated air)သည် ရေငွေ့(water vapor)များကို ဆက်လက် သယ်ဆောင် နိုင်စွမ်း မရှိတော့ပေ။ ထိုအခိုက်၌ လေထဲသို့ ရေငွေ့တချို့ ထပ်မံ ဝင်ရောက်လာပါက လေထဲ၌ရှိနှင့် နေပြီးသော ရေငွေ့တချို့သည် ထိုလေထဲမှ ထွက်ခွာပေးရသည်။ ထိုရေငွေ့များသည် အလွန်သေးငယ်သည့် ရေမှုန် (fine droplet) ပုံစံမျိုးဖြင့် ထွက်ခွာသွားသည်။ မြူနှင်းများသည် "Saturated Air" ဖြစ်ကြောင်းကို ဖော်ပြသည့် အကောင်းဆုံး ဥပမာ ဖြစ်သည်။ "Saturated Air" အခြေအနေတွင် အပူချိန်သုံးမျိုး တူညီကြသည်။

Dew Point Temperature ဥပမာများ

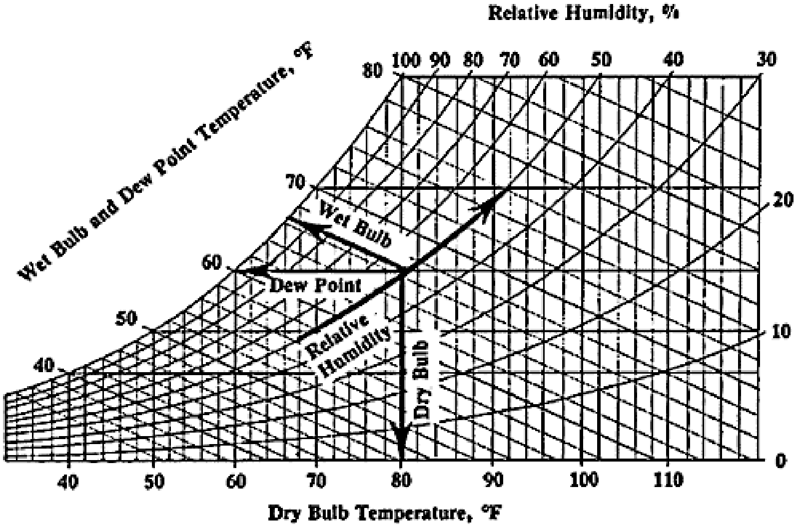
ဥပမာ- အဆောက်အဦတစ်ခု အတွင်းမှ လေထု၏ Dry Bulb အပူချိန်သည် 80°F ဖြစ်ပြီး Relative Humidity (RH) သည် 50% ဖြစ်လျှင် ထိုအဆောက်အဦ၏ နံရံ၌ ရေသီးခြင်း(condensation) မဖြစ်ရန် အတွက် နံရံကို မည်သည့် အပူချိန်တွင် ထိန်းထားရမည်နည်း။

အဖြေ- ရေသီးခြင်း(condensation) ဖြစ်မဖြစ်ကို စစ်ဆေးရန် ထိုအဆောက်အဦ အတွင်းမှ လေထု၏ Dew Point အပူချိန်ကို သိရန် လိုအပ်သည်။ 80°F Dry Bulb အပူချိန်လိုင်း နှင့် 50 % Relative Humidity(RH) လိုင်း တို့၏ ဖြတ်မှတ်ကို Psychrometric chart ပေါ်တွင် ရှာပါ။

(က) Dry Bulb တန်ဖိုးများ ရှိသည့်နေရာမှ 80°F နေရာတွင် မျဉ်းမတ် တစ်ကြောင်းကို ထောင်ပါ။ ထိုမျဉ်းမတ်သည် 80°F Dry Bulb အပူချိန်လိုင်း (80°F DB လိုင်း) ဖြစ်သည်။

(ခ) ထိုနောက် RH လိုင်းမျဉ်းကွေးများမှ 50% RH လိုင်းကိုရှာပါ။

(ဂ) 80°F DB လိုင်း နှင့် 50% RH လိုင်း တို့ ဖြတ်သွားသောနေရာတွင် ဖြတ်မှတ်(intersection Point)ကို ရမည်။ ထိုဖြတ်မှတ်မှ ရေပြင်ညီမျဉ်းအတိုင်း ဘယ်ဘက်သို့ သွားလျှင် Dew Point အပူချိန် စကေးပေါ်၌ Dew Point အပူချိန် တန်ဖိုး 59°F ကို ရမည်။ ရေသီးခြင်း(condensation) မဖြစ်ရန်အတွက် ထိုအဆောက်အဦနံရံ၏ အပူချိန်ကို 59°F ထက် များ(မြင့်)အောင် ထိန်းထားရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရေသီးခြင်း (condensation) မဖြစ်ရန်အတွက် ထိုအခန်းအတွင်းရှိ မျက်နှာပြင်များ အားလုံး၏ အပူချိန်သည် Dew Point အပူချိန်ထက် ပိုမြင့်အောင် ထိန်းထားရမည်။



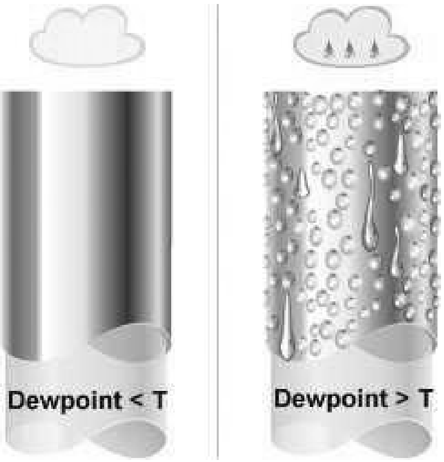
ပုံ ၂-၂၈ Dew Point အပူချိန် ၊ Dry Bulb အပူချိန် နှင့် Web Bulb အပူချိန်

ထိုဖြတ်မှတ်မှ ဘယ်ဘက်သို့ စောင်းနေသည့် Wet Bulb လိုင်းများအတိုင်း ဖတ်လျှင် Wet Bulb အပူချိန် 67°F ကို ရမည်။ ပုံ(၂-၂၈)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

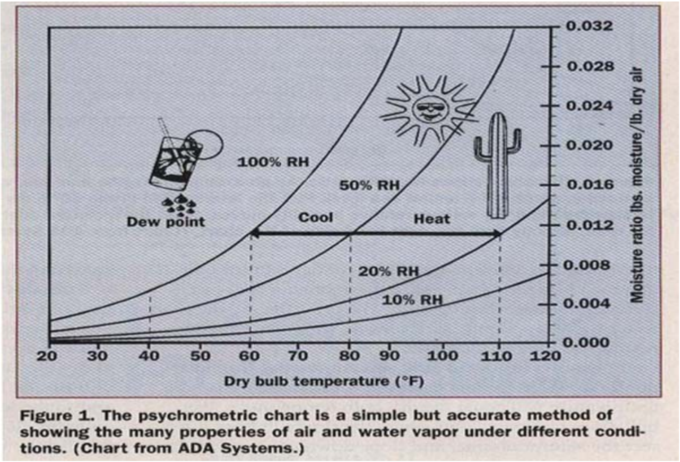
လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ (Properties)		တန်ဖိုး (Value)
Dry Bulb(given)	=	80°F
RH %(given)	=	50%
Wet Bulb	=	67°F (chart မှ ဖတ်ယူရန်)
Dew Point	=	59°F (chart မှ ဖတ်ယူရန်)

၂.၅.၄ အေးသည့် မျက်မှာပြင်များပေါ်၌ Condensation ဖြစ်ပေါ်ခြင်း

ငယ်စဉ်ကလေးဘဝက ရေငွေ့ရိုက်ပြီး အစိုပြန်နေသည့် ပြတင်းပေါက် မှန်ပေါ်တွင် အရုပ်ကလေးများ ရေးဆွဲခဲ့ကြဖူး လိမ့်မည်။ ပြတင်းပေါက်မှန်၏ အပူချိန်သည် ပြင်ပလေထု၏ Dew Point အပူချိန် ထက်နိမ့်ဆင်းလာသည့်အခါ လေထုထဲရှိ ရေငွေ့(water vapor)များကို ပြတင်းပေါက်မှန်ပေါ်တွင် ရေသီးခြင်း (condensation)အဖြစ် တွေ့မြင်ရခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၂၉ Condensation

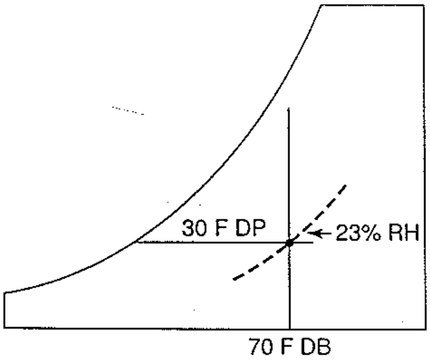


ပုံ ၂-၃၀ Relative Humidity

အရာဝတ္ထုတစ်ခု၏ အပူချိန်သည် ထိနေသည့် လေ၏ Dew Point အပူချိန်(temperature)ထက် ပိုမြင့်(ပူ)နေပါက condensation မဖြစ်နိုင်ပါ။ အရာဝတ္ထုတစ်ခု၏ အပူချိန်သည် ထိနေသည့် လေ၏ Dew Point အပူချိန် (temperature)ထက် ပိုနိမ့်(အေး)နေပါက condensation ဖြစ်လိမ့်မည်။

Dew Point ၏ အဓိပ္ပာယ် သတ်မှတ်ချက်မှာ လေသည်ရေငွေ့(water vapor)များဖြင့် ပြည့်ဝနေသည့် (fully saturated) အခြေအနေတွင်ရှိသော လေ၏အပူချိန်ကို Dew Point အပူချိန် ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို Dew Point အပူချိန်ထက် နိမ့်သည့် အရာဝတ္ထုများ၏ မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ရေသီးခြင်း(condensation) ဖြစ်ပေါ်သည်။

Condensation ဖြစ်ခြင်းကြောင့် အရာဝတ္ထုများ၏ မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ရေစက် ရေပေါက်ကလေးများ ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။ ညစ်ပတ်ခြင်း၊ အရောင်ပြောင်းစေခြင်း စသည်တို့ကြောင့် ရေသီးခြင်း (condensation)သည် မလိုလားအပ်သည့် အရာဖြစ်သည်။



ဥပမာ - ဆောင်းဥတု၌ အခန်းတစ်ခု အတွင်းရှိ မှန်တစ်ထပ်ဖြင့်သာ ပြုလုပ်ထားသော ပြတင်းပေါက် (Single-glazed window)၏ အပူချိန်သည် 70°F DB ဖြစ်သည်။ ပြင်ပလေ၏ အပူချိန်သည် 30°F DB ဖြစ်လျှင် အခန်းတွင်း၌ ရေသီးခြင်း(condensation) မဖြစ်စေဘဲ အမြင့်ဆုံး လက်ခံနိုင်သည့် Relative Humidity (RH) တန်ဖိုးကို ရှာပါ။

ပုံ ၂-၃၁ Dew point အပူချိန်

ပြတင်းပေါက်မှန်၏ အပူချိန် အတွင်းဘက်သည် 70°F DB အပြင်ဘက်သည် 30°F DB ဖြစ်သည်။ မှန်၏ အပူချိန်သည် 30°F ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် မှန်၏ အနီးအနားတွင် ရှိသော လေ၏ အပူချိန်သည် 30°F ဖြစ်သည်။ ရေသီးခြင်း(condensation) မဖြစ်ပေါ်စေရန် အခန်းတွင်းရှိ လေ၏ Dew point အပူချိန်သည် 30°F ထက် မနိမ့်စေရ။ Psychrometric chart ပေါ်တွင် Dry Bulb 70°F နှင့် Dew point 30°F တို့၏ ဆုံမှတ်မှ Relative Humidity(RH) ကို ဖတ်လျှင် ၂၃% ကို ရသည်။

ရေသီးခြင်း(condensation) မဖြစ်စေရန် အမြင့်ဆုံး လက်ခံနိုင်သည့် RH တန်ဖိုးသည် ၂၃% ဖြစ်သည်။ မှန်နှစ်ထပ်(double glazed window) ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် အခန်းတွင်း RH% ကို မြှင့်တက်စေနိုင်ပြီး ရေသီးခြင်း (condensation)ကို ရှောင်လွှဲနိုင်သည်။

ထိုအခန်းအတွင်း၌ RH သည် ၂၃% ထက် ပိုများလာသည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် ပြတင်းပေါက်မှန်တွင် ရေသီးခြင်း (condensation)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော ရေစက်ရေပေါက် ကလေးများကို တွေ့မြင်ရလိမ့်မည်။

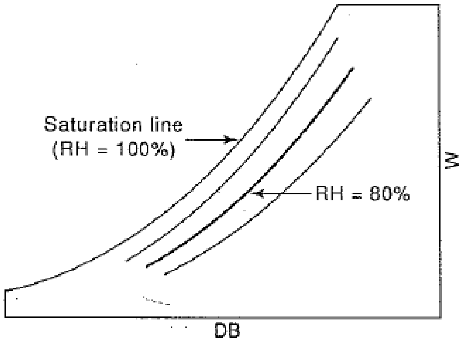
၂.၅.၅ Humidity Ratio လိုင်းများ

Humidity Ratio ဆိုသည်မှာ လေထဲ၌ ရှိနေသည့် ရေငွေ့များ(water vapor)၏အလေးချိန် နှင့် ထိုရေငွေ့များ မပါဝင်သော ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air)၏ အလေးချိန် အချိုးဖြစ်သည်။

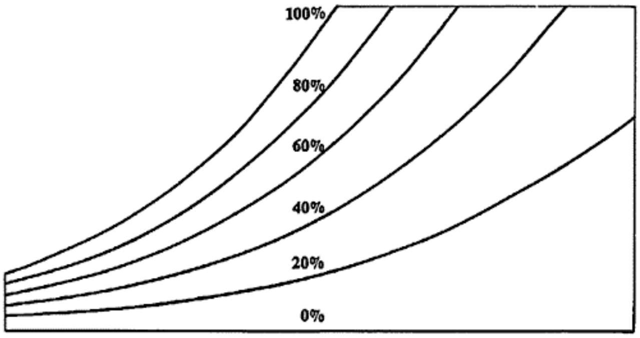
$$\boldsymbol{Humidity\ Ratio}(\%) = \frac{\boldsymbol{mass\ of\ water\ vapor(lb\ or\ kg)}}{\boldsymbol{mass\ of\ dry\ air(lb\ or\ kg)}}$$

Humidity Ratio တန်ဖိုးများလျှင် လေထဲတွင် ရေငွေ့(water vapor) များစွာ ပါဝင်နေသည်။ Humidity Ratio တန်ဖိုးနည်းလျှင် လေထဲတွင် ရေငွေ့(water vapor) အနည်းငယ်သာ ပါဝင်နေသည်။

၂.၅.၆ Relative Humidity လိုင်းများ



ပုံ ၂-၃၂ Relative Humidity လိုင်းများ



ပုံ ၂-၃၃ Relative Humidity လိုင်းများ

Relative Humidity(RH) ဆိုသည်မှာ လေထဲတွင် ပါဝင်နေသည့် ရေငွေ့များ၏ saturation ရာခိုင်နှုန်း (percentage) ဖြစ်သည်။ ထို saturation ရာခိုင်နှုန်း(percentage)သည် Dry Bulb အပူချိန်ပေါ်တွင် မှီနေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် Dry Bulb အပူချိန်ကို relative လုပ်ပြီးမှ saturation ရာခိုင်နှုန်း(percentage)ကို ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။ ဖော်ပြသည့် အချိန်တွင် ရှိနေသည့် လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်ပေါ်တွင် မူတည်၍ ရာခိုင်နှုန်းမည်မျှ saturation ဖြစ်နေသည်ကို ဖော်ပြသည်။

လေသည် လက်ရှိ Dry Bulb အပူချိန်၌ ရာခိုင်နှုန်းမည်မျှ saturation ဖြစ်ပြီးသည်ကို ဖော်ပြသည်။ 100% saturation မှ saturation ဖြစ်ပြီးသည့် ရာခိုင်နှုန်းကိုနုတ်လျှင် ရာခိုင်နှုန်းမည်မျှ saturation ဖြစ်ရန် လိုသေးသည်ကို သိနိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လက်ရှိ Dry Bulb အပူချိန်၌ ရေငွေ့ပမာဏ မည်မျှကို သယ်ဆောင်ထား ပြီးဖြစ်သည်ကို ရာခိုင်နှုန်းဖြင့် ဖော်ပြခြင်းဖြစ်သည်။ နောက်ထပ် ရာခိုင်နှုန်းမည်မျှကို ထပ်မံ သယ်ဆောင်နိုင် သေးသည်ကို တွက်ယူနိုင်သည်။

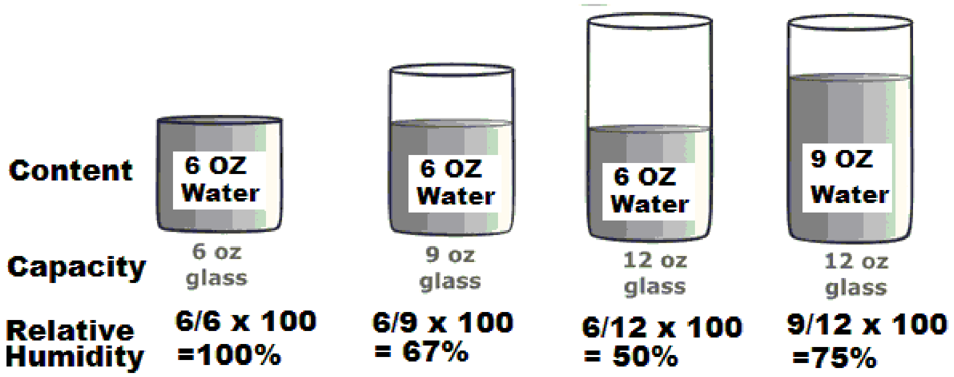
တစ်ခါတစ်ရံ လေထုထဲတွင် ရေငွေ့အလေးချိန်(weight) မည်မျှ ပါဝင်နေသည်ကို absolute တန်ဖိုးဖြင့် တိုက်ရိုက် ဖော်ပြသည်။ Relative Humidity(RH) သည် လေထဲတွင် ရေငွေ့ မည်မျှ ပါဝင်နေသည်ကို

ရာခိုင်နှုန်းဖြင့် ညွှန်ပြသည်။ Relative Humidity(RH) သည် water vapor density (mass per unit volume) နှင့် saturation water vapor density ၏ အချိုးဖြစ်ပြီး ရာခိုင်နှုန်းဖြင့် ဖော်ပြသည်။

$$\boldsymbol{Relative\ Humidity}\ (\%) = \frac{(\boldsymbol{Actual\ Vapor\ Density})}{(\boldsymbol{Saturation\ Vapor\ Density})}$$

$$\boldsymbol{Relative\ Humidity}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{water\ vapour\ present\ in\ the\ air}}{\boldsymbol{water\ vapour\ required\ to\ saturate\ \ air\ at\ that\ temperature}}$$

Relative Humidity (RH) သည် actual vapor pressure နှင့် saturation vapor pressure တို့၏ အချိုးဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၃၄ သယ်ဆောင်နိုင်သည့် ပမာဏ(capacity) နှင့် သယ်ဆောင်ပြီးသည့် ပမာဏ(content)

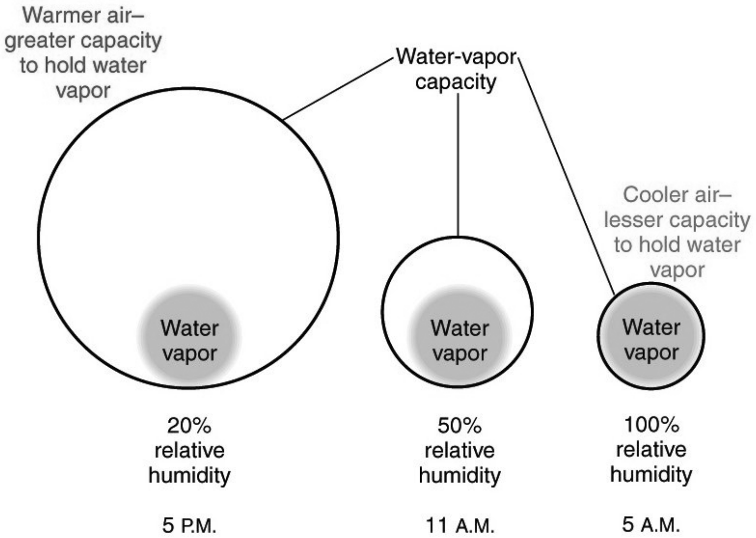
Capacity သည် လေမှ အများဆုံး သယ်ဆောင်ထားနိုင်သည့် ရေငွေ့ ပမာဏဖြစ်ပြီး ခွက်၏ ထုထည်ဖြင့် ဥပမာ ပေးနိုင်သည်။

Content သည် လေမှ သယ်ဆောင်ထားပြီးဖြစ်သည့် ရေငွေ့ ပမာဏဖြစ်ပြီး ခွက်ထဲ၌ ရှိနေသည့် ရေထုထည်ဖြင့် ဥပမာပေးနိုင်သည်။

- Dry Bulb တန်ဖိုးသည် ရေထည့်နိုင်သည့် ပုံးနှင့် ပမာတူညီသည်။ Dry Bulb တန်ဖိုးမြင့်လေ ပုံးအရွယ် အစားကြီးလေ ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် သယ်ဆောင်နိုင်စွမ်း များလေဖြစ်သည်။
- Wet Bulb တန်ဖိုးသည် ရေပုံးထဲရှိ ရေပမာဏနှင့် တူညီသည်။ Wet Bulb တန်ဖိုး မြင့်လေ ပုံးထဲ၌ ရေပမာဏများလေ ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့ပမာဏ များလေ ဖြစ်သည်။
- ပုံးအရွယ်အစားထက် ပိုများသည့် ရေပမာဏ ကို ရေပုံးထဲသို့ မထည့်နိုင်သကဲ့သို့ Wet Bulb တန်ဖိုးသည် မည်သည့်အခါမှ Dry Bulb တန်ဖိုးထက် ပိုမများနိုင်ပေ။

> လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်နိမ့်လေ ရေငွေ့များ(water vapor)ကို သိုလှောင်သိမ်းဆည်းနိုင်စွမ်း နည်းလေဖြစ်သည်။ လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်မြင့်လေ ရေငွေ့များ(water vapor)ကို သိုလှောင် သိမ်းဆည်း ထားနိုင်စွမ်း များလေဖြစ်သည်။

ဥပမာ- လေလုံသောပုံး သို့မဟုတ် ပုလင်းတစ်ခု(air tight container) အတွင်း၌ ရှိနေသည့် လေထဲတွင် သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့သည် အပူချိန်နှင့် လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်ကို လေ့လာနိုင်သည်။ ထို ပုံး သို့မဟုတ် ပုလင်း တစ်ခုအတွင်းသို့ ရေငွေ့များ မဝင်နိုင်အောင် သို့မဟုတ် မထွက်နိုင်အောင် ထိန်းထားနိုင်လျှင် Relative Humidity(RH) နှင့် Dry Bulb အပူချိန် ဆက်စပ်ပုံကို အောက်ပါ အတိုင်း လေ့လာတွေ့ ရှိနိုင်သည်။

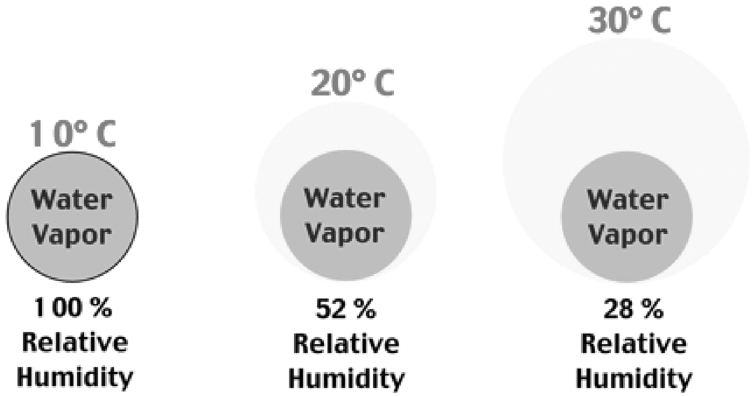


ပုံ ၂-၃၅ Relative Humidity(RH) နှင့် Dry Bulb အပူချိန် စပ်ဆက်ပုံ

20% Relative Humidity(RH) - ညနေ(၅)နာရီ အချိန်တွင် Dry Bulb အပူချိန် မြင့်သောကြောင့် လေထုသည် ရေငွေ့ သယ်ဆောင်နိုင်ထားစွမ်း များသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ထိုအခိုက်၌ရှိသော လေထုသည် သယ်ဆောင်နိုင်သည့် ပမာဏ၏ ၂၀% ရေငွေ့များ(water vapor)ကို သယ်ဆောင်ထားပြီး ဖြစ်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။ ၈၀% ထပ်၍ သယ်ဆောင်နိုင်သေးသည် ဟုလည်း ဆိုနိုင်သည်။

50% Relative Humidity(RH) - ည(၁၁)နာရီ အချိန်တွင် Dry Bulb အပူချိန် ကျဆင်း သွားသောကြောင့် ရေခိုးရေငွေ့ သယ်ဆောင်နိုင်စွမ်းလည်း ကျဆင်းသွားသည်။ လေထုသည် သယ်ဆောင်နိုင်သည့် ပမာဏ၏ ၅၀% ရေငွေ့များ(water vapor)ကို သယ်ဆောင်ထားပြီး ဖြစ်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။ နောက်ထပ် ၅၀% ထပ်၍ သယ်ဆောင်နိုင်သေးသည် ဟုလည်း ဆိုနိုင်သည်။ သို့သော် ရှိနေသည့် ရေငွေ့ပမာဏသည် မပြောင်းလဲပေ။ RH(%)သာ Dry Bulb အပူချိန်ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။

100% Relative Humidity(RH) - နံနက်(၄)နာရီ အချိန်တွင် Dry Bulb အပူချိန် ပို၍ကျဆင်းသွားသောကြောင့် ရေငွေ့ သယ်ဆောင်နိုင်စွမ်းလည်း ပို၍ နည်းသွားသည်။ လေထုသည် သယ်ဆောင်နိုင်သည့် ပမာဏ၏ ၁၀၀% ရေငွေ့များ(water vapor)ကို သယ်ဆောင်ထားပြီး ဖြစ်သည် ဟုဆိုလိုသည်။ နောက်ထပ် မည်သည့် ရေငွေ့များ (water vapor)ကိုမျှ ထပ်မံ မသယ်ဆောင် နိုင်တော့ပေ။ သို့သော် ရှိနေသည့် ရေငွေ့(water vapor) များ၏ ပမာဏသည် မပြောင်းလဲပေ။



ပုံ ၂-၃၆ 10°C အပူချိန်တွင် ၁၀၀ % 20°C အပူချိန်တွင် ၅၂ % 30°C အပူချိန်တွင် ၂၈ %

အထက်ပါ အခြေအနေ သုံးခု စလုံးတွင် ရေငွေ့များ(water vapor)၏ Absolute ပမာဏသည် တူညီကြသော်လည်း Relative Humidity(RH) မတူညီကြပေ။ Relative Humidity(RH) သည် လက်ရှိ အပူချိန်(present temperature) အပေါ်တွင် မူတည် နေသောကြောင့် လက်ရှိ အပူချိန်(present temperature) ပြောင်းတိုင်း Relative Humidity (RH) လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။

Relative Humidity(RH) လိုင်းများမှ 100% RH လိုင်းကို saturation line ဟုလည်း ခေါ်သည်။

Saturated Air	**Unsaturated Air**	
100 % Relative Humidity	less than 100 % Relative Humidity(RH)	
100 % Relative humidity	80 % Relative humidity	50 % Relative humidity
Dry Bulb 90°F	Dry Bulb 80°F	Dry Bulb 90°F
Wet Bulb 90°F	Wet Bulb 75°F	Wet Bulb 75°F
Dew Point 90°F	Dew Point 73°F	Dew Point 69°F

အထက်ပါ ဇယားအရ Relative Humidity(RH) နည်းလာလေ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb အပူချိန် တို့၏ ခြားနားချက် များလာလေ ဖြစ်သည်။ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb ခြားနားချက်ကို Wet Bulb depression ဟုခေါ်သည်။

$$\boldsymbol{Wet\ bulb\ depression = Dry\ bulb - Wet\ bulb}$$

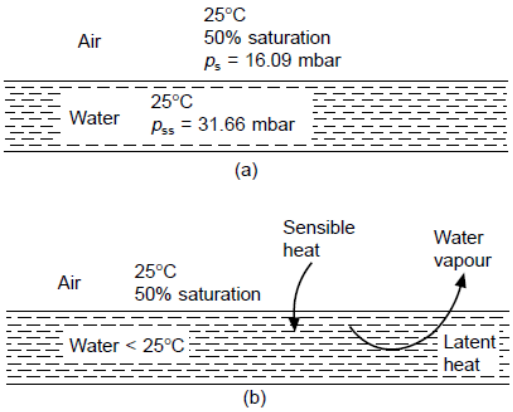
Relative Humidity(%)နည်းခြင်းသည် လေထဲတွင် **ရှိနေသည့်**(သယ်ဆောင်ထားပြီးဖြစ်သည့်) ရေငွေ့ ပမာဏသည် **သယ်ဆောင်နိုင်သည့်** ရေငွေ့ ပမာဏထက် **နည်းနေခြင်း** ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် 80% Relative Humidity(RH) ဆိုသည်မှာ သယ်ဆောင်နိုင်သည့် ရေငွေ့ပမာဏ၏ ၈၀%ကို သယ်ဆောင်ပြီး ဖြစ်သည်။ နောက်ထပ် ၂၀% ထပ်မံ သယ်ဆောင်နိုင်သေးသည်ဟု ဆိုလိုသည်။

လေထဲတွင်ရှိနေသည့် ရေငွေ့ပမာဏ နှင့် သယ်ဆောင်နိုင်သည့် ရေငွေ့ပမာဏတို့ တူညီလျှင် ရာနှုန်းပြည့် သယ်ဆောင်ထားပြီး ဖြစ်သည်။ ထိုအခြေအနေကို 100% Relative Humidity ဟု ခေါ်သည်။ ထိုအခြေအနေတွင် ရှိသောလေကို "**Saturated Air**" ဟုခေါ်သည်။ ထိုအချိန်တွင် Dry Bulb အပူချိန်၊ Wet Bulb အပူချိန် နှင့် Dew Point အပူချိန် တို့ တူညီကြသည်။

Wet Bulb အပူချိန် နှင့် Dry Bulb အပူချိန် တို့၏ ကွာခြားချက်သည် လေ၏ ခြောက်သွေ့မှု(dryness of the air)ကို ဖော်ပြသည်။ ကွာခြားချက်မရှိလျှင် (Wet Bulb အပူချိန် နှင့် Dry Bulb အပူချိန် တူညီလျှင်) လေသည် ခြောက်သွေ့မှု မရှိပေ။ စိုစွတ်နေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် စိုထိုင်းဆ ရာနှုန်းပြည့် (၁၀၀%) ဖြစ်သည်။ Wet Bulb အပူချိန် နှင့် Dry Bulb အပူချိန် တို့၏ ကွာခြားချက် များလေ ခြောက်သွေ့မှု များလေ ဖြစ်သည်။

လေသည် ရေငွေ့များဖြင့် လုံးဝပြည့်ဝနေသော(saturated) အခြေအနေ(100% saturation)တွင် ရေငွေ့ (water vapor)ကို ဆက်လက် သယ်ဆောင်ထားနိုင်စွမ်း မရှိတော့ပေ။ သို့သော် ရေငွေ့များဖြင့် မပြည့်မဝ ဖြစ်နေသော unsaturated (100 % saturation မဟုတ်သည့်) အခြေအနေတွင် ရေငွေ့(water vapor)ကို သယ်ဆောင်ရန် အတွက် ထပ်မံ လက်ခံနိုင်သည်။

Relative Humidity(percent)နည်းလာလေ Wet Bulb အပူချိန် နှင့် Dew Point အပူချိန် သည် Dry Bulb အပူချိန်ထက် နည်းလာလေဖြစ်သည်။ Relative Humidity (percent)နည်းလာလေ Wet Bulb depression များလာလေ သို့မဟုတ် လေသည် ပို၍ ခြောက်သွေ့ လာလေ ဖြစ်သည်။



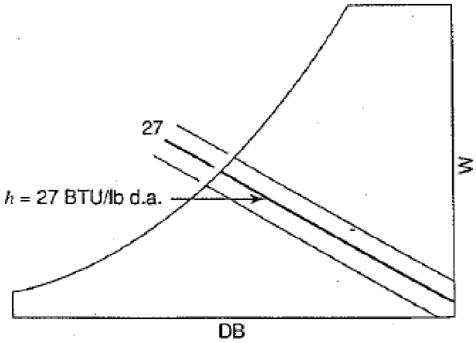
ပုံ ၂-၃၇ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်ပုံ

ပုံ(a)တွင် လေသည် 25°C Dry Bulb နှင့် 50%RH အခြေအနေဖြစ်ပြီး ရေသည် 25°C အပူချိန် ဖြစ်သည်။

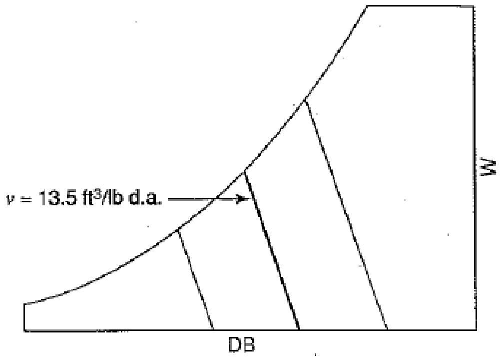
ပုံ(b)တွင် ရေ၏အပူချိန် 25°C ထက်နိမ့်သည့် အခိုက်တွင် လေ၏ အပူချိန်ပိုမြင့် နေသောကြောင့် အပူချိန် 25°C လေမှ ရေသို့ sensible heat ကူးပြောင်းခြင်း (transfer) ဖြစ်ပေါ်သည်။ ရေသည် sensible heat ရရှိသည့်အခါ အသွင်(state) ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်ရန် အတွက် လိုအပ်သော latent heat အဖြစ်သို့ ရောက်စေပြီး ရေအဖြစ်မှ ရေငွေ့(water vapor) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲ စေသည်။

ထိုသို့ဖြစ်ခြင်းကို ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ဟု ခေါ်သည်။ ရေသည် အရည်(liquid) အခြေအနေမှ ရေငွေ့ (water vapor)အခြေအနေသို့ ရောက်ရန်အတွက် latent heat လိုအပ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အသွင်ပြောင်းလဲခြင်း(phase change) ဖြစ်ပေါ်ရန် အတွက် latent heat လိုအပ်သည်။

၂.၅.၇ လေတစ်ယူနစ်၏ ထုထည်(Specific Volume)



ပုံ ၂-၃၈ Constant Enthalpy လိုင်းများ



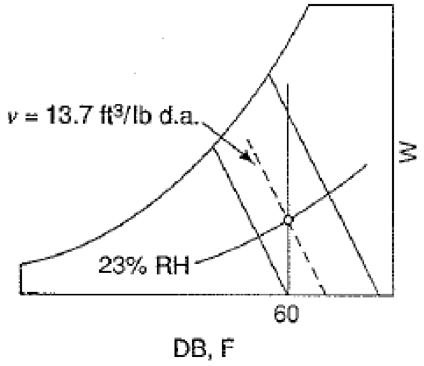
ပုံ ၂-၃၉ Constant specific volume လိုင်းများ

Specific volume ဆိုသည်မှာ ခြောက်သွေ့သည့် လေ(dry air) အလေးချိန် တစ်ယူနစ်သည် ထုထည်(volume) မည်မျှနှင့် ညီသည်ကို ဖော်ပြသည်။ Specific volume ၏ SI ယူနစ် သည် m^3/kg ဖြစ် သည်။ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) အလေးချိန် တစ်ကီလိုတွင် ရှိသည့် ထုထည်(volume)ကို ကုဗမီတာ (m^3)ဖြင့် ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။ Specific volume ၏ IP ယူနစ် သည် ft^3/lb ဖြစ်သည်။ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) အလေးချိန် တစ်ပေါင်တွင် ရှိသည့် ထုထည်(volume)ကို ကုဗပေ(ft^3)ဖြင့် ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။

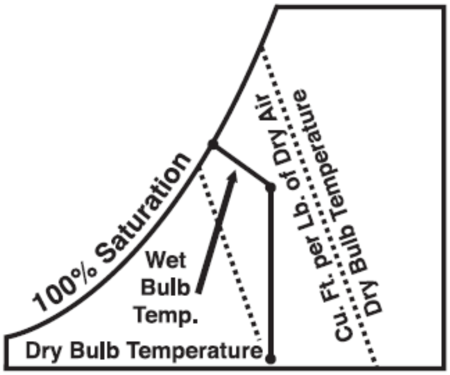
Specific volume လိုင်းများသည် ဘယ်ဘက်သို့ စောင်းနေသည့် လိုင်းများ ဖြစ်ကြသည်။ Specific volume လိုင်း နှင့် constant enthalpy line လိုင်း နှစ်မျိုးစလုံးသည် ဘယ်ဘက်သို့ စောင်းနေသည့် လိုင်းများ ဖြစ်ကြသည်။ သို့သော် specific volume လိုင်းများသည် ပို၍ မတ်ဆောက်ကြသည်။ မှား၍ မဖတ်မိစေရန် သတိပြုသင့်သည်။

Psychrometric chart ပေါ်တွင် ညာဘက်အပိုင်းသို့ ရောက်လေ Dry Bulb များလေ (ပိုပူလေ) ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ညာဘက်၌ ရှိသည့် specific volume လိုင်းများသည် specific volume တန်ဖိုး ပိုမြင့်ကြသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် လေသည် ပူလျှင် ပွလာသောကြောင့် အလေးချိန် တူသော်လည်း ထုထည် ပိုများခြင်း ဖြစ်သည်။

ဥပမာ- မီးဖို(furnace)တစ်ခု အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် လေ(combustion air)၏ အပူချိန်သည် 80°F Dry Bulb နှင့် 23% RH ဖြစ်လျှင် ထိုလေ၏ ထုထည်(specific volume) မည်မျှဖြစ်သည်ကို ရှာပါ။ ပုံတွင် ပြထားသည့်အတိုင်း 80°F Dry Bulb နှင့် 23% RH တို့၏ ဖြတ်မှတ်(intersection point)ကိုရှာပါ။ ထိုနောက် ထိုဖြတ်မှတ်မှ specific volume ၏ တန်ဖိုးကို ဖတ်ယူနိုင်သည်။



ပုံ ၂-၄၀ Specific volume လိုင်း



ပုံ ၂-၄၁ Specific volume လိုင်း

၂.၅.၈ လေမှ သိုလှောင်ထားသည့် အပူစွမ်းအင်(Enthalpy) လိုင်းများ

Enthalpy ၏ အဓိပ္ပာယ်ဖွင့်ဆိုချက်များ အလွန်များပြားသည်။ အတိအကျ အသေးစိတ် ရှင်းပြရန် ခက်ခဲလှသည်။ ဂျက်အင်ဂျင်၊ ဒုံးပျံအင်ဂျင်တို့၏ တွန်းကန်အား တွက်ချက်ရာမှ စ၍ အက်တမ်နှင့် မော်လီကျူးများ ဓာတုဗေဒနည်းဖြင့် ပေါင်းစပ်ခြင်း၊ ပြိုကွဲခြင်း တို့ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် အပူစွမ်းအင် ပမာဏရရှိရန် enthalpy ကို အခြေခံ၍ တွက်ချက်ကြသည်။

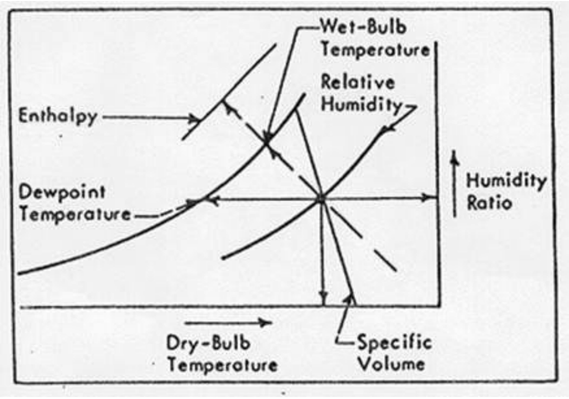
Enthalpy ဆိုသည်မှာ thermodynamic system တစ်ခု ၏ စွမ်းအင်စုစုပေါင်း(total energy)ဖြစ်သည်။ စွမ်းအင် စုစုပေါင်း(total energy)တွင် internal energy လည်း ပါဝင်သည်။ Thermodynamic system ဆိုသည်မှာ မိမိလေ့လာမည့် နယ်နမိတ်ကို ကန့်သတ်ထားသည့် အတိုင်းအတာ(control volume)တစ်ခု ဖြစ်သည်။ မိမိက တာဘိုင်(gas turbine)ကို လေ့လာနေသည် ဆိုလျှင် တာဘိုင်(gas turbine)သည် thermodynamic system တစ်ခု ဖြစ်သည်။ မိမိက ရေမော်လီကျူး၏ thermodynamic ကို လေ့လာနေသည် ဆိုလျှင် ရေမော်လီကျူး သည် မိမိ၏ thermodynamic system တစ်ခု ဖြစ်သည်။

Enthalpy ဆိုသည်မှာ thermodynamic potential ဖြစ်သည်။ Thermodynamic potential ဆိုသည်မှာ အရာဝတ္ထုတစ်ခု သို့မဟုတ် system တစ်ခုက သိုလှောင်ထားသည့် အပူစွမ်းအင် ဖြစ်သည်။ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) မှ သိုလှောင်ထားသည့် enthalpy သည် sensible heat ဖြစ်သည်။ ရေငွေ့များ (water vapor)သိုလှောင်ထားသည့် enthalpy သည် latent heat သို့မဟုတ် sensible heat နှစ်မျိုးစလုံး ဖြစ်နိုင်သည်။

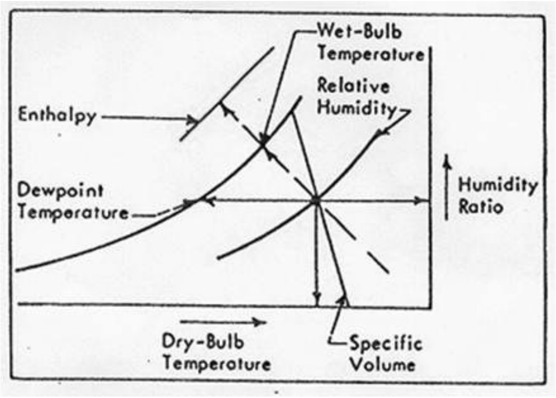
မည့်သည့် အရည်(liquid)ကိုမဆို အငွေ့အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲရန်အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအင်ကို "Enthalpies of Vaporization" ဟုသတ်မှတ်သည်။ ရေအဖြစ်မှ ရေနွေးငွေ့အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲရန် လိုအပ်သော စွမ်းအင်သည် "Enthalpies of Vaporization of Water" ဖြစ်သည်။ အရည်ပျော်နိုင်သော အစိုင်အခဲများ (melting solids)ကို အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲရန်အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအင်ကို "Enthalpies of Fusion" ဟု သတ်မှတ်သည်။

ရေခဲအဖြစ်မှ ရေ အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲရန် လိုအပ်သော စွမ်းအင်သည် "Enthalpies of Fusion of Ice" ဖြစ်သည်။ System တစ်ခုအတွင်း ပါဝင်သည့် အပူပမာဏ(heat content)ကို Enthalpy ဟုလည်းခေါ်သည်။

ဓာတ်ပြုခြင်း(chemical reaction) သို့မဟုတ် physical process အတွင်း ပြောင်းလဲသွားသည့် အပူပမာဏကို Enthalpy ဟုလည်းခေါ်ပြီး ΔH သို့မဟုတ် Δh ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။



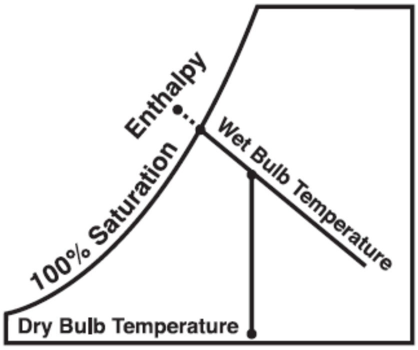
ပုံ ၂-၄၂ Enthalpy လိုင်း



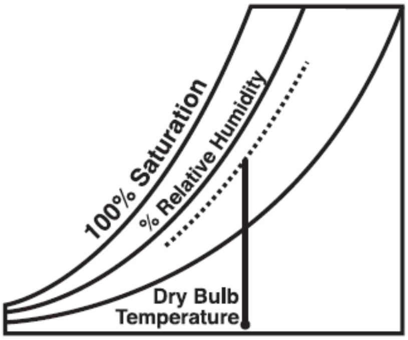
ပုံ ၂-၄၃ Enthalpy လိုင်း

Constant Enthalpy လိုင်းများသည် constant Wet Bulb လိုင်းများနှင့် အနီးစပ်ဆုံးတူညီကြသည်။ ထို့ကြောင့် လိုင်းတစ်ကြောင်းတည်းကိုပင် scale (Enthalpy scale နှင့် Wet Bulb scale)နှစ်မျိုးဖြင့် ဖတ်၍ အသုံးပြုကြသည်။ အနည်းငယ်သော အမှား(error)ရှိသော်လည်း မပြောပလောက်ပေ။ အောက်ပုံ(၂-၄၄) တွင် ဖော်ပြထားသော လိုင်းသည် constant enthalpy လိုင်း နှင့် Wet Bulb ကို ကိုယ်စားပြုသည်။

Wet Bulb ၏တန်ဖိုးများကို ၁၀၀% RH လိုင်း အနီးတွင် ဖော်ပြထားပြီး Enthalpy ၏ တန်ဖိုးများကို Wet Bulb ၏ တန်ဖိုးများ၏ အပေါ်ဘက်၌ ဖော်ပြထားသည်။ Enthalpy ၏ IP ယူနစ်(Unit)သည် BTU/lb ဖြစ်ပြီး၊ SI ယူနစ်သည် kJ/kg ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၄၄ Enthalpy လိုင်း

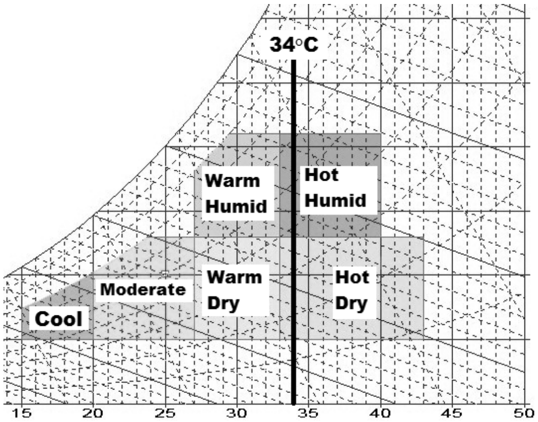


ပုံ ၂-၄၅ Relative Humidity (%) လိုင်း

Dry Bulb နှင့် Wet Bulb ဖြတ်မှတ်မှ Enthalpy တန်ဖိုးကို ဖတ်ယူနိုင်သည်။

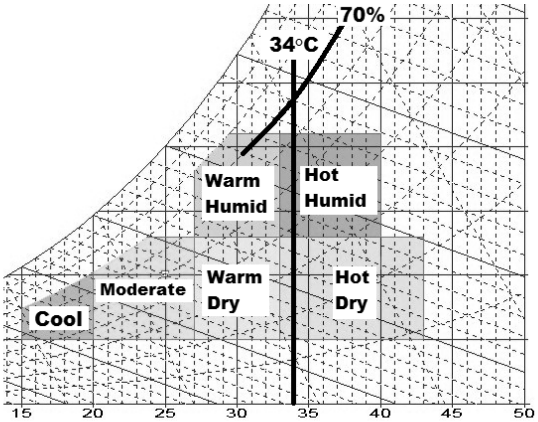
ဥပမာ - အပူချိန် 30°C Dry Bulb နှင့် 65%RH ရှိသော လေ၌ သိုလှောင်ထားသော အပူစွမ်းအင်(Enthalpy) သည် 75 kJ/kg ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ ထိုလေသည် 25°C သို့ အပူချိန် ကျဆင်းသွားပါက သိုလှောင်ထားသော အပူစွမ်းအင်(enthalpy)သည် 58 kJ/kg ဖြစ်သည်။ 25°C Dry Bulb နှင့် 65%RH ရှိသော လေ၏ သိုလှောင်ထားသော အပူစွမ်းအင်(Enthalpy)သည် 58 kJ/kg ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အပူချိန် 30°C Dry Bulb နှင့် 65%RH ရှိသော လေတစ်ကီလိုဂရမ်ကို 25°C Dry Bulb နှင့် 65%RH သို့ရောက်ရှိရန် (75-58=)17 kJ ခန့် ရှိသော အပူပမာဏကို လေထဲမှ ဖယ်ထုတ်ပစ်ရမည်။

ဥပမာ (IP ယူနစ်)34°F Dry Bulb နှင့် 70% RH တို့မှ လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများကို Psychrometric chart မှ ဖတ်ယူနည်းကို ဖော်ပြ ထားသည်။



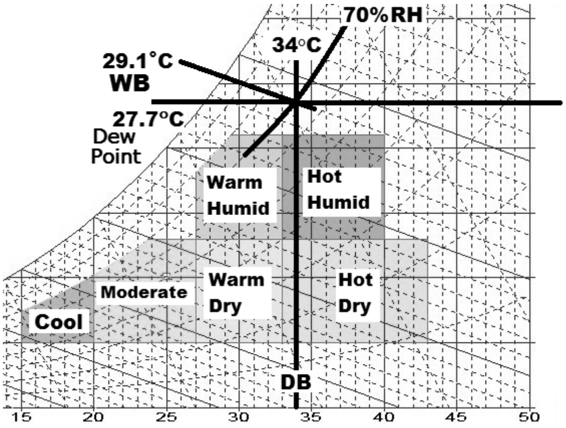
ပထမဆင့်

Psychrometric chart ပေါ်တွင် Dry Bulb အပူချိန် လိုင်းမှ 34°C နေရာတွင် မျဉ်းမတ် (vertical line) တစ်ကြောင်း ထောင်ပါ။



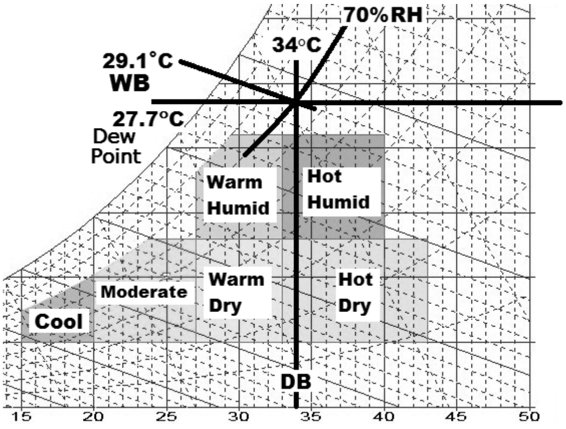
ဒုတိယဆင့်

RHလိုင်း မျဉ်းကွေးများမှ 70% RH line ကို ရှာ၍ 34°F Dry Bulb အပူချိန်လိုင်းနှင့် ဖြတ်သော နေရာတွင် ဖြတ်မှတ် (intersection point) တစ်ခုကို မှတ်သားပါ။



တတိယဆင့်

34°C Dry Bulb အပူချိန်လိုင်း နှင့် 70% Relative Humidity(RH) လိုင်း၏ ဖြတ်မှတ် (intersection point)မှစ၍ Wet Bulb လိုင်းများ နှင့် ပြိုင်သည့် မျဉ်းပြိုင် တစ်ကြောင်း ဆွဲပါ။ Wet Bulb လိုင်း၏ တန်ဖိုးကို ဖတ်ယူပါ။



စတုတ္ထဆင့်

Dry Bulb အပူချိန် 34°F လိုင်းနှင့် Relative Humidity(RH) of 70% မှ ရသော Dry Bulb လိုင်း၊ Wet Bulb လိုင်း၊ Relative Humidity (RH) လိုင်း နှင့် Dew Point လိုင်း များကို Psychrometric chart ပေါ်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

၂.၆ Sensible Heat ပြောင်းလဲခြင်း(Cooling နှင့် Heating)

(က) လေထုထဲသို့ အပူထည့်ခြင်း(heat add) သို့မဟုတ် အပူဖယ်ထုတ်ယူခြင်း(heat remove) ဖြစ်သည်။

(ခ) အပူထည့်ခြင်း(heat add)ကြောင့် လေ၏ Dry Bulb အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။ အပူဖယ်ထုတ်ယူခြင်း (heat remove)ကြောင့် လေ၏ Dry Bulb အပူချိန် ကျဆင်းသည်။

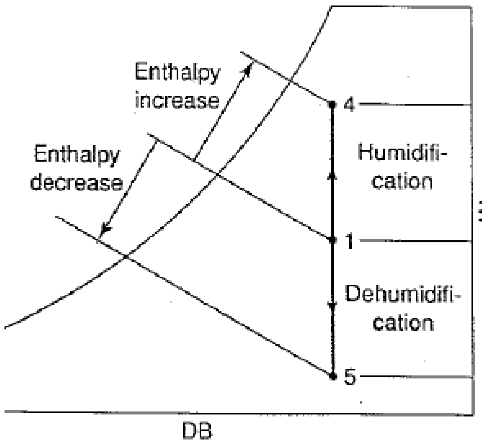
(ဂ) လေထုအတွင်းရှိ ရေငွေ့ပါဝင်မှု(water vapor content) ပမာဏသည် ပြောင်းလဲခြင်း မရှိပေ။

(ဃ) Process သည် constant humidity လိုင်း တစ်လျှောက်တွင်သာ ဖြစ်ပေါ်သည်။ လေထုအတွင်းသို့ အပူထည့်(heat add)လျှင် ညာဘက်မှ ဘယ်ဘက်သို့ သွားသည့် sensible heating process ဖြစ်သည်။ Enthalpy တိုးလာသည်။ လေထုထဲမှ အပူဖယ်ထုတ်(heat remove)လျှင် ဘယ်ဘက်မှ ညာဘက်သို့ သွားသည့် sensible cooling process ဖြစ်သည်။ Enthalpy လျော့နည်းလာသည်။

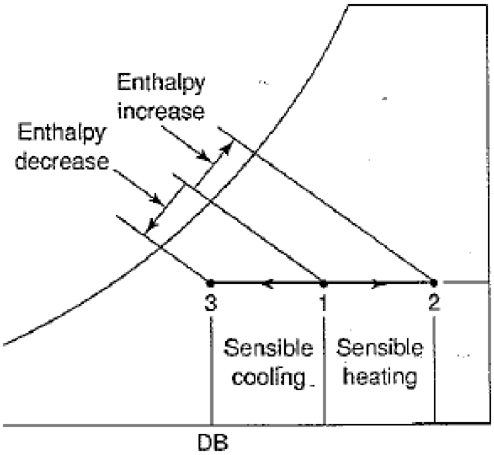
Parameters	Sensible heating (heat gain ဖြစ်ခြင်းကြောင့်)	Sensible cooling (heat loss ဖြစ်ခြင်းကြောင့်)
Dry Bulb Temperature	များလာသည်။ (increases)	နည်းသွားသည်။ (decreases)
Enthalpy	များလာသည်။ (increases)	နည်းသွားသည်။ (decreases)
Humid Volume	များလာသည်။ (increases)	နည်းသွားသည်။ (decreases)
Wet Bulb Temperature	များလာသည်။ (increases)	နည်းသွားသည်။ (decreases)
Percentage Saturation	နည်းသွားသည်။ (decreases)	များလာသည်။ (increases)
Moisture Content	မပြောင်းလဲပါ။ (constant)	မပြောင်းလဲပါ။ (constant)
Dew Point Temperature	မပြောင်းလဲပါ။ (constant)	မပြောင်းလဲပါ။ (constant)
Vapor Pressure	မပြောင်းလဲပါ။ (constant)	မပြောင်းလဲပါ။ (constant)

၂.၇ Latent Heat ပြောင်းလဲခြင်း (Humidification နှင့် Dehumidification)

လေထုအတွင်းသို့ ရေငွေ့များဝင်ရောက်သွားခြင်း(water vapor addition) ဖြစ်စဉ်ကို "**Humidification**" ဖြစ်စဉ် ဟုခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေထုက ရေငွေ့များကို စုပ်ယူသယ်ဆောင်သွားသည့် ဖြစ်စဉ်ကို "Humidification" ဖြစ်စဉ်ဟု ခေါ်သည်။ လေထုထဲမှ ရေငွေ့များ(water vapor)ကို စွန့်ထုတ်ပစ်ခြင်း(remove) ပြုလုပ်လျှင် ရေငွေ့ဖယ်ထုတ်ခြင်း(dehumidification) ဖြစ်စဉ် ဟုခေါ်သည်။



ပုံ ၂-၄၆ Humidification နှင့် dehumidification

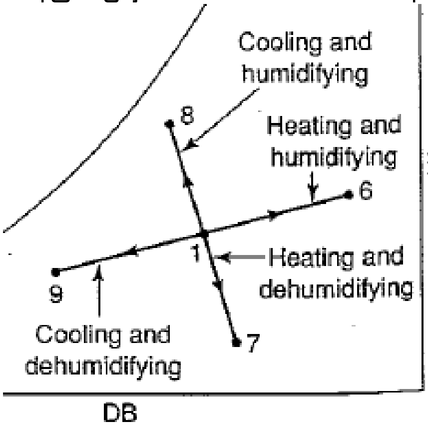


ပုံ ၂-၄၇ Sensible heating နှင့် sensible cooling process

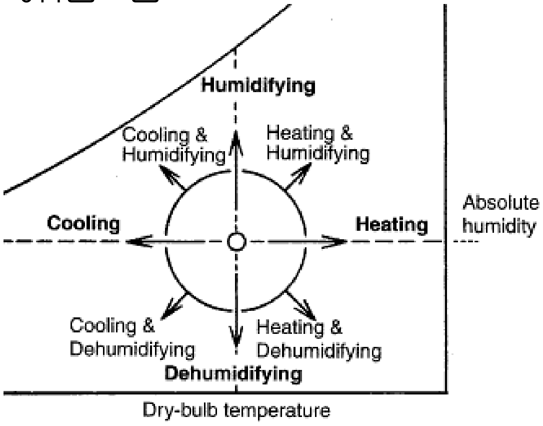
လက်တွေ့ ဖြစ်စဉ်(process)များတွင် အနည်းဆုံး ဖြစ်စဉ်(process)နှစ်မျိုး မက ပါဝင်ကြသည်။ Cooling နှင့် dehumidifying ဖြစ်စဉ်သည် cooling coil များတွင် ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။ Cooling နှင့် humidifying

ဖြစ်စဉ်သည် air washer များတွင် ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။ Humidification နှင့် dehumidification ဖြစ်စဉ် သဘောတရား (concept)ကို နားလည်ရန် လိုအပ်သည်။

ရေငွေ့(water vapor)များ လေထဲသို့ ရောက်သွားခြင်းကြောင့် humidification ratio တက်လာသည်။ Enthalpy လည်း တက်လာသည်။ Latent heat တန်ဖိုး ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်သည်။ လေထဲမှ ရေငွေ့များ(water vapor) ဖယ်ထုတ်လိုက်ခြင်း(removal)ကြောင့် humidification ratio သည် နည်းသွားသည်။ Enthalpy သည်လည်း နည်းသွားသည်။ Air conditioning process များ၏ လက်တွေ့ အခြေအနေတွင် dehumidification သီးသန့်ဖြစ်စဉ် နှင့် humidification သီးသန့် ဖြစ်စဉ် အလွန်နည်းသည်။



ပုံ ၂-၄၈ ဖြစ်စဉ်(process)များ



ပုံ ၂-၄၉ ဖြစ်စဉ်(process)များ

Sensible heat ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်စဉ်(process)သည် အပူချိန် ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အပူချိန် ပြောင်းလဲခြင်း မရှိလျှင် sensible heat ကူးပြောင်းခြင်း(transfer) မဖြစ်ပေါ်ပေ။ ခြောက်သွေ့သည့် လေ(dry air) နှင့် ရေငွေ့များ(water vapor)နှစ်မျိုးလုံး၏ အပူချိန်ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် moist air ၏ အပူချိန် ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) ၏ sensible heat နှင့် ရေငွေ့များ(water vapor)၏ sensible heat နှစ်မျိုးလုံးကို တွက်၍ ပေါင်းယူရသည်။ **0.24 Ma x Δt** သည် ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) ၏ sensible heat change ဖြစ်သည်။ **0.45 Mw x Δt** သည် ရေငွေ့(water vapor)၏ sensible heat ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်သည်။

Sensible heat ပြောင်းလဲခြင်း process တွက်ရန် အတွက် အသုံးပြုသည့် IP ယူနစ် ပုံသေနည်းမှာ

$$\boldsymbol{Q(sensible)\ of\ moist\ air = Q(sensible)\ of\ dry\ air + Q(sensible)\ of\ water\ vapor}$$

$$\boldsymbol{Q(sensible) = (0.24\ x\ mass\ of\ dry\ air\ x\ \Delta t) + (0.45\ x\ mass\ of\ water\ vapor\ x\ \Delta t)}$$

Q = Sensible heat added to or removed from air (BTU/hr)

Ma = Mass of dry air = weight of air (lb/hr)

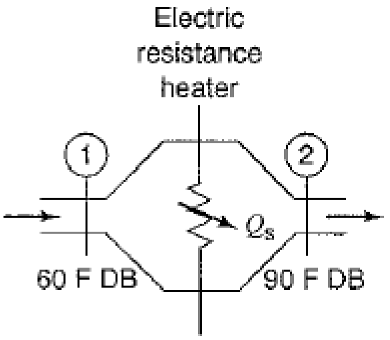
Mw = Mass of water vapor = Weight of water vapor (lb/hr)

Δt = t_2-t_1= temperature change in (°F)

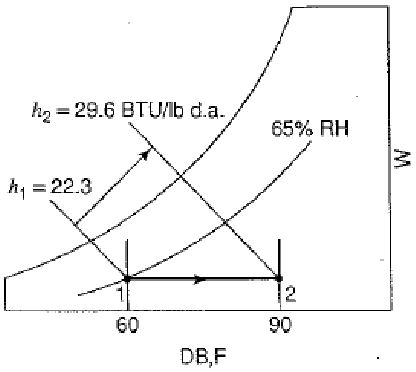
ဥပမာ- အခန်းတစ်ခုအတွင်းမှ အပူချိန် 60°F Dry Bulb ရှိသော လေကို 90°F Dry Bulb သို့ရောက်အောင် လျှပ်စစ်အပူပေးစက်(electric heater)ဖြင့် အပူပေးရန် လိုသည်။ ထိုအခန်းအတွက် လေစီးနှုန်း(air flow rate) 400 lb/hr လိုအပ်လျှင် ထိုအပူပေးစက်(heater)၏ capacity ကိုရှာပါ။

လေ(moist air) ၏ sensible heat ကို သိလိုလျှင် ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) ၏ sensible heat နှင့် ရေငွေ့များ (water vapor) ၏ sensible heat တန်ဖိုးနှစ်ခုကို ပေါင်းယူရသည်။

$$Q(sensible\ Heat) = (0.24\ x\ mass\ of\ air\ x\ \Delta t) + (0.45\ x\ mass\ of\ water\ vapor\ x\ \Delta t)$$



ပုံ ၂-၅၀ Electric resistance heater



ပုံ ၂-၅၁ Heating process

လေထဲတွင် ရေငွေ့(water vapor) မည်မျှ ပါဝင်နေသည်ကို တွက်ရန် အချက်အလက် မပေးထားပါ။ ရေငွေ့(water vapor)၏ အပူချိန်ပြောင်းလဲမှုကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော sensible heat ပမာဏမှ အလွန်နည်းပါးသောကြောင့် ထည့်တွက်ရန် မလိုအပ်ပေ။

Qs = 0.24 x 400 x (90-60)

= 2880 Btu/hr

လျှပ်စစ် အပူပေးစက်(electric heater)၏ အရွယ်အစားကို kilowatts(kW)ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ ရှိသည်။ ထို့ကြောင့်
Capacity = 2880 Btu/hr x 1 kW/3410 Btu/hr = 0.84 kW

ဥပမာ - အထက်ပါ ဥပမာတွင် အပူပေးစက်(heater)အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် လေ၏ RH သည် 65% ဖြစ်လျှင် ရေငွေ့(water vapor) ၏ sensible heat ကို ထည့်မတွက်ခဲ့မှုကြောင့် လွဲမှားမှု(error) မည်မျှ ဖြစ်နိုင်သနည်း။
Psychrometric chart မှ 60°F Dry Bulb နှင့် 65%RH တို့မှ ရသည့် humidity ratio သည် 0.0072lbw/lb d.a ဖြစ်သည်။

Mw = 0.0072 lbw/lb d.a x 400 lb air/hr = 2.9 lbw/hr

ထို့ကြောင့် water vapor အတွက် Enthalpy ပြောင်းလဲခြင်း(change) မှာ 0.45 mw x Δt ဖြစ်သည်။

$$Q(sensible\ Heat) = (0.24\ x\ mass\ of\ air\ x\ \Delta t) + (0.45\ x\ mass\ of\ water\ vapour\ x\ \Delta t)$$

Qs = 0.24 x 400 x (90-60) + 0.45 x 2.9 x (90-60)

= 2880 + 39 = 2919 Btu/hr

ထို့ကြောင့် အမှန်တကယ် ထည့်လိုက်သည့် အပူပမာဏသည် 2,919 Btu/hr ဖြစ်သည်။ ရေငွေ့(water vapor) ၏ enthalpy change ကို ထည့်မတွက်ခြင်းကြောင့် ၁% ခန့်သာ မှားယွင်းသည်။ ထို့ကြောင့် ရေငွေ့(water vapor) ၏ Q(sensible) အပိုင်းကို တစ်ခါတစ်ရံ ထည့်တွက်လေ့ မရှိပေ။

အထက်ပါ ဥပမာ မှ အပူပေးစက်(heater) အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် လေစီးနှုန်း(volume flow rate) 400 lb/hr ကို CFM ဖြင့် ဖော်ပြပါ။

Psychrometric chart ပေါ်တွင် ဝင်လာသည့် 60°F Dry Bulb နှင့် 65% RH တို့၏ ဆုံမှတ်(intersection point)မှ specific volume ကို ဖတ်လျှင် 13.25 ft/lb ရသည်။
CFM သို့ ပြောင်းလိုလျှင် →CFM = 400 lb/hr x 1hr/ 60 min x 13.25 ft^3/lb = 88.3 CFM

ဓာတ်ငွေ့(gas) တစ်မျိုးမျိုး၏ specific volume သည် ထို ဓာတ်ငွေ့(gas)၏ အပူချိန်(temperature) နှင့် ဖိအား(pressure)အပေါ်တွင် မူတည်နေသည်။ ထို့ကြောင့် ဝင်လေ(entering air)၏ CFM နှင့် ထွက်လေ (leaving air) ၏ CFM ကို ရှာပါ။

Leaving air specific volume သည် 14.0 ft^3/lb d.a ဖြစ်သည်။
Leaving air flow rate (CFM) = 400 lb/hr x 1hr/60min x 14.0 ft^3/lb = 93.3 CFM

Law of conservation of mass အရ ဝင်လေ(entering air)၏ အလေးချိန်သည် ထွက်လေ (leaving air)၏ အလေးချိန်နှင့် တူညီရမည်။ သို့သော် ထွက်လေ(leaving air) CFM သည် ဝင်လေ (entering air)၏ CFM ထက် ပိုများသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် mass flow rate သာ တူညီပြီး volume metric flow rate မတူညီသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

ဝင်လေ နှင့် ထွက်လေ တို့၏ CFM မတူညီကြသောကြောင့် air con equipment များ ရွေးချယ်ရာတွင် မှားယွင်းမှုများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် CFM ဖော်ပြသည့် နေရာ၏ အပူချိန်နှင့် ဖိအား(pressure) တို့ကို ဖော်ပြပေးရန် လိုအပ်သည်။ သို့သော် ထုတ်လုပ်သူများ အနေနှင့် အသုံးပြုသူများသည် မည်သည့် အမြင့်၊ ရာသီဥတုတွင် အသုံးပြုကြမည်ကို မသိနိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturer)သည် standard air condition ၏ CFM ကို ဖော်ပြကြသည်။

"Standard Air Condition" ဆိုသည်မှာ Specific volume of 13.3 ft^3/lb da (လေ၏သိပ်သည်းဆ Density 0.75 lb/ ft^3 da)ဖြစ်သည်။ ထိုအခြေအနေသည် 68˚F Dry Bulb နှင့် 29.92 in Hg ဖြစ်သည်။

လက်တွေ့တွင် Air con အင်ဂျင်နီယာများ အသုံးပြုသော ပုံသေနည်းများမှာ

$$Qs\ (Btu/hr) = 1.1\ x\ CFM\ x\ \Delta t(^{\circ}F)(IP\ Unit)$$

$$Qs\ (Watt) = 1.232\ x\ Liter/Sec\ x\ \Delta t(^{\circ}C)(SI\ Unit)$$

အထက်ပါ ပုံသေနည်းသည် လုပ်ငန်းခွင်တွင် အသုံးပြုရန် အလွန် အဆင်ပြေသည်။ တိုင်းတာခဲ့သည့် CFM နှင့် အပူချိန်ကို တိုက်ရိုက်ထည့်၍ တွက်ယူနိုင်သည်။
ဥပမာ- cooling coil တစ်ခုသည် sensible cooling capacity 50,000 Btu/hr ကို ပေးနိုင်သည်။ ထို cooling coil အတွင်းသို့ အပူချိန် 80˚F Dry Bulb ရှိသည့် လေ 2000 CFM ဝင်လာသည်ဟု တိုင်းတာယူခဲ့သည်။ ထို cooling coil အတွင်းမှ ပြန်ထွက်သွားသော လေ၏အပူချိန်သည် 62˚F Dry Bulb ဖြစ်လျှင် ထို coil ၏ စွမ်းဆောင်ရည် (performance)သည် သတ်မှတ်ထားသည့် အတိုင်း ဖြစ်မဖြစ် စစ်ဆေးပေးပါ။

အဖြေ - cooling coil တစ်ခု၏ sensible cooling performance ကောင်း၊ မကောင်းကို sensible cooling ပုံသေနည်းတွင် ထည့်၍ စစ်ဆေးနိုင်သည်။

$$Qs\ (Btu/hr) = 1.1\ x\ CFM\ x\ \Delta t(^{\circ}F)$$

$$\Delta t\ (^{\circ}F) = \frac{Q}{1.1\ x\ CFM} = \frac{5000}{1.1\ x\ 2000}$$

$$t_{out} = t_{in} - \Delta t = 80 - 23 = 57\ ^{\circ}F$$

Cooling coil ၏ sensible performance သည် သတ်မှတ်ထားသည့် အတိုင်း ဖြစ်ရန်အတွက် ထွက်လေ(leaving air)၏ အပူချိန်သည် 57˚F Dry Bulb ထက် ပိုနိမ့်ရမည်။

ရေသည် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ဖြစ်ရန်အတွက် အပူကို စုပ်ယူရသည်။ ရေ၏ latent heat of vaporization အပူပမာဏသည် 1055 Btu/lb ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အလေးချိန်တစ်ပေါင် ရှိသော ရေသည် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) သို့မဟုတ် အငွေ့ပျံခြင်း(vaporization) ဖြစ်ရန်အတွက် အပူပမာဏ

1055 Btu/lb လိုအပ်သည်။

$$Q\ latent\ heat\ (Btu/hr) = 0.68\ x\ CFM(\ W2' - W1')$$

$$Q\ latent\ heat\ (watt) = 3012\ x\ L/s\ x\ (\ W2' - W1')$$

Q_L= Latent heat change (Btu/hr or watt)

$W_2' - W_1'$ = Humidity ratio change (gr w/ lb dry air)

၂.၈ Sensible နှင့် Latent Process နှစ်မျိုး တစ်ပြိုက်နက် ဖြစ်ပေါ်ခြင်း

Air conditioning system များ အားလုံးလိုလို၏ process များ၌ sensible heat နှင့် latent heat နှစ်ခုစလုံး တစ်ပြိုင်နက် ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။

Cooling နှင့် dehumidification ဖြစ်စဉ်(process)သည် sensible heat ကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(cooling) နှင့် latent heat ကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(dehumidification) ဖြစ်စဉ်ပင် ဖြစ်သည်။ ထိုဖြစ်စဉ်(process)မှ စုစုပေါင်း ဖယ်ထုတ်သော အပူ(heat)ကို total heat ဟုခေါ်သည်။ Air side ပုံသေနည်း ဟုလည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။

IP ယူနစ် ပုံသေနည်းများ	SI ယူနစ် ပုံသေနည်းများ
$Q_{Total} = Q_{Sensible} + Q_{Latent}$	$Q_{Total} = Q_{Sensible} + Q_{Latent}$
Q_S(Btu/hr) = 1.1 x CFM x $(t_2\text{-}t_1)$	**Q_S (watt)** = 1.232 x L/s x $(t_2\text{-}t_1)$
Q_L(Btu/hr) = 0.68 x CFM x $(W_2 - W_1)$	**Q_L(watt)** = 3012 x L/s x $(W_2 - W_1)$
Q_{Total}(Btu/hr) = 4.5 x CFM x $(h_2\text{-}h_1)$	**Q_{Total}(watt)**= 1.2 x L/s x $(h_2\text{-}h_1)$

Q = Sensible heat (Q_S) ၊ Latent heat (Q_L) ၊ Total heat (Q_{Total})

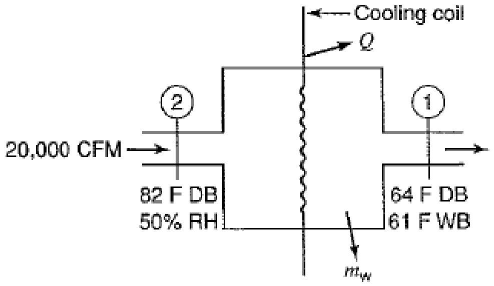
CFM သို့မဟုတ် L/s = Volume flow rate of air being process.

$h_2\text{-}h_1(\Delta h)$ = Enthalpy change (Btu/lb °F) သို့မဟုတ် (kJ/kg K)

$t_2\text{-}t_1\ (\Delta t)$ = Temperature change(°C) သို့မဟုတ် (°F)

$w_2 - w_1(\Delta w)$ = Humidity ratio change (lbw/lb d.a) သို့မဟုတ် (kg/kg d.a)

ဥပမာ



ပုံ ၂-၅၂ Cooling process

Air Handling Unit(AHU) တစ်ခု၏ လေစီးနှုန်း(air flow rate)သည် 20,000 CFM ဖြစ်ပြီး ဝင်လာသော လေ(return air)သည် 82°F Dry Bulb နှင့် 50% RH ဖြစ်သည်။ ထွက်သွားသော လေ(supply air) ၏ အပူချိန်သည် 64°F Dry Bulb နှင့် 61°F WB ဖြစ်သည်။

အောက်ပါ တို့ကို ရှာပါ။

(၁) Sensible cooling capacity

(၂) Latent cooling capacity

(၃) Total cooling capacity နှင့်

(၄) The amount of moisture condensed (or) removed.

အဖြေ -

$$Q_{Sensible}(Btu/hr) = 1.1\ x\ CFM\ x\ \Delta t(°F)$$
$$= 1.1\ x\ 20,000\ x\ 18$$

= 396,000 Btu/hr

Psychrometric chart မှ W_1 နှင့် W_2 ကို ဖတ်ယူပါ။ W2 – W1 =82-75 = 7.0 gr w/lb da

$$\mathbf{Q_{Latent} = 0.68 \times CFM \times (W2 - W1)}$$

= 0.68 x 20,000 x 7.0

= 95,000 Btu/hr

စုစုပေါင်း ဖယ်ထုတ်လိုက်သည့် အပူပမာဏ(total heat removed)

$$\mathbf{Q_{Total} = Q_{Sensible} + Q_{Latent}}$$

396,000 + 95,000 = 491,000 Btu/hr

Total heat ကို Enthalpy မှ တွက်ယူနည်း?

$$\boldsymbol{Q_{Total} = 4.5 \ x \ CFM \ x \ (h_2 - h_1)}$$

h1 နှင့် h2 ကို psychrometric chart မှ ဖတ်ယူ၍ အထက်ပါ $\boldsymbol{Q_{Total}}$ ပုံသေနည်းတွင် ထည့်၍ အဖြေတိုက်ပါ။

လုပ်ငန်းခွင်တွင် cooling capacity ကို Refrigeration Ton(RT)ဖြင့် သုံးနှုန်း ပြောဆိုလေ့ ရှိသည်။

1 Refrigeration Ton = 12,000 Btu/hr = 3.517 $kW_{thermal}$

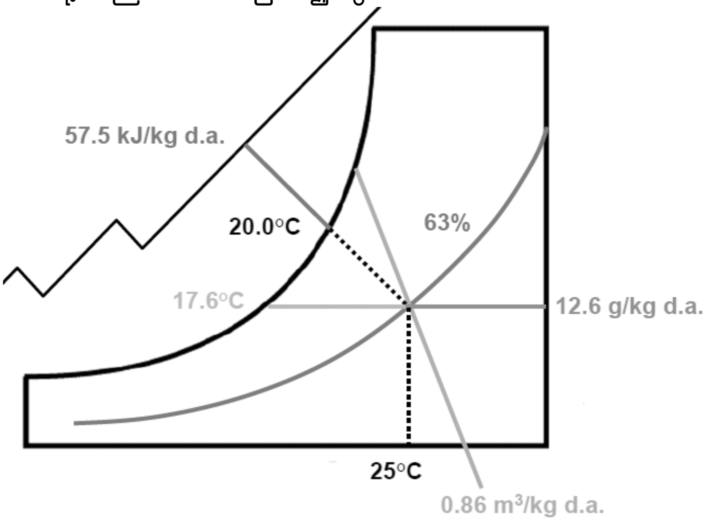
$$\boldsymbol{491,000\ Btu/hr\ \ x\ \frac{1\ Ton}{12,000\ Btu/hr} = \ 41\ RT}$$

လေထဲမှ ရေခိုးရေငွေ့များသည် cooling coil ၏ အေးသည့် fin များ၏ မျက်နှာပြင်နှင့် ထိကာ condensation ဖြစ်ပေါ်သည်။

ထို condensation ဖြစ်ခြင်းကြောင့် ထွက်လာ ရေပမာဏ မှာ

$$\mathbf{W = \frac{CFM\ x\ (\mathit{W_2 - W_1})}{1556}\ x\ \frac{2000\ x\ 7}{1556} = 90\ lb/hr}$$

တစ်နာရီလျှင် ရေအလေးချိန် ပေါင်(၉၀)ကို condensate water အဖြစ် လေထုထဲမှ ဖယ်ထုတ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် condensate pipe သို့မဟုတ် drain pipe ကို သင့်လျော်သည့် အရွယ်အစား(size)များ ပြုလုပ်ထားရန် လိုအပ်သည်။ လေ့ကျင့်ခန်းအဖြစ် ပုစ္ဆာမှ အပူချိန် ဖာရင်ဟိုက်ကို celsius သို့ လည်းကောင်း CFM ကို L/s သို့ လည်းကောင်း ပြောင်း၍ တွက်ပါ။



ပုံ ၂-၅၃

ဥပမာ(SI unit)

အဆောက်အဦတစ်ခု အတွင်းမှ လေထု အပူချိန်သည် 25°C Dry Bulb နှင့် 20°C Wet Bulb ဖြစ်လျှင် ထို လေထု၏ ဂုဏ်သတ္တိများ (properties) ကို ရှာပါ။

အဖြေ -

ပုံ (၂-၅၃)တွင် psychrometric chart ပေါ်တွင် လိုင်းများဖြင့်ဖော်ပြထားသည်။

(က) 25°C Dry Bulb တန်ဖိုးမှ 25°C နေရာတွင် မျဉ်းမတ်တစ်ကြောင်း ထောင်ပါ။ ထို မျဉ်းမတ်သည် 25°C Dry Bulb လိုင်း ဖြစ်သည်။ အနက်ရောင် dotted vertical line ဖြစ်သည်။

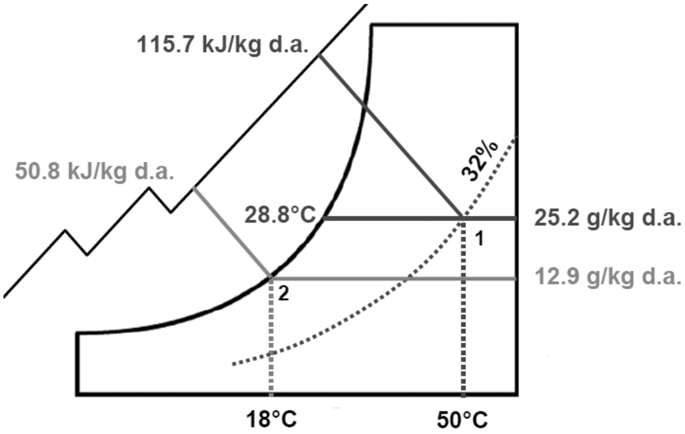
(ခ) 20°C Wet Bulb တန်ဖိုးမှ 20°C နေရာတွင် Wet Bulb မျဉ်းစောင်း အတိုင်း ဆင်းပါ။ ထို မျဉ်းစောင်းသည် 20°C Wet Bulb လိုင်း ဖြစ်သည်။ အနက်ရောင် dotted slopping လိုင်း ဖြစ်သည်။

(ဂ) 25°C Dry Bulb လိုင်း နှင့် 20°C Wet Bulb လိုင်းတို့ဖြတ်သွားသော နေရာရှိ ဖြတ်မှတ်(intersection point)မှ ကျန်ရှိသော အောက်ပါ လေဂုဏ်သတ္တိများ (properties)ကို ဖတ်ယူနိုင်သည်။

Property		Value
Dry Bulb temperature	=	25°C (given)
Wet Bulb temperature	=	20°C (given)
Relative Humidity(RH)	=	63%
Enthalpy	=	57.5 kJ/kg of dry air
Humidity Ratio by Mass	=	12.6 g/kg dry air
Specific Volume of Air	=	0.86 meter cube/kg of dry air
Dew Point temperature	=	17.6°C

ဥပမာ (SI unit)

Psychrometric chart သုံး၍ ဖတ်ယူရသည့် ဥပမာ ဖြစ်သည်။ Psychrometric chartပေါ်တွင် လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ (air properties)ကို လိုင်းအသီးသီးဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။
http://www.acmv.org/ebook.html မှ PDF ဖိုင်တွင် အရောင်များဖြင့် ဖတ်ရှု လေ့လာနိုင်သည်။
EAT သည် Entering Air Temperature ကို ဆိုလိုသည်။
LAT သည် Leaving Air Temperature ကို ဆိုလိုသည်။



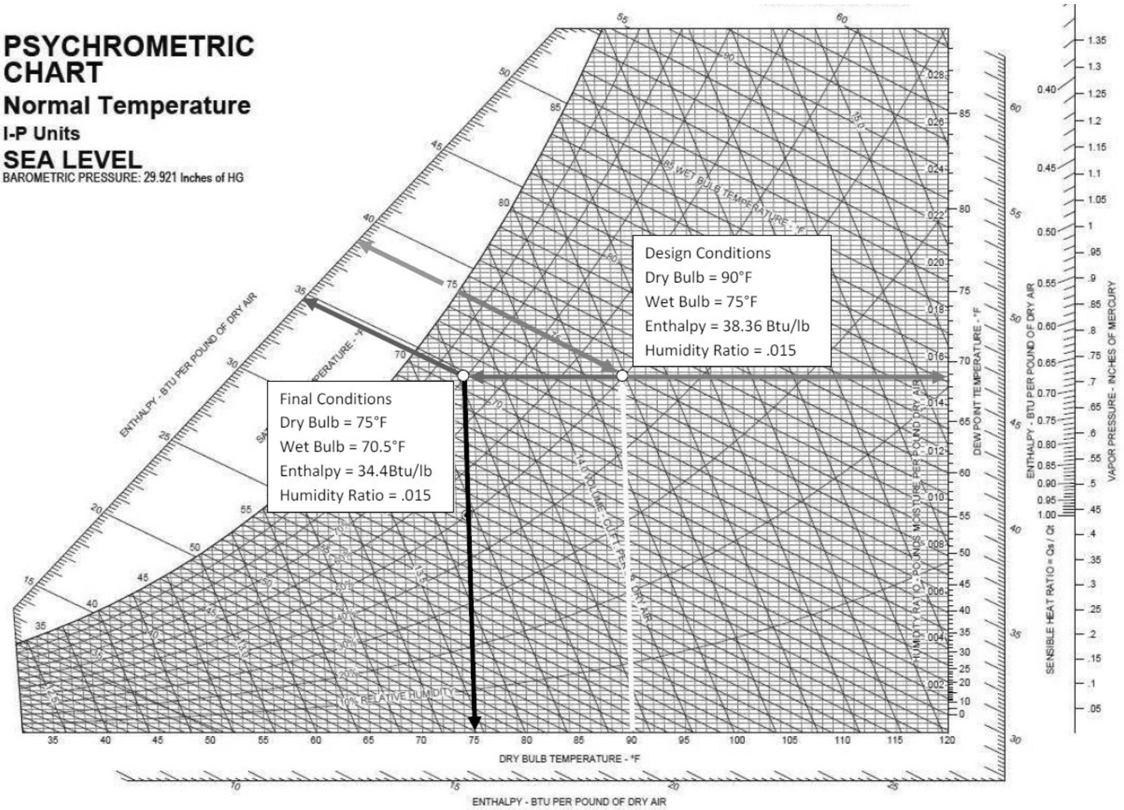
Point 1 သည် 50°C Dry Bulb နှင့် 32% RH ဖြစ်သည်။

Point 2 သည် 18°C Dry Bulb နှင့် 100% RH ဖြစ်သည်။

Point 1 နှင့် Point 2 တို့၏ လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ(properties of air) ကို ရှာပါ။

ပုံ ၂-၅၄

Blue Line	=	Cooling Process
Yellow Line	=	EAT Dry Bulb temperature
Red Line	=	EAT Wet Bulb temperature
Green Line	=	EAT Enthalpy
Black Line	=	LAT Dry Bulb temperature
Brown Line	=	LAT Enthalpy
Grey Line	=	EAT Humidity Ratio(Same as LAT on sensible cooling)
Purple Line	=	LAT Humidity Ratio



ပုံ ၂-၅၅ ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(design condition point) နှင့် final condition point ကို ဖော်ပြထားပုံ

Outside Conditions(EAT): Entering Air		Final Conditions(LAT):leaving air
CFM = 2000 Dry Bulb = 90°F Wet Bulb = 75°F		CFM = 2000(Same) Dry Bulb = 75°F Wet Bulb = 70.5°F

ဥပမာ 90°F Dry Bulb ၊ 75°F WB နှင့် 2000 CFM ပြင်ပလေ(outside air) ကို 75°F Dry Bulb နှင့် 70.5°F WB ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(design condition)သို့ ရောက်အောင် sensible cooling လုပ်ရန် ဖြစ်သည်။

(က) ဒီဇိုင်း Dry Bulb အပူချိန်ကို အောက်ခြေမျဉ်း(bottom horizontal axis)ပေါ်တွင် ရှာပါ။ ဤ ဥပမာ တွင် ဒီဇိုင်း Dry Bulb အပူချိန် မှာ 90°F ဖြစ်ပြီး အဝါရောင်မျဉ်း ဖြစ်သည်။

(ခ) Design Web Bulb အပူချိန်ကို ဘယ်ဘက်မျဉ်းကွေးနေရာမှ 75°F Wet Bulb အနီရောင် မျဉ်းစောင်း တလျှောက်ဆင်းပါ။

(ဂ) အဝါရောင်မျဉ်းမတ်နှင့် အနီရောင်မျဉ်းစောင်း ဖြတ်သည့်နေရာသည် 90°F Dry Bulb ၊ 75°F Wet Bulb ပြင်ပလေ(outside air)၏ အမှတ်(point) ဖြစ်သည်။ ဒီဇိုင်း EAT point ဟုလည်း ခေါ်သည်။

(ဃ) ထို point ၏ ရေပြင်ညီမျဉ်းအတိုင်း ညာဘက်သို့ အညိုရောင်မျဉ်းအတိုင်း သွားလျှင် design humidity ratio ကို ရသည်။ ဒီဇိုင်း humidity ratio တန်ဖိုးကို ညာဘက်ဝင်ရိုး(right vertical axis) ပေါ်တွင် ဖတ်ယူနိုင်သည်။ ဤ ဥပမာ၌ ဒီဇိုင်း humidity ratio တန်ဖိုးသည် 0.015 ဖြစ်သည်။

(င) ထို ဒီဇိုင်း point ၏ ဘယ်ဘက် အစိမ်းရောင်လိုင်းမှာ EAT enthalpy လိုင်း ဖြစ်သည်။ တန်ဖိုးကို မျဉ်းဖြောင့် ပေါ်တွင် ဖတ်ယူရသည်။ ဤ ဥပမာတွင် enthalpy တန်ဖိုးမှာ 38.36 Btu/lb ဖြစ်သည်။

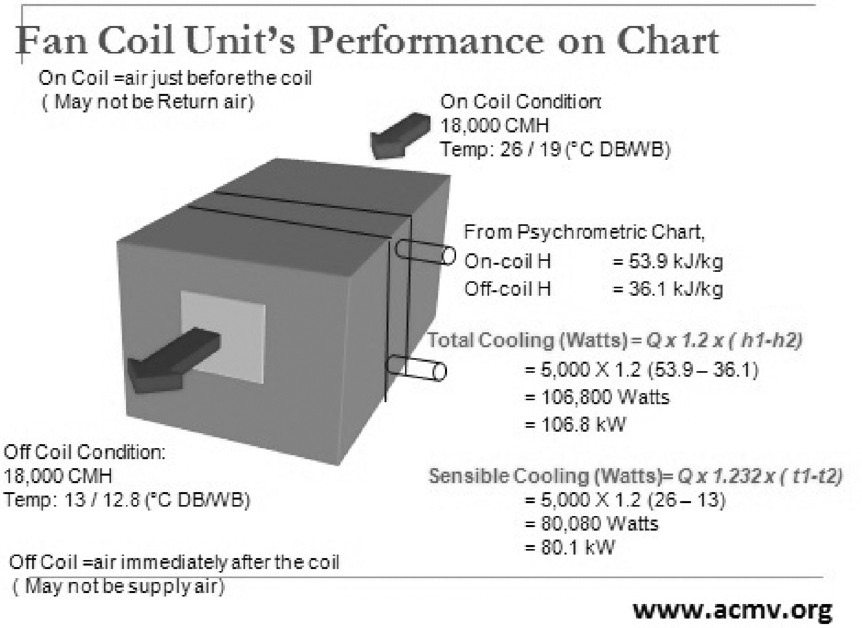
(စ) အပြာရောင်လိုင်းသည် cooling process ဖြစ်သည်။ ရေပြင်မျဉ်း(horizontal line)သည် sensible cooling

ကို ဖော်ပြသည်။ အပြာရောင်လိုင်းသည် ရေပြင်ညီမျဉ်း(horizontal line)ဖြစ်နေသောကြောင့် sensible cooling သာရှိပြီး latent cooling မဖြစ်ပေ။

နောက်ဆုံးအခြေအနေ(leaving air condition)ဖြစ်သော LAT Point ကို Dry Bulb = 75°F နှင့် Wet Bulb = 70.5°F ကို အသုံးပြု၍ ပထမ EAT point ကဲ့သို့ နေရာ(locate)ချပါ။
LAT ၏ enthalpy လိုင်းသည် အညိုရောင်လိုင်း(brown line)ဖြစ်ပြီး တန်ဖိုးမှာ 26.41 Btu/lb ဖြစ်သည်။
LAT ၏ humidity ratio လိုင်းသည် ပန်းရောင်လိုင်း(purple line)ဖြစ်ပြီး တန်ဖိုးမှာ 0.011 ဖြစ်သည်။

Air con အင်ဂျင်နီယာတစ်ယောက်သည် လက်ရှိ မောင်းနေသည့်(running) Fan Coil Unit(FCU) သို့မဟုတ် Air Handling Unit (AHU) တစ်လုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ကောင်းမကောင်းကို ကျွမ်းကျင်စွာ စစ်ဆေးနိုင်ရမည်။ AHU သို့မဟုတ် FCU ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ကောင်းမကောင်းကို air side မှ စစ်ဆေးနိုင်သလို chilled water ဘက်မှလည်း စစ်ဆေးနိုင်သည်။ DX (Direct Expansion) Unit ဖြစ်စေ၊ chilled water unit ဖြစ်စေ၊ မည်သည့် ယူနစ်မဆို air side နည်းဖြင့် စစ်ဆေးနိုင်သည်။

ဥပမာ(SI ယူနစ်)



ပုံ ၂-၅၆ Fan Coil Unit (FCU) တစ်ခု၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)

ဤဥပမာတွင် အခန်းမှ ပြန်ယူသည့်လေ(return air) နှင့် On-Coil condition တို့ တူညီသည်ဟု ယူဆထားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပြင်ပမှ ဝင်လာသည့်လေ(outdoor air)၏ အပူ(heat) ထည့်မတွက်ထားပေ။ ပြင်ပလေ(outdoor air) မထည့်ဟု ယူဆထားသည်။ Supply air နှင့် Off-coil Condition တို့ တူညီသည် ဟု ယူဆထားသည်။ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကောင်းမကောင်း စစ်ဆေးရန်အတွက် အောက်ပါ အချက်အလက်(data)များ လိုအပ်သည်။

(၁) အနည်းဆုံး return air ၏ ဂုဏ်သတ္တိ(property)နှစ်မျိုး သိရန် လိုအပ်သည်။ Dry Bulb အပူချိန် သို့မဟုတ် Wet Bulb အပူချိန် သို့မဟုတ် RH ဖြစ်သည်။။ Dry Bulb အပူချိန် နှင့် Wet Bulb အပူချိန်သည် တိုင်းယူရန် အလွယ်ကူဆုံး ဂုဏ်သတ္တိ(property)နှစ်ခု ဖြစ်ပြီး သာမန် sling thermometer ဖြင့် ခဏအတွင်း တိုင်းယူနိုင်သည်။

(၂) အနည်းဆုံး ထွက်လေ(supply air)၏ ဂုဏ်သတ္တိ(property)နှစ်မျိုး သိရန် လိုအပ်သည်။

(၃) လေစီးနှုန်း(air flow rate) သိရန် လိုအပ်သည်။ SI ယူနစ်ဖြင့် တွက်မည့် ပုံသေနည်း(formula)သည် Liter per Second ဖြစ်သည်။ IP ယူနစ် ပုံသေနည်းဖြင့် တွက်လျှင် လေစီးနှုန်း(flow rate)သည် Cube Feet per Minute (CFM)ဖြစ်သည်။

ပုစ္ဆာ မတွက်မီ latent cooling capacity နှင့် total cooling capacity တို့ကို နားလည်ရန် လိုအပ်ပါသည်။

$$Q_{\ Total} = Q_{\ Sensible} + Q_{\ Latent}$$

ပုံ(၂-၅၆)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း before point (point 1)သည် ဝင်လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(entering air properties) ကို ဆိုလိုသည်။ After point (point 2)သည် ထွက်လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ(leaving air properties)ကို ဆိုလို သည်။

Before Point (Point 1) **ဝင်လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(entering air properties)**	**After Point (Point 2)** **ထွက်လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(leaving air properties)**
Point 1 Enthalpy = h1(kJ/kg)	Point 2 Enthalpy = h1(kJ/kg)
Point 1 Dry Bulb Temp = t1(°C)	Point 2 Dry Bulb Temp = t1(°C)
Point 1 humidity ratio = w1(kg/kg d.a)	Point 2 humidity ratio = w1(kg/kg d.a)

FCU မှ တိုင်းယူ၍ ရသော data များ	FCU မှ တိုင်းယူ၍ ရသော data များ
On Coil Condition(point 1)= Return Air 18,000 CMH ၊ 26°C Dry Bulb နှင့် 19°C Web Bulb	Off Coil Condition(point 2)= Supply Air 18,000 CMH ၊ 13°C Dry Bulb နှင့် 12.8°C Wet Bulb
Psychrometric chart မှ ဖတ်ယူ၍ ရသော data များ **Enthalpy (h1)= 53.9 kJ/kg**	Psychrometric chart မှ ဖတ်ယူ၍ ရသော data များ **Enthalpy (h2)= 36.1 kJ/kg**

Psychrometric chart ပေါ်မှ

On-coil h1 (Point 1) = 53.9 kJ/kg　　နှင့်　　Off-coil h2 (Point 1) = 36.1 kJ/kg

18,000 CMH ကို ယူနစ်ပြောင်းလိုပါက

Liter per Second = (18,000 CMH x 1,000)/ 3600 = 5000 L/s

$$Q_{Total}\ (watt) = 1.2\ x\ Liter\ per\ Sec\ x\ (h1 - h2)$$

= 5,000 X 1.2 x (53.9 – 36.1)

= 106,800 Watts

= 106.8 kW (106.8/3.517)

= 30.37RT

$$Q_{Sensible}\ (watt) = 1.232\ \ x\ Liter\ per\ Sec\ x\ (t1 - t2)$$

= 5,000 X 1.2 x (26 – 13)

= 80,080 Watts

= 80.1 kW (80.1/3.517= 22.77RT)

ဥပမာ(SI ယူနစ်)- AHU တစ်လုံး၏ cooling coil မှ အချက်အလက်(data) များမှာ အောက်ပါအတိုင်းဖြစ်သည်။

Return air = 26.7°C Dry Bulb နှင့် 19.5°C Wet Bulb

Supply air = 13.4°C Dry Bulb နှင့် 13.03°C Wet Bulb

Return Air Flow Rate = 6,856 CMH = 1904 L/s

အထက်ပါ data များမှ sensible cooling capacity ၊ latent cooling capacity နှင့် total cooling capacity တို့ကို ရှာပါ။

Chart ပေါ်တွင် return air point ကို နေရာချ(locate)ပါ။

(က) Return air ၏ 26.7°C DB နှင့် 19.5°C WB လိုင်းတို့ ဖြတ်မှတ်(intersection point)မှ အောက်ပါ တန်ဖိုးများကို ရသည်။

RH = 51.26(%)၊ h(enthalpy) = 55.4 kJ/kg

W= 0.01122 kg of water/kg of dry air

(ခ) Supply air ၏ 13.4°C DB နှင့် 13.03°C WB လိုင်းတို့ ဖြတ်မှတ်(intersection point)မှ အောက်ပါ တန်ဖိုးများကို ရသည်။

RH = 96.00(%)၊ h(enthalpy)=36.71 kJ/kg

W= 0.00919 kg of water/kg of dry air

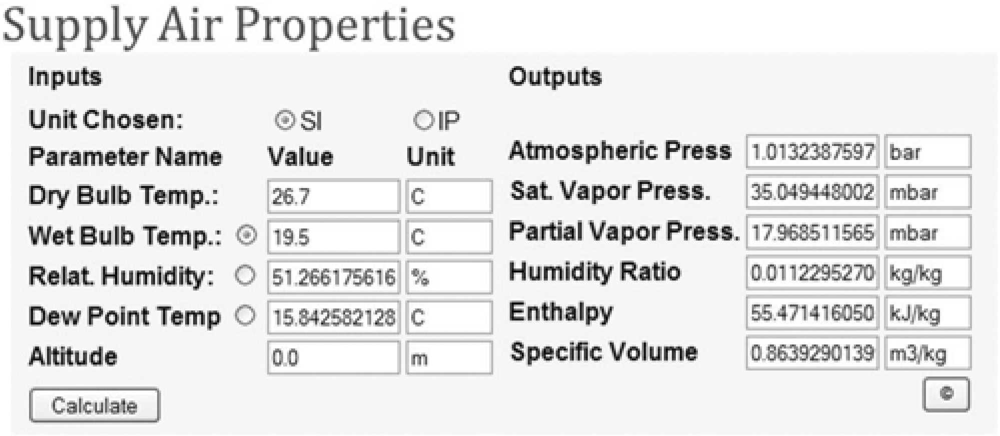
Chart ကို အသုံးမပြုလိုလျှင် အင်တာနက်မှ online software တစ်ခုကို သုံးပြီး လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ(air properties)ကို ရှာယူနိုင်သည်။ လွယ်ကူ ရှင်းလင်းပြီး အလွန်အသုံးဝင်သည့် နည်းကောင်း တစ်ခု ဖြစ်သည်။

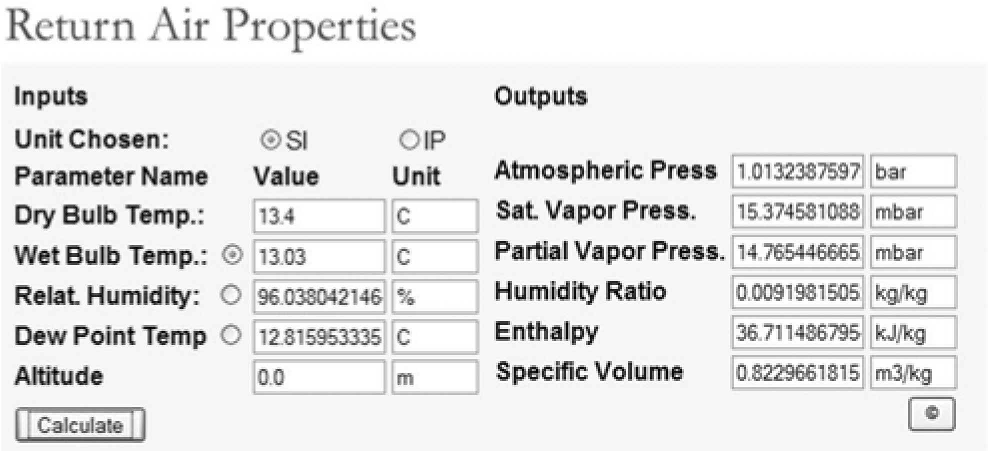
http://www.sugartech.co.za/psychro/index.php တွင် လေ့လာနိုင်သည်။

အသုံးပြုနည်းမှာ

(၁) မိမိသုံးမည့် ယူနစ်ကို ရွေးချယ်ပါ။ SI ယူနစ် သို့မဟုတ် IP ယူနစ် နှစ်မျိုးလုံးဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

(၂) မိမိရွေးထားသည့် ယူနစ်နှင့် သက်ဆိုင်သည့် parameter နှစ်ခု၏ တန်ဖိုးများကို ထည့်ပါ။ Dry Bulb တန်ဖိုးသည် မဖြစ်မနေ ထည့်ရမည့် တန်ဖိုးတစ်ခု ဖြစ်သည်။ Calculate Button ကို နှိပ်ပါ၊





(၁)	Return air	=	26.7°C Dry Bulb နှင့် 19.5°C WB
(၂)	Return air RH	=	51.26(%), h (enthalpy)= 55.4 kJ/kg
(၃)	Return air W	=	0.01122 kg of water / kg of dry air
(၁)	Supply air	=	13.4°C Dry Bulb နှင့် 13.03°C WB
(၂)	Supply air RH	=	96.00 (%), h(enthalpy)=36.71 kJ/kg
(၃)	Supply air W	=	0.00919 kg of water / kg of dry air

Total Cooling(watts) = **1.2 x Liter per Sec x (h1 - h2)**
= 1.2 x 3236 x(55.4 - 36.71)
= 72,4577 Watt = 20.63 RT

Sensible Cooling(watts) = **1.232 x Liter per Sec x (t1 - t2)**
= 1.232 x 3236 x(26.7-13.4)
=51,414 Watt = 51.41 kW / 3.517 = 14.61 RT

Latent Cooling(watts) = **3012 x Liter per Sec x (w1 - w2)**
= 3012 x 3236 x(0.01122-0.00919)= 19,878 watt

တွက်ချက်မှုများ မှန်ကန်ကြောင်းကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော York Brand AHU တစ်လုံးမှ ရရှိသည့် technical report မှ AHU cooling coil specification ဖြင့် စစ်ဆေး နိုင်သည်။ ထို AHU cooling coil specification ၏ အချက်အလက်များကို သရုပ်ပြရန်အတွက် ဤဥပမာကို ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။

FAN MOTOR SPECIFICATION		
BLOWER TYPE / BLADE		DIDW / FORWARD
WHEEL DIAMETER / FRAME	mm	400 / R
DISCHARGE		Rear
AIR VOLUME	CFM (m³/hr)	6,856 (11650.000)
TOTAL PRESSURE	in. Wg (Pa)	2.62 (656)

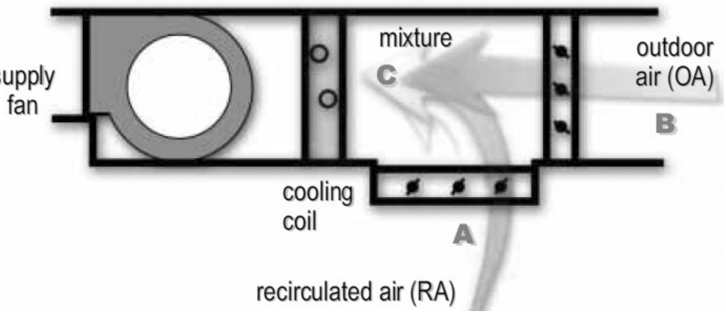
COOLING COIL SPECIFICATION (1)		
ALTITUDE	ft	
COIL TYPE		BDW
TUBE / FIN MATERIAL		Cu / Alu
TUBE HEIGHT / FIN LENGTH		28 / 60
ROWS / FPI / CIRCUIT		6 / 12 / B
COIL AREA	ft ² (m²)	14.53 (1.35)
AIR ON DB / WB	°F (°C)	80 (26.67) / 67 (19.44)
AIR OFF DB / WB	°F (°C)	56.17 (13.43) / 55.45 (13.03)
FACE VELOCITY	FPM (m/s)	472 (2.4)
AIR PRESSURE DROP	in. Wg (Pa)	0.53 (132)
SUCTION TEMP. FOR BDX	°F (°C)	-
WATER ON / OFF TEMP.	°F (°C)	45 (7.22) / 56.98 (13.88)
WATER FLOW RATE	GPM (m³/h)	41 (9.31)
WATER PRESSURE DROP	ft. Wg (kPa)	1.2 (3.60)
SENSIBLE CAPACITY	Btu / hr (kW)	179,740 (52.7)
TOTAL CAPACITY	Btu / hr (kW)	245,650 (72.0)
COIL SHF		0.73

51,413 Watt

72,4577 Watt

၂.၉ Air Mixing Process

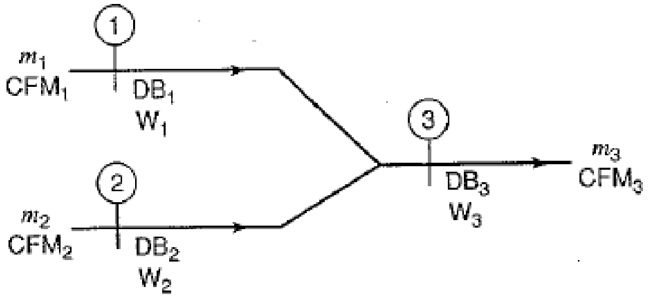
Air conditioning process များတွင် လေနှစ်မျိုး ရောနှောခြင်းဖြစ်စဉ်(air mixing process)လည်း ပါဝင်သည်။ Air mixing process ဆိုသည်မှာ မတူညီသည့် လေအမျိုးအစား နှစ်မျိုးပေါင်းပြီး နောက်ထပ် လေအမျိုးအစား အသစ်တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာခြင်း ဖြစ်သည်။ ဥပမာ ပြင်ပလေ(outdoor air)နှင့် return air တို့ ပေါင်းစပ်ပြီး supply air ဖြစ်ပေါ်လာခြင်း ဖြစ်သည်။ Conservation of energy အရ မပေါင်းခင် နှင့် ပေါင်းပြီး လေ၏ sensible heat ပါဝင်မှု (content)တို့သည် တူညီကြသည်။



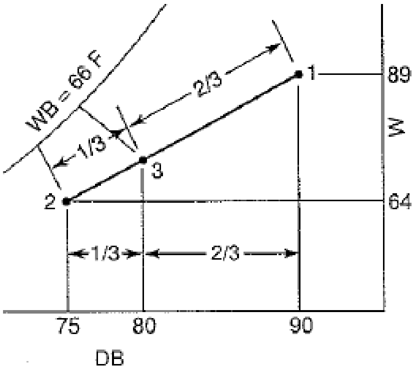
ပုံ ၂-၅၇ FCU တစ်ခုအတွင်း mixed air ဖြစ်ပေါ်ပုံ

$$\mathbf{m_3\ x\ DB_3\ = (m_1\ x\ DB_1) + (m_2\ x\ DB_2)}$$

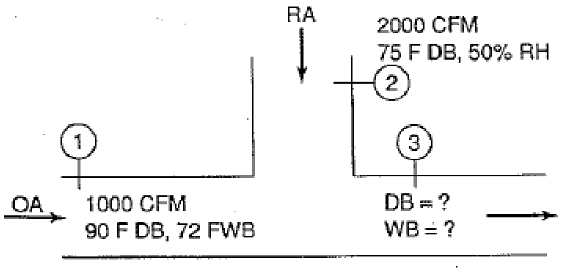
$$\mathbf{DB_3 = \frac{(m_1\ x\ DB_1) + (m_2\ x\ DB_2)}{m_3}}$$



ပုံ ၂-၅၈



ပုံ ၂-၅၉



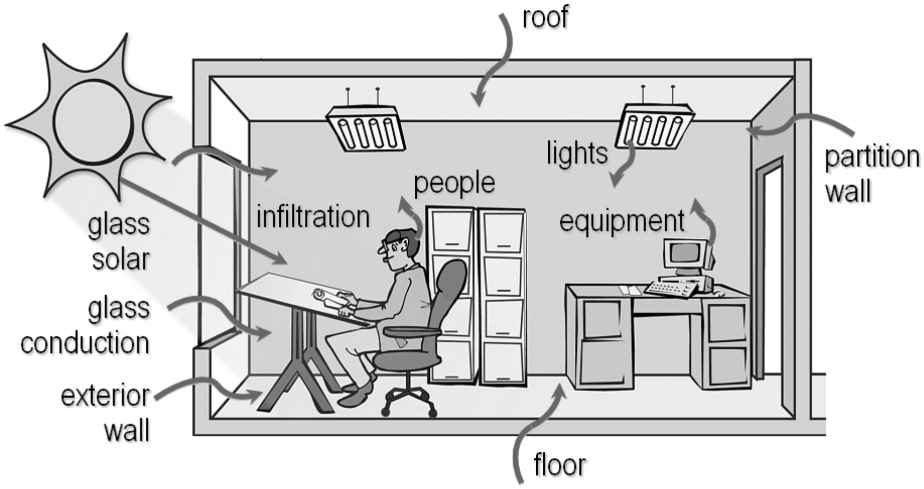
ပုံ ၂-၆၀

m သည် mass flow rate ဖြစ်သည်။ ထို mass flow rate ကို volume flow rate(CFM သို့မဟုတ် CMH)ဖြင့် အစားထိုး တွက်ယူ နိုင်သည်။ တန်ဖိုး အနည်းငယ်မျှသာ ကွာခြားမှုရှိသည်။

၂.၁၀ Determining Supply Air Condition

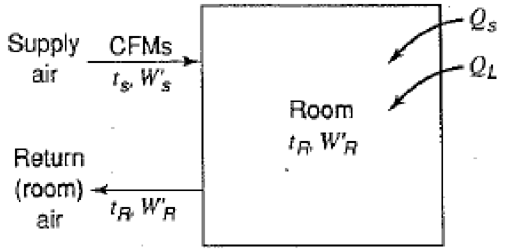
အခန်းတစ်ခု၏ အပူချိန်သည် ပြင်ပအပူချိန်ထက် နိမ့်နေလျှင် ထိုအခန်းအတွင်းသို့ ပြင်ပမှ အပူများ စီးဝင်သည်။ ထိုအခန်းအား လိုအပ်သောအပူချိန်တွင် ထိန်းထားနိုင်ရန် အတွက် အခန်းအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသော အပူ(heat)များကို အဆက်မပြတ် ဖယ်ထုတ်ပေးနေရန် လိုအပ်သည်။ အခန်းအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်

လာသော အပူများကြောင့် အခန်းအတွင်း၌ အပူတိုးလာခြင်း(heat gain) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Cooling load သို့မဟုတ် heat load ဟုခေါ်သည်။ Cooling load သည် cooling ထုတ်ပေးသည့် equipment များအတွက် အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ Heat load သည် အဆောက်အဦများ၏ အပူတိုးလာခြင်း(heat gain)ကို ရည်ညွှန်း ပြောဆိုရန် အသုံးပြုသည်။ Room Sensible Cooling Load (RSCL) နှင့် Room Latent Cooling Load(RLCL) ကို အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။



ပုံ ၂-၆၁(က) အခန်းအတွင်းသို့ အပူ(heat)များ ဝင်ရောက်လာပုံ

$$Total\ Cooling\ Load\ (RTCL) = Sensible\ Cooling\ Load\ (RSCL) + Latent\ Cooling\ Load(RLCL)$$



ပုံ ၂-၆၁(ခ) အပူ(heat)များ ဝင်ရောက်လာပုံ

ထိုသို့ အပူများကို စဉ်ဆက်မပြတ် ဖယ်ထုတ်နေရန် အတွက် အပူချိန်နိမ့် (low temperature air)ပြီး RH(%) နည်းသည့် supply air ကို အမြဲမပြတ် ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ထို့သို့ ပြုလုပ်ခြင်းကို အပူ ဖယ်ထုတ်ခြင်း (heat extraction) ဟုလည်း ပြောလေ့ ရှိသည်။

ဥပမာ - Air con အခန်းတစ်ခု၏ sensible cooling load သည် 55,000 Btu/h ဖြစ်ပြီး latent cooling load သည် 22,000 Btu/h ဖြစ်သည်။ ထိုအခန်းကို 78°F Dry Bulb နှင့် 50% RH အခြေအနေတွင် ရှိရန် ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသည်။ ထိုအခန်းအတွက် လိုအပ်သော လေစီးနှုန်း(air flow rate)သည် 2000 CFM ဖြစ်လျှင် supply air ၏ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb ကို ရှာပါ။

Dry Bulb အပူချိန်တန်ဖိုးကို ရရန် sensible cooling load equation မှ တွက်ယူသည်။

$$Sensible\ Cooling\ Load\ (Btu/hr) = 1.1\ x\ CFM\ x\ (t_r - t_s)$$

$$t_R - t_S = \frac{RSCL}{1.1\ x\ CFM} = \frac{55,000}{1.1\ x\ 2000} = 25\ °F$$

Supply air အပူချိန်(temperature) t_S = 78 - 25 = 53°F

Humidity ratio တန်ဖိုးကို ရရန် latent cooling load equation မှ တွက်ယူသည်။

$$Q_{Latent}\ (Btu/hr)\ or\ Room\ Latent\ Cooling\ Load(RLCL) = 0.68\ x\ CFM\ x\ (W_R - W_s)$$

$$W_R - W_S = \frac{RLCL}{0.68\ x\ CFM} = \frac{22,000}{0.68\ x\ 2000} = 16\ gr\ w\ per\ lb\ d.a$$

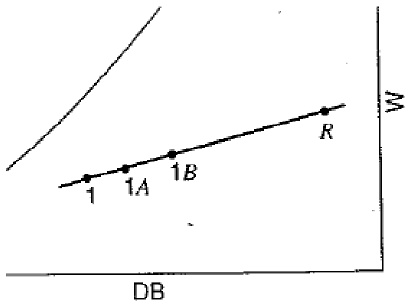
Chart မှ W_R ၏ တန်ဖိုးကို ဖတ်ယူပါ။ W_R = 71 gr w/lb d.a ဖြစ်သည်။
Supply air ၏ humidity ratio သည်

$$W_S = 71 - 16 = 55 \text{ gr w/lb d.a}$$

CFM သို့မဟုတ် CMH ကို လိုအပ်သလို အတိုးအလျော့ ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Supply air volume flow rate ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် supply air ၏ Dry Bulb ၊ RH (%) သို့မဟုတ် Wet Bulb တို့ကိုလည်း သင့်လျော်သလို ပြောင်းပေးရန် လိုအပ်သည်။

ဥပမာ - CFM တန်ဖိုးများကို ပြောင်းလိုက်လျှင် ထို CFM တန်ဖိုးများနှင့် သင့်လျော်သော supply air condition တို့ကို ရရှိသည်။

Point	Supply Air Flow (CFM)	Supply Air Condition	
		(°F Dry Bulb)	W(gr w / lb d.a)
1	2000	53	55
1A	2500	58	60
1B	3200	62.4	62.6
R		**78**	**50%**



ပုံ ၂-၆၂

အထက်ပါ Point 1 ၊ 1A နှင့် 1B တို့ကို Psychrometric chart ပေါ်တွင် နေရာချလိုက်လျှင် ထို အမှတ်များ(points) အားလုံးတို့သည် လိုင်းအပေါ်တွင် တည်ရှိနေသည်။
ထိုလိုင်းပေါ်တွင် အခန်း၏ အခြေအနေ(condition) နှင့် ကိုက်ညီပြေလည်စေ(satisfied)မည့် supply air ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ (properties) တည်ရှိနေသည်။

Point R = 78°F Dry Bulb နှင့် 50% RH

ထိုလိုင်းသည် အလွန် အရေးကြီးသော လိုင်းဖြစ်သည်။ အမှတ်များ(points) အားလုံး ထိုလိုင်းပေါ်တွင် ကျရောက် နေခြင်းသည် တိုက်ဆိုင်မှုတစ်ခု မဟုတ်ပါ။ ထိုလိုင်းကို "**Sensible Heat Ratio (SHR)**"လိုင်း ဟု ခေါ်သည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် Psychrometric chart ပေါ်တွင် RSHR လိုင်းကို ဆွဲရန်အတွက်

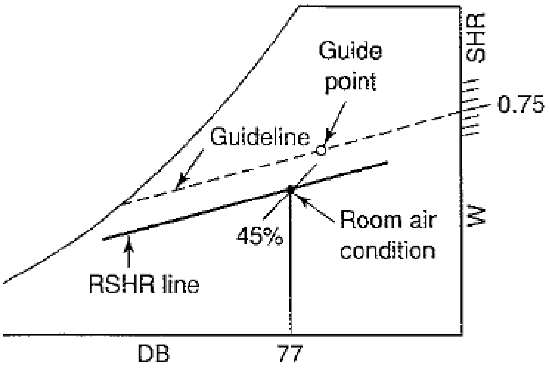
(က) Room condition (အခန်း လိုအပ်ချက်ကို အဆင်ပြေစေသည့် Dry Bulb သို့မဟုတ် Wet Bulb သို့မဟုတ် %RH တို့ ဖြစ်သည်။)

(ခ) RSHR အချိုးတန်ဖိုး သို့မဟုတ် RSHR slop သို့မဟုတ် Sensible Heat Factor(SHF) တို့ လိုအပ်သည်။

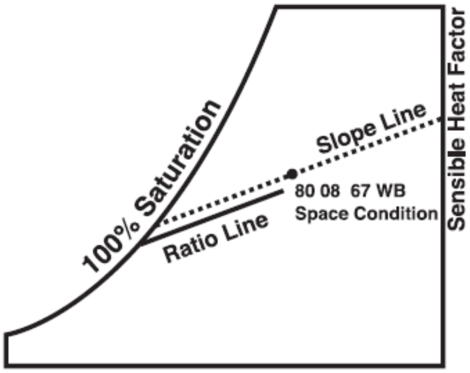
ထို RSHR slop လိုင်းကို room condition ပေါ်တွင် ဖြတ်ဆွဲလျှင် RSHR လိုင်းကို ရသည်။

Supply air condition အမျိုးမျိုးကို အသုံးပြုနိုင်သော်လည်း ထိုအခန်းကို ပေးမည့် supply air condition သည် RSHR လိုင်းပေါ်တွင် ကျရောက်နေရန် လိုအပ်သည်။ Sensible Heat Ratio (SHR) သို့မဟုတ် Room Sensible Heat Ratio (RSHR) ဆိုသည်မှာ sensible heat နှင့် latent heat အချိုးဖြစ်သည်။

$$\boldsymbol{Room\ Sensible\ Heat\ Ratio(RSHR)} = \frac{\boldsymbol{Room\ Sensible\ Cooling\ Load(RSCL)}}{\boldsymbol{Room\ Total\ Cooling\ Load(RTCL)}}$$



ပုံ ၂-၆၃



ပုံ ၂-၆၄

ထိုအခန်း၏ အခြေအနေ(condition)ကို ပြေလည်စေ(satisfied)မည့် မည်သည့် supply condition (CFM ၊ Dry Bulb ၊ %RH ၊ WB) မဆို ထို SHR လိုင်းပေါ်တွင် ကျရောက်ရန် လိုအပ်သည်။
RSHR လိုင်း၏ အဓိပ္ပာယ် အတိအကျသည် ဒီဇိုင်းလုပ်မည့် room design condition ကို ဖြတ်သွားမည့် Room Sensible Heat Ratio (RSHR) slope လိုင်းသည် RSHR လိုင်း ဖြစ်သည်။

ဥပမာ - ဟန်ဘာဂါဆိုင် တစ်ဆိုင်၏ sensible cooling load သည် 45,000 Btu/hr ဖြစ်ပြီး latent cooling load မှာ 15,000 Btu/hr ဖြစ်သည်။ ထိုအခန်းသည် 77°F Dry Bulb နှင့် 75%RH အခြေအနေတွင် ရှိရန် လိုအပ်သည်။ RSHR Line ကို Psychrometric chart ပေါ်တွင် ရေးဆွဲပါ။

ထိုသို့ chart ပေါ်တွင် RSHR လိုင်းကို ရေးဆွဲရန် အတွက် အဆင့် သုံးဆင့် ရှိသည်။

(၁) RSHR တန်ဖိုးကို ညီမျှခြင်း(equation)မှ တွက်ယူပါ။

$$RSHR = \frac{RSCL}{RTCL} = \frac{45,000}{45,000 + 15,000} = 0.75$$

(၂) ပုံ(၂-၆၃)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း chart ပေါ်တွင် SHR စကေးလိုင်းပေါ်တွင် 0.75 slope လိုင်းကို နေရာချပါ(locate)လုပ်ပါ။ SHR စကေး အတွက် "Guide Point" ရှိသည်။ **Guide Point သည် 80°F Dry Bulb နှင့် 50%RH ဖြစ်သည်။** Guide point နှင့် SHR 0.75 ကိုဖြတ်သည့် guide line ကို ရေးဆွဲပါ။

(၃) Room condition point ကိုဖြတ်သည့် guide point နှင့် မျဉ်းပြိုင်ဖြစ်သည့် လိုင်းကို ဆွဲပါ။ ထိုလိုင်းသည် RSHR လိုင်းဖြစ်သည်။

ထို RSHR လိုင်းသည် အဓိပ္ပာယ်ဖွင့်ဆိုချက်(definition)မှ သတ်မှတ်ထားသော အချက် နှစ်ချက်နှင့် ပြည့်စုံသည်။

(၁) ထို RSHR လိုင်းသည် room condition point ကို ဖြတ်သွားသည်။

(၂) ထို RSHR လိုင်းသည် SHR slop တန်ဖိုး 0.75 ရှိသည့် slop လိုင်း နှင့် အပြိုင်ဖြစ်သည်။

ထိုအခန်းကို အေးစေမည့် supply air condition ကို ကြိုက်သလို ရွေးချယ်နိုင်သော်လည်း ထို supply air condition point များအားလုံးသည် RSHR လိုင်းပေါ်တွင် ကျရောက်နေရမည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသည် RSHR လိုင်းပေါ်တွင် ကျရောက်နေသည့် supply air condition များ အားလုံး၏ RSHR အချိုးသည် room condition ၏ RSHR အချိုးနှင့် ကိုက်ညီနေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ RSHR လိုင်းများကို air conditioning equipment များ ရွေးချယ်ရာတွင် မဖြစ်မနေ အသုံးပြုကြသည်။ Equipment ထုတ်လုပ်သူများကလည်း RSHR တန်ဖိုးကို ဖော်ပြ လေ့ရှိသည်။

ဥပမာ-ဇူလိုင်လ၏ နေ့တစ်နေ့တွင် စားသောက်ခန်း တစ်ခုတွင် စားသုံးသူများက အခန်းသည် စိုထိုင်းထိုင်း စေးကပ်ကပ်(sticky) ဖြစ်နေသည်ဟု ပြောကြသည်။ ထို့ကြောင့် ဆိုင်မန်နေဂျာက အခန်း၏ အပူချိန်ကို လျှော့ချရန် သာမိုစတက်တွင် temperature setting ကို နိမ့်ချလိုက်သည်။ ထို့နောက် စားသုံးသူ

(customer)များ အားလုံးလိုလိုသည် ပါလာသည့် အနွေးထည်ကို ဝတ်ဆင်ကြသည်။ ထို့နောက် စားသုံးသူ (customer)များ အားလုံးလိုလို စားသောက်ခန်းအတွင်းမှ ထွက်ခွာသွားကြသည်။ ဆိုင်မန်နေဂျာမှ သင့်အား တိုင်ပင် ဆွေးနွေး လိုသောကြောင့် အောက်ပါ အချက်အလက်(data)များကို ပေးသည်။

RSCL = 150,000 Btu/hr RLCL = 53,000 Btu/hr

Room design condition = 78°F Dry Bulb နှင့် 50%RH

Design supply air = 62°F Dry Bulb

Supply air condition (measured) = 61°F DB နှင့် 59°F WB

အဖြေ - ပုံ(၂-၆၅)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

(က) တိုင်းတာထားသည့် supply air condition သည် 61°F DB နှင့် 59°F WB ဖြစ်သည်။

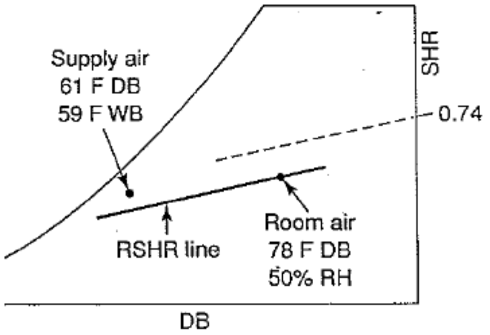
(ခ) RSHR equation အရ RSHR တန်ဖိုးသည် 0.74 ဖြစ်သည်။

$$RSHR = \frac{RSCL}{RTCL} = \frac{150,000}{203,000} = 0.74$$

(ဂ) "Guide Point" ကို ဗဟိုထားပြီး၍ slope တန်ဖိုး 0.74 ရှိသော လိုင်းကို ဆွဲပါ။ ထို RSHR လိုင်း နှင့် အပြိုင်ဖြစ်ပြီး အခန်း၏ ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(design condition) ဖြစ်သော 78°F Dry Bulb နှင့် 50%RH point ကို ဖြတ်သွားသော RSHR လိုင်းကိုဆွဲပါ။

(ဃ) Supply air condition point ကို chart ပေါ်တွင် ချကြည့်လျှင် RSHR လိုင်းပေါ်တွင် ကျရောက်နေခြင်း မရှိသည်ကို တွေ့ရမည်။

ထို့ကြောင့် တပ်ဆင်ထားသည့် air condition unit က အခန်းအပူချိန် နှင့် စိုထိုင်းဆ(relative humiday)ကို ပြေလည်(satisfied) အောင် မလုပ်နိုင်သည်ကို တွေ့ရမည်။



62°F Dry Bulb အပူချိန်ကို ရရှိရန် thermostat setting ကို adjust လုပ်၍ အခန်းအပူချိန် ကျဆင်းစေနိုင်သော်လည်း လိုအပ်သည့် humidity level ကို မရောက် နိုင်ပေ။ Air condition unit သည် လိုအပ်သော latent heat ကို ကောင်းစွာ မဖယ်ရှားပေးနိုင်ပေ။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် supply air condition point သည် RSHR လိုင်းပေါ်တွင် မကျရောက်ဘဲ အခြားလိုင်းအပေါ်တွင် တည်ရှိနေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

ပုံ ၂-၆၅ Sensible heat ratio line

လက်တွေ့တွင် ကြုံတွေ့ရတတ်သော ပြဿနာများမှာ -

(က) အခန်း၏ SHR နှင့် မကိုက်ညီသော cooling coil ကို အသုံးပြုထားခြင်း

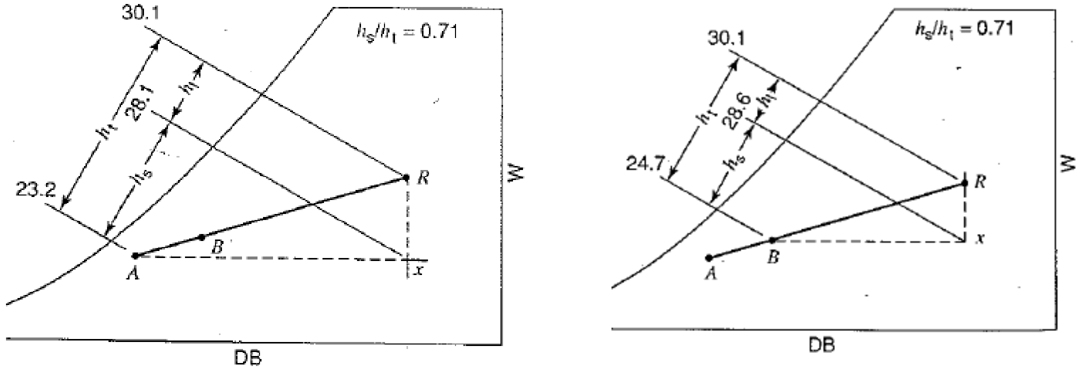
(ခ) Refrigerant temperature သည် လိုအပ်သည် အပူချိန် ထက်ပိုမြင့် နေခြင်း

(ဂ) လက်ရှိထည့်ပေးနေသည့် ပြင်ပလေ(outdoor air)ပမာဏ သည် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် ပမာဏထက် ပိုများနေခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

ထိုပြဿနာများကို ဖြေရှင်းရန် psychometric chart ပေါ်တွင် graphical နည်းဖြင့် ဆန်းစစ်ခြင်း (analysis)သည် အကောင်းဆုံးသော နည်းလမ်း ဖြစ်သည်။

၂.၁၁ Coil Process လိုင်းများ

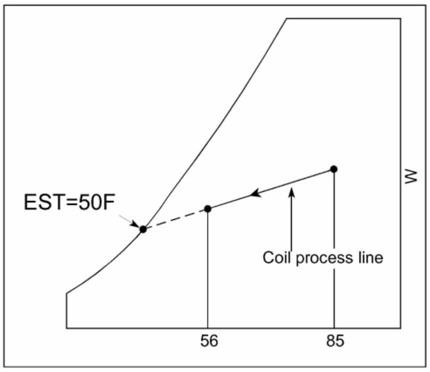
Cooling နှင့် dehumidification လုပ်ပေးသည့် coil ကို အတိုခေါက် အားဖြင့် cooling coil ဟု ခေါ်သည်။ Cooling coil အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် လေကို ဝင်လေ(entering air) ဟုခေါ်ပြီး cooling coil မှ ထွက်သွားသည့် လေကို ထွက်လေ(leaving air) ဟုခေါ်သည်။



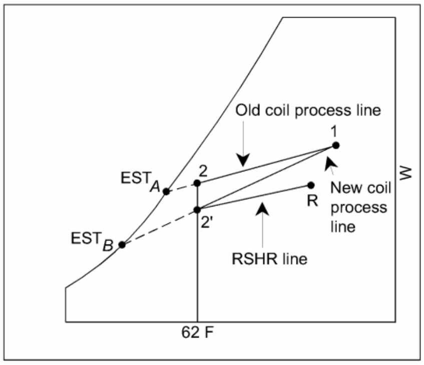
ပုံ ၂-၆၆ မတူညီသည့် supply air condition နှစ်မျိုးဖြင့် sensible cooling နှင့် latent cooling လုပ်ပုံ

Psychrometric chart ပေါ်တွင် ဝင်လေ(entering air) ၏ condition point နှင့် ထွက်လေ (leaving air)၏ condition point ကို ဆက်၍ ဆွဲထားသည့် မျဉ်းကို "**Coil Process Line**" ဟုခေါ်သည်။ Cooling coil စွမ်းဆောင်ရည်(capacity) ဆိုသည်မှာ ထို coil မှ ဖယ်ထုတ်နိုင်သည့် sensible heat ၊ latent heat နှင့် total heat တို့ပင် ဖြစ်သည်။ Coil ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(capacity)သည် cooling load ဖြစ်သည်။

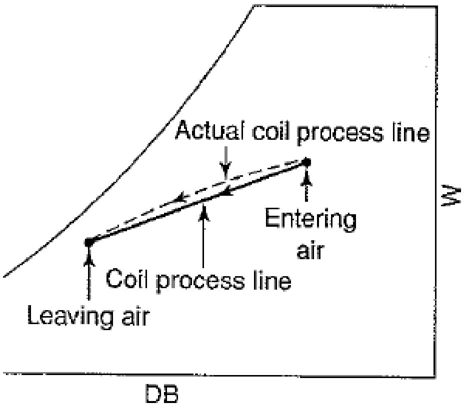
လိုင်း၏ ဦးတည်ရာ(coil process line direction)သည် coil ၏ configuration ၊ air velocity နှင့် refrigerant သို့မဟုတ် chilled water ၏ အပူချိန်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Coil ကြောင့် အမှန်တကယ် ဖြစ်ပေါ်သွားသော ပြောင်းလဲမှုများသည် curve အတိုင်းဖြစ်ပြီး အတိအကျ ရေးဆွဲရန် အလွန် ခက်ခဲသည်။ Coil ၏ process line သည် မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း(straight line)ဖြစ်စေ သို့မဟုတ် curve ဖြစ်စေ၊ ဝင်လေ အမှတ် (entering air point) နှင့် ထွက်လေအမှတ်(leaving air point)တို့ ၏ condition များမှာ မပြောင်းလဲပေ။



ပုံ ၂-၆၇ EST Point



ပုံ ၂-၆၈(က) Cooling coil process

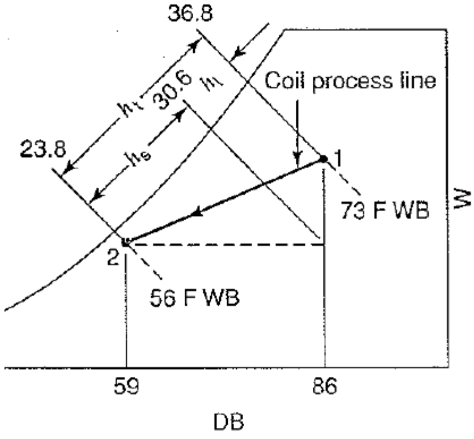


ပုံ ၂-၆၈(ခ) Cooling coil process

Coil process line သည် လက်တွေ့တွင် မျဉ်းဖြောင့် (straight line) အတိုင်း မဖြစ်သော်လည်း cooling coil များကို ရွေးချယ်ရန်၊ cooling coil တစ်ခု၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)များကို စစ်ဆေးရန် နှင့် ချို့ယွင်းချက်ရှာဖွေခြင်း(trouble shooting) ပြုလုပ်ရန် အတွက် coil ၏ process line ကို မျဉ်းဖြောင့်(straight line)ဖြစ်သည်ဟု ယူဆ တွက်ချက်ကြသည်။

ဥပမာ - Cooling coil တစ်ခုတွင် လေစီးနှုန်း 24,000 CFM ရှိပြီး ဝင်လေ(entering air)၏အပူချိန်သည် 86 °F DB နှင့် 73 °F WB ဖြစ်သည်။

အထွက်လေ(leaving air)၏ condition သည် 59 °F Dry Bulb နှင့် 56°F Wet Bulb ဖြစ်လျှင် ထို cooling coil ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(capacity)ကို ရှာပါ။



ပုံ ၂-၆၉

Entering Air Point = Point 2

Leaving Air point = Point 1

$Q_{sensible}$ = 1.1x CFM x (t2 - t1)
= 1.1 x 24,000 x (68-59)
= 734,000 Btu/hr

Q_{latent} = 0.68 x CFM x (w2 - w1)
= 670,000 Btu/hr

Q_{total} = 734,000 + 670,000
= 1,404,000 Btu/hr
= 117 tons

Enthalpy(h)ကို အသုံးပြု၍ total capacity ကို တိုက်ရိုက်ရှာ နိုင်သည်။

$$Q_{total} = 4.5 \times CFM \times (h_1 - h_2)$$

$$= 4.5 \times 24,000 \times (36.8 - 23.8) = 1,404,000 \text{ Btu/hr}$$

အောက်ပါ ပုံသေနည်းများဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။ ယူနစ်(unit) သတိပြုပါ။

IP ယူနစ် ပုံသေနည်း	SI ယူနစ် ပုံသေနည်း
Q_s (Btu/h) = 1.1 x CFM x $(t_2 - t_1)$°F	**Q_s (watt)** = 1.232 x L/s x $(t_2 - t_1)$°C
Q_L (Btu/h) = 0.68 x CFM x $(W_2 - W_1)$	**Q_L (watt)** = 3012 x L/s x $(W_2 - W_1)$
Q_{Total} (Btu/h) = 4.5 x CFM x $(h_2 - h_1)$	**Q_{Total} (watt)** = 1.2 x L/s x $(h_2 - h_1)$

၂.၁၂ Psychrometric Analysis

အောက်ပါ အချက်အလက်များကို အခြေခံ၍ မိမိ ဒီဇိုင်းလုပ်မည့် supply air condition နှင့် cooling coil capacity တို့ကို တွက်ယူနိုင်သည်။

(၁) Room sensible and latent heat gain (heat load calculation မှ ရရှိနိုင်သည်။)

(၂) Outside and inside design condition (တည်နေရာကို လိုက်၍ ကွဲပြားသည်။ Weather data မှ ရရှိနိုင်သည်။)

(၃) Ventilation(outside air) requirement(အခန်းအမျိုးအစား နှင့် အသုံးပြုပုံကို လိုက်၍ ကွဲပြားသည်။)

(၄) Supply air ၏ CFM သို့မဟုတ် Dry Bulb တို့ ဖြစ်သည်။

ဒီဇိုင်းလုပ်ရမည့် အခန်းအမျိုးအစား၊ အသုံးပြုပုံ(application)ကို မူတည်၍ supply air CFM နှင့် Dry Bulb တို့ကို သတ်မှတ် ရွေးချယ်ရသည်။ သက်ဆိုင်ရာ application ကို လိုက်၍ ကန့်သတ်ချက်များ(limitation) ရှိတတ်သည်။ Supply air CFM အပေါ်တွင် မူတည်၍ duct အရွယ်အစား(size) ရွေးချယ်ရသည်။ Duct အရွယ်အစား(size) ကြီးမားပါက တပ်ဆင်ရန်နေရာ အခက်အခဲ ဖြစ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် staleness သို့မဟုတ် draft စသည့် သက်သောင့်သက်သာ မဖြစ်စေမှု(discomfort)များကို ရှောင်ရန် နှင့် မများလွန်း၊ မနည်းလွန်းသော သင့်လျော်သည့် CFM ကို ရွေးချယ်ရသည်။ လက်တွေ့ ဒီဇိုင်းလုပ်ရာတွင် ASHRAE ၊SMACNA ၊ ANSI နှင့် AISI မှ data များ၊ အကြံပေးချက်(recommendation)များကို မှီငြမ်း ကိုးကားနိုင်သည်။

ကုမ္ပဏီတစ်ခု၏ ရုံးခန်းတစ်ခုကို အောက်ပါ ဒီဇိုင်း data များဖြင့် air conditioning system တစ်ခု တပ်ဆင်ရန် ဖြစ်သည်။

RSCL သည် 740,000 Btu/h ဖြစ်ပြီး RLCL သည် 150,000 Btu/h ဖြစ်သည်။ အခန်းပြင်ပရှိ (outdoor) design condition သည် 94°F Dry Bulb နှင့် 75°F Wet Bulb ဖြစ်သည်။ အခန်းအတွင်းရှိ (indoor) design condition သည် 78°F Dry Bulb နှင့် 50 % RH ဖြစ်သည်။

ပြင်ပလေ(outside air) စီးနှုန်းသည် 6730 CFM ဖြစ်သည်။ Supply air ၏ အပူချိန်ခြားနားချက်(temperature difference)သည် 20°F ဖြစ်သည်။ အောက်ပါတို့ကို ရှာပါ။

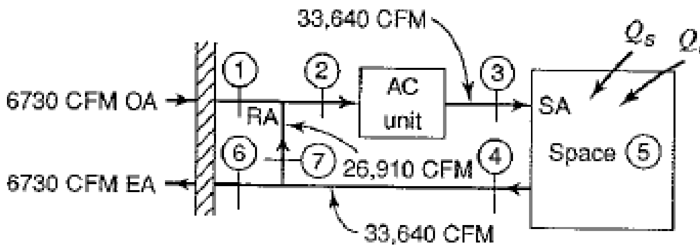
(က) Supply air CFM

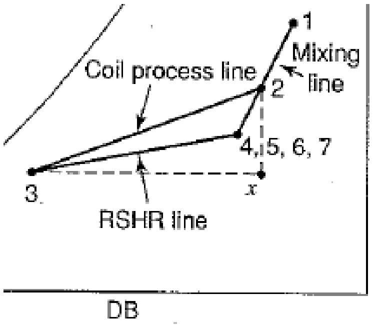
(ခ) Supply air conditioning

(ဂ) Conditioning entering cooling coil

(ဃ) Cooling coil sensible ၊ latent and total load

Psychrometric နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ပြဿနာ(problem)များကို ပုံသေနည်းများဖြင့် တွက်ယူနိုင်သလို schematic diagram များ ရေးဆွဲ၍လည်း တွက်ယူနိုင်သည်။ နည်းနှစ်နည်း စလုံးကို ကျွမ်းကျင်စွာ အသုံးပြုနိုင်ခြင်း၊ ဆန်းစစ်(analyze)နိုင်ခြင်းသည် အလေ့အကျင့်ကောင်း("good practice")များ ဖြစ်သည်။





ပုံ ၂-၇၀ Schematic diagram နှင့် တွဲ၍ Psychrometrics chart ပေါ်တွင် line များ ရေးဆွဲထားပုံ

အခန်းအတွင်းသို့ ပြင်ပလေ(outside air)ထည့်ပေးခြင်းကြောင့် တူညီသည့် ပမာဏရှိသည့် exhaust air ကို ဖယ်ထုတ်ပစ်ရန် လိုအပ်သည်။ လက်တွေ့တွင် exhaust air အတွက် သီးသန့် duct တပ်ဆင်ထားလေ့ မရှိပေ။

(က) RSCL = 1.1 x CFM_3 x (t_4-t_3)

$$CFM_3 = \frac{RSCL}{1.1(t4 - t3)} = \frac{740{,}000}{1.1\, x(20)} = 33{,}640\ CFM$$

(ခ) Dry $Bulb_3$ =78 - 20 = 58°F ကျန်သည့် supply air condition ကို ရှာရန်အတွက် RSHR လိုင်းကို chart ပေါ်တွင် ရေးဆွဲရန် လိုအပ်သည်။ လိုင်း ၏ slope ကို ရှာပါ။

$$RSHR = \frac{RSCL}{RTCL} = \frac{740{,}000}{890{,}000} = 0.83$$

(ဂ) RSHR လိုင်း နှင့် 58°F Dry Bulb လိုင်းတို့၏ ဆုံမှတ်/ဖြတ်မှတ်မှ ကျန်သည့် supply air condition ကို ရနိုင်သည်။
Point 3 ၏ WB သည် 56.3°F ဖြစ်သည်။

(ဃ) Cooling coil ၏ အတွင်းသို့ ဝင်လာသော လေ(entering air)သည် return air နှင့် ပြင်ပလေ(outside air)တို့ ပေါင်းထားသည် mixed air ဖြစ်သည်။

Mixed air ၏ ပုံသေနည်းမှာ

$$DB_2\ x\ \mathbf{CFM_2} = (DB_1\ x\ \mathbf{CFM_1}) + (DB_7\ x\ \mathbf{CFM_7})$$

$$DB_2 = \frac{(DB_1\ x\ \mathbf{CFM_1}) + (DB_7\ x\ \mathbf{CFM_7})}{\mathbf{CFM_2}} = \mathbf{81.2°F}$$

Mixing line point 1 မှ point 7 ကို ဆက်၍ မျဉ်းတစ်ကြောင်း ဆွဲပါ။ ထိုလိုင်း နှင့် 81.2°F Dry Bulb ဖြတ်မှတ်သည် point 2 ဖြစ်သည်။ Point 2 သည် cooling coil အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့်လေ(entering air)၏ အခြေအနေ(condition)ဖြစ်သည်။ WB_2 သည် 67.2°F ဖြစ်သည်။

(c) Point 2 သည် ဝင်လေ(entering air) ၏ point ဖြစ်ပြီး point 3 သည် အထွက်လေ(leaving air)၏ point ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် point 2 နှင့် point 3 ကို ဆက်လျှင် coil process လိုင်းကို ရရှိသည်။

Coil sensible load မှာ

$$\mathbf{Qs = 1.1 \times CFM_2 \times (Dry\ Bulb_2 - Dry\ Bulb_3)}$$
$$= 1.1 \times 33{,}640\ X\ (81.2-58)$$
$$= 858{,}500\ Btu/hr$$

Coil latent load မှာ

$$\mathbf{Q_L = 0.68 \times CFM_2 \times (W_2 - W_3)}$$
$$= 0.68 \times 233{,}640 \times (77.5-65.0)$$
$$= 286{,}000\ Btu/hr$$

Total cooling load

$$Q_t = Q_s + Q_L = 1{,}145{,}000\ Btu/hr$$
$$= 95.4\ \text{Refrigeration Ton (RT)}$$

ရရှိသည် အဖြေများကို တခြားနည်းဖြင့်လည်း ပြန်စစ်နိုင်သည်။ ပုံ(၂-၇၁)တွင် ဖော်ပြထားသည့် အတိုင်း Q_S(Coil sensible load)သည် h_x မှ h_3 အထိ အကွာအဝေး(horizontal distance) ဖြစ်သည်။

$$\mathbf{Q_S = 4.5 \times CFM \times (h_x - h_3)}$$
$$= 4.5 \times 33{,}640(29.8-24.1)$$
$$= 862{,}900\ Btu/hr$$

Q_L(Coil latent load)သည် h_2 မှ h_x အထိ အကွာအဝေး(vertical distance) ဖြစ်သည်။

$$\mathbf{Q_L = 4.5 \times CFM \times (h_2 - h_x)}$$
$$= 4.5 \times 33{,}640 \times (31.7-29.8)$$
$$= 287{,}600\ Btu/hr$$

Q_t(Total cooling load)သည် h_2 မှ h_3 အထိ အကွာအဝေး(distance) ဖြစ်သည်။

$$\mathbf{Q_t = 4.5 \times CFM \times (h2 - h3)}$$
$$= 4.5\ X\ 33{,}640 \times (31.7-24.1)$$
$$= 1{,}150{,}000\ Btu/hr = 95.4\ RT$$

RSHR လိုင်း ၊ mixing air လိုင်း နှင့် coil process လိုင်းတို့ကို ကျွမ်းကျင်စွာ ရေးဆွဲနိုင်ရန် ထပ်ခါထပ်ခါ လေ့ကျင့်ရန် လိုအပ်သည်။

ဤ ဥပမာ အရ cooling coil ၏ load သည် room heat load ထက် ပို၍ များရသည့် အကြောင်းမှာ coil သည် room air အပြင် ပြင်ပလေ၌ရှိနေသည့်အပူ(outside air heat)ကို ဖယ်ထုတ် ပေးရသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ပြင်ပလေ(outside air)တွင် ရှိသောအပူ(heat)ကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(remove)လုပ်ရန် လိုအပ်သော load ကို ပြင်ပလေကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော cooling load သို့မဟုတ် outside air load ဟုခေါ်သည်။

ပြီးခဲ့သည့် ဥပမာများမှ ပြင်ပလေ(outside air)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော cooling load ကို ရှာပါ။

$$Q_{Total}(\text{Outside Air}) = 4.5 \times CFM_{OA} \times (h1 - h5)$$
$$= 4.5 \times 6730 \times (38.6 - 30.1)$$
$$= 257{,}400 \text{ Btu/hr}$$

Cooling coil မှ ဆောင်ရွက်ပေးရမည့် total cooling load သည် အခန်းအတွင်းသို့ စီးဝင်နေသည့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(room load)၊ အခန်းအတွင်းမှ ထွက်လာသည့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း နှင့် အခန်းအတွင်း သို့ ထည့်ပေးရမည့် ပြင်ပလေမှ သယ်ဆောင်လာသည့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(outside air load) တို့ ၏ စုစုပေါင်း တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။

RSCL	= 740,000 Btu/hr
RLCL	= 150,000
Q_{Total}(OA)	= 257,400
Coil Load	= 1,147,000 Btu/hr

၂.၁၃ Contact Factor (CF)၊ Bypass Factor (BF)နှင့် Effective Surface Temperature (EST).

Contact Factor(CF) ဆိုသည်မှာ cooling coil ၏ အေးနေသော မျက်နှာပြင်(surface)ကို ထိပြီး ဖြတ်သန်းသွားသော လေပမာဏကို ဆိုလိုသည်။ Bypass Factor(BF)ဆိုသည်မှာ cooling coil ၏ မျက်နှာပြင်(surface)ကို မထိဘဲ ဖြတ်သန်းသွားသည့် လေပမာဏကို ဆိုလိုသည်။

$$\boldsymbol{Contact\ Factor(CF) + Bypass\ Factor(BF) = 1}$$

Effective Surface Temperature(EST)ဆိုသည်မှာ cooling coil ၏ ပျမ်းမျှအပူချိန်(average temperature)ကို ဆိုလိုသည်။ Cooling coil ရှိ fin ကလေးများ၏ အပူချိန်သည် coil ၏ နေရာကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ Cooling coil ၏ မျက်နှာပြင်အချိန်သည် တစ်နေရာ နှင့် တစ်နေရာ မတူညီကြပေ။

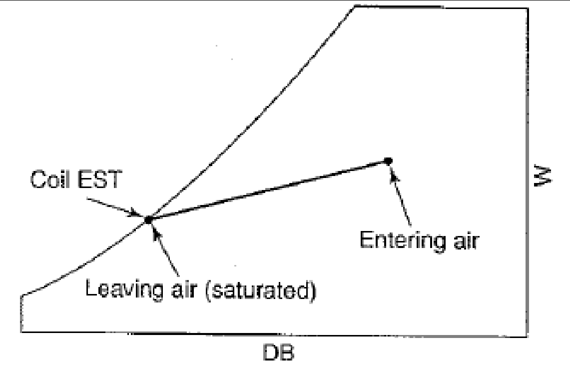
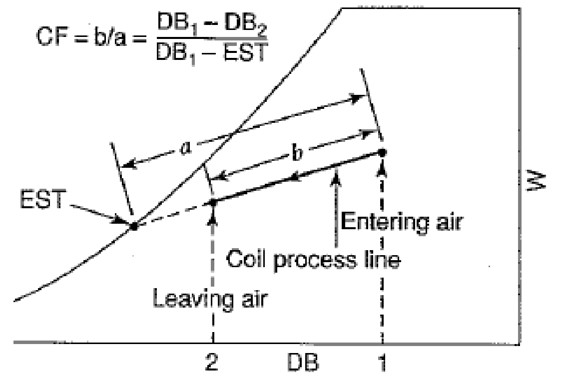
Mixed air အားလုံးသည် cooling coil ၏ အေးနေသည့် မျက်နှာပြင်(surface)ကို ထိ၍ ဖြတ်သန်း သွားလျှင် CF တန်ဖိုးသည် (၁.၀) ဖြစ်သည်။ ထို့အတွက် cooling coil မှ ဖြတ်သန်းသွားသည့် mix air အားလုံးသည် Effective Surface Temperature(EST)ဖြင့် ထွက်ခွာသွားသည်။ အကယ်၍ EST သည် Dew Point အပူချိန်ထက် နိမ့်ခဲ့လျှင် အထွက်လေ(leaving air)သည် saturated air ဖြစ်သည်။ အဘယ့်ကြောင့် ဆိုသော် ရေငွေ့(moisture)ကို cooling coil က ဖယ်ထုတ် လိုက်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Dry Bulb အပူချိန် ကျဆင်းသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ သို့သော် ဝင်လာသော လေအားလုံးသည် cooling surface ကို ထိရန် လက်တွေ့တွင် လုံးဝ မဖြစ်နိုင်ပေ။ (လက်တွေ့အခြေအနေတွင် မည်သည့်အခါမျှ CF တန်းဖိုးသည် (၁.၀) မဖြစ်နိုင်ပေ။)

လေအားလုံးသည် coil ၏ မျက်နှာပြင်(surface)ကို တိုက်ရိုက် ထိတွေ့မှု မရှိနိုင်သောကြောင့် cooling coil တိုင်းလိုလိုတွင် Bypass Factor(BF) ရှိမြဲ ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် အထွက်လေ(leaving air)သည် saturated air မဖြစ်နိုင်ပေ။ Cooling surface ကို bypass ဖြစ်သွားသည့် အထွက်လေ(leaving air)၏ ပမာဏသည် cooling coil ၏ tube အရွယ်အစား(size)၊ fin ကလေးများ အကြား တစ်ခုနှင့် တစ်ခု အကွာအဝေး(fin spacing)၊ air face velocity နှင့် arrangement of rows တို့ ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

CF တန်ဖိုးသည် coil process လိုင်း၏ အရှည်ပမာဏကို ထို coil process လိုင်း၏ EST အထိ ရောက်အောင် ဆွဲဆန့်၍ ရသည့် အရှည်ပမာဏနှင့် စားထားသည့် အချိုးပင် ဖြစ်သည်။

ပုံ (၂-၇၂)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း $CF = \frac{b}{a}$ ဖြစ်သည်။ Coil EST သည် coil process လိုင်း နှင့် 100% RH လိုင်း (saturated line) တို့၏ ဖြတ်မှတ်(intersection point) ဖြစ်သည်။

Contact Factor(CF)၏ တန်ဖိုးကို chart ပေါ်တွင် ဂရပ်နည်း(graphical method)ဖြင့် ရှာယူနိုင်သည်။ ထိုသို့ ရှာယူရာတွင် ဝင်လေအပူချိန်(entering air temperature)၊ ထွက်လေအပူချိန်(leaving air temperature) ၊ coil process လိုင်း နှင့် Effective Surface Temperature(EST) တို့ကို သိထားရန် လိုအပ်သည်။

	
ပုံ ၂-၇၁ Cooling Process line (CF=1)	ပုံ ၂-၇၂ Determining CF for a cooling coil

အထက်ပါပုံအရ CF သည် အပူချိန်(temperature) အချိုးပေါ်တွင် မူတည်သည်။

$$\mathbf{CF} = \frac{\mathbf{b}}{\mathbf{a}} = \frac{\boldsymbol{DB_1 - DB_2}}{\mathbf{DB_1 - EST}}$$

Dry Bulb1 = Dry Bulb temperature of air entering to the cooling coil (°F)

Dry Bulb2 = Dry Bulb temperature of air leaving to the cooling coil (°F)

EST = Effective Surface temperature of coil (°F)

ဥပမာ - Cooling coil တစ်ခုသည် အပူချိန် 85°F DB နှင့် 69°F WB ရှိသော ဝင်လေ(entering air) condition ကို 56°F DB နှင့် 54°F WB ထွက်လေ(leaving air) condition သို့ရောက်အောင် ပြုလုပ်နိုင်လျှင် Effective Surface Temperature (EST) ၊ Contact Factor (CF) နှင့် Bypass Factor (BF) တို့ကို ရှာပါ။

(က) Chart ပေါ်တွင် ဝင်လေ(entering air)ကို point 1 အဖြစ် ထွက်လေ(leaving air)ကို point 2 အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး coil process လိုင်းကို ဆွဲပါ။

(ခ) Coil process လိုင်း ကို saturated လိုင်း သို့မဟုတ် 100% RH လိုင်းသို့ ရောက်အောင် ဆန့်၍ ဆွဲပါ။

(ဂ) Contact Factor(CF)ကို ညီမျှခြင်း(equation)ဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\mathbf{CF} = \frac{\mathbf{b}}{\mathbf{a}} = \frac{\boldsymbol{DB_1 - DB_2}}{\mathbf{DB_1 - EST}} = \frac{\mathbf{85 - 56}}{\mathbf{85 - 50}} = \mathbf{0.83}$$

ထို့ကြောင့် Bypass Factor(BF) သည် BF = 1 - CF = 1 - 0.83 = 0.17 ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေပမာဏ၏ ၁၇% သည် coil ရှိ fin များ၏ မျက်နှာပြင်ကို မထိဘဲ ဖြတ်သွားသည်။

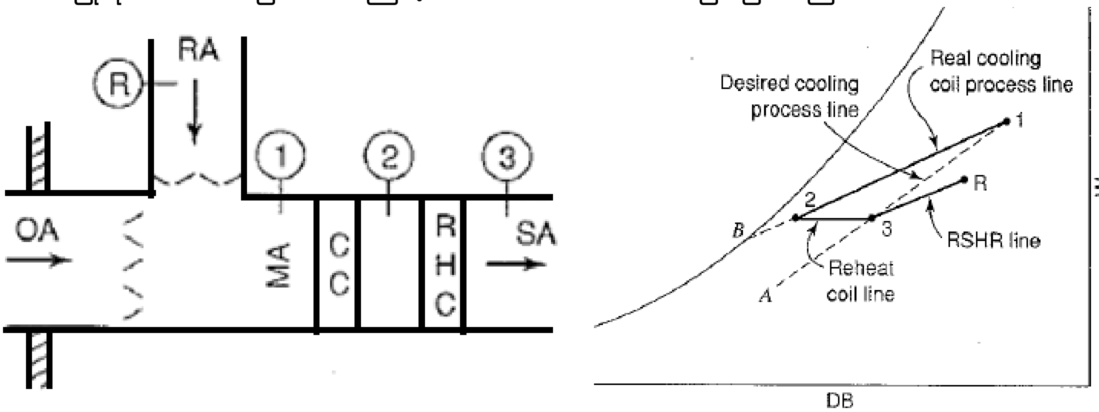
Coil ထုတ်လုပ်သူများသည် coil selection ဇယားတွင် CF ၊ BF နှင့် EST တန်ဖိုးများကို ဖော်ပြထားလေ့ ရှိသည်။ Cooling coil ရွေးချယ်နည်းများကို အခန်း-၃ (Chapter-3)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

မတ်စောက်သော(steep) coil process လိုင်းသည် 100% RH လိုင်း(saturated line) နှင့် ဖြတ်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ အဓိပ္ပာယ်မှာ ထို steep coil process လိုင်းရအောင် ပြုလုပ်ပေးနိုင်မည့် cooling coil ကို လက်တွေ့တွင် တည်ဆောက်ရန် မဖြစ်နိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထိုသို့ဖြစ်ခြင်းကို reheat ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် ဖြေရှင်းနိုင်သည်။

၂.၁၄ Reheat လုပ်ခြင်း

Cooling coil တစ်ခုမှ ထွက်လာသည့် လေ(leaving air)ကို အခန်းတွင်းသို့ မထည့်ပေးခင်(supply မလုပ်ခင်) အပူပေးခြင်း(heating) ကို reheat လုပ်သည်ဟု ခေါ်ဆိုသည်။

Hot water coil ၊ steam coil သို့မဟုတ် electric heater တို့ကို အသုံးပြု၍ reheat ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Reheat ပြုလုပ်သော coil ဖြစ်သောကြောင့် Reheat Coil (RHC) ခေါ်ခြင်းဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၇၃ Reheat coil ကို အသုံးပြု၍ အလိုရှိသည့်(satisfactory) supply air condition ကို ရရှိပုံ

လိုအပ်သော supply air condition ကို ရရှိရန် အတွက် reheat ပြုလုပ်လေ့ ရှိကြသည်။

(၁) Room Latent Cooling Load(RLCL)အပိုင်းသည် Room Total Cooling Load(RTCL) ထက်များလွန်းနေလျှင် မတ်စောက်သည့်(steep) RSHR လိုင်း ဖြစ်ပေါ်ကာ saturation line နှင့် မဖြတ်တော့ပေ။ ထိုအခြေအနေမျိုးတွင် reheat လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

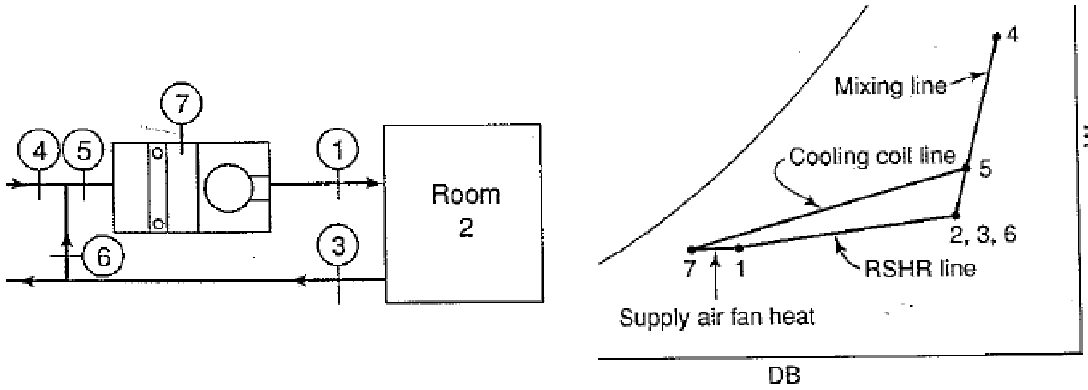
(၂) Cooling coil အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့်လေများ အားလုံးနီးပါးသည် 100% outside air ဖြစ်လျှင် သော်လည်းကောင်း၊ humidity level မြင့်လျှင် သော်လည်းကောင်း သို့မဟုတ် မတ်စောက်သည့် (steep) RSHR လိုင်း ဖြစ်နေသည့်အခါတွင် သော်လည်းကောင်း reheat လုပ်ရန် လိုအပ်ကောင်း လိုအပ်နိုင်သည်။ အချို့သော စက်မှုလုပ်ငန်း(industrial application) များတွင် အလွန်နိမ့်သော RH(%)ရရှိရန် လိုအပ်သည်။

ထိုအခါမျိုးတွင် ကြီးမားသော cooling coil သို့မဟုတ် ပိုများသည့် capacity ရှိသည့် cooling coil ကို dehumidification လိုအပ်ချက်အရ ရွေးချယ်ကြသည်။ ထိုကဲ့သို့ ကြီးမားသော cooling coil ကြောင့် supply air အပူချိန်သည် အလွန် နိမ့်လေ့ရှိသည်။ ထိုအချိန်အခါမျိုးတွင် reheat လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ သို့သော် စင်ကာပူနိုင်ငံတွင် comfort air conditioning များအတွက် reheat ပြုလုပ်ခြင်းကို ခွင့်မပြုပေ။

၂.၁၅ Fan မှ ထွက်သော အပူ(Heat)များကြောင့် Fan Heat Gain(FHG) ဖြစ်ပေါ်ခြင်း

Supply air fan နှင့် return air fan တို့မှ ဖြစ်ပေါ်လာသော အပူကြောင့် လေတွင် အပူတိုးခြင်း(heat gain)ဖြစ်ပေါ်သည်။ ဖြစ်ပေါ်လာသော heat gain သည် cooling coil ၏ total cooling capacity နှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် မပြောပလောက်ပေ။ Psychrometric analysis တွင် ထည့်သွင်း တွက်ချက်မှု မပြုလုပ်ကြပေ။

Fan မော်တာ၏ စွမ်းအား(power)ကြီးမားလေ၊ fan မှ ဖြစ်ပေါ်လာသော heat gain များလာလေ ဖြစ်သည်။ သို့သော် အရွယ်အစား သေးငယ်သော fan များအတွက် fan heat gain ကို ထည့်သွင်း တွက်ချက်ရန် မလိုအပ်ပေ။ Fan heat gain ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော အပူချိန် မြင့်တက်မှုသည် (1°F)ထက် ပိုများပါက Psychrometric analysis တွင် ထည့်သွင်း တွက်ချက်ရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၂-၇၄ တွင် Draw-through supply air fan ၏ heat gain effect (point 7 မှ point 1)

Air Handling Unit (AHU)များတွင် Draw-through နှင့် Blow-through ဟူ၍ နှစ်မျိုးကွဲပြားသည်။ Draw-through အမျိုးအစား Air Handling Unit တွင် fan သည် cooling coil ၏ အောက်ဘက်(down steam)တွင် တည်ရှိသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် fan သည် cooling coil မှ လေကို စုပ်ယူသည်။

Fan heat gain ကြောင့် cooling coil မှ ဖြတ်သန်း စီးဆင်းလာသော လေ၏ အပူချိန်ကို မြင့်တက်စေသည်။ ထိုကဲ့သို့ သော AHU မျိုးအတွက် FHG ကို Psychrometric analysis တွင် ထည့်သွင်း တွက်ချက်ရန် လိုအပ်သည်။

Blow-through အမျိုးအစား Air Handling Unit (AHU)များတွင် fan သည် cooling coil ၏ အထက်ဘက်(up steam)တွင် တည်ရှိသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် fan သည် လေကို cooling coil ဆီသို့ မှုတ်ထည့်ပေးသည်။ ထို့ကြောင့် cooling coil သည် FHG ကြောင့် ပိုများသည့် cooling load ကို ထမ်းဆောင်ရသည်။

ဥပမာ

16°C Dry Bulb အပူချိန်ရှိသော လေကို 34°C Dry Bulb အပူချိန် သို့ရောက်အောင် hot water heating coil ဖြင့် အပူပေးရန် လိုသည်။ အပူပေးရမည့် လေလည်ပတ်နှုန်းသည် 68 kg/s ဖြစ်လျှင် heat input နှင့် hot water mass flow ကို ရှာပါ။ Hot water coil အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် ရေ(entering hot water) အပူချိန်သည် 85°C ဖြစ်ပြီး ထွက်သွားသည့် ရေ(leaving hot water) အပူချိန်သည် 74°C ဖြစ်သည်။ အခန်းအတွင်းရှိ လေ(indoor air)၏ specific heat capacity ကို 1.02 kJ/kg K ဖြင့် တွက်ပါ။

$$\boldsymbol{Heat\ gain\ by\ air\ (Q) = m \times Cp \times \Delta t}$$
$$\boldsymbol{= 68 \times 1.02 \times (34 - 16) = 1{,}248\ kW}$$

$$Heat\ loss\ from\ hot\ water\ (1{,}248\ kW) = Heat\ gain\ by\ the\ air(1{,}248\ kW)$$

$$\boldsymbol{Heat\ loss\ from\ hot\ water\ (1{,}248\ kW)\ Q = m \times Cp \times \Delta t}$$

$$mass\ flow\ rate\ of\ hot\ water\ = \frac{1{,}248}{4.187 \times (85 - 74)} = 27\ kg\ per\ sec$$

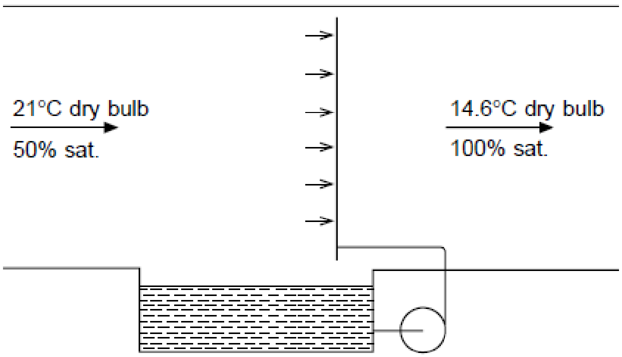
ဥပမာ - အဆောက်အဦ တစ်ခုအတွင်းရှိ အခန်းတစ်ခုကို 500 kW အပူပေးရန်(heating) လိုအပ်သည်။ Heater coil သို့ ရောက်ရှိလာသည့် လေ၏ အပူချိန်သည် 19°C Dry Bulb ဖြစ်ပြီး လည်ပတ်နှုန်းမှာ 68 kg/s ဖြစ်လျှင် heater မှ ထွက်သွားသည့် လေအပူချိန်(air supply temperature)ကို ရှာပါ။

$$\boldsymbol{Heat\ gain\ by\ air(Q) = m \times Cp \times \Delta t = 68 \times 1.02 \times (t - 19) = 500\ kW}$$

$$Supply\ air\ temperature\ (C) = 19 + \frac{500}{68\ x\ 1.02} = 19 + 7.2 = 26.2\ °C$$

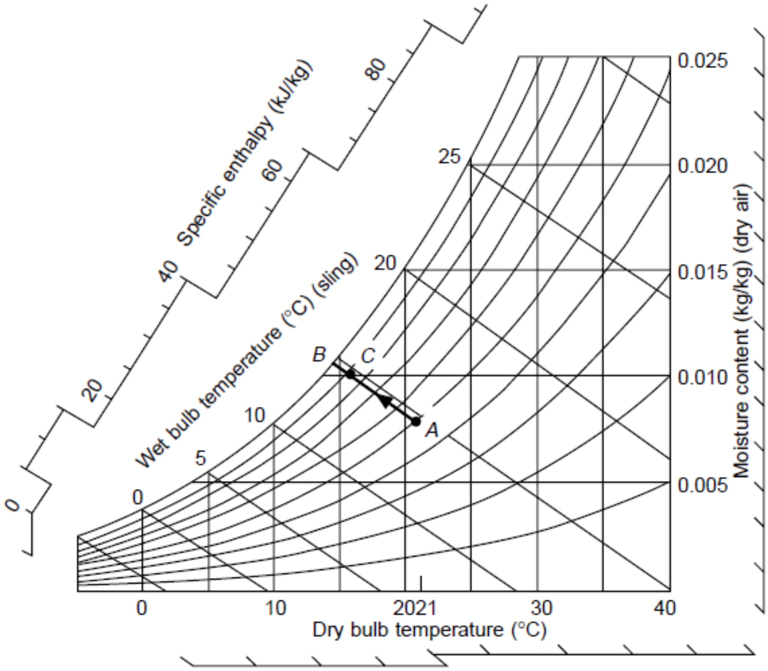
၂.၁၆ Water Spray into Air Steam (Adiabatic Saturation)

Saturated မဖြစ်သေးသည့် airstream ထဲသို့ ရေမှုန်များ ဖြန်းပေးခြင်း(water spraying ပြုလုပ်ခြင်း) ကြောင့် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်ပေါ်သည်။ ရေသည် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည့် latent heat ကို လေမှ စုပ်ယူသောကြောင့် လေတွင် အပူဆုံးရှုံးခြင်း(sensible heat loss)ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုသို့ sensible heat ဆုံးရှုံးခြင်း(loss)ကြောင့် လေ၏ Dry Bulb အပူချိန် ကျဆင်းသွားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အေးသွားသည်။ သို့သော် လေထဲသို့ အပူထည့်ခြင်း(heat adding) သို့မဟုတ် အပူထုတ်ယူခြင်း(heat removing) မပြုလုပ်သောကြောင့် လေ၏ Enthalpy တန်ဖိုးသည် မပြောင်းလဲပေ။ အောက်တွင် ဥပမာဖြင့် psychometric chart ကို အသုံးပြု၍ ရှင်းပြထားသည်။



ပုံ ၂-၇၅ Water spray into air steam

အပူချိန် 21°C Dry Bulb နှင့် 50% saturation အခြေအနေ၌ ရှိသော လေ (airstream)ထဲသို့ ရေများကို ပက်ဖြန်းခြင်း (spray) ပြုလုပ်သည့် အခါ ထိုရေ နှင့်လေ အရော(mixture)သည် မည်သည့် ultimate condition သို့ရောက် ရှိနိုင်မည်နည်း။ အပူထည့်ခြင်း (heat adding) သို့မဟုတ် အပူထုတ်ယူခြင်း(heat removal) မပြုလုပ် သောကြောင့် enthalpy သည် ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။



ပုံ ၂-၇၆ Water Spray into Air Steam

ထို့ကြောင့် psychometric chart ပေါ်တွင် ချ၍ ကြည့်လျှင် process လိုင်းသည် constant enthalpy (41.08 kJ/kg)လိုင်း တစ်လျှောက်တွင်သာ ရှိနေရမည်။ လေမှ အပူဆုံးရှုံးခြင်း (sensible heat loss)သည်

ရေတွင် အပူတိုးခြင်း(latent heat gain) ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေမှ sensible heat ကို latent heat အဖြစ် ရေမှ စုပ်ယူသွားခြင်း ဖြစ်သည်။

ထိုရေနှင့် လေအရော(mixture)သည် saturation အခြေအနေသို့ ရောက်သည့်အခါ ရေများ လုံးဝ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်နိုင်တော့မည် မဟုတ်ပေ။ ဝင်လာသည့်လေ၏ enthalpy သည် 41.08 kJ/kg ဖြစ်ပြီး ထွက်သွားသည့်လေ၏ enthalpy သည် 41.08 kJ/kg ဖြစ်သည်။ တူညီကြသည်။

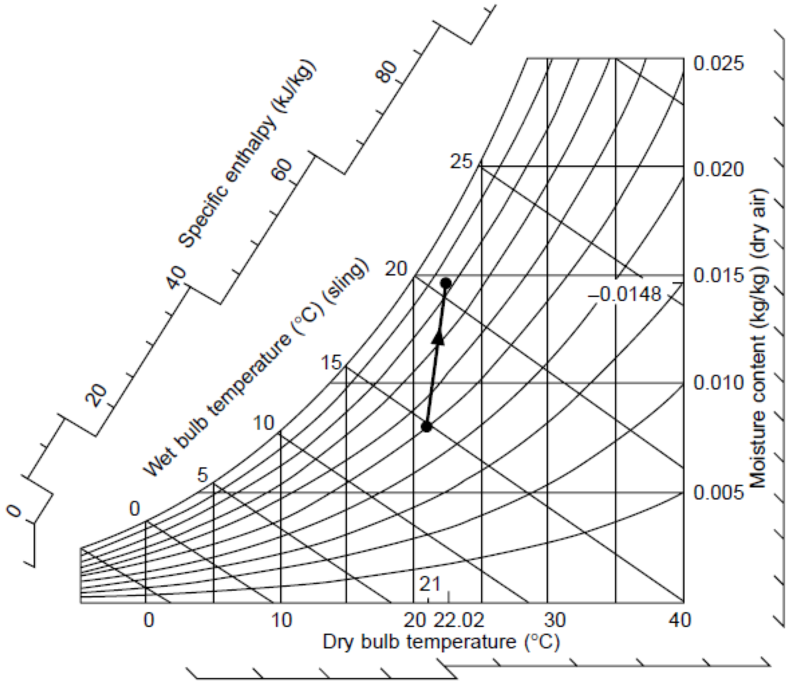
ရောက်နိုင်သည့် နောက်ဆုံးအခြေအနေ(final condition)မှာ 14.6°C Dry Bulb ၊ 14.6°C Wet Bulb၊ 14.6°C Dew Point ၊ 100% saturated ဖြစ်သည်။ Ultimate condition ကို ရောက်ရှိရန် အလွန်ခက်ခဲသည်။ လက်တွေ့တွင် အဖြစ်နိုင်ဆုံးသော အခြေအနေမှာ saturation point နှင့် အနီးဆုံးနေရာ ဖြစ်သည်။ ပုံ(၂-၇၆) တွင် ပြထားသည့် အမှတ်(point C) နေရာ ဖြစ်သည်။

AC/AB အချိုးသည် spray system ၏ effectiveness အဖြစ်သည်။

Adiabatic (constant enthalpy) လိုင်း AC သည် constant Wet Bulb လိုင်းနှင့် အနီးဆုံး အပြိုင် ဖြစ်နေသည်။ 0.2K ခန့် အမှား(error) ရှိနိုင်သည်။ သို့သော် constant Wet Bulb ဟု သတ်မှတ်ပြီး မြန်ဆန် လွယ်ကူစွာ တွက်ယူ နိုင်သည်။ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) နှင့် ရေငွေ့(water vapor)တို့၏ mixture အတွက် သာမှန်သည်။ Gas mixture များအတွက် တွက်ရန် မမှန်ကန်ပေ။

၂.၁၇ ရေနွေးငွေ့ထည့်ခြင်း (Steam Injection)

လေထဲသို့ ရေငွေ့(moisture)များ ရောက်ရှိသွားစေရန် အတွက် ရေမှုန်ဖြန်းခြင်း(water spraying) ပြုလုပ်နိုင်သကဲ့သို့ ရေနွေးငွေ့ထည့်ခြင်း(steam injection)လည်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Steam သည် ရေငွေ့(water vapor form)တစ်မျိုးဖြစ် သောကြောင့် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်ရန် မလိုသောကြောင့် sensible heat စုပ်ယူရန် မလိုအပ်ပေ။ ထိုကဲ့သို့ ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် လေသည် အေးသွားလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ (Dry Bulb အပူချိန် နိမ့်သွားလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။) Dry Bulb အပူချိန် မပြောင်းလဲပါ။ လေထဲသို့ရောက်လာသည့် steam ၏ အပူချိန်သည် 100°C ဖြစ်လိမ့်မည်။ 100°C ထက်ပိုပူသည့် superheated အခြေအနေဖြစ်လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ထွက်လေ၏ နောက်ဆုံး အပူချိန်သည် ဝင်လေ၏ အပူချိန်ထက် ပိုမြင့်လိမ့်မည်။



Moisture content of air before = 0.0079 kg/kg

လေထဲသို့ထည့် လိုက်သည့် ရေငွေ့(moisture added) ပမာဏ 1kg / 150kg သည် 0.0067 kg of water/kg of air နှင့် ညီမျှသည်။

နောက်ဆုံး အခြေအနေ၌ လေထဲတွင် ရှိနေမည့် ရေငွေ့ ပမာဏ (final moisture content) သည် 0.0148 kg/kg ဖြစ်သည်။

ပုံ ၂-၇၇ ရေနွေးငွေ့ထည့်ခြင်း (steam injection) ဥပမာ

Steam injection ဥပမာ

အပူချိန် 100°C ရှိသော ရေနွေးငွေ့(steam)ကို အပူချိန် 21°C Dry Bulb ၊ 50% saturation ရှိသော လေ(airstream)ထဲသို့ 1 kg steam/150 kg dry air နှုန်းဖြင့် ထည့်လျှင် ရရှိမည့် နောက်ဆုံး အခြေအနေ(final condition) ကိုရှာပါ။

နောက်ဆုံး အခြေအနေတွင် ရှိမည့် Dry Bulb အပူချိန်ကို ရေနွေးငွေ့(steam)၏ specific heat capacity အသုံးပြု၍ အကြမ်းဖျင်း ခန့်မှန်းနိုင်သည်။ အပူချိန် 20°C –100°C အတွင်းရှိ ရေနွေးငွေ့(steam)၏ specific heat capacity သည် 1.972 kJ/kg ဖြစ်သည်။

$$\textbf{\textit{Heat lost by steam}} = \textbf{\textit{Heat gained by air}}$$

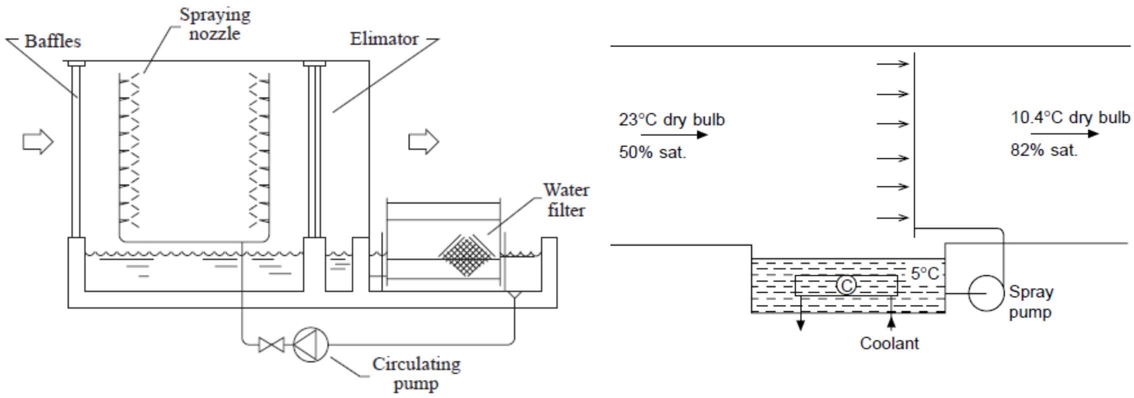
$$\mathbf{0.0067 \times 1.972(100 - \mathit{t}) = 1.006(\mathit{t} - 21)}$$

$$\mathbf{\mathit{t} = 22.02\,℃}$$

ရေနွေးငွေ့(steam)ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် humidity တန်းဖိုး နှင့် Dry Bulb အပူချိန်တန်းဖိုး အနည်းငယ် မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။

၂.၁၈ Chilled Water Air Washer

ပြီးခဲ့သည့် ဥပမာများတွင် အခန်းအပူချိန် ထက်မြင့်သော ရေကိုသာ အသုံးပြုသောကြောင့် လေ၏ အပူချိန်(final air condition)များစွာ မကျဆင်းပေ။ အကယ်၍ ဝင်လာသည့်လေ(entering air)၏ Dew Point ထက်နိမ့်သော chilled water ကို လေထဲသို့ ပက်ဖြန်း(spray)ပေးလျှင် လေထဲမှ ရေငွေ့(moisture)အချို့သည် condensation ဖြစ်ကာ ထွက်သွားလိမ့်မည်။ (Moisture will condense out of the air.)။ ထို့ကြောင့် air washer အထွက်လေတွင် ရေငွေ့ပါဝင်မှု(moisture content)လျော့နည်းခြင်းကို ဖြစ်စေနိုင်သည်။



ပုံ ၂-၇၈ Chilled water air washer

အထွက်လေ(leaving air)၏ အပူချိန်သည် ရေ၏ အအေးဆုံးအပူချိန်(initial water temperature *B*) သို့ရောက်နိုင်သည်။ သို့သော် လက်တွေ့တွင် single bank of spray ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် air washer ၏ ဖြစ်နိုင်သော saturation efficiency သည် ပုံ(၂-၈၁)မှ AC/AB အချိုးဖြစ်သည်။ ၅၀% မှ ၈၀% အထိသာ ဖြစ်နိုင်သည်။ Double spray bank air washer များ၏ ဖြစ်နိုင်သော saturation efficiency သည် AC/AB အချိုး ဖြစ်သည်။ ၈၀% မှ ၉၅% အထိ ဖြစ်နိုင်သည်။

ဥပမာ အပူချိန် 23°C Dry Bulb နှင့် 50% saturation လေသည် saturation efficiency 70% ပေးနိုင်သော single bank air washer အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သည်။ ပက်ဖြန်း(spray)နေသည့် chiller water အပူချိန်သည် 5°C ဖြစ်လျှင် ရောက်ရှိမည့် နောက်ဆုံးအခြေအနေ (final condition)ကို ရှာပါ။

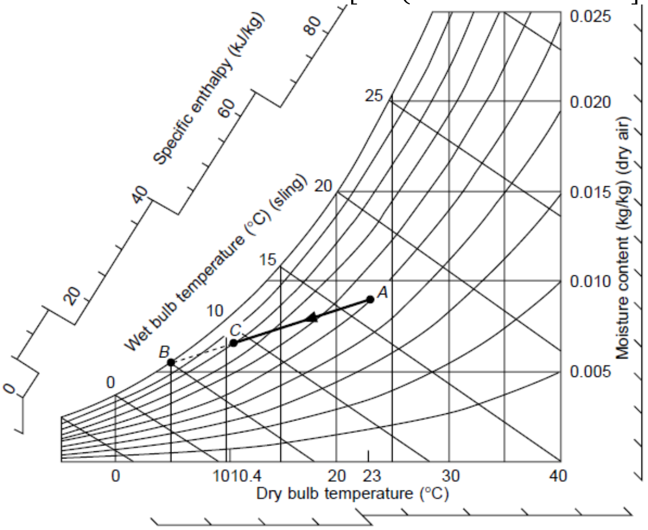
(a) Chart မှ ရရှိသည့် နောက်ဆုံးအခြေအနေ (final condition) သည် 10.4°C Dry Bulb နှင့် 82% saturation ဖြစ်သည်။

(b) အချိုးအရ(by proportion) Dry Bulb သည် 23°C မှ အပုံ(၁၀၀)ပုံလျှင် အပုံ(၇၀) အကွာအဝေးတွင် ရှိသည်။ Dry Bulb အပူချိန် သည် 23°C မှ 5°C အထိ နိမ့်ကျသွားသည်။

$$\mathbf{23 - [0.7(23 - 5)] = 10.4\,^\circ C}$$

လေထဲတွင် ရေငွေ့ပါဝင်မှု(moisture content)သည် ၇၀% ကျဆင်းသွားလိမ့်မည်။(0.008 9 kg/kg မှ 0.005 4 kg/kg အထိ) (i.e. saturated air at 5°C)

$$\mathbf{0.008\,9 - [0.7(0.008\,9 - 0.005\,4] = 0.006\,45\,kg/kg}$$



အထက်ပါ ဥပမာမှ အလေးချိန် တစ်ကီလိုဂရမ် ရှိသော လေထဲသို့ ရေ လေးကီလို ဂရမ်နှုန်းဖြင့် ထည့်ပေးလျှင် (spray လုပ်လျှင်) ရေအပူချိန် မည်မျှ မြင့်တက် လာမည်နည်း။

$$Enthalpy\ of\ air\ before = 45.79\,\frac{kJ}{kg}$$

$$Enthalpy\ of\ air\ after = 26.7\ kJ/kg$$

ပုံ ၂-၈၀ Chilled water air washer performance

$$\boldsymbol{Heat\ lost\ per\ kilogram\ air = 45.79\ kJ/kg - 26.7\ kJ/kg = 19.09\ kJ}$$

$$\boldsymbol{Heat\ gain\ per\ kilogram\ water = 19.09/4 = 4.77\ kJ}$$

$$\boldsymbol{Temperature\ rise\ of\ water = 4.77/4.187 = 1.1\ K}$$

၂.၁၉ လေ့ကျင့်ရန် ပုစ္ဆာများ

(၁) Psychrometric chart ကို အသုံးပြု၍ ပေးထားသည့် လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများမှ ကျန်ရှိသည့် လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများကို ရှာပါ။ A မှ E အထိ လွတ်နေသည့် အကွက်များတွင် သင့်လျော်သည့် တန်ဖိုးများကို ဖြည့်ပါ။

	DB (°F)	WB (°F)	Dew Pt (°F)	RH(%)	W (gr/ lb d.a)	ft³/lb (d.a)	Btu /lb
a	80°	60°					
b	75°			40%			
c		65°	50°				
d			50°	40%			
e	70°			70%			

(၂) 40°F Dry Bulb နှင့် 60% RH လေကို လျှပ်စစ်အပူပေးစက်(electric heater)ဖြင့် 80°F သို့ ရောက်အောင် အပူပေးလျှင် DP ၊ WB နှင့် RH တို့ကိုရှာပါ။ Psychrometric chart ပေါ်တွင် process လိုင်းကို ဆွဲပါ။

(၃) အဆောက်အဦတစ်ခုအတွင်း၌ မျက်နှာပြင်(surface)အပူချိန် 52°F ရှိသော ရေအေးပိုက်(cold water)

သည် အပူချိန် 75°F Dry Bulb ရှိသော အခန်းတစ်ခု အတွင်းတွင် ရှိနေသည်။ အခန်း၏ RH% သည် မည်သည့် တန်ဖိုးသို့ ရောက်လျှင် ပိုက်မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ရေသီးခြင်း(condensation) စတင် ဖြစ်ပေါ် မည်နည်း။

(၄) အပူချိန် 90°F Dry Bulb နှင့် 70°F Dry Bulb အခြေအနေတွင် ရှိသော လေကို 56°F DB နှင့် 54°F WB သို့ ရောက်အောင် cooling နှင့် dehumidification ဖြစ်စေသည့် process လိုင်းကို psychometric ပေါ်တွင် ဆွဲပြပါ။

(၅) ပုံသေနည်းကို အသုံးပြု၍ အထက်မှ ပုစ္ဆာ(၄)ကို ဖြေရှင်းပါ။

(၆) 5000 CFM လေစီးနှုန်း(air flow rate) ရှိသော Fan Coil Unit(FCU) တစ်ခုသည် 80°F Dry Bulb နှင့် 70% RH အခြေအနေ ဝင်လေ(entering air)ကို ထွက်လေ(leaving air) အပူချိန် 58°F Dry Bulb နှင့် 56.5°F WB သို့ ရောက်အောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ အောက်ပါ တို့ကို ရှာပါ။

(၁) Sensible load

(၂) Latent load

(၃) Total load

(၄) Moisture ဖယ်ထုတ်နှုန်းကို Gallon Per minute(GPM)ဖြင့် ဖော်ပြပါ။

(၇) အခန်းတစ်ခု၏ Room Sensible Cooling Load(RSRL)သည် 83,000 Btu/h ဖြစ်ပြီး၊ Room Latent Cooling Load(RLCL)သည် 31,000 Btu/hr ဖြစ်လျှင် Room Sensible Heat Ratio(RSHR)ကို ရှာပါ။

(၈) အခန်းတစ်ခု ကို 75°F Dry Bulb နှင့် 50% RH အခြေအနေတွင် ရှိနေရန်အတွက် Room Sensible Cooling Load (RSCL) 112,000 Btu/hr နှင့် Room Latent Cooling load (RLCL) 21,000 Btu/h ပေးထားရန် လိုအပ်သည်။ ထိုအခန်းကို supply လုပ်ပေးထားသော လေစီးနှုန်း(air flow rate)သည် 5,000 CFM ဖြစ်လျှင် ထို supply air ၏ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb တို့ကို ရှာပါ။

(၉) အခန်းတစ်ခု ၏ Room Sensible Cooling Load(RSRL)သည် 2,000 Btu/h ဖြစ်ပြီး Room Latent Cooling Load(RLCL)သည် 9,000 Btu/h ဖြစ်သည်။ ထိုအခန်း၏ design condition သည် 77°F Dry Bulb နှင့် 50% RH ဖြစ်သည်။ Supply air ၏ အပူချိန်သည် 58°F Dry Bulb ဖြစ်သည်။ Supply air flow rate (CFM) နှင့် supply air ၏ Wet Bulb တို့ကို ရှာပါ။

(၁၀) Cooling coil တစ်ခုအတွင်းသို့ လေသည် 80°F Dry Bulb နှင့် 66°F Wet Bulb ဖြင့် ဝင်လာပြီး 60°F Dry Bulb နှင့် 57°F Wet Bulb ဖြင့် ထွက်သွားလျှင် cooling coil ၏ Bypass Factor(BF) ၊ Contact Factor(CF) နှင့် Effective Surface Temperature(EST) တို့ကို ရှာပါ။

(၁၁) အပူချိန် 82°F Dry Bulb နှင့် 67°F Dry Bulb ရှိသော လေသည် CF 0.91 တန်ဖိုးရှိသည့် cooling coil ကို ဖြတ်သွားသည်။ Effective Surface Temperature(EST) သည် 55°F ဖြစ်သည်။ Coil ကို ဖြတ်ပြီး ထွက်သွားသည့် လေ၏ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb တို့ကို ရှာပါ။

(၁၂) A/C unit တစ်ခုကို 55°F Dry Bulb နှင့် 55% RH အခြေအနေရှိသော အခန်းအတွက် အသုံးပြု ထားသည်။ ပြင်ပလေအခြေအနေ(outdoor air condition)သည် 95°F Dry Bulb နှင့် 74°F Wet Bulb ဖြစ်ပြီး လေစီးနှုန်း(flow rate)သည် 1000 CFM ဖြစ်သည်။ အောက်ပါ တို့ကို ရှာပါ။

(က) RSCL ၊ RLCL နှင့် RTCL

(ခ) Outside air load နှင့် cooling coil ၏ Contact Factor (CF)

(ဂ) အစိတ်အပိုင်း တို့၏ arrangement ကို ပုံဆွဲပြပါ။ နေရာနှင့် သင့်လျော်သည့် condition များကို ဖော်ပြပါ။

(၁၃) အခန်း၏ ဒီဇိုင်း condition မှာ 78°F Dry Bulb နှင့် 50% RH ဖြစ်ပြီး လိုအပ်သော Load သည် RSCL

18,000 Btu/hr နှင့် RLCL 8,000 Btu/hr ဖြစ်သည်။ ထိုအခန်းအတွက် တပ်ဆင်ထားသော air condition သည် 900 CFM supply air ကို 58°F Dry Bulb နှင့် 56°F Dry Bulb condition အတိုင်း ပေးပို့ နိုင်သည်။ ထို air con unit သည် အခန်း၏ ဒီဇိုင်း Dry Bulb နှင့် Wet Bulb ကို ထိန်းထား နိုင်စွမ်းရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးပါ။ အနီးစပ်ဆုံး မည်သည့် အပူချိန်တွင် ထိန်းထားနိုင် မည်နည်း။

(၁၄) အခန်းတစ်ခုသည် 76°F Dry Bulb နှင့် 50% RH အခြေအနေတွင် ရှိနေရန် လိုအပ်သည်။ ထိုအခန်း၏ RSCL သည် 172,2000 Btu/hr ဖြစ်ပြီး RLCL မှာ 88,000 Btu/hr ဖြစ်သည်။ ထိုအခန်း၏ A/C unit သည် 56°F Dry Bulb နှင့် 54°F Dry Bulb supply air ကို ပေးနိုင်သည်။ ထိုအခန်း၏ design condition ကို ရရန် reheat coil ကို အသုံးပြုလျှင် စွမ်းအင်(energy)မည်မျှ လေလွင့်(waste)မည်ကို ရှာပါ။

(၁၅) အဆောက်အဦ တစ်ခု၏ အချက်အလက်များမှာ

RSCL = 812,000 Btu/hr RLCL = 235,000 Btu/hr
Ventilation air = 6,000 CFM
Supply air = 56°F Dry Bulb
Space conditions = 77°F Dry Bulb နှင့် 50% RH ဖြစ်သည်။

အောက်ပါတို့ကို ရှာပါ။

(က) Apparatus arrangement ကို ဆွဲပါ။ (schematic diagram)
(ခ) Supply air ၏ CFM နှင့် Dry Bulb ကို ရှာပါ။
(ဂ) Mixed air conditioning ကို တွက်ပါ။
(ဃ) Coil sensible load ၊ latent load နှင့် total load တို့ကို ရှာပါ။
(င) ပြင်ပလေ(outdoor air) နှင့် sensible load ၊ latent load နှင့် total load တို့ကို ရှာပါ။
(စ) လိုအပ်သည် coil ၏ Contract Factor(CF) နှင့် Bypass Factor(BF) တို့ကို ရှာပါ။
(ဆ) Chart ပေါ်တွင် process အားလုံး ကိုရေးဆွဲ၍ အမှတ်(point)များကို နာမည်ပေးပါ။

(၁၆) Air conditioning unit တစ်ခုအတွင်းသို့ 20,000 CFM နှုန်းရှိသော လေသည် 80°F Dry Bulb နှင့် 60% RH အခြေအနေဖြင့် ဝင်လာသည်။ အထွက်လေ(leaving air)၏ အပူချိန်သည် 57°F Dry Bulb နှင့် 90% RH ဖြစ်သည်။
အောက်ပါ တို့ကို ရှာပါ။

(က) A/C unit ၏ cooling capacity (Btu/hr)
(ခ) A/C unit မှ condensate ရေဖယ်ထုတ်နှုန်း (water removal rate)
(ဂ) A/C unit ၏ sensible load
(ဃ) Leaving air ၏ Dew Point
(င) Effective surface temperature (apparatus Dew Point)

(၁၇) စက်တင်ဘာလ၏ နေ့တစ်နေ့တွင် အခန်းတစ်ခု ၏ sensible cooling load သည် 20,3000 Btu/hr ဖြစ်သည်။ Latent cooling load သည် 9,000 Btu/hr ဖြစ်သည်။ အခန်း ၏ design condition သည် 76°F Dry Bulb နှင့် 50% RH ဖြစ်သည်။ အခန်းအတွင်းသို့ ရောက်လာသည့် supply air ၏ အပူချိန်သည် 58°F Dry Bulb ဖြစ်သည်။

(က) Equipment နှင့် duct arrangement ကို ရေးဆွဲပါ။
(ခ) အခန်းအတွက်လိုအပ်သော supply air စီးနှုန်း(CFM) ကို ရှာပါ။

(ဂ) အထက်မှ ရရှိသော supply air စီးနှုန်း(CFM)ကို အခြေခံ၍ Wet Bulb အပူချိန် ၊ Enthalpy ၊ Relative Humidity(RH) နှင့် ရေငွေ့ပါဝင်မှု(moisture content)ကို gr/lb နှင့် lb/lb ဖြင့် ဖော်ပြပါ။

(ဃ) ထိုအခန်းအတွက် ပြင်ပလေ(outdoor air) 260 CFM လိုအပ်သည်။ ပြင်ပလေ(outdoor air) ၏ အပူချိန်သည် 95°F Dry Bulb နှင့် 76°F Wet Bulb ဖြစ်သည်။ ပြင်ပလေ(outdoor air)သည် အခန်းမှ Return air နှင့် mixed ဖြစ်ပြီး air con unit အတွင်းသို့ (mixed air) သို့မဟုတ် entering air အဖြစ် ဝင်ရောက်သည်။ Mixed air ၏ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb အပူချိန်၊ enthalpy ၊ Relative Humidity(RH) နှင့် ရေငွေ့ပါဝင်မှု(moisture content) (gr/lb and lb/lb)တို့ကို ရှာပါ။

(င) Refrigerating unit ၏ အရွယ်အစား(size)ကို ရှာပါ။ Btu/hr သို့မဟုတ် refrigeration ton ဖြင့် ဖော်ပြပါ။ ပြင်ပလေ(outdoor air) ၏ cooling load ကို ပါထည့် တွက်ပါ။

(စ) အကယ်၍ ပြင်ပလေစီးနှုန်း(outside air flow)ကို 260 CFM မှ 130 CFM သို့ လျှော့ချလိုက်လျှင် A/C unit ၏ capacity မည်မျှ လျော့နည်းသွား မည်နည်း။ Btu/hr ဖြစ်လည်း ဖော်ပြပါ။ (%)percentage ဖြင့် လည်း ဖော်ပြပါ။

(၁၈) အခန်းတစ်ခု၏ sensible cooling load သည် 200,000 Btu/hr နှင့် latent cooling load 50,000 Btu/hr ဖြစ်သည်။ အခန်း ကို 76°F Dry Bulb နှင့် 64°F Wet Bulb အခြေအနေတွင် ထိန်းထားရန် လိုအပ်သည်။ ပြင်ပလေဝင်နှုန်း(outside air flow rate)သည် 1200 CFM ဖြစ်သည်။ ပြင်ပလေ (outdoor air)၏ condition သည် 95°F Dry Bulb နှင့် 76°F Wet Bulb ဖြစ်သည်။ ပြင်ပလေ (outdoor air)သည် အခန်းမှ ပြန်လာသည့်လေ (return air) နှင့် ရောနှော(mix)ကာ mixed air သို့မဟုတ် entering air အဖြစ် air con unit အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သည်။

(က) Equipment နှင့် duct arrangement တို့ကို ပုံ(sketch) ဆွဲပြပါ။

(ခ) Room Sensible Heat Ratio (RSHR)ကို တွက်ပါ။

(ဂ) Supply air လေစီးနှုန်း(flow rate)ကို ရှာပါ။ Supply air အပူချိန်သည် 60°F Dry Bulb ဖြစ်သည်။

(ဃ) ပြင်ပလေ(outdoor air) ၏ sensible cooling load ကိုရှာပါ။ Btu/hr သို့မဟုတ် refrigeration ton ဖြင့် ဖော်ပြပါ။

(င) Effective Surface Temperature(EST)ကို ရှာပါ။ (EST ကို apparatus Dew Point ဟုလည်း ခေါ်သည်။)

(စ) Coil ၏ Contact Factor(CF) နှင့် Bypass Factor (BF) တို့ကို ရှာပါ။

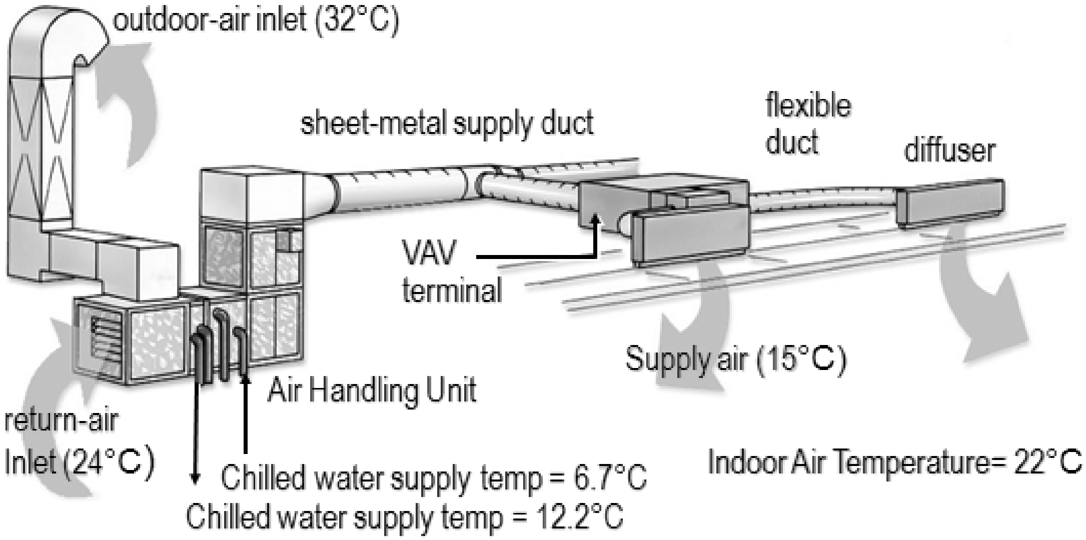
(၁၉) A/C unit တစ်ခု ၏ outdoor air သည် 3000 CFM ၊ 95°F Dry Bulb နှင့် 76°F Wet Bulbဖြစ်သည်။ Return air သည် 20,000 CFM ၊ 78°F Dry Bulb နှင့် 50% RH ဖြစ်သည်။ Mixed air သည် return air နှင့် ပြင်ပလေ(outdoor air)တို့ ပေါင်းထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Air con unit မှ အထွက်လေ(leaving air) သို့မဟုတ် supply air သည် 52°F Dry Bulb နှင့် 90% RH ဖြစ်သည်။

(က) Air con unit ၏ total load ကိုရှာပါ။ Btu/hr သို့မဟုတ် refrigeration ton ဖြင့် ဖော်ပြပါ။

(ခ) Cooling coil ဖြတ်ပြီး ထွက်လာသောလေကို အပူပေးစက်(electric heat) ဖြင့် 58.5°F Dry Bulb သို့ ရောက်အောင် reheat လုပ်လျှင် အပူပေးစက်(electric heat) ၏ အပူထွက်နှုန်း(capacity)ကို ရှာပါ။ kW ဖြင့် ဖော်ပြပါ။

-End-

Chapter - 3 Air Handling Units



ပုံ ၃-၁ Air Handling Unit တစ်ခု အလုပ်လုပ်ပုံကို သက်ဆိုင်ရာ အပူချိန်များ နှင့်တကွ ဖော်ပြထားပုံ

၃.၁ Air Handling Unit (AHU) အမျိုးအစားများ

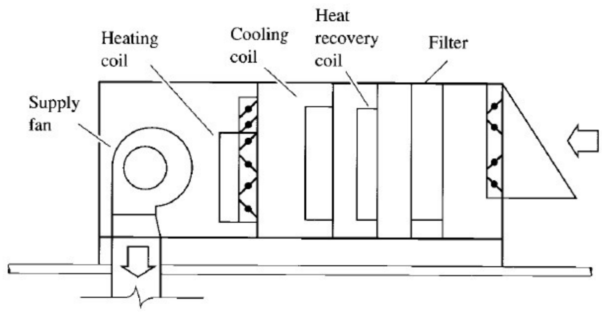
Air handling unit များကို တည်ဆောက်ပုံ(structure)၊ တပ်ဆင်သည့်နေရာ(location)၊ အေးစေမည့် လေ အမျိုးအစားနှင့် characteristics တို့ကို လိုက်၍ အောက်ပါတိုင်း အမျိုးအစား ခွဲခြားနိုင်သည်။

(က) Horizontal Unit နှင့် Vertical Unit

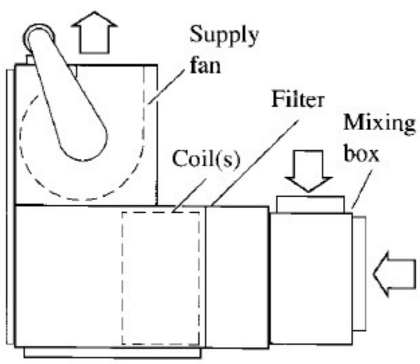
(ခ) Draw-Through Unit နှင့် Blow-Through Unit

(ဂ) Outdoor Air (or Makeup Air) AHU နှင့် Mixing AHU နှင့်

(ဃ) Constant Air Volume (CAV) AHU နှင့် Variable-Air-Volume (VAV) AHU တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၃-၂ Horizontal unit



ပုံ ၃-၃ Vertical unit

(က) Horizontal နှင့် Vertical Unit

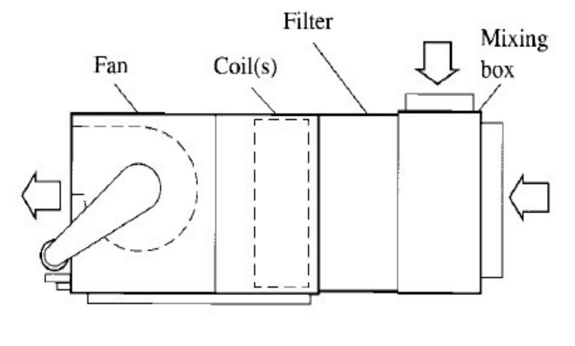
Blower(supply fan)၊ cooling coil နှင့် လေစစ်(filter) တို့ကို တူညီသောအမြင့်(same level)တွင် တပ်ဆင်ထားလျှင် “**Horizontal Unit**” ဟုခေါ်ဆိုသည်။ Horizontal unit ကို တပ်ဆင်ရန်အတွက် နေရာ ကျယ်ကျယ် လိုသည်။ သို့သော် ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းရန်အတွက် လွယ်ကူ အဆင်ပြေသည်။ ကြီးမားသော Air Handling Unit(AHU) များကို “Horizontal Unit” အဖြစ်သာ တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။

Blower သည် cooling coil ၏ အပေါ်တွင် တည်ရှိသောကြောင့် "**Vertical Unit**" ဟုခေါ်ခြင်းဖြစ်သည်။ နေရာ အခက်အခဲရှိသောကြောင့် AHU blower ကို cooling coil ၏ အပေါ်တွင် ဆင့်၍ တင်ထားလျှင် "Vertical Unit" အဖြစ် သတ်မှတ်နိုင်သည်။ အထိုင်ချရန်နေရာ(foot print)သေးငယ်သောကြောင့် အခန်းကျဉ်းကျဉ်း အတွင်း၌ တပ်ဆင်နိုင်သည်။ သို့သော် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု ပြုလုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။ Vertical unit များကို တပ်ဆင် ရန်နေရာ အနည်းငယ်သာ လိုအပ်သည်။ များသောအားဖြင့် အရွယ်အစားသေးငယ်သည့် Air Handling Unit များကို "Vertical Unit" အဖြစ် ထုတ်လုပ်ကြသည်။

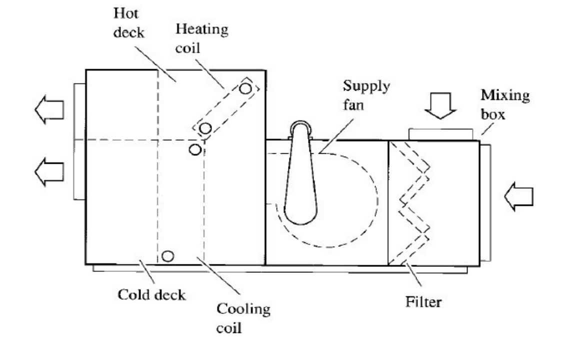
(ခ) Draw Through Unit သို့မဟုတ် Blow Through Unit

Draw Through Unit

Blower သည် cooling coil ဘက်မှ လေကို စုပ်ယူသောကြောင့် "**Draw Through Unit**" ဟုခေါ်သည်။ Supply fan (blower)သည် လေကို coil section သို့ အရင်ဖြတ်သန်းစေပြီးမှ စုပ်ယူသောကြောင့် Draw-Through Unit ဟု ခေါ်ဆိုခြင်းဖြစ်သည်။ ထိုသို့ စုပ်ယူခြင်းဖြင့် coil ၏ fin များ အကြား၌ လေသည် ညီညာစွာ ဖြတ်သွားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် cooling coil ၌ uniform face velocity ရရှိနိုင်သည်။ AHU မှ ထွက်လေ (leaving air)ကို လည်း supply duct ဖြင့် အလွယ်တကူ တပ်ဆင်နိုင်သည်။ "Draw Through Unit" ကို အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။



ပုံ ၃-၄ Draw-Through Unit



ပုံ ၃-၅ Blow Through Unit

Blow Through Unit

Blower သည် လေကို cooling coil ဆီသို့ မှုတ်ထည့်သောကြောင့် "**Blow Through Unit**" ဟု သတ်မှတ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် AHU ထဲသို့ ဝင်လာသည့်လေသည် blower ဖြတ်ပြီးမှ cooling coil ဆီသို့ ရောက်ရှိသောကြောင့် "Blow -Through Unit" ဖြစ်သည်။ ပုံ(၃-၅)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း supply fan သည် လေကို cooling coil သို့မဟုတ် heating coil နှင့် လေစစ်(filter)ဆီသို့ မှုတ်သွင်းသောကြောင့် "Blow Through Unit" ဟုခေါ်သည်။ "Blow Through Unit"၏ အားသာချက်သည် supply fan ၏ မော်တာမှ ထွက်လာသော အပူ(heat)ကို coil မှ စုပ်ယူလိုက်သောကြောင့် အခန်း(serving area) အတွင်းသို့ မရောက်တော့ပေ။

(ဂ) Outdoor Air သို့မဟုတ် Makeup Air AHU သို့မဟုတ် Mixing AHU

များသောအားဖြင့် AHU များသည် အခန်းအတွင်းမှလေကို return air အဖြစ် ပြန်လည် စုပ်ယူ လေ့ရှိသည်။ လေကို လည်ပတ်(circulate)စေခြင်း ဖြစ်သည်။ ထိုကဲ့သို့သော unit များကို AHU ဟုသာ ခေါ်ဆိုသည်။ သို့သော် အဆောက်အဦ တစ်ခုလုံးအတွက် လိုအပ်သော သန့်ရှင်းလတ်ဆတ်သည့်လေ(fresh air)ကို အေးအောင် သို့မဟုတ် နွေးအောင်(treat)လုပ်သည့် AHU များကို "Outdoor Air Handling Unit" သို့မဟုတ် "Makeup Air Handling Unit" သို့မဟုတ် "Pre Cooled Air Handling Unit" ဟုခေါ်ဆိုကြသည်။

Outdoor air ကို အေးအောင်(treat) ပြုလုပ်သောကြောင့် “**Outdoor Air Handling Unit**” ဟု ခေါ်သည်။ အခန်းအတွင်းမှ လျော့နည်းသွားသည့်လေများကို ပြန်ဖြည့်ရန်အတွက် ထားရှိသောကြောင့် “**Makeup Air Handling Unit**” ဟုခေါ်သည်။ AHU အတွင်းသို့ ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သော လေကို မထည့်ခင် ကြိုတင်၍ အေးအောင်ပြုလုပ်သောကြောင့် “**Pre Cooled Air Handling Unit**” ဟု ခေါ်သည်။

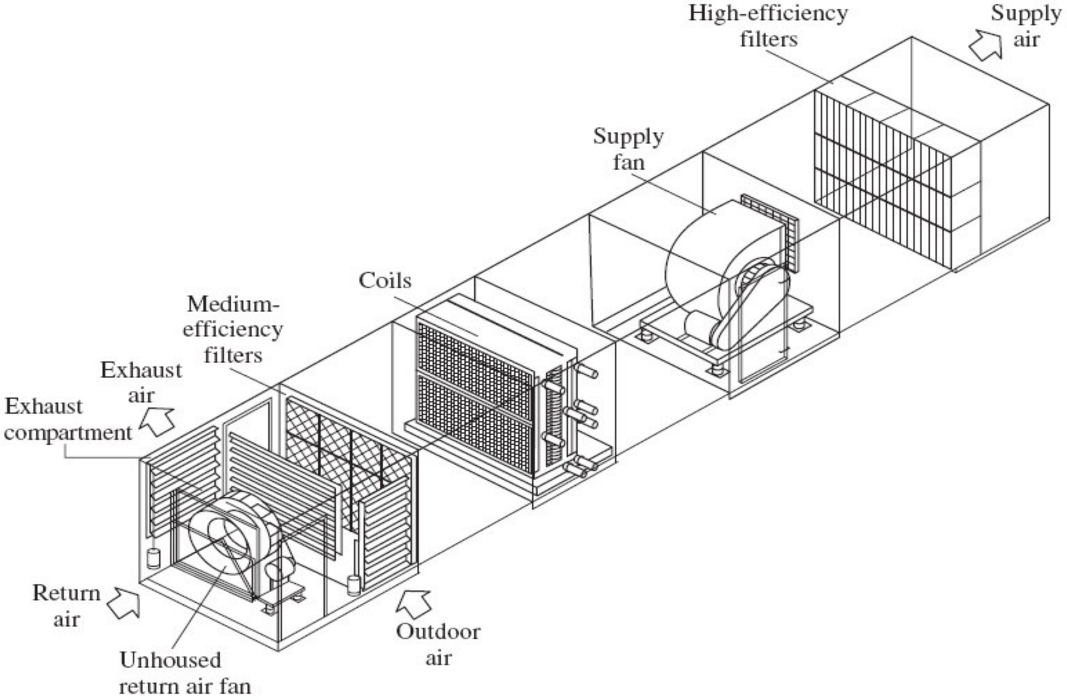
Outdoor Air AHU ၏ နံရံ၌ ရေသီးခြင်း(condensation) ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။ ထို ရေသီးခြင်း (condensation)ပြဿနာကို ဖြေရှင်းရန်အတွက် outdoor AHU နံရံများကို နှစ်လက်မ သို့မဟုတ် နှစ်လက်မ ထက် ပိုထူသည့် insulation ဖြင့် ပြုလုပ်လေ့ ရှိသည်။

(ဃ) Constant Air Volume (CAV) AHU သို့မဟုတ် Variable-Air-Volume (VAV) AHU

AHU လေလည်ပတ်နှုန်း(air flow rate)ကို မူတည်၍ “Constant Air Volume(CAV) AHU” သို့မဟုတ် “Variable Air Volume (VAV) AHU” ဟုခွဲခြားထားသည်။ အမြဲတမ်း မပြောင်းလဲသည့် လေလည်ပတ်နှုန်း (constant air flow rate)ဖြင့် မောင်းနေသော AHU ကို “Constant Air Volume Air Handling Unit(CAV AHU)” ဟုခေါ်သည်။

အခန်း ၏ cooling load လိုအပ်ချက်အရ လေလည်ပတ်နှုန်း(air flow rate)လိုအပ်သလို ပြောင်းလဲ၍ မောင်းသည့် AHU ကို “Variable Air Volume Air Handling Unit(VAV AHU)” ဟုခေါ်သည်။ VAV AHU များအတွက် duct များတွင် Variable Air Volume Box (VAV Box)ကို တပ်ဆင်ထားရန် လိုသည်။ Variable Air Volume အကြောင်းကို အခန်း-၉(Chapter-9)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

၃.၂ AHU ၏ အစိတ်အပိုင်း (Component) များ

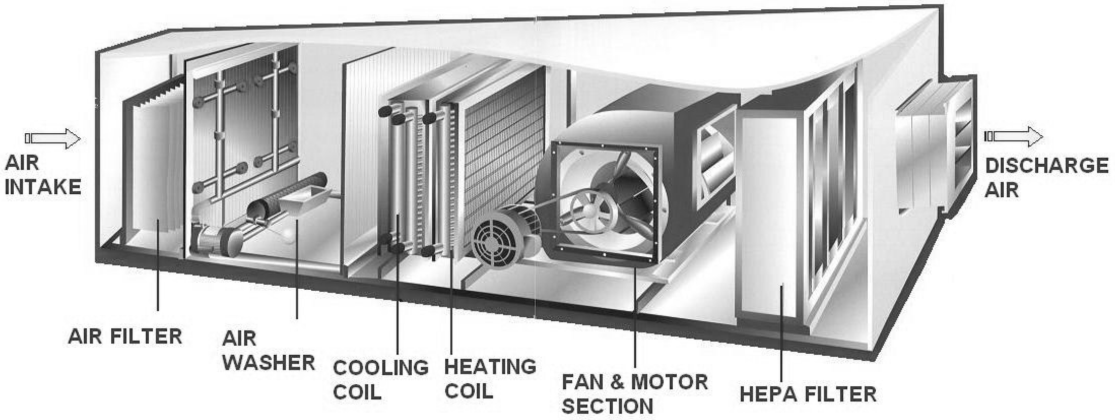


ပုံ ၃-၆ Air Handling Unit တစ်ခုတွင် ပါဝင်သော အစိတ်အပိုင်းများကို ဖော်ပြထားပုံ

၃.၂.၁ Mixing Box

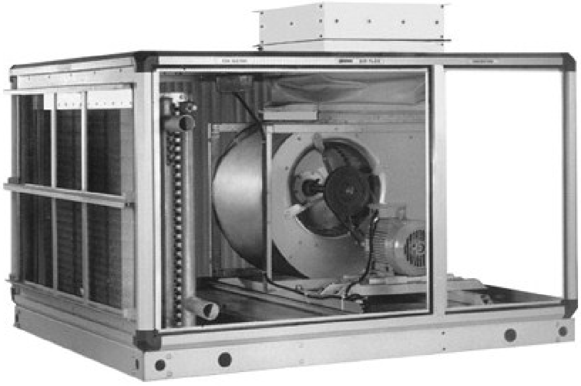
AHU တစ်ခု၏ mixing box သည် အခန်းမှ ပြန်ယူထားသည့်လေ(return air) နှင့် ပြင်ပလေ(outside air) ရောနှောစေရန် အတွက်ပြုလုပ်ထားသည့် အခန်းငယ် ဖြစ်သည်။ Comfort air conditioning အတွက်

တပ်ဆင်သော AHU တိုင်း၌ return air နှင့် ပြင်ပလေ(outside air)ရောနှောရန် လိုအပ်သည်။ သို့သော် ပြင်ပလေ ရာနှုန်းပြည့်(100% outside air)သုံးသော AHU များ နှင့် ပြင်ပလေ(outside air) ထည့်ရန် မလိုအပ်သော AHU များတွင် mixing box မလိုအပ်ပေ။ ရောစပ်လိုသည့် return air ပမာဏ နှင့် ပြင်ပလေ (outside air) ပမာဏ ရရှိရန်အတွက် damper များဖြင့် control လုပ်နိုင်သည်။ ရောပြီးသား လေ၏အပူချိန် (mixed air temperature)နှင့် humidity ratio တို့သည် damper ပွင့်နေသည့်အကျယ်(opening position) ပမာဏ နှင့် တိုက်ရိုက် မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း ဆက်သွယ်မှု(linear relationship) မရှိပါ။



ပုံ ၃-၇(က) Air Handling Unit တစ်ခုတွင် ပါဝင်သော အစိတ်အပိုင်းများကို ဖော်ပြထားပုံ

ပုံ ၃-၇ (ခ) Mixing box တွင် damper တပ်ဆင်ထားပုံ

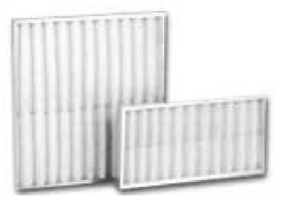
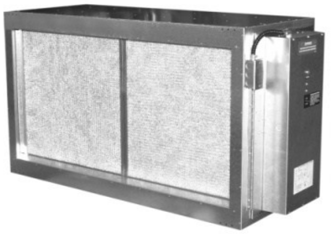
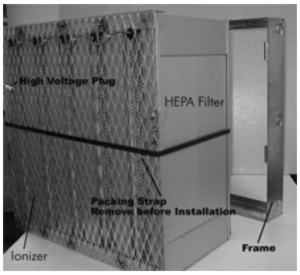
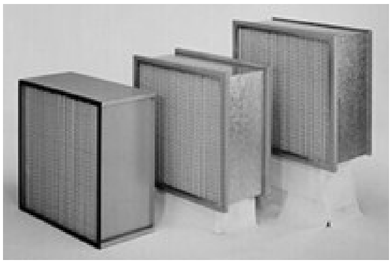


ပုံ ၃-၇ (ဂ) AHU တစ်လုံး၏ အတွင်းပိုင်းပုံ

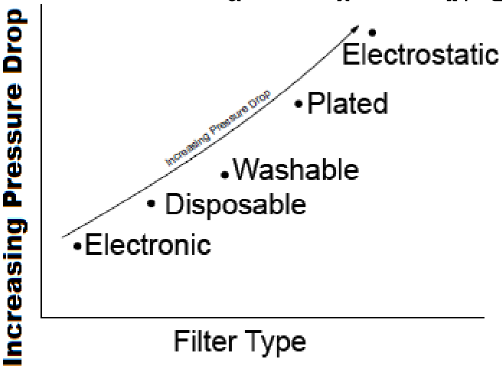
၃.၂.၂ လေစစ် (Air Filter)

လေစစ်(air filter)များသည် AHU တိုင်း၌ မရှိမဖြစ် ပါဝင်ရမည့် အစိတ်အပိုင်းတစ်ခု ဖြစ်သည်။ ဝင်လာသည့် return air သို့မဟုတ် outdoor air သို့မဟုတ် mixed air ကို အခန်း(service area)ဆီသို့ အေးအောင် သို့မဟုတ် နွေးအောင်(treat)လုပ်၍ မပို့ပေးခင် တတ်နိုင်သမျှ သန့်စင်အောင်ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ အသုံးပြုပုံ (application)ကို လိုက်၍ လေသန့်စင်မှု လိုအပ်ချက် ကွဲပြားသည်။ လေသန့်စင်မှု လိုအပ်ချက်ကို လိုက်၍ လေစစ် အမျိုးအစားများ (air filter types) ကွဲပြားကြသည်။

အထက်ပါ လေစစ်(air filter)များ အားလုံးကို "**Particulate Media Filter**" ဟုခေါ်သည်။ Particulate filter များ၏ efficiency ကို "Dust-Spot Efficiency" သို့မဟုတ် "Minimum Efficiency Reporting Value" (MERV)ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ Dust-Spot Efficiency ဆိုသည်မှာ ASHRAE Standard 52.2 အရ လေစစ်(air filter)သည် လေထဲရှိ အမှုန်မည်မျှကို ဖမ်းယူသိမ်းဆည်းနိုင်စွမ်း ရှိသည်ကို ဖော်ပြသည်။

		
ပုံ ၃-၈ (က) Disposable Filter	ပုံ ၃-၈ (ခ) Washable Filter	ပုံ ၃-၈ (ဂ) Bag Filter
		
ပုံ ၃-၈ (ဃ) Electronic Filter	ပုံ ၃-၈ (င) HEPA Filter	ပုံ ၃-၈ (စ) Cartridge filter

Minimum Efficiency Reporting Value(MERV)သည် ASHRAE Standard 52.2 အရ လေထဲရှိ 0.3 မှ 1 micron ပမာဏ အရွယ်အစားရှိသော အမှုန်မည်မျှကို ဖမ်းယူသိမ်းဆည်းနိုင်စွမ်း ရှိသည်ကို ဖော်ပြသည်။



လေစစ်(filter)အမျိုးအစားများကို လိုက်၍ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ကွာခြားသည်။ Electronic filter အမျိုးအစားသည် ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) အနည်းဆုံးဖြစ်ပြီး electrostatic filter အမျိုးအစား သည် အများဆုံး ဖြစ်သည်။ တစ်ခါသုံးလေစစ်(disposable filter)အမျိုးအစားနှင့် လျှော်ဖွတ်နိုင်သည့် လေစစ်(washable filter) အမျိုးအစားတို့ကို Air Handling Unit များတွင် အများဆုံး အသုံးပြုသည်။

ပုံ ၃-၉ လေစစ်(air filter) အမျိုးအစားကို လိုက်၍ ဖြစ်ပေါ်လာမည့် ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop)

Air Filtration

Air con ပေးထားသည့် အခန်းအတွင်းရှိ လေကို အမြဲသန့်စင်နေစေရန်အတွက် အမှုန်များ၊ အမှိုက်များ (particulate contaminant)များကို စဉ်ဆက်မပြတ် သန့်စင်(filter)ပေးရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေစစ်(filter)ဖြင့် စစ်ပြီးသည့် လေများကိုသာ အခန်းအတွင်းသို့ ပို့ပေးရမည်။ Ventilation အတွက် အသုံးပြုသော ပြင်ပလေ(outdoor air)များနှင့် ပြန်လည်အသုံးပြုမည့် indoor air များကို လေစစ်(filter)ဖြင့် သန့်စင်ပေးရမည်။

လေစစ်(filter) များကို Minimum Efficiency Reporting Value (MERV)ဖြင့် အမျိုးအစား ခွဲခြား သတ်မှတ် ထားသည်။ ပြင်ပလေ(outdoor air)ကို pre filter လုပ်မည့် လေစစ်(filter) အမျိုးအစားသည် MERV အဆင့်(၁) သို့မဟုတ် (၁)ထက် ပိုကောင်းစေရမည်။

Mixed air သို့မဟုတ် recirculated air များကို သန့်စင်မည့် လေစစ်(filter)သည် MERV အဆင့်(၅) သို့မဟုတ် အဆင့်(၅)ထက်ပို ကောင်းရစေမည်။ လေစစ်(filter)ဖြင့် သန့်စင်ခြင်း မရှိသော လေများ(unfilter air သို့မဟုတ် bypass air) အခန်းအတွင်းသို့ မရောက်စေရ။ လေစစ်(filter)များကို အလွယ်တကူ စစ်ဆေးနိုင် အောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ အချိန်တိုင်း ကြည့်ရှု စစ်ဆေးနိုင်အောင်၊ ဆေးကြောနိုင်အောင်၊ ပြုလုပ်ထားရမည်။ လေစစ်(filter)များ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို ဖော်ပြသည့်ကိရိယာ ပါရှိရမည်။

Recalculated air များနှင့် mixed air များအတွက် duct spot efficiency 80% ရှိသော လေစစ်(filter)များကိုသာ secondary filter များအဖြစ် အသုံးပြုရမည်။ ထို 80% efficiency ရှိသော လေစစ်(filter)များသည် outdoor air များ၏ အရည်အသွေး(quality) ဆိုးဝါးသည့် အခါမျိုးတွင် အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။ ထို လေစစ်(filter) များကြောင့် duct များကို မကြာခဏ သန့်ရှင်းရေးလုပ်ရန် မလိုအပ်ပေ။

Recalculated air သို့မဟုတ် mixed air သို့မဟုတ် ပြင်ပလေ(outdoor air)များအတွက် secondary filter အသုံးမပြုလျှင် လေစစ်အနု(fine particle)များဖြင့် သန့်စင်ရန် လိုသည်။ Pollution standard index of outdoor သည် (၁၀၀)ကျော်ခဲ့လျှင် လေစစ်အနု(fine particle)များကို သန့်စင်ရန် လိုသည်။

၃.၂.၃ Heating Coil

အအေးပိုင်းဒေသရှိ နိုင်ငံများ၌ တပ်ဆင်သည့် AHU များတွင် heating coil သို့မဟုတ် heater တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ Heating coil မောင်းနှင် လည်ပတ်သည့် ကုန်ကျစရိတ်(operating cost)သည် လျှပ်စစ်အပူပေးစက်(electric heater)ထက် ပိုနည်းသည်။ Heating coil တွင် hot water heating coil နှင့် steam heating coil ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရှိသည်။

၃.၂.၄ Cooling Coil

Cooling coil တွင် chilled water cooling coil နှင့် direct expansion (DX) cooling coil ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရှိသည်။

၃.၂.၅ Humidifier

Humidifier သည် ရေငွေ့(moisture)ကို လေ(air)ထဲသို့ ထည့်ပေးသည့် ကိရိယာတစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ Humidifier တွင် water-spray humidifier နှင့် steam humidifier ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ အေး၍ ခြောက်သွေ့သောနိုင်ငံများတွင်သာ တပ်ဆင်ရန် လိုသည်။

၃.၂.၆ Fan သို့မဟုတ် Blower

လေများကို လည်ပတ်စေရန်(circulate)အတွက် fan သို့မဟုတ် blower လိုအပ်သည်။ Blower များအကြောင်းကို အခန်း-၆ (Chapter-6)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

၃.၃. Air Handling Unit Technical Data များ

အောက်တွင် Air Handling Unit တစ်လုံး၏ technical data sheet မှ အချက်အလက်များကို ဥပမာအဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။

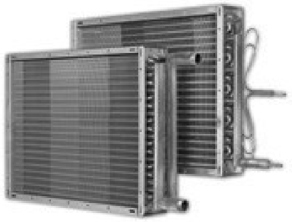
Unit Name AHU 1-1 ၊ Model 70x80

AHU 1-1 သည် AHU တပ်ဆင်အသုံးပြုသည့်နေရာကို ရည်ညွှန်းသည့်နံပါတ်(reference number) ဖြစ်သည်။ AHU ထုတ်လုပ်သူက သတ်မှတ်ထားသော မော်ဒယ်(model) အမျိုးအစားသည် YDM 70x80 ဖြစ်သည်။ YDM သည် နှစ်လက်မ insulation အထူရှိသော AHU အမျိုးအစားဖြစ်ပြီး 70x80 သည် AHU ၏ အရွယ်အစား ဖြစ်သည်။ ဤ မော်ဒယ်(model)များကို York တံဆိပ် AHU များတွင်သာ တွေ့နိုင်သည်။

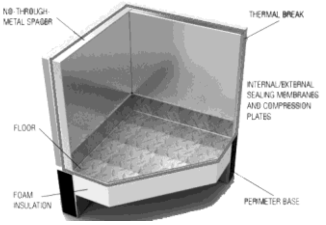
Unit Configuratioin (Horizontal)

AHU များကို vertical configuration နှင့် horizontal configuration ဟု နှစ်မျိုး ခွဲခြားထားသည်။ Cooling coil ကို အောက်၌ထား၍ blower ကို အပေါ်တွင်ထားလျှင် "vertical configuration AHU" အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Cooling coil နှင့် blower ကို ကြမ်းတပြေးတွင် (အမြင့်တူညီစွာ) တပ်ဆင်ထားလျှင် "horizontal configuration AHU" အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။

UNIT NAME		AHU1-1-70x80PANEL	MODEL		YDM 70x80
UNIT CONFIGURATION		HORIZONTAL	REQUESTED QUANTITY		1
FAN MOTOR SPECIFICATION			TRANSMISSION SPECIFICATION		
BLOWER TYPE / BLADE		DIDW / BACKWARD	PULLEY TYPE / GROOVES		SPB / 2
WHEEL DIAMETER / FRAME	mm	800 / K	FAN / MOTOR PULLEY Ø	mm	335 / 236
DISCHARGE		Rear	BELT LENGTH	mm	2000
AIR VOLUME	CFM (m³/hr)	28,249 (48000.000)			
TOTAL PRESSURE	in. Wg (Pa)	2.83 (707)			
ESP / TSP	in. Wg (Pa)	1.40 (350) / 2.41 (603)			
ALTITUDE / TEMPERATURE	ft (m) / °F (°C)	0 (0) / 68.9 (20.5)			
FAN RPM	RPM	1019	INLET IN-DUCT SOUND PWR	dB (A)	93
MOTOR TYPE / POLES		TEFC - IP55 / 4	INLET IN-DUCT SOUND PWR dB	125 Hz	95
ABSORBED FAN / MOTOR POWER	kW	13.50 / 16.20	PER OCTAVE BAND UNIT	250 / 500 Hz	91 / 94
RECOMMENDED MOTOR	kW	18.50		1k / 2k Hz	88 / 82
MOTOR SAFETY ALLOWANCE	%	20		4k / 8k Hz	75 / 66
ELECTRICAL SUPPLY	V-ph-Hz	380-415 V / 3ph / 50 Hz			
OUTLET IN-DUCT SOUND PWR	dB (A)	95	AIRBORNE SOUND POWER	dB (A)	74
OUTLET IN-DUCT SOUND PWR dB	125 Hz	95	AIRBORNE SOUND POWER dB	125 Hz	85
PER OCTAVE BAND UNIT	250 / 500 Hz	97 / 94	PER OCTAVE BAND UNIT	250 / 500 Hz	77 / 69
	1k / 2k Hz	91 / 85		1k / 2k Hz	67 / 62
	4k / 8k Hz	76 / 68		4k / 8k Hz	45 / 34
FAN DISCHARGE VELOCITY	m/s	13.15			
TOTAL FAN EFFICIENCY	%	69.79			



ပုံ ၃-၁၀ AHU blower နှင့် cooling coil



ပုံ ၃-၁၁ AHU Wall casing

Fan သို့မဟုတ် Blower မော်တာ နှင့်သက်ဆိုင်သည့်အချက်အလက်များ (Motor Specification)

AHU Blower မော်တာနှင့် သက်ဆိုင်သော အချက်အလက်များ(data)ကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

Blower Type / Blade (DIDW / BACKWARD)

Blower များကို DIDW နှင့် SISW နှစ်မျိုး ခွဲခြားသည်။ DI သည် Double Inlet ၏ အတိုခေါက် ဖြစ်သည်။ ဘေးနှစ်ဘက်စလုံးမှ လေများ blower အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ DW သည် Double Width blower wheel ဖြစ်သည်။ SISW သည် Single Inlet Single Width ဖြစ်သည်။ လေများ blower အတွင်းသို့ တစ်ဘက်တည်းမှသာ ဝင်ရောက်လာနိုင်သည့် အမျိုးအစားဖြစ်သည်။ SW သည် single width blower wheel ဖြစ်သည်။ Blower များ ၏ ဒလက်(blade)ကို "Forward Curve" ၊ "Radial" နှင့် "Backward Curve" ဟူ၍ အဓိကအားဖြင့် သုံးမျိုး ခွဲခြားထားသည်။

Wheel Diameter (800 mm)/ Frame K

Blower တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် ဘီးအချင်း(wheel diameter)သည် (၈၀၀)မီလီမီတာဖြစ်ပြီး blower ၏ ဖရိမ်(frame) အမျိုးအစားသည် K ဖြစ်သည်။

Discharge (Rear)

AHU များတွင် လေကို မှုတ်ထုတ်နိုင်သည့်နေရာ(discharge) နှစ်နေရာရှိသည်။ "Rear Discharge" နှင့် "Top Discharge" တို့ ဖြစ်သည်။ "Rear Discharge" အမျိုးအစားတွင် AHU ၏ နောက်ဘက်မှ လေကို မှုတ်ထုတ်သည်။ "Top Discharge" အမျိုးအစားတွင် AHU ၏ အပေါ်ဘက်မှ လေကို မှုတ်ထုတ်သည်။

Air Volume = 28,249 CFM (CMH 48,000)

AHU blower မှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် လေပမာဏ(air volume) သည် 28,249 CFM (48,000 CMH) ဖြစ်သည်။ တစ်နာရီလျှင်(၄၈ဝဝဝ)ကုဗမီတာနှုန်း (48,000 CMH)ဖြစ်သည်။ "volume flow rate" ဟုလည်း ခေါ်ဆိုလေ့ ရှိသည်။

Total Pressure = 2.83 in. Wg (707 Pa)

AHU blower မှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် ဖိအား(total pressure)သည် 2.83 inch of water column (707 Pa) ဖြစ်သည်။ ထိုဖိအား(total pressure)သည် ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss) အားလုံးအတွက် ဖြစ်သည်။ Mixing box ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)၊ cooling coil ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)၊ လေစစ်(filter)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအား ဆုံးရှုံးမှု (pressure loss)၊ AHU အပြင်ဘက်ရှိ duct system အတွက် ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss) စသည့် ဖိအား ဆုံးရှုံးမှုများ (losses) အားလုံးအတွက် ဖြစ်သည်။

ESP / TSP (Pa) = 1.40 in. Wg (350 Pa) / 2.41 in. Wg (603 Pa)

ESP သည် "**External Static Pressure**" ၏ အတိုခေါက် ဖြစ်သည်။ TSP သည် "**Total Static Pressure**" ဖြစ်သည်။ AHU blower မှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် "External Static Pressure" သည် 1.40 inch of water column (350 Pa) ဖြစ်သည်။ Total static pressure သည် 2.41 inch of water column (603 Pa)ဖြစ်သည်။

External/total static pressure သည် AHU blower ၏ ဖိအား(total Pressure)မှ mixing box ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)၊ cooling coil ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု (pressure loss)၊ လေစစ်(filter)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(filter pressure loss) စသည့် ဖိအား ဆုံးရှုံးမှုများ(pressure losses)ကို နုတ်ပြီး ကျန်သည့် ဖိအား(pressure) ဖြစ်သည်။ External/total static pressure သည် duct friction loss များ၊ supply air grill များ နှင့် diffuser ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအား ကျဆင်းမှု(pressure drop)များနှင့် damper ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)များ အတွက် ဖြစ်သည်။

Altitude / Temperature = 0(0)/ 68.9(20.5)

AHU တပ်ဆင်အသုံးပြုမည့် နေရာသည် ပင်လယ်ရေပြင်(sea level)အမြင့်နှင့် တူညီသည် ဟုဆိုလိုသည်။

Fan Speed (RPM) = 1019

AHU blower ဝင်ရိုး၏ လည်ပတ်နှုန်း(RPM)သည် တစ်မိနစ်လျှင် အပတ်ရေ(၁ဝ၁၉) ဖြစ်သည်။

Motor Type /Poles = TEFC - IP55 / 4

မော်တာအမျိုးအစားသည် TEFC ဖြစ်သည်။ TEFC သည် "Totally Enclosed, Fan Cooled" ၏ အတိုခေါက် ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် မော်တာ ကွိုင်(winding) သည် မော်တာအိမ်(enclosure)အတွင်း၌ ရှိပြီး ပန်ကာ(fan)ဖြင့် မော်တာကို အေးအောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ IP55 သည် motor enclosure ၏ rating (protection against solid and Liquid)ကို ဆိုလိုသည်။ မော်တာအခန်းတွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

Absorbed Fan / Motor Power kW = 13.50 kW / 16.20 kW

Absorbed power သည် blower ၏ ဝင်ရိုး(shaft)လည်ရန်အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအား(power) ဖြစ်သည်။ မော်တာသည် blower ကို ပန်ကာကြိုး(belt)ဖြင့် မောင်းသည်။ Belt drive ဖြစ်သည်။ Belt drive များ တွင် slip ဖြစ်လေ့ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် belt drive များတွင် စွမ်းအင်ပေးပို့ရာတွင် ဖြစ်ပေါ်သောဆုံးရှုံးမှု

(transmission loss) ရှိသည်။ မော်တာစွမ်းအား(motor power)သည် absorbed power ထက်များ ရမည်။ ဤ AHU တွင် AHU blower's shaft power 13.50 kW ရရှိရန်အတွက် မော်တာစွမ်းအား (motor power)သည် 16.20 kW ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။

Recommended Motor = 18.50 kW

Recommended motor 18.5kW သည် မော်တာ အရွယ်အစား(size)ကို ဆိုလိုသည်။ ဤ AHU လိုအပ်သော မော်တာစွမ်းအား(motor power)သည် 16.2kW ဖြစ်သော်လည်း ဈေးကွက်တွင် 16.20 kW မော်တာအရွယ်အစား မရှိပါ။ ထို့ကြောင့် 18.5kW မော်တာကို တပ်ဆင်ရန် တိုက်တွန်းခြင်း (recommendation) ဖြစ်သည်။ 18.5kW မော်တာ မရနိုင်လျှင် 22.0kW မော်တာ တပ်ဆင်မောင်းနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် recommend စာလုံးကို သုံးခြင်းဖြစ်သည်။ သို့သော် 15.0 kW ကို အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။ ဈေးကွက်တွင် ရရှိနိုင်သော မော်တာအရွယ်အစား(motor size)များသည် 3.0 kW ၊ 4.0 kW ၊ 5.5 kW ၊ 7.5 kW ၊ 11.0 kW ၊ 15.0 kW ၊ 18.5 kW ၊ 22.0 kW ၊ 37kW ၊ 45kW ၊ 55kW စသည် တို့ဖြစ်သည်။

Motor Safety Allowance = 20 %

မော်တာ အရွယ်အစားရွေးချယ်ရာတွင် safety allowance အဖြစ် ၂၀% ပိုထားသည်။

Electrical supply = V-ph-Hz (380-415 V / 3ph / 50 Hz)

ထို AHU blower ၏ မော်တာကို မောင်းရန် လိုအပ်သော လျှပ်စစ်ဓာတ်အား(electrical power supply)သည် (၃၈၀)မှ (၄၁၅)ဗို့အား(voltage) အတွင်း ဖြစ်ရမည်။ Frequency 50 Hz ရှိသော 3 phase power supply ဖြစ်ရမည်။ မြန်မာနိုင်ငံ၊ ထိုင်းနိုင်ငံ နှင့် စင်ကာပူနိုင်ငံတို့ တွင် Frequency 50 Hz ဖြစ်သည်။ အခြားနိုင်ငံများ၌ 60 Hz လျှပ်စစ် ဓာတ်အား (electrical power supply)ကို အသုံးပြုသည်။

Fan Discharge Velocity = 13.15 m/s

AHU ၏ လေထွက်ပေါက်(out let)မှ ထွက်သွားသည့် လေအလျင်(discharge velocity)သည် တစ်စက္ကန့်လျှင် (၁၃.၁၅)မီတာနှုန်း (13.15 m/s)ဖြစ်သည်။ Discharge velocity များလွန်းလျှင် အသံ အလွန် ဆူညံသည်။

Total Fan Efficiency = 69.79 %

Fan သို့မဟုတ် blower ၏ total fan efficiency သည် 69.79% ဖြစ်သည်။ (Fan ၏ total efficiency သည် ၇၅% ထက်ကျော်လျှင် ပိုကောင်းသည်။)

Transmission Specification

Pulley Type/Grooves = SPB/2

Pulley အမျိုးအစားသည် မြောင်းနှစ်မြောင်း(2 grooves) ပါသော SPB Pulley ဖြစ်သည်။ ပူလီ(pulley) အသုံးမပြုသော direct drive များလည်းရှိနိုင်သည်။

ပုံ ၃-၁၂ Pulley

Fan / Motor Pulley Ø = mm 335 mm / 236 mm

Fan သို့မဟုတ် blower ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသော ပူလီ၏အချင်း(pulley diameter)သည် 335 mm ဖြစ်ပြီး မော်တာဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသော ပူလီ၏အချင်း(pulley diameter)သည် 236 mm ဖြစ်သည်။ ထို pulley အရွယ်အစားနှစ်ခု အရ မော်တာ၏ အပတ်ရေ(RPM)သည် (၁၄၅၀) ဖြစ်လျှင် fan (blower)၏ အပတ်ရေသည် (၁၀၂၀) ဖြစ်သည်။(slip ဖြစ်မည့် အပတ်ရေ(RPM)ကို ထည့်မတွက်ခဲ့လျှင်)

Belt Length = 2000 mm

Fan (blower)၏ pulley နှင့် မော်တာ၏ pulley ကို ချိတ်ဆက်ထားသော ဘဲလ်ကြိုး(belt) ၏ အရှည်သည် 2000 mm ဖြစ်သည်။ Sound Level Data များ

OUTLET IN-DUCT SOUND PWR	dB(A)95	
OUTLET IN-DUCT SOUND PWR	dB 125 Hz 95	
PER OCTAVE BAND UNIT	250 / 500 Hz	97 / 94
	1k / 2k Hz	67 / 62
	4k / 8k Hz	76 / 68
AIRBORNE SOUND POWER	dB(A)74	
AIRBORNE SOUND POWER	dB 125 Hz 85	
PER OCTAVE BAND UNIT	250 / 500 Hz	77 / 69
	1k / 2k Hz	91 / 85
	4k / 8k Hz	45 / 34

၃.၄ Air Handling Unit နှင့် Fire Mode

အဆောက်အဦ၏ M&E System များတွင် မောင်းနှင်လည်ပတ်(operate)ရန် အတွက် “Normal Mode” နှင့် “Fire Mode” ဟူ၍ ခွဲခြား သတ်မှတ်ထားသည်။ “**Normal Mode**” ဆိုသည်မှာ အဆောက်အဦ တစ်ခု၏ လုပ်ငန်းများ ထုံးစံအတိုင်း ပုံမှန် လည်ပတ်နေချိန်ကို ဆိုလိုသည်။ “**Fire Mode**” ဆိုသည်မှာ အဆောက်အဦတစ်ခုသည် မီးလောင်ခြင်းခံနေရချိန် သို့မဟုတ် မီးလောင်ခံရရန် အန္တရာယ် ရှိနေချိန်ကို ဆိုလိုသည်။ အဆောက်အဦတစ်ခု အတွင်းရှိ fire alarm panel တစ်ခုခုမှ(sub fire alarm panel ဖြစ်စေ ၊ main fire alarm panel ဖြစ်စေ) activated ဖြစ်ပါက “Fire Mode” သို့ ရောက်ရှိသည်ဟု သတ်မှတ်သည်။

Fire alarm panel တစ်ခုသည် အောက်ပါ အကြောင်းများကြောင့် activation ဖြစ်နိုင်သည်။

(က) Smoke detector သို့မဟုတ် heat detector တစ်ခုခု သည် activate ဖြစ်ပါက fire alarm panel activate ဖြစ်လိမ့်မည်။

(ခ) Sprinkler flow switch activate ဖြစ်ပါက fire alarm panel activate ဖြစ်လိမ့်မည်။ Sprinkler တစ်ခုခု သည် ပေါက်သွားသောကြောင့် ရေဆုံးရှုံးမှု(water loss)ဖြစ်ကာ sprinkler flow switch activate ဖြစ်သည်။

(ဂ) Manual call point ကြောင့်လည်း fire alarm panel activate ဖြစ်လိမ့်မည်။

(ဃ) FM200 discharge ဖြစ်ခြင်းကြောင့်လည်း fire alarm panel activate ဖြစ်လိမ့်မည်။

(င) Fire alarm panel activate ဖြစ်စေသော တခြားသော အကြောင်းတစ်ခုခုကြောင့်လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။

အဆောက်အဦတစ်ခုသည် “Normal Mode” မှ “Fire Mode” သို့ ရောက်ရှိသွားပါက ACMV System သည် အောက်ပါ လုပ်ငန်းများကို ဆောင်ရွက်ရန် လိုအပ်သည်။

(က) Air Handling Unit(AHU) များ အားလုံးကို ရပ်နား(shut down)ရန်

(ခ) မြေအောက်ကားရပ်နားရန်နေရာ(underground car park)ရှိ fan များအားလုံးသည် မြန်နှုန်းနိမ့်(low speed) မှ မြန်နှုန်းမြင့်(Hi speed)သို့ ပြောင်းမောင်းရမည်။ ကြမ်းခင်းဧရိယာသည် (၁၉၀၀) စတုရန်းမီတာ (1,900 sq. m) ထက်ပိုသည့် မြေအောက် ကားရပ်နားရန် နေရာ (basement car park)များတွင် smoke purging system တပ်ဆင် ထားရန်လိုအပ်သည်။ Smoke purging system သည် အဆောက်အဦ၏ main fire alarm panel မှ activated ဖြစ်သည့် အခါ 6 Air Change per Hour(6 ACH) လေလည်ပတ်နှုန်းမှ 9 Air Change per Hour(9 ACH)သို့ ပြောင်းမောင်းရန် လိုအပ်သည်။

(ဂ) Staircase Pressurization Fan များအားလုံးသည် pressurization mode ဖြင့် မောင်းနေရမည်။ ထို့အပြင် တခြားသော Code of Practice for Fire Precautions in Building များကိုလည်း လိုက်နာရန် လိုအပ်သည်။

၃.၅ Cooling Coils နှင့် Heating Coils

Cooling coil သည် Air Handling Unit ၏ အဓိက အစိတ်အပိုင်း တစ်ခုဖြစ်သည်။ Coil များ ၏ အဓိက လုပ်ဆောင်မှု(function)သည် အပူကူးပြောင်း(heat transfer)အောင် ဆောင်ရွက်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ Coil များ ကို အပူဖလှယ်သည့် ကိရိယာများ(heat exchangers) ဟုလည်းခေါ်သည်။ Air Handling Unit ၏ cooling coil အလုပ်လုပ်ပုံသည် နားလည်ရန် လွယ်ကူသည်။ Air Handling Unit ၏ cooling coil အကြောင်း နားလည်လျှင် ကျန်အမျိုးအစား အားလုံးကို နားလည်နိုင်သည်။ Chilled-water cooling coil များသည် plate-fin-tube heat exchanger အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။ အကြီးစား အဆောက်အဦများတွင် လေကိုအေးအောင်(cooling) ပြုလုပ်ခြင်း နှင့် ရေငွေ့ဖယ်ထုတ်ခြင်း(dehumidification) ပြုလုပ်ရန် အတွက် cooling coil ကို အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။

Air Handling Unit တွင် cooling coil နှင့် heating coil ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရှိသည်။

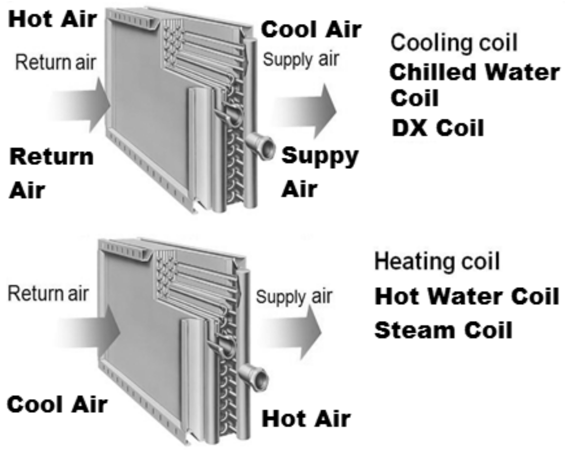
Air Handling Unit ၏ coil အမျိုးအစားများ	
Cooling Coil	**Heating Coil**
Chilled water cooling coil	Hot water heating coil
Direct expansion cooling coil (DX coil)	Steam heating coil

Chilled water cooling coil သည် အေးသည့်အရည်(cold fluid) [ဥပမာ-chilled water] နှင့် ပူသည့်လေ(hot fluid) [ဥပမာ-return air]တို့ နှစ်ခုအကြားတွင် အပူဖလှယ်မှု(heat exchange)ဖြစ်အောင် ဆောင်ရွက် ပေးသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပူသည့်လေ(hot fluid)[ဥပမာ-return Air]မှ အပူ(heat)များသည် coil မှတစ်ဆင့် အေးသည့်အရည်(cold fluid)[ဥပမာ-chilled water]ဆီသို့ စီးဆင်းသွားသည်။ အပူ(heat)သည် အပူချိန်(temperature) မြင့်သည့် နေရာမှ အပူချိန်(temperature)နိမ့်သည့် နေရာသို့ စီးဆင်းလေ့ရှိသည်။ လေထဲမှ အပူများ(sensible heat နှင့် latent heat)ကို AHU ၏ cooling coil မှ တဆင့် ဖယ်ထုတ်(remove) သည်။

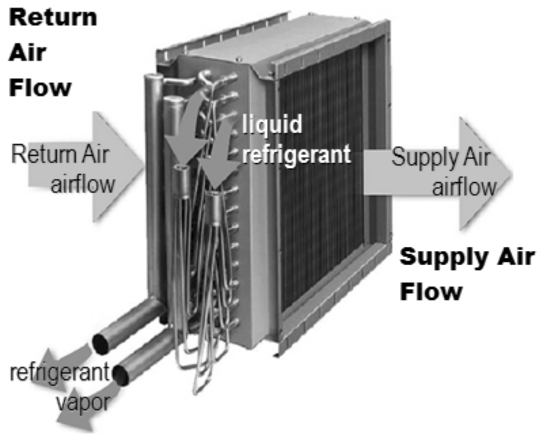
Coiling coil သည် Air Handling Unit တွင် မရှိမဖြစ် ဝင်ပါသည့် အစိတ်အပိုင်း(essential part) ဖြစ်သည်။ Heating coil သည် Air Handling Unit ၏ optional item ဖြစ်သည်။ အအေးပိုင်း ဒေသများတွင်သာ heating coil ကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

Hot water coil နှင့် steam coil ဟူ၍ heating coil နှစ်မျိုးရှိသည်။ Hot water coil သည် အေးသည့် fluid(return air)နှင့် ပူသည့် fluid(hot water)တို့ အတွင်း အပူဖလှယ်ခြင်း(heat exchange) ဖြစ်အောင် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပူသည့် fluid (hot water)မှ အပူ (heat)များသည် coil မှ တစ်ဆင့် အေးသည့် fluid (return air)သို့ စီးဆင်းသွားသည်။

Cooling coil ၏ အဓိကတာဝန်သည် လေထဲမှ အပူများကို စုပ်ယူဖယ်ရှားပစ်ခြင်း(removing) နှင့် ရေငွေ့ဖယ်ထုတ်ခြင်း(dehumidification)ဖြစ်သည်။ လေထဲမှာ အပူများကို အေးနေသည့် chilled water သို့မဟုတ် refrigerant မှ စုပ်ယူသွားအောင် cooling coil က ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Cooling coil တွင်လည်း chilled water cooling coil နှင့် direct expansion cooling coil (DX coil)ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရှိသည်။ Chilled water ကို အသုံးပြု၍ လေထဲမှ အပူများကို စုပ်ယူလျှင် chilled water cooling coil ဟု ခေါ်ဆို၍ refrigerant ကို အသုံးပြု၍ လေထဲမှ အပူများကို စုပ်ယူလျှင် ထို cooling coil ကို DX (Direct expansion) cooling coil ဟုခေါ်သည်။



ပုံ ၃-၁၃ Cooling coil and heating coil



ပုံ ၃-၁၄ DX(Direct expansion) cooling coil

Chilled water cooling coil များသည် လေ(air) နှင့် ရေ(chilled water) နှစ်ခုအကြား အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer)ဖြစ်အောင် ဆောင်ရွက်ပေးသော "**Heat Exchanger**" တစ်မျိုးဖြစ်သည်။ DX (Direct expansion) cooling coil များသည် လေ(air) နှင့် refrigerant အကြား အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer) ဖြစ်အောင် ဆောင်ရွက်ပေးသော "Heat Exchanger" တစ်မျိုးဖြစ်သည်။ Plate heat exchanger ၊ shell and tube heat exchanger နှင့် fin and tube heat exchanger ဟူ၍ သုံးမျိုးရှိသည့်အနက်မှ cooling coil များသည် fin and tube heat exchanger အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။

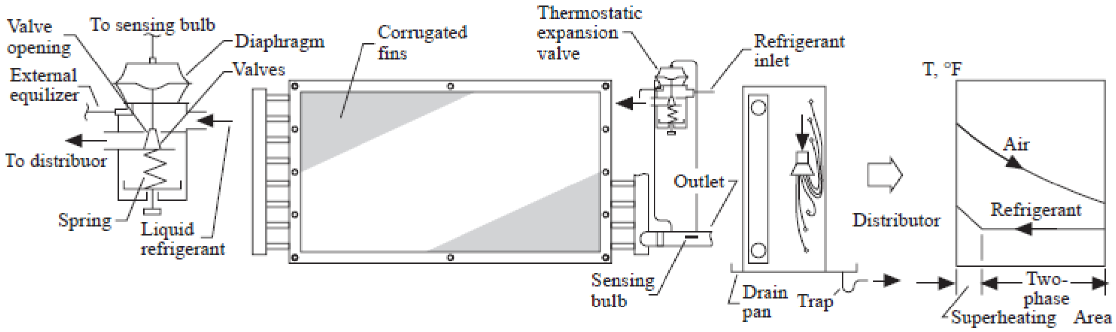
Cooling coil ၏ အလုပ်လုပ်ပုံကို psychrometrics chart ပေါ်တွင် cooling နှင့် dehumidification process လိုင်းများနှင့်တကွ နားလည်သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်သည်။

Fin ငယ်ကလေးများဖြင့် ပြုလုပ်ထားသော coil များတွင် အချို့သောလေများသည် cooling coil ၏ fin များ သို့မဟုတ် tube များကို မထိဘဲ ဖြတ်သွားသည်။ ထိုသို့ fin များ သို့မဟုတ် tube များကို မထိဘဲ ဖြတ်သွားသည့်လေကို "Bypass Air" ဟုခေါ်သည်။ Bypass ဖြစ်သည့် လေပမာဏကို Bypass Factor(BF)ဟုခေါ်သည်။ Four-row coil တွင် လေသည် 3.5 m/s နှုန်းဖြင့် ဖြတ်သွားလျှင် ဝင်လာသည့်လေ၏ ၃၀% သည် fin များ သို့မဟုတ် tube များကို မထိဘဲ ဖြတ်သွားသည်။ 30% bypass ဖြစ်သည်ဟု ပြောဆိုကြသည်။ Bypass factor(BF)သည် 0.3 ဖြစ်သည်။ Eight-row coil တွင် လေသည် 1.5m/s ဖြတ်သွားလျှင် 2% သာ bypass ဖြစ်သည်။

၃.၅.၁ Direct expansion coil(DX Coil)

Coil အတွင်းသို့ဝင်လာသည့် refrigerant သည် အရည်(liquid) ဖြစ်သည်။ Coil အတွင်းရှိ refrigerant အရည်သည် လေမှ အပူများကို စုပ်ယူကာ အငွေ့(vapor)အဖြစ်သို့ phase ပြောင်းလဲသွားသည်။ Refrigerant အပူချိန်ပြောင်းလဲခြင်းမရှိပေ။ Super heat အပူချိန်မှ ကျဆင်းလာသည့် အပူချိန် အနည်းငယ်သာ ပြောင်းလဲသောကြောင့် refrigerant တွင် latent heat of vaporization သာဖြစ်ပေါ်သည်။ အဝင်ပိုက်သည် capillary tube ကလေးများဖြစ်သည်။ အထွက်ပိုက်သည် အရွယ်အစား(diameter)ကြီးသည့် ပိုက်တစ်ချောင်းသာဖြစ်သည်။

အထက်ပါပုံ(၃-၁၄)သည် capillary tube များ ပါရှိသောကြောင့် direct expansion cooling coil တစ်ခု၏ ပုံ ဖြစ်ကြောင်း သိနိုင်သည်။ လေသည် DX coil အတွင်း refrigerant နှင့် တိုက်ရိုက် ထိတွေ့နေသောကြောင့် direct expansion cooling coil ဟုခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

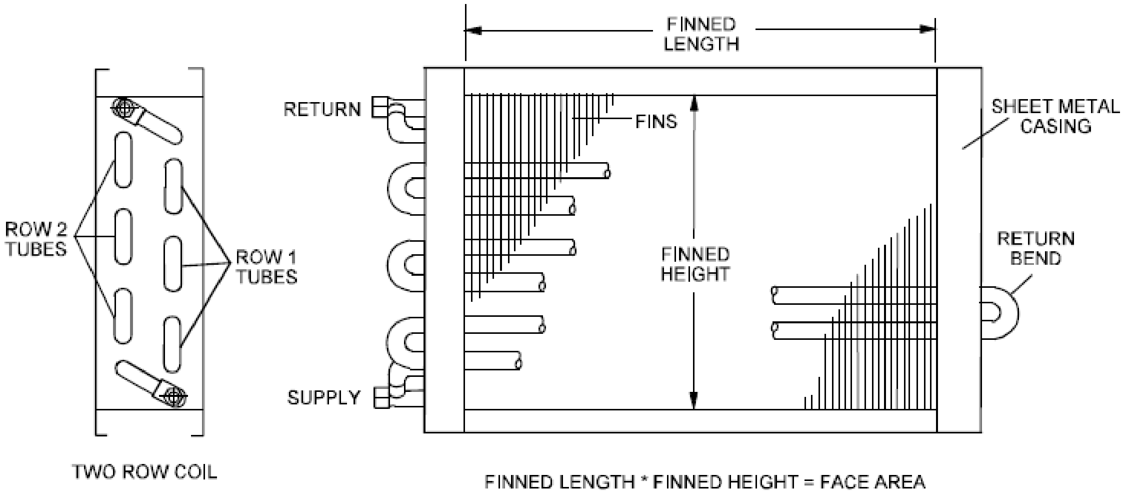


(a)

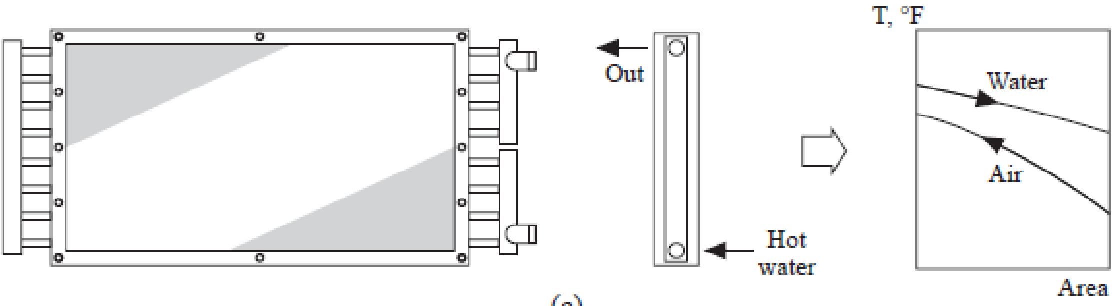
ပုံ ၃-၁၅ DX(Direct expansion) cooling coil

၃.၅.၂ Chilled Water Cooling Coil

Coil အတွင်း၌ အေးသည့် chilled water များဖြင့် ပြည့်နေသောကြောင့် coil တစ်ခုလုံးသည် အေးနေသည်။ ထို့နောက် coil အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် လေများသည် အေးသည့် coil ၏ fin များနှင့် ထိကာ လေမှ အပူများသည် coil မှ တစ်ဆင့် chilled water ဆီသို့ စီးဆင်းသွားသည်။ ထိုကဲ့သို့ အပူကူးပြောင်း ခြင်းကြောင့် လေ၏ အပူချိန် နိမ့်ဆင်းလာပြီး chiller water ၏ အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။ Chiller water အဝင်ပိုက်(inlet pipe)သည် coil ၏ နိမ့်သည့်ဘက်၌ ရှိရမည်။ Chiller water အထွက်ပိုက် (outlet pipe)သည် coil ၏ မြင့်သည်ဘက်၌ ရှိရမည် ဖြစ်သည်။ Chilled water coil အတွက် ဖိအား ကန့်သတ်ချက်(pressure range)သည် (၁၇၅) မှ (၃၀၀) psig အတွင်းဖြစ်သည်။



ပုံ ၃-၁၆ Chilled water coil (two row)

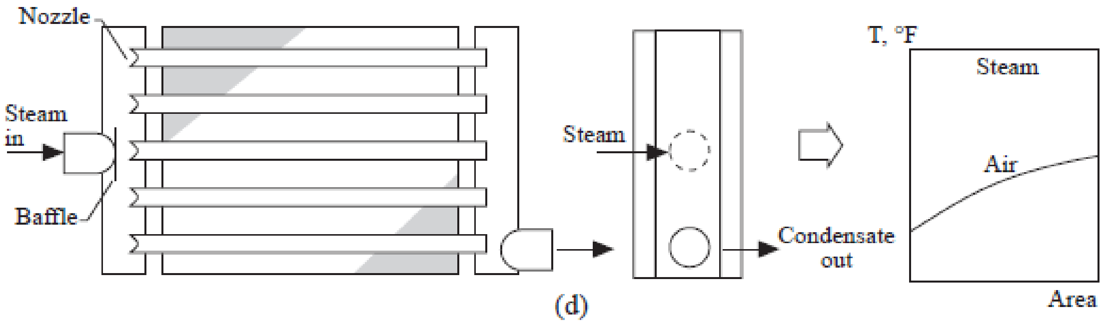


(c)

ပုံ ၃-၁၈ Hot water heating coil

၃.၅.၃ Hot Water Heating Coil

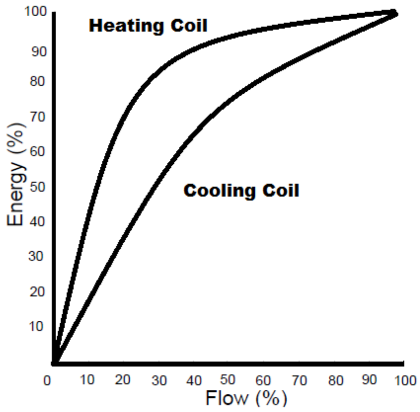
Coil အတွင်းသို့ အလွန်ပူသည့် hot water ဝင်လာသည်။ ထိုနောက် hot water သည် လေထဲသို့ အပူများကို စွန့်ထုတ်ကာ ထွက်သွားသည်။ Hot water တွင် အပူဆုံးရှုံးခြင်း(heat loss)ဖြစ်ပေါ်ပြီး လေတွင် အပူတိုးခြင်း(heat gain) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Hot water အဝင်ပိုက်သည် နိမ့်သည့်ပိုက်ဖြစ်ပြီး အထွက်ပိုက်သည် အမြင့်ပိုက်ဖြစ်သည်။



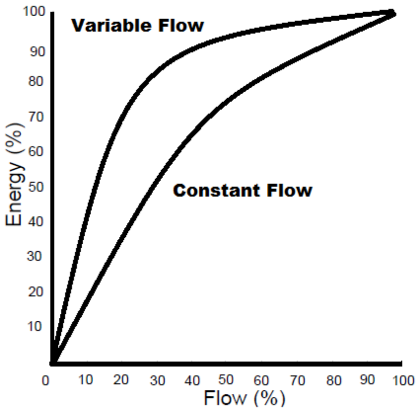
ပုံ ၃-၁၉ Steam heating coil

၃.၅.၄ Steam Heating Coil

Coil အတွင်းသို့ အပူချိန် အလွန်မြင့်သည့် ရေနွေးငွေ့(steam)ဝင်လာသည်။ ထိုနောက် အေးသည့် လေများမှ အပူများကို စုပ်ယူသွားသောကြောင့် ရေနွေးငွေ့(steam)တွင် condensation ဖြစ်ပေါ်ကာ condensate water အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲကာ ရေအဖြစ်ထွက်သွားသည်။ အဝင်ပိုက်သည် steam (vapor form)အတွက် ဖြစ်ကာ အထွက်ပိုက်သည် condensate water အတွက်ဖြစ်သည်။

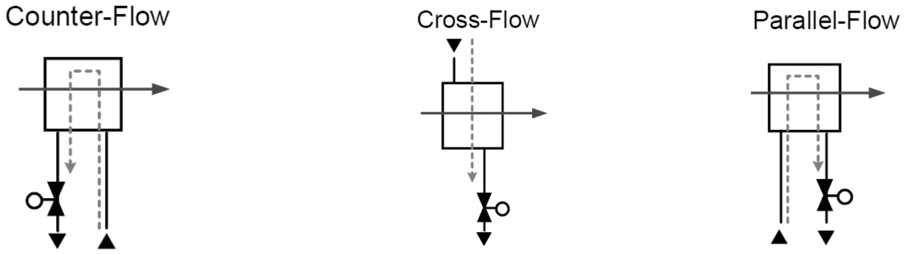


ပုံ ၃-၂၀ Heating Coil and Cooling Coil



ပုံ ၃-၂၁ Variable Flow and Constant Flow

ပုံ(၃-၂၀)တွင် heating coil နှင့် cooling coil တို့၏ heat exchanger characteristics များကို ဖော်ပြထားသည်။ ပုံ(၃-၂၁)တွင် variable flow နှင့် constant flow တို့၏ heat exchanger characteristics များကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၃-၂၂ Counter-flow ၊ Cross-flow နှင့် Parallel-flow

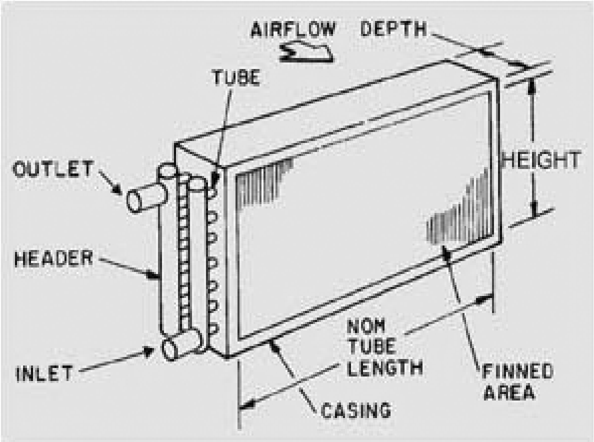
Hot media နှင့် cold media တို့ကို လိုက်၍ flow arrangement သို့မဟုတ် circuit ပုံစံကွဲပြားပုံကို ဖော်ပြ ထားသည်။ Heat exchanger များသည် တည်ဆောက်ထားပုံကို လိုက်၍ counter-flow ၊ cross-flow နှင့် parallel-flow ဟူ၍ အမျိုးအစားများ ကွဲပြားကြသည်။ Flow ပုံစံ ကွဲပြားသောကြောင့် ရရှိနိုင်သည့် efficiency များလည်း ကွဲပြားသည်။ ရရှိနိုင်သည် အမြင့်ဆုံး အပူချိန် နှင့် အနိမ့်ဆုံး အပူချိန် မတူညီကြပေ။

၃.၆ Coil အရွယ်အစား (Size)

Coil ၏ အရွယ်အစားသည် လေစီးနှုန်း(air flow or air volume) နှင့် face velocity ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Cooling load အပေါ်တွင် မူမတည်ပေ။ Cooling load သည် coil တွင် ပါရှိသည့် row အရေအတွက် နှင့် fin ကလေးများ အစိတ်အကျဲ FPI(fin per inch)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

လေစီးနှုန်း(air flow rate)များလျှင် coil ၏ မျက်နှာပြင် ဧရိယာ(face area)လည်းကြီးလာသည်။ ထို့ကြောင့် အရွယ်အစားသည်လည်း ကြီးလာသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် face velocity သည် 2.5m/s (500 FPM)ထက်ပို မမြန်အောင် ကန့်သတ်ထားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Cooling coil ရှိ fin ကလေးများ အကြား ဖြတ်သွားသည့် လေအလျင်(velocity)ကို "**Face Velocity**" ဟုခေါ်သည်။

Cooling coil များအားလုံး၏ face velocity သည် 2.5m/s (500 FPM)ထက် ပိုမများအောင် ကန့်သတ်ထားသည်။ 2.5m/s (500FPM) ထက်ပိုများပါက water carried over ဖြစ်နိုင်သည်။



ပုံ ၃-၂၃ Chilled water cooling coil

Cooling coil ရှိ fin ကလေးများ၏ အပူချိန်သည် ဝင်လာသည့်လေ၏ Dew point temperature ထက်နိမ့်အောင် အေးသောကြောင့်) လေများမှ သယ်ဆောင် လာသော ရေငွေ့(water vapor) များသည် condensation ဖြစ်ပေါ်သည်။

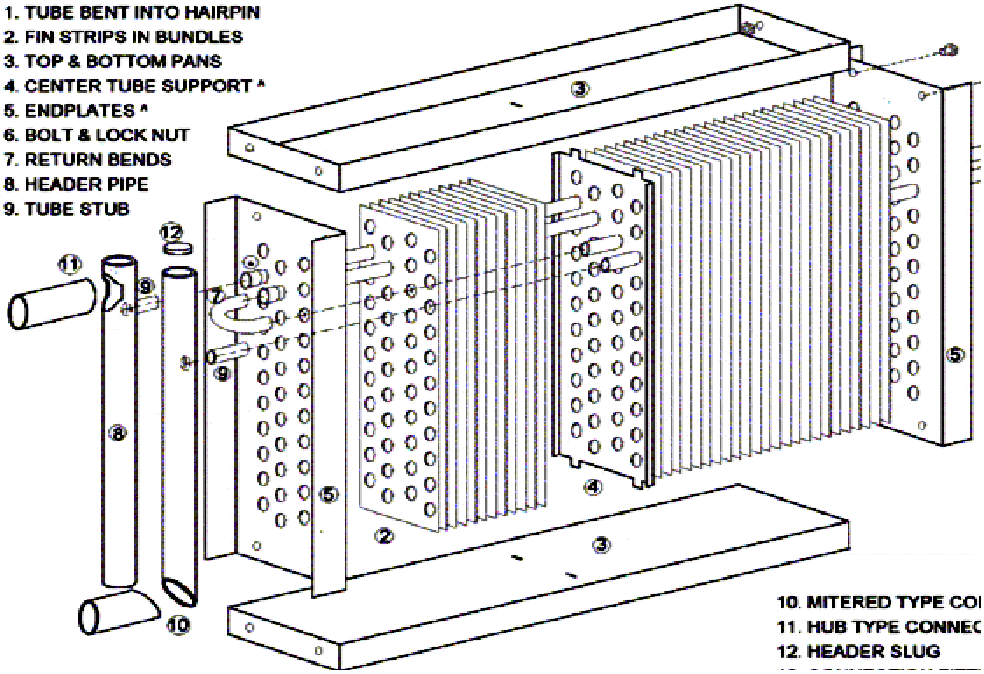
ထို condensate water များသည် face velocity ၏ တွန်းအားကြောင့် cooling coil ၏ အောက်ရှိ drain pan ပေါ်သို့မကျဘဲ drain pan ၏ အပြင်ဘက်သို့ ကျော်ကျခြင်း ဖြစ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ condensate ရေများ drain pan အပြင်သို့ လွင့်စင်ကျခြင်းကို "**Carried Over**" ဟုခေါ်သည်။

Air flow rate (CMH) ကို တည်၍ face velocity 2.5 m/s နှင့် စားလျှင် coil ဧရိယာ(m^2)ကိုရသည်။ Coil ၏ အရှည်(length) နှင့် coil ၏ အမြင့်(height)ကို ဆက်တွက်ရန် လိုအပ်သည်။ လေးထောင့်ပုံသဏ္ဍာန်(rectangular) cooling coil နှင့် စတုရန်းပုံသဏ္ဍာန်(square) coil နှစ်မျိုးရှိသည့် အနက် စတုရန်းပုံသဏ္ဍာန်(square) coil သည် ဧရိယာ တူညီသည့် လေးထောင့်ပုံသဏ္ဍာန်(rectangular) coil ထက် ပိုဈေးကြီးသည်။ Coil တည်ဆောက်ရန် ကုန်ကျစရိတ် ပိုများသည်။

Square ပုံသဏ္ဍာန် coil ပြုလုပ်ရန်အတွက် တိုသော copper tube များစွာ လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် တိုသော tube များစွာကို "Welding" သို့မဟုတ် "Brazing" လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Rectangular ပုံသဏ္ဍာန် coil ဖြစ်ရန်အတွက် ရှည်သော copper tube အနည်းငယ်သာ လိုအပ်သည်။ "Welding" သို့မဟုတ် "Brazing" အနည်းငယ်ကိုသာ လုပ်ရန် "Welding" သို့မဟုတ် "Brazing" လုပ်ရန် လိုသည်။ ထို့ကြောင့် လေးထောင့်ပုံသဏ္ဍာန်(rectangular) cooling coil အကုန်အကျ ပိုများသည်။

Cooling coil ပြုလုပ်ရန် အသုံးများသော length to height ratio သည် 2:1 ဖြစ်သည်။ အရှည် နှင့် အမြင့် အချိုးသည် နှစ်ဆ၊ တစ်ဆဖြစ်သည်။

Coil ၏ အရှည်သည်(၄)ပေဖြစ်လျှင် coil ၏ အမြင့်ကို (၂)ပေထက် ပိုမနိမ့်အောင် မပြုလုပ်သင့်ပေ။ မြင့်လွန်းသည့် cooling coil များကိုလည်း မပြုလုပ်သင့်ပါ။ Coil ၏ အမြင့်(height)သည် အလွန်မြင့်လွန်းလျှင် condensate water သည် အမြင့်မှ ကျဆင်းလာချိန်တွင် လေ၏တွန်းခြင်း(high velocity)ကြောင့် drain pan အတွင်းသို့ မကျဘဲ အပြင်သို့ ကျနိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ နေရာ အခက်အခဲကြောင့် coil ၏ အမြင့်(height) များလွန်းပါက coil ငယ် နှစ်ခုအဖြစ် ခွဲပြီးထပ်ထားခြင်းဖြင့် ဖြေရှင်းနိုင်သည်။ Coil နှစ်ခုလုံး၏ အောက်တွင် drain pan တပ်ဆင်ထားရမည်။



ပုံ ၃-၂၄ Cooling Coil တစ်ခုတွင် ပါဝင်သည့် အစိတ်အပိုင်းများ

$$Coil\ Face\ Area\ = Finned\ Height\ \ x\ Finned\ Length$$

$$Coil\ Face\ Velocity(FPM) = \frac{Coil\ Airflow\ (CFM)}{Coil\ Face\ Area(ft^2)}$$

Chilled water cooling coil တစ်ခုတွင် ပါဝင်သည့် အစိတ်အပိုင်းများကို ပုံ(၃-၂၄)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ လေ(supply air)သည် coil ၏ ဘယ်ဘက်မှ ဝင်၍ fin ကလေးများ အကြားမှ ဖြတ်သွားသည်။ Chilled water သည် ထိုဝင်လေ၏ ဆန့်ကျင်ဘက်မှ coil ထဲသို့ ဝင်ပြီး ဖြတ်စီးသွားပြီး ဝင်လာသည့် လေကို အေးစေပြီး ရေငွေ့ဖယ်ထုတ်ခြင်း(dehumidification)ဖြစ်စေသည်။ "Cross counter-flow arrangement"ဟု ခေါ်သည်။

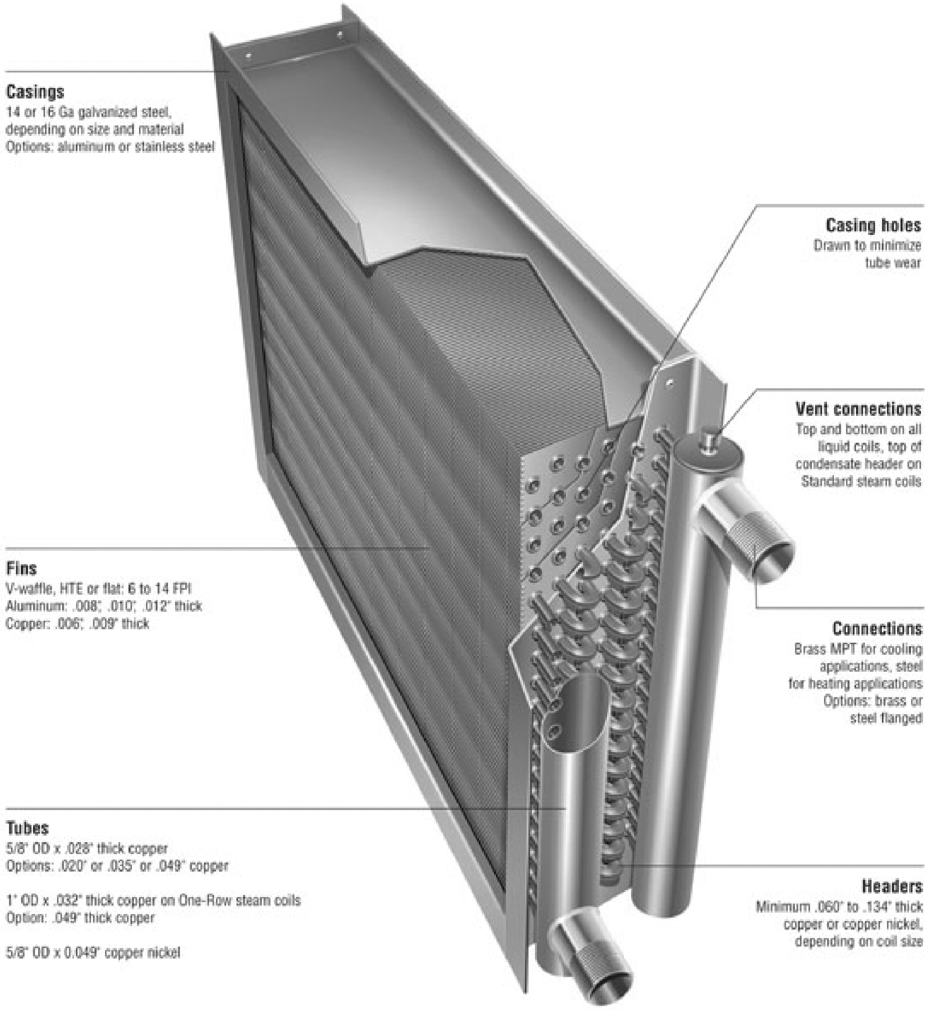
၃.၇ AHU Cooling Coil တည်ဆောက်ပုံ

AHU cooling coilကို ပုံ(၃-၂၄)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း ပိုက်ကလေးများ(tubes)နှင့် fin များဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည်။ ပိုက်ကလေးများ(tubes) နှင့် fin တို့ကို အပူလျှောက်ကူးမှုကောင်းသော သတ္တုတို့ဖြင့် ပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။ Coil ၏ ပိုက်ကလေးများ(tubes)ကို ကြေးနီသတ္တု(copper material)ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ Finကို အလူမီနီယံသတ္တု(aluminum material)ဖြင့် ပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။ ကြေးနီသတ္တု(copper material) ၏ ဓာတုဗေဒ သင်္ကေတသည် "Cu" ဖြစ်သည်။ အလူမီနီယံသတ္တု(aluminum material)၏

ဓာတုဗေဒ သင်္ကေတသည် "Al" ဖြစ်သည်။ Chilled water cooling coil ၏ header သည် ပိုက်အကြီး တစ်ချောင်းသာ ဖြစ်သည်။

၃.၇.၁ Coil ၏ Row နှင့် Fin များ

Coil ၏ ဘေးဘက်ကို ပေါ်မှကြည့်လျှင် မြင်ရသည့် copper pipe တန်းများ၏ အရေအတွက်ကို "**Row**" ဟု သတ်မှတ်သည်။ Fins Per Inch(FPI)သည် တစ်လက်မအတွင်းရှိသည့် fin ကလေးများ၏ အရေအတွက် ဖြစ်သည်။ AHU model တူသော်လည်း coil ၏ row နှင့် fin အရေအတွက်များ လျှင် cooling capacity ပိုများ သည်။ သို့သော် coil ၏ row နှင့် fin အရေအတွက်များလျှင် လေခုခံမှုအား(air resistance) များသောကြောင့် blower မော်တာ အားကောင်းရန် လိုသည်။ Row နှင့် FPI (Fins per Inch)တို့ကို မည်ကဲ့သို့ သတ်မှတ်သည်ကို အောက်ပါ ပုံများတွင် လေ့လာနိုင် ပါသည်။ Fin များနှင့် ချိတ်ဆက်ထားသော tube bank တစ်ခုလုံးကို coil ဟုခေါ်ဆိုသည်။ ထို tube bank ကို circuit ငယ်ကလေးများနှင့် ခွဲထားသည်။



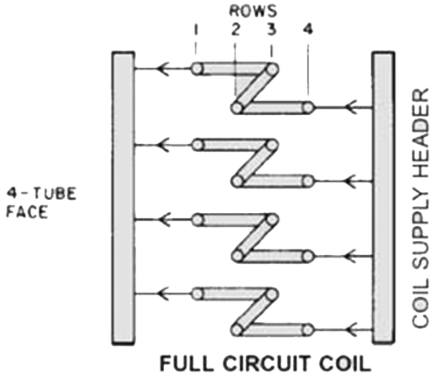
ပုံ ၃-၂၅ Cooling coil တစ်ခု တည်ဆောက်ထားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

Fin အမျိုးအစားများ

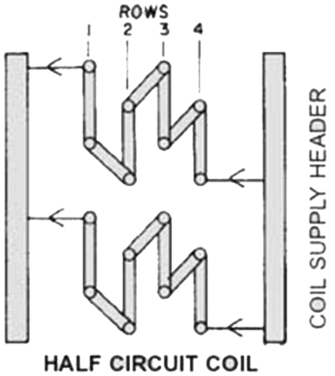
Cooling coil ၏ pipe header ကို ကြည့်ခြင်းဖြင့် chilled water cooling coil သို့မဟုတ် direct expansion cooling coil(DX coil)ဖြစ်ကြောင်း ခွဲခြားနိုင်သည်။ Chilled water cooling coil ၏ header သည် ပိုက်အကြီး တစ်ချောင်းသာဖြစ်သည်။ Direct expansion cooling coil(DX coil)တွင် refrigerant သည်

expansion ဖြစ်ရန် လိုအပ်သောကြောင့် tube ကလေးပေါင်းများစွာဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည်။ ထို tube ကလေးများကို "Capillary Tube" ဟုခေါ်သည်။

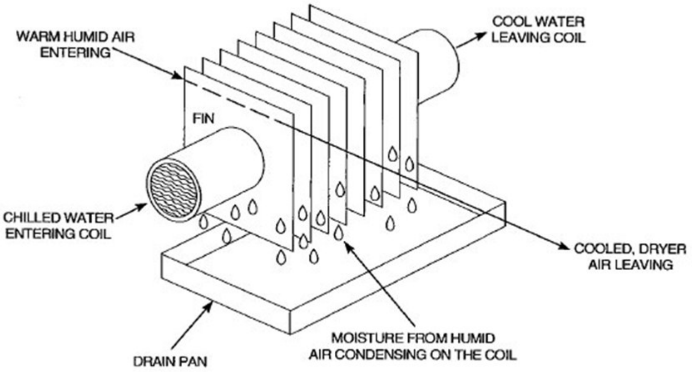
> မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(face area)တူသည့် cooling coil နှစ်ခုတွင် row အရေအတွက် တူလျှင် FPI များသည့် cooling coil သည် ပို၍ capacity များသည်။ မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(face area)တူသည့် cooling coil နှစ်ခုတွင် FPI အရေအတွက် တူလျှင် row အရေအတွက် များသည့် cooling coil သည် ပို၍ capacity များသည်။



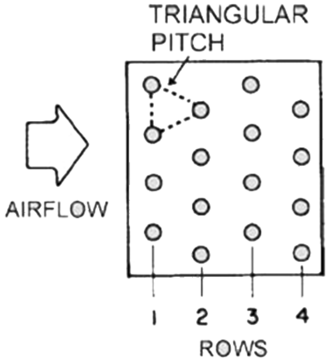
ပုံ ၃-၂၆(က) Full circuit coil



ပုံ ၃-၂၆(ခ) Half circuit coil

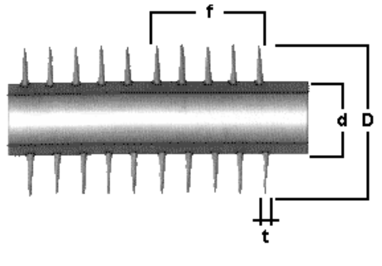


ပုံ ၃-၂၇ Chilled water cooling coil operation

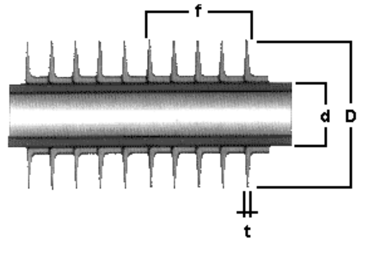


ပုံ ၃-၂၈ Fow rows coil

> Fin width များလေ tube အရေအတွက် များလေဖြစ်ပြီး(row အရေအတွက် များလေဖြစ်ပြီး) flow passage အခေါက်ရေလည်း များသည်။ Serpentines အရေအတွက် များလေ၊ water circuit ၏ total cross-sectional area များလေဖြစ်ပြီး water volume flow rate လည်းများသည်။

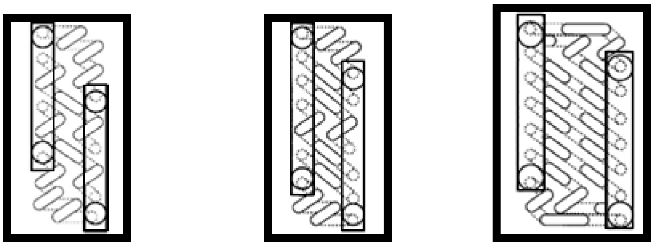


Hellically wound fin(*Embeded Fin)*
d = Diameter of Tube
ပုံ ၃-၂၉



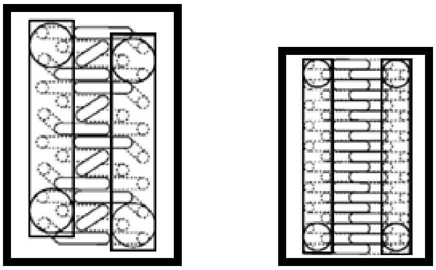
L-footed fin*(Wrapped-On Fin)*
D = O.D. of Finned Tube
ပုံ ၃-၃၀

f = Fins Per Inch
t = Fin Thickness
ပုံ ၃-၃၁



½ serpentine	¾ serpentine	1 serpentine
4 water circuit	6 water circuit	8 water circuit
8 passes	4 and 6 passes	6 passes
4 row	4 row	6 row

ပုံ ၃-၃၂ Cooling coil ၏ အချက်အလက်များ(serpenitine ၊ circuit ၊ pass ၊ row)ကို ဖော်ပြထားသည်။



1½ serpentine	2 serpentine
12 water circuit	19 water circuit
4 passes	4 passes
6 row	8 row

ပုံ ၃-၃၃ Cooling coil ၏ အချက်အလက်များ(serpenitine၊ circuit ၊ pass ၊ row)ကို ဖော်ပြထားသည်။

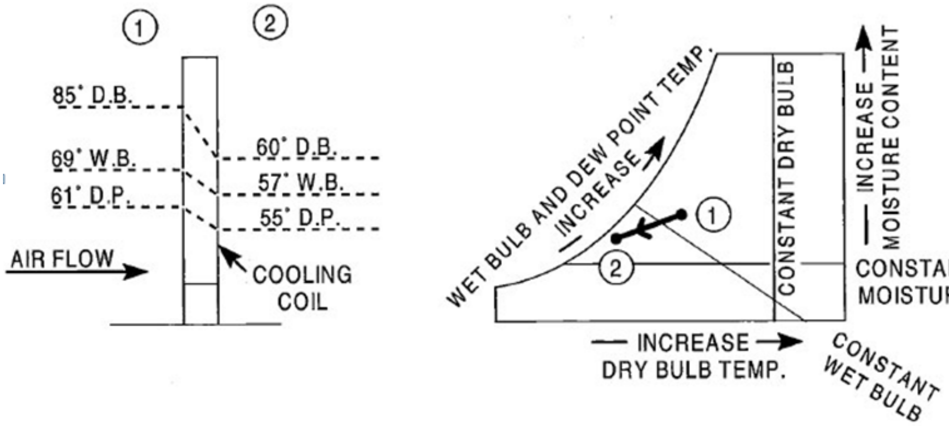
၃.၈ Dry Coil နှင့် Wet Coil

Cooling coil တစ်ခုသည် sensible cooling process ကိုသာ လုပ်ဆောင်နေလျှင် သို့မဟုတ် လုပ်ဆောင်နေသည့်အခါကို“**Dry Coil**”ဟုခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရေငွေ့ဖယ်ထုတ်ခြင်း (dehumiditation) ဖြစ်မနေပါ။ Sensible cooling သာ လုပ်ရန်လိုသည့် လုပ်ငန်းများတွင် dry coil ကို အသုံးပြုကြသည်။ Condensation လည်း မဖြစ်ပေါ်ပေ။ ထို coil ၏ မျက်နှာပြင်(surface) အပူချိန်သည် ဝင်လာသည့် လေ၏ Dew point အပူချိန်(temperature)ထက် မြင့်နေသည့်အခါမျိုး ဖြစ်သည်။ ထိုအခြေအနေ(condition) တွင် condensation မဖြစ်နိုင်ပါ။ ထို sensible cooling process ကို psychrometric chart ပေါ်တွင် ရေပြင်ညီလိုင်း (horizontal line)ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

> Cooling coil တစ်ခု၏ မျက်နှာပြင်အပူချိန်(surface temperature)သည် ဝင်လာသည့်လေ၏ dew point အပူချိန်(temperature)ထက်နိမ့်သည့်အခါ၌သာ ထို coil ပေါ်တွင် condensation ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ထို coil တွင် ရေငွေ့ဖယ်ထုတ်ခြင်း(dehumidification) ဖြစ်ပေါ်သည်။

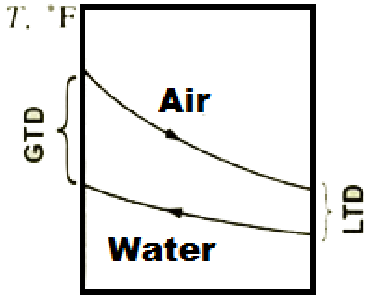
အခန်း(serving area)မှ cooling load အနည်းငယ်သာ လိုအပ်သောကြောင့် chilled water အနည်းငယ်သာcoil အတွင်းသို့ စီးဝင်သည့် part-load operation သို့မဟုတ် part-load condition အခိုက် cooling coil သည် “Dry Coil” အဖြစ် ဆောင်ရွက်(perform)လုပ်နေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ထို coil တွင် ရေငွေ့ဖယ်ထုတ်ခြင်း(dehumidification) မဖြစ်ပေါ်ပေ။

Cooling coil တစ်ခုသည် sensible cooling နှင့် dehumidification process ကို လုပ်ဆောင်နေလျှင် သို့မဟုတ် လုပ်ဆောင်နေသည့်အခါကို **"Wet Coil"** ဟုခေါ်သည်။ ထို coil ၏ မျက်နှာပြင်အပူချိန်သည်(outer surface temperature of the coil)သည် ဝင်ရောက်လာသည့် လေ၏ Dew point ထက်နိမ့်နေသည့် အခါမျိုး ဖြစ်သည်။ ထိုအခြေအနေ(condition)တွင် လေသည် သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့များကို ဆက်လက်သယ် ဆောင်နိုင်စွမ်း မရှိတော့သောကြောင့် condensation process ဖြစ်ပေါ် လာသည်။ ထိုအခါ cooling coil သည် condensate water တို့ဖြင့် စိုစွတ်နေသောကြောင့် "Wet Coil" ဟုခေါ်ခြင်းဖြစ်သည်။

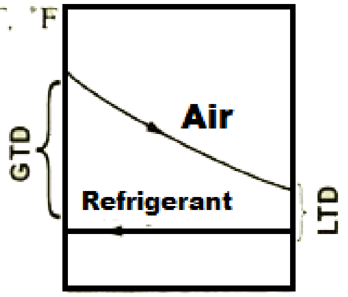


ပုံ ၃-၃၄ Cooling and dehumidifying process of coil

အထက်ပါပုံသည် chilled water cooling coil တစ်ခု ၏ temperature gradient ကိုဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၃-၃၅ Chilled water cooling coil



ပုံ ၃-၃၆ Direct expansion cooling coil(DX coil)

Chilled water cooling coil ၌ chilled water တွင် sensible heat gain ဖြစ်သောကြောင့် အထွက်(leaving temperature) အပူချိန်သည် အဝင်အပူချိန်(entering temperature)ထက် ပိုမြင့်သည်။ Direct expansion cooling coil (DX coil)၌ refrigerant တွင် latent heat gain ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် အဝင်နှင့်အထွက် အပူချိန် ပြောင်းလဲမှု အနည်းငယ်သာရှိသည်။ Refrigerant အရည် အဖြစ်မှ refrigerant အငွေ့(vapor) အဖြစ်သို့သာ ပြောင်းလဲသွားသည်။

၃.၉ AHU Cooling Coil Specification

Cooling coil သည် air distribution system(air side) နှင့် chilled water system(water side)နှစ်ခု အကြားတွင်ရှိသော equipment ဖြစ်သည်။ Airside load နှင့် chilled water side နှစ်ခုအကြားတွင် အပူ ကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer)ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ AHU cooling coil ၏ specification များ အကြောင်းကို စေ့စပ်စွာ နားမလည်လျှင် Air con အင်ဂျင်နီယာတစ်ယောက်အဖြစ် မရပ်တည်နိုင်ပါ။ Coil ဒီဇိုင်းနာ တစ်ယောက်ကဲ့သို့ လည်းကောင်း၊ ထုတ်လုပ်သူ (manufacturer) တစ်ယောက်ကဲ့သို့ လည်းကောင်း နားမလည်နိုင်ခဲ့သော် အသုံးပြုသူ(user) တစ်ယောက်ကဲ့သို့ နားလည်ရန် လိုအပ်သည်။

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည် cooling coil specification သည် "York" မှ ထုတ်လုပ်သည့် AHU တစ်လုံး၏ technical report တွင် ဖော်ပြထားသော cooling coil အပိုင်းမှ အချက်အလက်များ ဖြစ်သည်။

COOLING COIL SPECIFICATION (1)		
ALTITUDE	ft	
COIL TYPE		BDW
TUBE / FIN MATERIAL		Cu / Alu
TUBE HEIGHT / FIN LENGTH		38 / 87
ROWS / FPI / CIRCUIT		6 / 8 / D
COIL AREA	ft^2 (m^2)	28.63 (2.66)
AIR ON DB / WB	°F (°C)	75 (23.89) / 64.4 (18.00)
AIR OFF DB / WB	°F (°C)	55.21 (12.89) / 54.01 (12.23)
FACE VELOCITY	FPM (m/s)	474 (2.41)
AIR PRESSURE DROP	in. Wg (Pa)	0.38 (95)
SUCTION TEMP. FOR BDX	°F (°C)	-
WATER ON / OFF TEMP.	°F (°C)	44 (6.67) / 56.05 (13.36)
WATER FLOW RATE	GPM (m^3/h)	69.7 (15.83)
WATER PRESSURE DROP	ft. Wg (kPa)	15.4 (46.20)
SENSIBLE CAPACITY	Btu / hr (kW)	295,650 (86.6)
TOTAL CAPACITY	Btu / hr (kW)	419,900 (123.1)
COIL SHF		0.7

Altitude (ft)

ပင်လယ်ရေပြင်(sea level)မှ ပေ(feet)မည်မျှမြင့်သည့် နေရာတွင် တပ်ဆင်အသုံးပြုရန် ရွေးချယ်(select) ထားသည် သို့မဟုတ် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည်ကို ဖော်ပြခြင်းဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် လေသည် အမြင့်(altitude)ကို လိုက်၍ သိပ်သည်းမှု(air density) ပြောင်းလဲနေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

> ပင်လယ်ရေပြင်မှ ပိုမြင့်လေ၊ လေသိပ်သည်းဆ(air density) ပိုနည်းလေ ဖြစ်သည်။ AHU blower ၏ volume flow rate မပြောင်းလဲသောကြောင့် လေသိပ်သည်းဆ(air density) နည်းလေ mass flow နည်းလေ ဖြစ်ပြီး AHU ၏ cooling capacity လည်း လိုက်နည်းသွားသည်။

ပင်လယ်ရေပြင်မှ အမြင့်ပေ(၁၀၀) အတွင်း၌ AHU စွမ်းဆောင်ရည်(performance) များစွာ ကွာခြားမှု မရှိပေ။ အမြင့်(altitude) ဖော်ပြထားခြင်း မရှိလျှင် ပင်လယ်ရေပြင်(sea level)အတွက် ဖြစ်သည် ဟုဆိုလိုသည်။

Coil Type (BDW)

Coil အမျိုးအစားကို ဖော်ပြထားသည်။ Coil ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)များ တစ်ယောက်နှင့် တစ်ယောက်၏ coil အမျိုးအစား သတ်မှတ်ပုံ မတူညီကြပေ။

Tube / Fin Material (Cu/ Al)

Coil ၏ tube များကို ကြေးနီ သတ္တု(copper)ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ Fin များကို အလူမီနီယံ သတ္တု(aluminum)ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ ကြေးနီသတ္တု(copper)၏ ဓာတုဗေဒ သင်္ကေတသည် "Cu" ဖြစ်သည်။ အလူမီနီယံသတ္တု(aluminum)၏ ဓာတုဗေဒ သင်္ကေတသည် "Al" ဖြစ်သည်။

Tube Height / Fin Length (38/87)

Tube ၏ အမြင့်(height) နှင့် fin ၏ အရှည်(length)ကို လက်မဖြင့် ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။

Rows / FPI / Circuit (6/8/C)

Coil ၏ ဘေးဘက်ကို အပေါ်မှကြည့်လျှင် မြင်ရသည့် ဒေါင်လိုက်(Vertical) ကြေးပိုက်(copper pipe) တန်းများ၏ အရေအတွက်ကို row ဟုသတ်မှတ်သည်။ Fins Per Inch(FPI)သည် တစ်လက်မအတွင်းရှိ fin ကလေးများ၏ အရေအတွက် ဖြစ်သည်။ AHU model တူသော်လည်း coil ၏ row နှင့် fin များလျှင် cooling capacity များသည်။ သို့သော် coil ၏ row နှင့် fin အရေအတွက်များလျှင် လေခုခံမှုအား(air resistance) များသောကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် blower မော်တာအား ကောင်းရန် လိုသည်။

Coil Area

လေများဖြတ်သန်းသွားနိုင်သည့် နေရာ၏ ဧရိယာကို ဖော်ပြထားသည်။ Cooling သို့မဟုတ် heating လုပ်ပေးနိုင်သော နေရာ၏ ဧရိယာလည်းဖြစ်သည်။ Coil ဧရိယာသည် AHU model နှင့်ဆိုင်သည်။ AHU model ကြီးလျှင် coil ဧရိယာ များသည်။ Coil ဧရိယာကို စတုရန်းပေ နှင့် စတုရန်းမီတာ နှစ်မျိုးလုံးဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

Air On DB/ WB

Air on ဆိုသည်မှာ cooling coil အတွင်းသို့မဝင်ရောက်မီ လေ၏ အပူချိန်ကို ဆိုလိုသည်။ ဝင်လေ၏ အပူချိန်ဖြစ်သည်။ "**On Coil Temperature**" ဟုလည်းခေါ်သည်။ "On Coil Temperature" သည် cooling coil နှင့်ပတ်သက်သည့် ဝေါဟာရတစ်ခုဖြစ်ပြီး "Air temperature just before the coil" ဟုလည်းပြောလေ့ရှိသည်။ လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(air properties)များအားလုံးကို တွက်ယူနိုင်ရန် အတွက် Dry Bulb အပူချိန် နှင့် Wet Bulb အပူချိန် တို့ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ °C ဖြင့်သာမက °F ဖြင့်လည်း ဖော်ပြထားသည်။

Air Off DB/ WB

Air Off ဆိုသည်မှာ cooling coil အတွင်းမှ ထွက်ပြီးပြီးခြင်း လေ၏ အပူချိန်ကို ဆိုလိုသည်။ ထွက်လေ၏ အပူချိန်ဖြစ်သည်။ "**Off Coil Temperature**" ဟုလည်းခေါ်သည်။ "Off Coil Temperature" သည် cooling coil နှင့်ပတ်သက်သည့် ဝေါဟာရတစ်ခု ဖြစ်သည်။ "Air temperature immediately after the coil " ဟုလည်း ပြောလေ့ရှိသည်။ လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(air properties) အားလုံးကို တွက်ယူနိုင်ရန်အတွက် Dry Bulb အပူချိန် နှင့် Wet Bulb အပူချိန် တို့ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ °C ဖြင့်သာမက °F ဖြင့်လည်း ဖော်ပြထားသည်။

Face Velocity

Cooling coil အတွင်းဖြတ်သွားသော လေအလျင်(air velocity) ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် fin ကလေးများ အကြား ဖြတ်သွားသော လေအလျင်(air velocity) ဖြစ်သည်။ 2.5m/s ထက်ပိုများပြီး cooling coil သည် "Wet Coil" ဖြစ်နေလျှင် ရေမှုန်ကလေးများသည် ရေခံခွက်(drain pan)ထဲသို့ မကျဘဲကျော်၍ ကျသောကြောင့် AHU ကြမ်းခင်းတစ်ခုလုံး ရေများနှင့် ပြည့်လျှံနေလိမ့်မည်။ ထိုသို့ ကျော်ကျခြင်းကို **"Water Carried Over"** ဖြစ်သည်ဟု ပြောဆိုကြသည်။ ထိုအပြင် fin ကလေးများအကြားတွင် လေသည် အလွန် လျင်မြန်စွာ ဖြတ်သန်းသွားသောကြောင့် အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer)ဖြစ်ရန် အချိန် မလုံလောက်ပေ။ ထို့ကြောင့် cooling coil သည် efficient မဖြစ်တော့ပေ။ Chilled water သည် လေ(air)ထဲမှ အပူ(heat)ကို စုပ်ယူရန် အချိန်မလုံလောက်ပေ။ Face velocity သည် တစ်စက္ကန့်လျှင် (၂.၅)မီတာ(2.5m/s or 500 fpm) ထက်မကျော်ရန် ကန့်သတ်ထားချက်သည် cooling coil အတွက်သာ ဖြစ်သည်။ Heating coil ၏ face velocity သည် တစ်စက္ကန့်လျှင် (၃)မီတာ မှ (၄)မီတာအတွင်း ဖြစ်နိုင်သည်။

Air Pressure Drop

လေသည် cooling coil ကို ဖြတ်သန်းသွားသည့်အခါ ခုခံအား(resistance) ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုခုခံအားကြောင့် လေဖိအား(pressure) ကျဆင်းသွားသည်ကို "**Air Pressure Drop**" ဖြင့် ဖော်ပြသည်။ စွမ်းဆောင်ရည်(capacity)တူသော AHU နှစ်လုံးတွင် လေဖိအားကျဆင်းမှု(air pressure dorp) များသည့် AHU ကို မရွေးချယ်သင့်ပေ။ လေဖိအားကျဆင်းမှု(air pressure dorp)များခြင်းသည် blower မောင်းရန် လိုအပ်သည့်ထက် ပိုများသည့် စွမ်းအင်(enegy)ကို သုံးစွဲခြင်းဖြစ်သည်။ AHU ၏ သက်တမ်းသည် (၈)နှစ်မှ (၁၀)နှစ် အတွင်း ဖြစ်သည်။ အနည်းငယ်သော စွမ်းအင်(energy)ပင်ဖြစ်ပါစေ နှစ်ပေါင်းများစွာ ဖြုန်းတီးနေခြင်း ဖြစ်သောကြောင့် ဆုံးရှုံးမှုပမာဏ အလွန်များသည်။

Sunction Temp for BDX

Refrigerant ကို သုံးသော direct expansion (DX) များအတွက် သာဖြစ်သည်။

Water ON/OFF Temperature

Water on ဆိုသည်မှာ cooling coil အတွင်းသို့ မဝင်ရောက်မီ chilled water ၏ အပူချိန်ကို ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် chilled water supply temperature ကို ဆိုလိုသည်။ "Water temperature just before the coil." ဟုလည်း ပြောလေ့ရှိသည်။ °C ဖြင့်သာမက °F ဖြင့်လည်း ဖော်ပြထားသည်။ Water off ဆိုသည်မှာ cooling coil ထွက်ပြီးကာစ chilled water ၏ အပူချိန်ကို ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် chilled water return temperature ကို ဆိုလိုသည်။ "Water temperature immediately after the coil." ဟုလည်း ပြောလေ့ ရှိသည်။ °C ဖြင့်သာမက °F ဖြင့်လည်း ဖော်ပြထားသည်။

Water Flow Rate

Cooling coil specification ဖြစ်သောကြောင့် chilled water လည်ပတ်နှုန်း(flow rate)ဖြစ်သည်။ Coil အတွင်း ရေပမာဏ မည်မျှဖြတ်သန်းသွားသည်ကိုဆိုလိုသည်။

ရေလည်ပတ်နှုန်း(flow rate)များလေ total cooling capacity များလေ ဖြစ်သည်။ သို့သော် ရေလည်ပတ်နှုန်း များလေ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop across the coil)များလေ ဖြစ်သည်။

စွမ်းဆောင်ရည်(total capacity) တူသော AHU နှစ်လုံးတွင် chilled water လည်ပတ်နှုန်း(flow rate) များသည့် AHU ကို မရွေးချယ်သင့်ပေ။ Chilled water လည်ပတ်နှုန်း(flow rate) များသည့် AHU ၏ cooling coil သည် efficient မဖြစ်သောကြောင့် chilled water လည်ပတ်နှုန်းများစွာ လိုအပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လိုအပ်သည်ထက် ပိုများသည့် ပန့်စွမ်းအင်(pumping energy)ကို သုံးစွဲနေခြင်းဖြစ်သည်။

Water Pressure Drop

Chilled water supply pressure နှင့် chilled water return pressure တို့၏ ခြားနားချက်ဖြစ်သည်။ Chilled water supply pressure သည် chilled water return pressure ထက် ပိုများရမည်။ ထို ဖိအား (pressure)ခြားနားချက်ကြောင့်သာ chilled water သည် coil အတွင်းသို့ စီးဝင်ဖြတ်သန်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။

Chilled water စီးဝင်နှုန်း(flow rate) နှင့် cooling capacity တူသော AHU နှစ်လုံးတွင် ဖိအားကျဆင်းမှု(water pressure drop)များသည့် AHU ကို မရွေးချယ်သင့်ပေ။ ဖိအားကျဆင်းမှု(water pressure drop)များခြင်းသည် ပန့်စွမ်းအင်(pumping energy)ကို လိုအပ်သည်ထက်ပို၍ သုံးစွဲခြင်းဖြစ်သည်။ AHU တစ်လုံး၏ သက်တမ်းသည် (၈)နှစ်မှ (၁၀)နှစ်အတွင်း ဖြစ်သည်။ (၁၀)နှစ်ကျော် ပန့်စွမ်းအင်(pumping energy)ကို လိုအပ်ထက် ပို၍ သုံးစွဲနေခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် စွမ်းအင်များ အလဟဿ ဖြုန်းတီးရာ ရောက်သည်။

Cooling coil အဝင်နှင့်အထွက်အကြား chilled water ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)များလေ chilled water စီးဝင်နှုန်း(flow rate) များလေ ဖြစ်သည်။ Chilled water စီးဝင်နှုန်း(flow rate) များလေ ဖိအားကျဆင်းမှု(chilled water pressure drop)များလေ ဖြစ်သည်။ အပြန်အလှန် မှန်ကန်ကြသည်။

၃.၁၀ Sensible Capacity ၊ Latent Capacity နှင့် Total Capacity

$$\boldsymbol{Sensible\ Heat + Latent\ Heat = Total\ Heat}$$

IP ယူနစ် ပုံသေနည်းများ

$$Q_{SENSIBLE}(Btu/hr) = 1.1\ x\ CFM\ x\ (t_1 - t_1)$$

$$Q_{LATENT}(Btu/hr = 0.68\ x\ CFM\ x\ (W_2 - W_1)$$

$$Q_{Total}(Btu/hr) = 4.5\ x\ CFM\ x\ (h_2 - h_1)$$

SI ယူနစ် ပုံသေနည်းများ

$$Q_{SENSIBLE}(Watt) = 1.232\ x \frac{Liter}{Sec}\ x\ (t_1 - t_1)$$

$$Q_{LATENT}(Watt) = 3012\ x \frac{Liter}{Sec}\ x(W_2 - W_1)$$

$$Q_{Total}(Watt) = 1.2\ x \frac{Liter}{Sec}\ x\ (h_2 - h_1)$$

CFM သို့မဟုတ် L/s = Volume Flow Rate of Air being process.

h_2-h_1 = Enthalpy Change(Btu/lb °F) သို့မဟုတ် (kJ/kg °K)

t_2-t_1 = Temperature Change(˚C) သို့မဟုတ် (˚F)

$w_2 - w_1$ = Humidity Ration Change (lbw/lb d.a) သို့မဟုတ် (kg/kg d.a)

Cooling Coil Sensible Heat Factor(SHF)Formula

$$SHF = \frac{Sensible\ Cooling\ Capacity(or)Sensible\ Heat\ Load}{Total\ Cooling\ Capacity(or)Total\ Heat\ Load}$$

where SHF = room sensible heat factor

Sensible Cooling Capacity သို့မဟုတ် Sensible Heat Load (kW or Btu/hr)

Total Cooling Capacity သို့မဟုတ် Total Heat Load (kW or Btu/hr)

SHF သည် မည်သည့်အခါမျှ (၁.၀)ထက် မကျော်ပေ။ SHF သည် (၁.၀)ဖြစ်သည့်အခါ၌ sensible cooling capacity နှင့် total cooling capacity တို့ တူညီကြသည်။ Latent cooling capacity သို့မဟုတ် latent heat load မရှိဟု ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေထဲတွင်ရှိသည့် ရေငွေ့များအတွက် latent heat ဖယ်ထုတ်ခြင်း မရှိပါ။ ထို cooling coil တွင် ရေငွေ့ဖယ်ထုတ်ခြင်း(dehumidification) မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။

Coil Load

Coil load ဆိုသည်မှာ coil မှ ဖယ်ရှားနိုင်သော sensible heat နှင့် latent heat (ပေါင်း total heat) ပမာဏဖြစ်သည်။ "On coil temperature" ဆိုသည်မှာ Cooling coil အတွင်းသို့ ဝင်ခါနီးလေ၏ အပူချိန် ဖြစ်သည်။ "Off coil temperature" ဆိုသည်မှာ cooling coil မှ ထွက်ခါစ လေများ၏အပူချိန်ဖြစ်သည်။ Off coil အပူချိန်(temperature)ကို ကြည့်၍ လက်ရှိလေစီးနှုန်း(air flow rate)သည် ရှိသင့် ရှိထိုက်သည့် ပမာဏထက် များလွန်းသည် သို့မဟုတ် နည်းလွန်းသည်ကို ခန့်မှန်းနိုင်သည်။ Cooling coil မှ ထွက်သွားသည့် chilled water အပူချိန်သည် 12°C ခန့် ဖြစ်လျှင် off coil temperature သည် 12°C သို့မဟုတ် 11.5°C ဖြစ်ပါက လေစီးနှုန်း (air flow rate) သည် ရှိရမည့် ပမာဏထက် နည်းလွန်းသည်။ 17°C သို့မဟုတ် 18°C DB ဆိုပါက လေစီးနှုန်း (air flow rate) သည် များလွန်းသည်။ (Pre cooled coil အတွက်မမှန်ကန်ပါ။)

Wet Bulb Depression

"Wet Bulb Depression" ဆိုသည်မှာ off coil air temperature ၏ Dry Bulb(DB) နှင့် Wet Bulb (WB)ခြားနားချက်ဖြစ်သည်။ Off coil air သို့မဟုတ် leaving air ၏ "Wet Bulb Depression" သည် 0.1°C မှ 2°C အတွင်းဖြစ်သည်။

"**Wet Bulb Depression**" သည် fin ကလေးများ တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အကြားအကွာအဝေး (fin spacing) နှင့် လေအလျင်(air velocity)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Fin spacing ကျယ်လျှင် (fin တစ်ခုနှင့်တစ်ခု ဝေးလွန်းလျှင်) "Wet Bulb Depression" နည်းလိမ့်မည်။

Over cooling လုပ်သည့်အခါတွင် large wet bulb depression ဖြစ်ပေါ်သည်။ သာမန် coil များ၏ Wet Bulb depression သည် 0.5°C မှ 1.0°C အတွင်းဖြစ်သည်။

Chilled Water Velocity

Copper tube အတွင်းရှိ chilled water အလျင်(velocity)သည် တစ်စက္ကန့်လျှင်(၀.၃)မီတာနှုန်း(0.3 m/s)ထက် မနည်းစေရ။ 0.3 m/s ထက်နည်းပါက turbulence flow မဖြစ်နိုင်သောကြောင့်ဖြစ်သည်။ Cooling coil ၏ tube များအတွင်း၌ turbulence flow ဖြစ်နေခြင်းကြောင့် coil ၏ အပူစီးကူးနိုင်စွမ်း(heat transfer performance) ပိုမိုကောင်းမွန်လာသည်။ သို့သော် တစ်စက္ကန့်လျှင် (၁.၅)မီတာနှုန်း(1.5 m/s)ထက် မကျော်စေရ။ 1.5m/s ထက်များပါက tube များ တိုက်စားခံရခြင်း(erosion)ဖြစ်နိုင်သည်။ လိုအပ်သည့် tube အရေအတွက်ထက် နည်းသောကြောင့် ရေအလျင်(water velocity)များခြင်း ဖြစ်သည်။ ရေအလျင်(water velocity)များခြင်းကြောင့် coil ၏ ရေဖိအားကျဆင်းမှု(water pressure drop) များနိုင်သည်။ ရေအလျင်(water velocity)များခြင်းကြောင့် ပန့်၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု များလိမ့်မည်။

Fin Spacing

"Fin Spacing" ဆိုသည်မှာ fin ကလေးများ တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အကြားအကွာအဝေးဖြစ်သည်။ Fin spacing နည်းလျှင် တစ်လက်မ သို့မဟုတ် တစ်မီတာ အတွင်း၌ fin အရေအတွက်များစွာ ရှိနိုင်သည်။

12 FPI ဆိုသည်မှာ 12 fin per inch ဖြစ်သည်။ တစ်လက်မအတွင်းတွင် fin ကလေးများ (၁၂)ခု ရှိသည်။

Coil ၏ မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(face area) သို့မဟုတ် finned area သည် L x H ဖြစ်သည်။ L သည် coil ၏ အရှည်(length) သို့မဟုတ် tube ၏ အရှည်(length) ဖြစ်သည်။ H သည် coil ၏ အမြင့်(height) ဖြစ်သည်။ Cooling coil ၏ အသုံးများသော tube အရွယ်အစားများသည် 3/8"၊ 1/2" နှင့် 5/8" တို့ဖြစ်သည်။ 8 FPI၊ 10 FPI၊ 12 FPI နှင့် 14 FPI စသည့် fin spacing များကို အများဆုံး တွေ့နိုင်သည်။

$$\boldsymbol{Face\,Velocity\,(Fpm)} = \frac{\boldsymbol{Air\,Flow\,Rate(CFM)}}{\boldsymbol{Face\,Area(square\,feet)}}$$

Coil ၏ အထူ(depth of the coil)သည် row အရေအတွက်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Row အရေအတွက် များလေ coil ပိုထူလေ ဖြစ်သည်။

$$Q = U \, x \, A \, x \, LMTD$$

Cooling coil ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ကောင်းစေရန်အတွက် heat transfer coefficient များအောင် လုပ်ခြင်းဖြင့်လည်းကောင်း၊ မျက်နှာပြင်(surface)ဧရိယာများအောင် လုပ်ခြင်းဖြင့်လည်းကောင်း၊ Log Mean Temperature Difference (LMTD) များအောင် လုပ်ခြင်းဖြင့်လည်းကောင်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။

$$Log\ Mean\ Temperature\ Difference\ (LMTD) = \frac{\Delta T_A - \Delta T_B}{ln\left(\frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}\right)}$$

ΔT_A သည် temperature difference between supply air and return air ဖြစ်သည်။
ΔT_B သည် temperature difference between chilled water supply and return ဖြစ်သည်။

အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer) ပိုမိုကောင်းမွန်စေရန်အတွက် Log Mean Temperature Difference (LMTD)များအောင် ပြုလုပ်ပေးခြင်းသည် အကောင်းဆုံးသော နည်းလမ်းဖြစ်သည်။ U-factor သို့မဟုတ် thermal transmittance ဟုလည်းခေါ်သည့် heat transfer coefficient သည် coil ၏ overall heat flow rate ကို ဖော်ပြသည်။

U factor သည် အောက်ပါအချက် သုံးချက်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(၁) Air side coefficient သည် ဝင်လာသည့် air stream နှင့် fin မျက်နှာပြင်(surface) နှစ်ခု အကြားတွင်ရှိသော heat transfer ကိုခုခံထားသော(resistance to heat transfer) အခုအခံ အတားအဆီး(barrier) ဖြစ်သည်။

(၂) Water film coefficient သည် chilled water နှင့် copper tube အကြားတွင်ရှိသော အခုအခံ အတားအဆီး (barrier) ဖြစ်သည်။

(၃) Thermal conductance သည် aluminum film နှင့် copper tube အကြားတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် conductance ဖြစ်သည်။

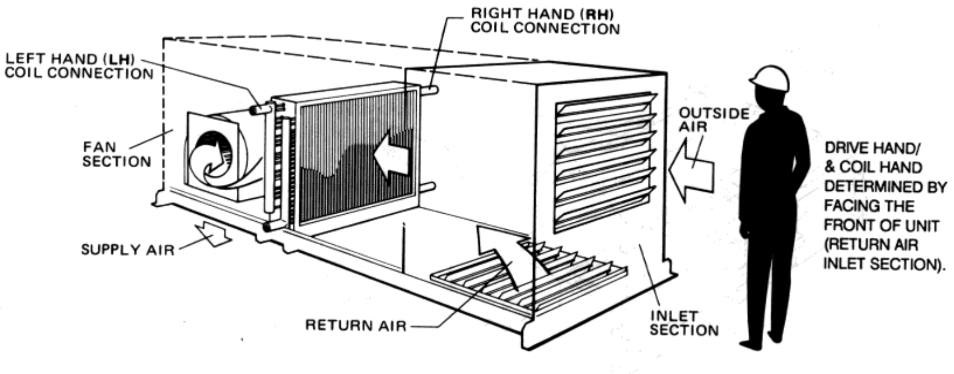
Coil တစ်ခုတွင် လေစီးနှုန်း(air flow rate) များလာလျှင် အပူကူးပြောင်းမှု ခုခံနိုင်စွမ်း(heat transfer resistance)နည်းသွားသည်။ ထို့အတူပင် ရေစီးနှုန်း(velocity)များလာလျှင် water side အပူကူးပြောင်းမှု ခုခံနိုင်စွမ်း(heat transfer resistance) နည်းသွားသည်။

Fin များ ပုံသဏ္ဍာန်(geometry)ကို ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် overall heat transfer coefficient ပိုမိုကောင်းမွန် လာနိုင်သည်။ Coil ၏ မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(face area)ကို များအောင်လုပ်ခြင်းဖြင့် အပူ ကူးပြောင်းမှု(heat transfer) ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

၃.၁၁ Cooling Coil Header Connection

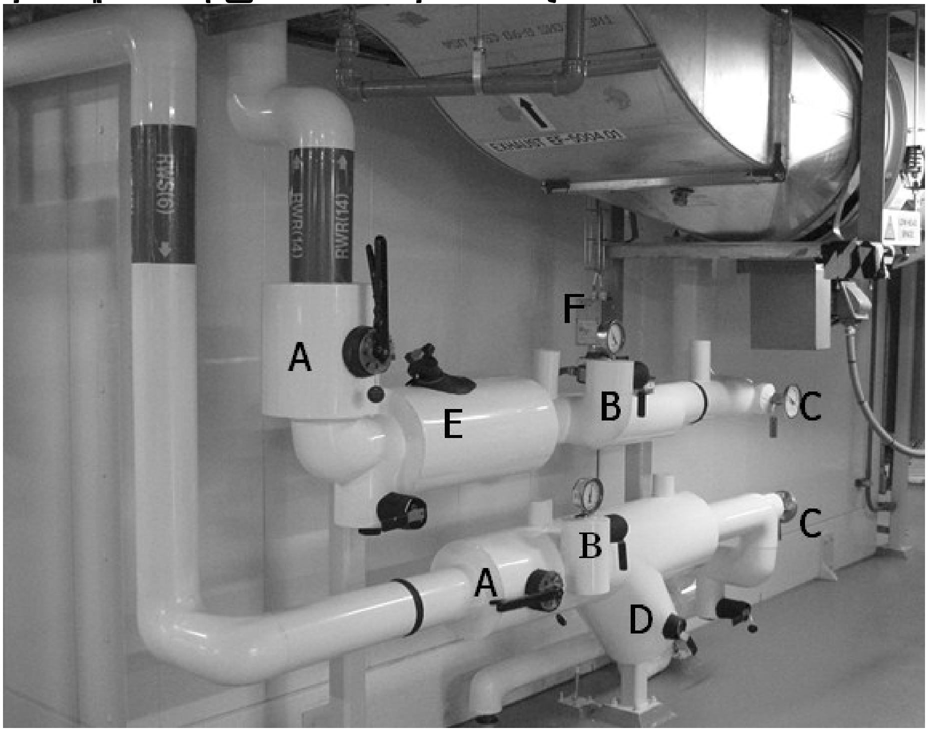
AHU များ နှင့် cooling coil များ ဝယ်ယူရန် သို့မဟုတ် အော်ဒါ(order)မှာရန် အတွက် ပိုက်(header pipe)သည် ညာဘက်မှ တပ်ဆင်သည်(Right Hand – RH coil connection)သို့မဟုတ် ဘယ်ဘက်မှ တပ်ဆင်သည် (Left Hand – LH coil connection)ကို ဖော်ပြပေးရန် လိုအပ်သည်။

ထိုသို့ ဖော်ပြရန်အတွက် ကြည့်မည့်လူသည် return air လေဝင်ပေါက်ကို မျက်နှာမူ၍ connection သည် ညာဘက်(RH)သို့မဟုတ် ဘယ်ဘက်(LH)ဖြစ်ကြောင်း သတ်မှတ်ရသည်။



ပုံ ၃-၃၇ Righit Hand (RH) and Left Hand (LH) Coil Connection

၃.၁၂ AHU နှင့် အတူတပ်ဆင်ရမည့် Pipe ၊ Fitting နှင့် Device များ



ပုံ ၃-၃၈ AHU နှင့် အတူတပ်ဆင်ထားသည့် pipe ၊ fitting နှင့် device များ

Chilled water supply side တွင် ရှိသင့်သော device များ	Chilled water return ဘက်တွင် ရှိသင့်သော device များ
(A) Gate valve (Isolation valve) (B) Pressure gauge (C) Thermometer (D) Strainer	(A) Gate Valve (Isolation valve) (B) Pressure gauge (C) Thermometer (E) Balancing valve (F) Motorize valve သို့မဟုတ် Chilled water control valve

၃.၁၂.၁ (A) Gate Valves

Gate valve ကို AHU ၏ chilled water supply နှင့် return ပိုက်လိုင်းတွင် ပိတ်ရန်နှင့် ဖွင့်ရန် (isolation လုပ်ရန်)အတွက် တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ တခြားသော ကိရိယာများ(devices) ဖြုတ်ရန် ပြင်ဆင်ရန် နှင့် ပြန်လည်တပ်ဆင်သည့်အခါ ရေများထွက်မကျအောင် ပိတ်ရန်အတွက် ကိရိယာများ(devices)၏ အပြင်ဘက်ဆုံး၌ တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် chilled water supply ပိုက်လိုင်းတွင် AHU မှ အဝေးဆုံး နေရာ၌ တွေ့ရမည့် fitting သည် "Gate Valve" ဖြစ်ပြီး chilled water return ပိုက်လိုင်း တွင် AHU မှ အဝေးဆုံး ၌ တွေ့ရမည့် fitting သည် "Gate Valve" ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် gate valve နှစ်ခုသည် AHU ၏ supply ပိုက် နှင့် return ပိုက် တို့ အပြင်ဘက်ဆုံးတွင် တည်ရှိကြသော ကိရိယာများ(devices)ဖြစ်သည်။ အမျိုးမျိုးသော gate valve များကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

ပုံ ၃-၃၉ အမျိုးမျိုးသော gate valve များ

၃.၁၂.၂ (B) Pressure Gauge

Pressure gauge ကို chilled water supply ပိုက်လိုင်း နှင့် chilled water return ပိုက်လိုင်း (နှစ်ဘက်စလုံး)တွင် တပ်ဆင်ထားရမည်။ AHU ၏ cooling coil အတွင်းတွင် chilled water စီးဝင်နေခြင်း ရှိ၊ မရှိကို သိနိုင်ရန် အတွက် တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ရေလည်ပတ်နှုန်း(chilled water flow rate) ကို စစ်ဆေးရန်အတွက်လည်း အသုံးပြုသည်။

ပုံ ၃-၄၀ Pressure Gauage များ

ပုံ ၃-၄၁ သာမိုမီတာများ

> Chilled water စီးနှုန်း(flow rate)သည် chilled water supply pressure နှင့် chilled water return pressure တို့၏ ခြားနားချက် ပမာဏနှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။ ဖိအားကွာခြားချက်(pressure difference) များလေ chilled water စီးနှုန်း(flow rate) များလေဖြစ်သည်။

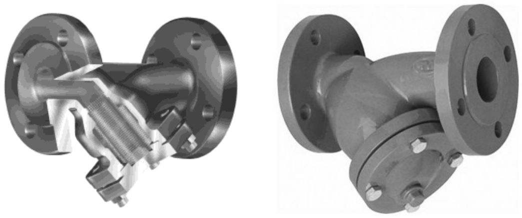
AHU ၏ specification တွင် ဖော်ပြထားသော differential pressure across the coil ၏ တန်ဖိုးနှင့် pressure gauge နှစ်ခုမှရသော တန်ဖိုးတို့ကို နှိုင်းယှဉ်ခြင်းဖြင့် အမှန်တကယ်ရေစီးနှုန်း(Actual chilled water flow rate)သည် ဒီဇိုင်း ရေစီးနှုန်းထက် ပိုများသည် သို့မဟုတ် ပိုနည်းသည်ကို သိရှိနိုင်သည်။ Supply pressure gauge မှ ဖတ်ယူရရှိသည့် တန်ဖိုးကို အသုံးပြု၍ ဖိအား(pressure) ကောင်း၊ မကောင်းကိုလည်း ခန့်မှန်းနိုင်သည်။

၃.၁၂.၃ (C) Temperature Gauge သို့မဟုတ် Thermometer

Temperature gauge သို့မဟုတ် အပူချိန်တိုင်းသည့်သာမိုမီတာ(thermometer)ကို chilled water supply ပိုက်လိုင်း နှင့် chilled water return ပိုက်လိုင်း(နှစ်ဘက်စလုံး)တွင် တပ်ဆင်ထားရမည်။ Chilled water supply temperature နှင့် chilled water return temperature တို့ကို ဖတ်ယူရန်အတွက် တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Cooling coil ၏ စွမ်ဆောင်ရည်(performance)ကို စစ်ဆေးရန်နှင့် ချို့ယွင်းချက်ရှာဖွေခြင်း(trouble shooting) ပြုလုပ်ရန်အတွက် တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

၃.၁၂.၄ (D) Strainer

Strainer များကို AHU ၏ ရေအဝင်(chilled water supply)ဘက်တွင်သာ တပ်ဆင်ရမည်။ AHU အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသော chilled water နှင့်အတူပါလာသော ခဲလုံးငယ်များ၊ အမှိုက်များကို သန့်စင်(filter)ရန်အတွက်၊ cooling coil ၏ ပိုက်အတွင်းဘက် ထိခိုက်ပျက်စီးခြင်းမှ ကာကွယ်ရန် အတွက် အသုံးပြုခြင်း ဖြစ်သည်။ ခဲများနှင့် အမှိုက်များကို strainer အတွင်း၌ ပိတ်မိနေအောင် ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ထားသည်။ ထို့ကြောင့် strainer အတွင်းရှိ ဆန်ခါ(mesh)ကို ဖြုတ်၍ ပုံမှန် ဆေးကြောသန့်စင်ခြင်း လုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၃-၄၂ Strainer

ပုံ ၃-၄၃ Balancing Valve

၃.၁၂.၅ (E) Balancing Valve

Balancing valve ကို လိုအပ်သည့်(design flow rate မပိုစေရန်) chilled water flow rate ရရှိရန် အတွက် အသုံးပြုခြင်း ဖြစ်သည်။

> Pump နှင့် နီးသည့် AHU များသည် ပိုက်တို၍ friction loss နည်းသောကြောင့် ရေစီးနှုန်း(flow rate)များများ ရလေ့ရှိသည်။ Pump နှင့် နီးသော AHU များတွင် လိုအပ်သည် ထက်ပိုများသည့် chilled water flow rate စီးဝင်နေလျှင် pump နှင့် ဝေးသော AHU များတွင် လိုအပ်သော ရေစီးနှုန်း(flow rate)ရနိုင်မည် မဟုတ်တော့ပေ။

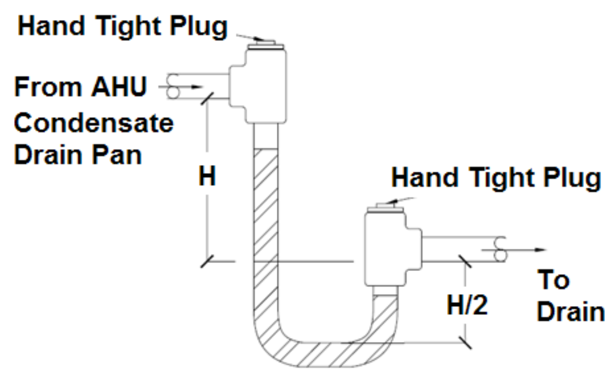
ပုံ၃-၄၄ Two way valve and three way valve

ပုံ ၃-၄၅ Chilled water control valve and actuator

၃.၁၂.၆ (F) Chilled Water Control Valve သို့ Modulating Valve

AHU တွင် လိုအပ်သော chilled water စီးနှုန်း(flow rate)သည် AHU ၏ cooling load ကို မူတည်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ Cooling load နှင့် သင့်လျော်သည့် chilled water စီးနှုန်း(flow rate)ရရန် အတွက် "Valve" နှင့် "Modulating Actuator" က ဆောင်ရွက်ပေးသည်။

၃.၁၃ AHU နှင့် FCU Drain ပိုက်များ

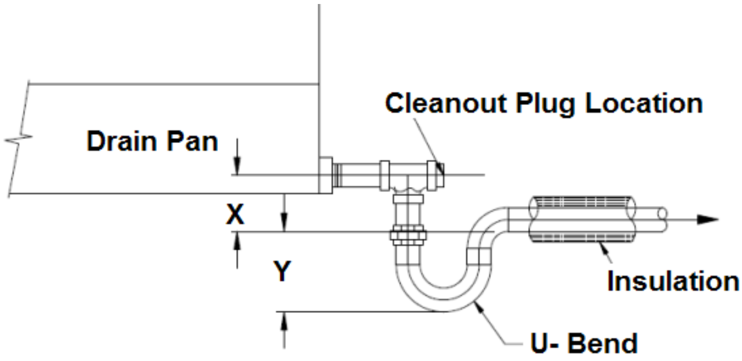


ပုံ ၃-၄၆ Trap for Draw-Through Unit

AHU များအားလုံးတွင် condensate water များကို ဖယ်ထုတ်ရန်အတွက် drain pan နှင့် drain pipe တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ Drain pan ကို AHU ထုတ်လုပ်သည့် စက်ရုံမှ တပ်ဆင် ပေးလိုက်သည်။ Drain pipe ကို AHU တပ်ဆင်မည့်နေရာ (site ထဲတွင်) ပြုလုပ် တပ်ဆင်ရသည်။ Air Handling Unit တိုင်း၏ drain pipe တွင် trap တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ Drain ပိုက်ကို ကြေး(copper) ပိုက် သို့မဟုတ် PVC ပိုက်များဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။

Tee joint နှစ်ခု နှင့် ဖြုတ်နိုင်၊ တပ်နိုင်သည့်(removable) plug ပါဝင်ရမည်။ Removable plug ကို သန့်ရှင်းရေးပြုလုပ်ရန် နှင့် ပိတ်ဆို့မှုများကို စစ်ဆေးရန်အတွက် တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Trap များကို သင့်လျော်သော အမြင့်ရရှိအောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ ပြုလုပ်သင့်သည့် အမြင့်သည် fan ၏ အထွက်ဖိအား (outlet pressure)ပမာဏ ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ပုံ(၃-၄၆) နှင့် ပုံ (၃-၄၇) တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း ပြုလုပ်သင့်သည်။

$$H = 2 \; x \; Fan \; Outlet \; Pressure \; in \; mm \; of \; water(mm \; Wg)$$



ပုံ ၃-၄၇ Drain Pip တပ်ဆင်ရန်အတွက် အတိုင်းအတာများကို ဖော်ပြထားပုံ

$$X = Negative \; Pressure \; Fan \; Static \; Pressure + 15mm$$

$$Y = ½(X) + 25mm \; or \; 75mm \; Minimum$$

AHU/FCU အရွယ်အစား (Thermal Capacity in kW)	Drain ပိုက်အရွယ်အစား(mm)
7 kW အထိ	19 mm (၃/၄ လက်မပိုက်)
7.1 kW မှ 35 kW အထိ	25mm (၁ လက်မပိုက်)
35.1 kW မှ 106 kW အထိ	32 mm (၁ လက်မခွဲပိုက်)
106.1 kW မှ 176 kW အထိ	40 mm (၁-၃/၄ လက်မပိုက်)
176.1 kW မှ 616 kW အထိ	50 mm (၂ လက်မပိုက်)
616.1 kW မှ 1050 kW အထိ	75 mm (၃ လက်မပိုက်)

၃.၁၄ Air Handling Unit (AHU) နှင့် သက်ဆိုင်သည့် စည်းမျဉ်း(Code)များ

(၁) Air Handling Unit များတွင် သင့်လျော်သည့် control device များ တပ်ဆင်ထား ရမည်။

(၂) AHU များတွင် အသုံးပြုသည့် cooling coil သည် finned coil အမျိုးအစား ဖြစ်လျှင် 8 row ထက်မပိုရ။ (8 row ထက် ပိုလျှင် သန့်ရှင်းရေးလုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။) Air treatment process များ၏ လိုအပ်ချက်အရ row ပိုများသော cooling coil ကို တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်ပါက cooling coil နှစ်ခု ထပ်၍ တပ်ဆင်နိုင်သည်။ သို့သော် သန့်ရှင်းရေး(cleaning)လုပ်ရန် နှင့် servicing လုပ်ရန် အတွက် လုံလောက်သော နေရာအကျယ် ရှိရမည်။

(၃) Cooling coil မှ ထွက်လာသော condensate water များ ဖောက်ထုတ်ရန်(drain) U bend ကို အသုံးပြု ရမည်။ Condensate drain pan နှင့် floor trap အကြားတွင် ကြားခံလေ ရှိရမည်။ (Air break between the condensate drain pope and the floor trap.)

(၄) AHU ကိုရပ်နား(switched off)လိုက်သည့် အခါ cooling coil မှ ထွက်လာသည့် condensate water များ AHU အတွင်းတွင် ရှိမနေအောင် ဒီဇိုင်းပြုလုပ် ရမည်။ တပ်ဆင်ရမည်။

(၅) AHU ၏ fan သို့မဟုတ် blower ကိုပိတ်ပြီးသည့်အခါ cooling coil အတွင်းသို့ chilled water များ စီးဝင်နေခြင်း မရှိစေရ။

(၆) AHU ၏ အတွင်းပိုင်း မျက်နှာပြင်သည် သန့်ရှင်းရေးလုပ်ရန် လွယ်ကူအောင် ပြုလုပ်ထားပြီး၊ abrasion resistant အမျိုးအစား ဖြစ်ရမည်။

(၇) AHU တပ်ဆင်ထားသည့် အခန်းအတွင်း၌ ပစ္စည်းများ သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားခြင်း မပြုရ။ Air con system နှင့် မသက်ဆိုင်သည့် ပစ္စည်းများ AHU အခန်းအတွင်း၌ မထားရ။ တခြား system မှ ကိရိယာများ တပ်ဆင်ထားခြင်း(installation) မပြုလုပ်ရ။

(၈) AHU များကို Code of practice for Fire Precaution ပါ စည်းမျဉ်း စည်းကမ်းများအတိုင်း ဒီဇိုင်း လုပ်ရမည်။ မောင်းနှင်(operate) ရမည်။ လိုအပ်သော မီးဘေးအန္တရာယ် ကင်းဝေးစေရေး လိုအပ်ချက် (fire safety requirement)များ လိုက်နာရမည်။

၃.၁၄.၁ AHU Fan System Design Criteria

AHU တွင်တပ်ဆင်ထားသည့် fan သို့မဟုတ် blower ၏ မော်တာသည် 4 kW ထက် ပိုများပါက အောက်ပါ ဇယား အတိုင်း ဒီဇိုင်းပြုလုပ် ရမည်။

Fan power limitation in air conditioning system

Allowable Nameplate motor power	
Constant Volume (CAV AHU)	**Variable Volume**
1.7 kW / m^3/s	2.4 kW / m^3/s

Variable Air Volume (VAV) AHU အတွက် fan nameplate motor သည် 2.4 kW/m^3/s ထက်မပိုရ။ (တစ်စက္ကန့်လျှင် တစ်ကုဗမီတာ လေထွက်နှုန်း ရရန်အတွက် AHU မော်တာသည် 2.4 kW ထက်ပို မသုံးစွဲရ။)

Constant Air Volume System (CAV) AHU အတွက် fan motor ၏ nameplate reading သည် 1.7 kW/ m^3/s ထက်မပိုရ။ (တစ်စက္ကန့်လျှင် တစ်ကုဗမီတာ(1 m^3) လေထွက်နှုန်း ရရန်အတွက် AHU မော်တာသည် စွမ်းအင် 1.7 kW ထက် ပိုမသုံးစွဲရ။)

Air conditioning system သည် အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော နည်းများအနက်မှ နည်းတစ်မျိုးမျိုးဖြင့် အလိုလျှောက် ပိတ်ခြင်း(automatically shutdown) ပြုလုပ်ရမည်။

(က) 7 day timer သို့မဟုတ် schedule တစ်မျိုးမျိုးဖြင့် AHU ကို မောင်းခြင်း၊ ရပ်ခြင်း(start/stop)ပြုလုပ်နိုင်ရမည်။ Manual override ပြုလုပ်နိုင်ရမည်။ ခဏဖွင့်ခြင်း၊ ပိတ်ခြင်း ပြုလုပ်ရန်(temporary operation) အတွက် နှစ်နာရီ မောင်းပြီး အလိုလျောက် ပိတ်သည့် function မျိုး ရှိစေရမည်။

(ခ) Occupancy sensor တပ်ဆင်ထားပြီး ထို occupancy sensor က မိနစ်(၃၀)အတွင်း တစ်စုံတစ်ယောက်မျှမရှိ(no occupant)ဟု ဆုံးဖြတ်(detect)လျှင် AHU ကို ပိတ်ပစ်(shutdown)ရမည်။

(ဂ) Security system နှင့် ချိတ်ဆက်ထားပြီး security system မှ အခန်းအတွင်းတွင် မည်သူမျှ မရှိဟု သတ်မှတ်လျှင် AHU ကို ပိတ်ပစ်(shutdown)ရမည်။ အထက်ပါနည်းများသည် ဟိုတယ် ဧည့်ခန်းများ (guest room) နှင့် မောင်းသူက အဖွင့်အပိတ် ပြုလုပ်နိုင်သည့် (manual on/off) AHU များ အတွက်လည်း အကျိုးဝင်သည်။

(ဃ) လေစီးနှုန်း(air flow rate) 5 m^3/s ထက်ပိုများသည့် AHU များတွင် optimum start control နည်းပါဝင်ရမည်။ Optimum start control algorithm တွင် set point နှင့် အခန်းအပူချိန်(room temperature) တို့၏ အပူချိန်ကွာခြားချက်(differential temperature) နှင့် scheduled occupancy တို့၏ အချိန်အတိုင်းအတာ တို့ကို ထည့်သွင်း တွက်ချက် ထားရမည်။

(င) တစ်ထပ်ချင်းစီကို ဇုန်အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး၊ ဇုန်တစ်ခုချင်းစီ၏ AHU ကို အဖွင့် အပိတ် ပြုလုပ်နိုင်ရမည်။ ဇုန်(zone)တစ်ခု၏ ဧရိယာအကျယ်သည် 2300 m^2ထက် မပိုစေရ။ ဇုန်(zone)များကို ငယ်နိုင်သမျှ ငယ်အောင် ပြုလုပ်ပြီး သီးသန့် အဖွင့်၊ အပိတ် ပြုလုပ်နိုင်ရမည်။

(စ) AHU များကို ပိတ်(shutdown)သည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် AHU နှင့် သက်ဆိုင်သော ပြင်ပလေဝင်ပေါက် (outdoor air intake) များနှင့် exhaust air system များကိုလည်း တစ်ပြိုင်နက် ပိတ်(shutdown) စေရမည်။

(ဆ) လူများမရောက်ခင် AHU ကို အရင် ကြိုတင်မောင်းလေ့ ရှိသည်။ ထိုကဲ့သို့ မောင်းခြင်းကို "**pre occupancy building cool-down**" ဟု ခေါ်သည်။ Pre-occupancy building cool-down ပြုလုပ် နေသည့် အချိန်တွင် outdoor air damper များကို အလိုလျောက် ပိတ်နေအောင် ဒီဇိုင်း လုပ်ထား ရမည်။ တပ်ဆင်ထားရမည်။

(ဇ) Air con ပေးထားသည့်နေရာ(space)များတွင် မလိုအပ်သည့် အခါ outdoor supply air နှင့် exhaust system များတွင် အသုံးပြုထားသည့် damper များ အလိုလျောက် ပိတ်အောင် (shut off automatically) ပြုလုပ် ထားရမည်။ တပ်ဆင်ထား ရမည်။

(ဈ) Damper တွင် သက်ရောက်နေသည့် ဖိအား(pressure)သည် 250 Pa ဖြစ်သည့် အခိုက် damper ၏ လက်ခံနိုင်သည့် အများဆုံး လေယိုစိမ့်မှု(maximum leakage rate)သည် 100 l/s per m^2 ထက် မကျော်စေရ။ ဧရိယာ တစ်စတုရန်း မီတာရှိသည့် damper အတွက် လေယိုစိမ့်နှုန်း(leak)သည် 100 L/s ထက် မပိုစေရ။

သို့သော် အောက်ပါအချက်များကို ချွင်းချက်အဖြစ် ခွင့်ပြုသည်။

- 2.4 m^3/s ထက်ငယ်သည့် ၊ နည်းသည် fan system များတွင် ချိတ်ဆက်ထားသည့် exhausted air နှင့် outdoor air connection များ အကျုံးမဝင်ပါ။
- ဒီဇိုင်းလေစီးနှုန်း(design airflow)၏ ၁၀%ထက်နည်းပြီး ဇုန်(zone)တစ်ခုတည်း အတွက်သာ တပ်ဆင်ထားသည့် exhaust air system အကျုံးမဝင်ပါ။
- အမြဲတမ်း မောင်းနေရန် အတွက် ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ထားသည့် ဇုန်(zone) များ အကျုံးမဝင်ပါ။

Fan မော်တာ ၏ စွမ်းအား(power)သည် 0.5 kW ထက် ပိုများပါက အထက်တွင် ဖော်ပြထားသော automatic shutdown နည်းများကို အသုံးပြုရန် အကျုံးဝင်သည်။

Part load fan power limitation

VAV system AHU fan မော်တာ၏ စွမ်းအား(power)သည် 11 kW ထက် ပိုကြီးပါက အောက်ပါ အချက်များ ကို လိုက်နာရမည်။

(က) Variable Speed Drive (VSD) သို့မဟုတ် Variable Frequency Drive (VFD) တပ်ဆင်ရမည်၊ သို့မဟုတ် Vane-axial fan ဖြစ်ပါက variable pith blade တပ်ဆင်ထား ရမည်။

(ခ) ဒီဇိုင်းလေစီးနှုန်း(design airflow) ၏ ၅၀% ထက် ပိုနိမ့်သည့် အခိုက်၊ static pressure set point သည် 1/3 of total design static pressure ဖြစ်သည့်အခိုက်တွင် fan မော်တာ ၏ demand ကို design wattage ထက် ၃၀% နည်းအောင် လျှော့ချနိုင်ရမည်။

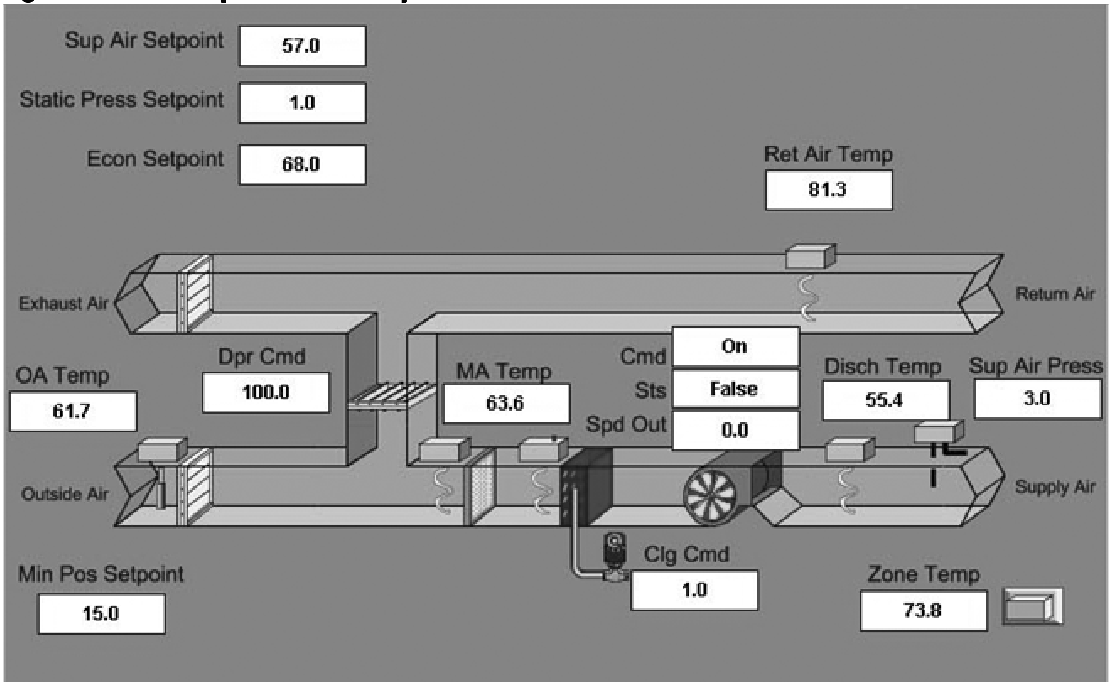
Static pressure sensor location

VAV system AHU တွင် အသုံးပြုမည့် static pressure sensor တပ်ဆင်ထားရမည့်နေရာသည် 1/3 of total design fan static pressure ထက် ပိုမများသည့် အကွာအဝေးနေရာတွင် တပ်ဆင်ရမည်။ Main duct မှ main branch duct များစွာ ခွဲသွားသည် duct ပုံစံမျိုးတွင် major branch duct တိုင်းအတွက် static pressure sensor များ တပ်ဆင်ထား ရမည်။

Set point reset

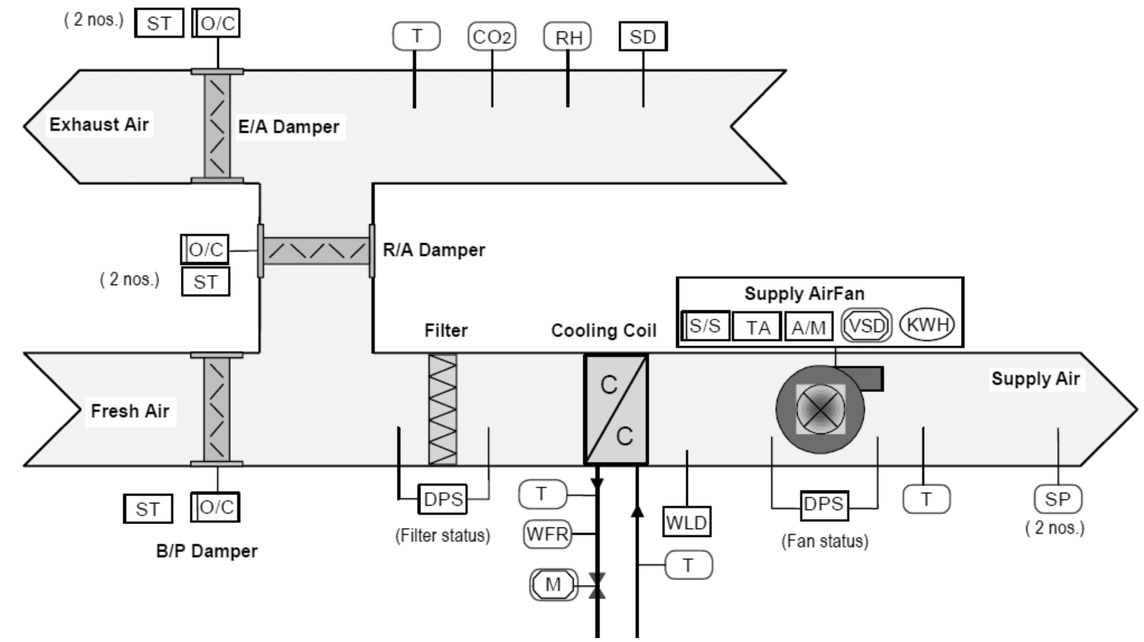
Direct Digital Control(DDC) ကို အသုံးပြုသည့် VAV Box များအတွက် static pressure set point ကို reset လုပ်ပေးရမည်။ ဥပမာ set point ကို reset lower လုပ်ပေးရမည်။ (အနည်းဆုံး ဖုန်တစ်ခု damper ကို 95% သို့မဟုတ် 100% ဖြစ်သည့် အထိ)

၃.၁၅ VAV AHU တစ်လုံး ၏ Controller နှင့် Control Logic

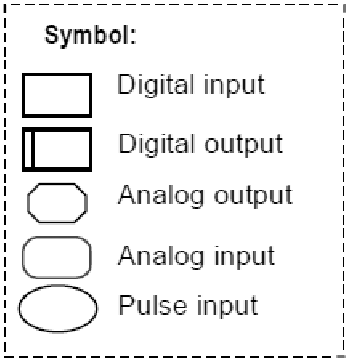


ပုံ ၃-၄၈ Building Automation System(BAS)တွင် ဖော်ပြထားသော AHU graphic ပုံ

Building Automation System(BAS) ၌ မြင်တွေ့ရလေ့ရှိသည့် AHU graphic ကို နမူနာ အဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။ AHU တစ်လုံး၏ Direct Digital Controller(DDC)နှင့် control logic ကို သိစေရန် အတွက်သာ ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။ အသေးစိတ်ကို Building Automation System(BAS) စာအုပ်တွင် လေ့လာနိုင်ပါသည်။



ပုံ ၃-၄၉(က) Air Handling Unit တစ်ခုရှိ field device များ၊ Input နှင့် Output များကို ဖော်ပြထားပုံ



Legend

ST:	On/Off status	SP:	Static pressure
TA:	Trip alarm	RH:	Relative Humidity
A/M:	Auto/Manual mode	WFR:	Water flow rate
SD:	Smoke detector	KWH:	kilo-watt hour
DPS:	Differential pressure switch	S/S:	Start/Stop control
WLD:	Water leakage Detector	VSD:	Variable speed drive
T:	Temperature	M:	Motorised actuator
		O/C:	Open/Close control

ပုံ ၃-၄၉(ခ) Air Handling Unit တစ်ခုရှိ field device များ၊ input နှင့် output များ၏ legend

၃.၁၅.၁ Description of DDC Inputs and Outputs

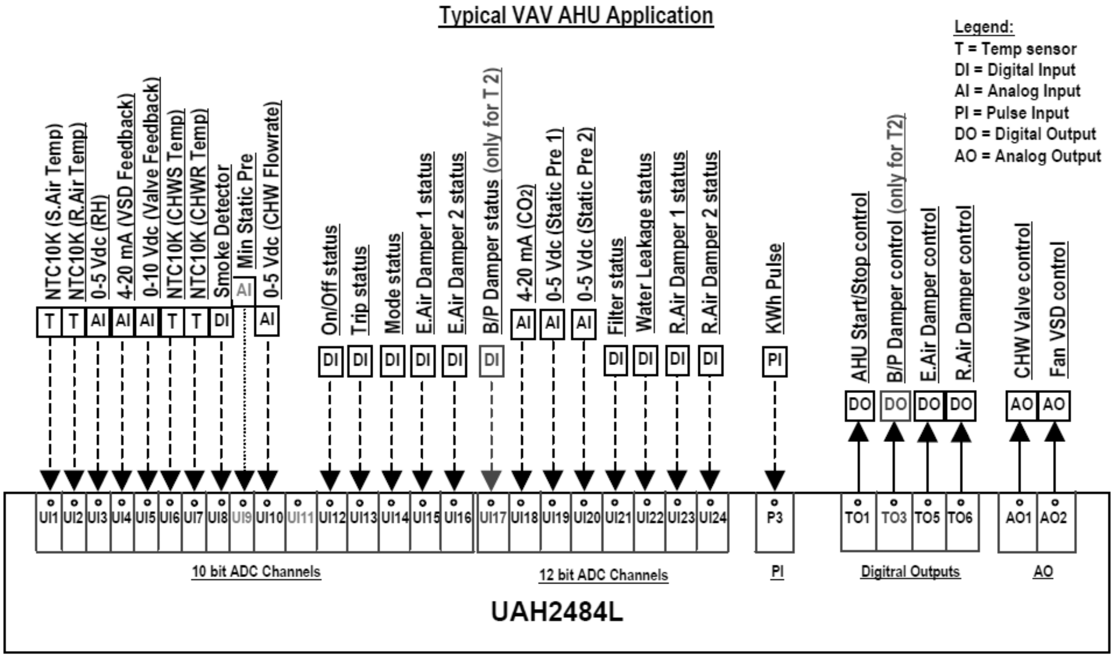
Variable Air Volume (VAV) AHU control application များအတွက် အသုံးပြုထားသည့် Direct Digital Controller (DDC) သည် model UAH2484L ကို ဖြစ်သည်။

Direct Digital Controller (DDC)၏ Input များ

Direct Digital Controller(DDC) UAH24842L နှင့်တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သော input များ မှာ

(1) Digital Input (Dry contacts)

Direct Digital Controller (DDC) UAH24842L နှင့် Digital Input(DI) (၁၅)ခုအထိ ချိတ်ဆက် (connect) နိုင်သည်။



ပုံ ၃-၅၀ VAV AHU တစ်လုံး ၏ controller ရှိ input နှင့် output များကို ဖော်ပြထားပုံ

VAV AHU တစ်လုံး ၏ controller နှင့် control logic အကြောင်းကို ဖော်ပြထားသည်။

Digital Input အမျိုးအစားများမှာ

- Selector mode status
- On/Off status
- Trip status
- Smoke detector status (maximum 4 nos.) နှင့်
- General dry contacts (maximum 8 nos.) တို့ဖြစ်သည်။

(2) Analog Input (0-5 Vdc/ 4-20mA/ NTC 10K temperature)

Direct Digital Controller(DDC)UAH24842L နှင့် Analog Input (၁၂)ခု ချိတ်ဆက်(connect) နိုင်သည်။

Analog Input အမျိုးအစားများမှာ

- Temperature sensors(maximum 4 nos.)
- Static Pressure
- Chilled water flow rate
- CO_2 နှင့်
- Universal Input(maximum 5 nos.) တို့ဖြစ်သည်။

Analog Input monitoring အတွက် ပုံမှန်မဟုတ်သော(abnormal) sensor reading များကို ဟန့်တားရန် "First Order Low Pass Filter Method" ကို အသုံးပြုထားသည်။

$$V_{new} = V_{old} + C(V_{in} - V_{old})$$

Where, Vnew = New reading to be updated in DDC

Vold = Old reading updated in DDC

Vin = Sensor reading,

C = constant(0.0~ 1.0)

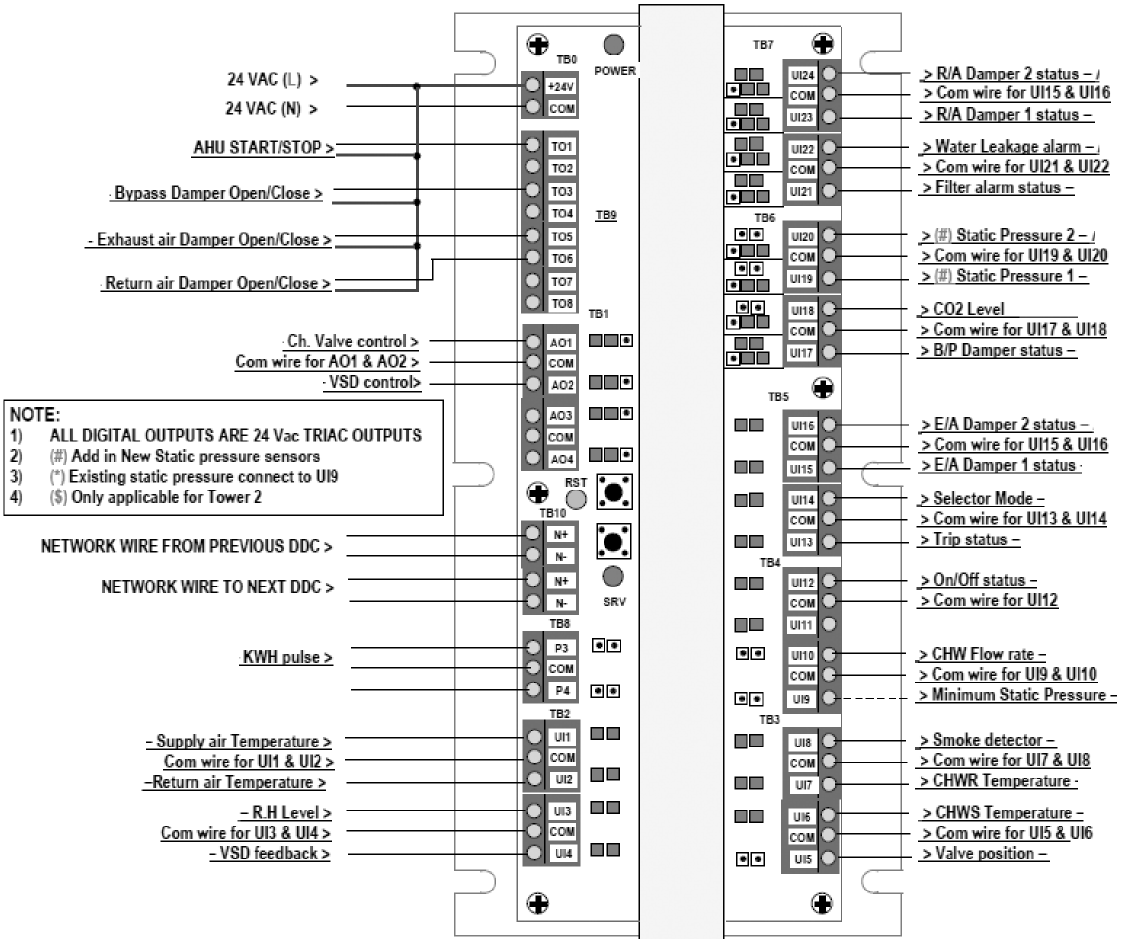
(3) Pulse Input

Direct Digital Controller(DDC) UAH24842L နှင့် pulse Input (၁)ခု ချိတ်ဆက်(connect) နိုင်သည်။ အနိမ့်ဆုံး pulse width သည် (၅၀)မီလီစက္ကန့်(50ms) ဖြစ်သည်။ Accumulated counter သည် တန်ဖိုး(value) 0 မှ 1,999,999,999 အထိ ဖော်ပြ(display) နိုင်သည်။

Output များ

Direct Digital Controller (DDC) UAH24842L သည် Digital Output (24 Vac Triac) & Analog Output (0-10 Vdc or 4- 20mA)များကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Command ပေးနိုင်သည်။

Variable Air Volume (VAV) AHU ၏ DDC layout နှင့် wiring diagram



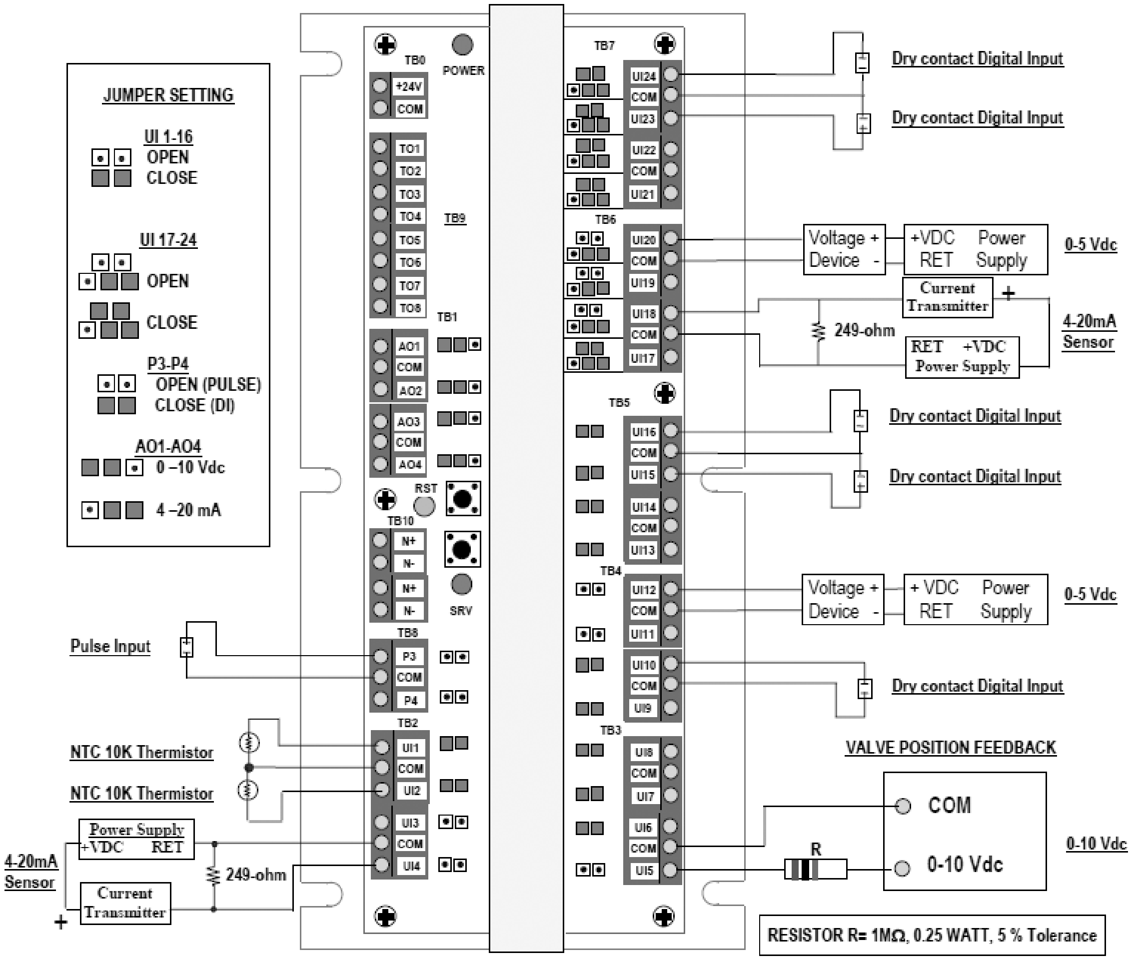
ပုံ ၃-၅၁ Variable Air Volume (VAV) AHU ၏ DDC Layout နှင့် Wiring Diagram

(4) Digital Output

Direct Digital Controller(DDC) UAH24842L သည် Digital Output channel (၅)ခု ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Channel တစ်ခုချင်းစီကို Digital Output control (၁)ခု အဖြစ် configure လုပ်နိုင်သည်။

AHU တစ်ခုလုံး မောင်းရန်/ရပ်ရန် AHU Start/Stop(Individual schedule or manual control)
Fan 1 မောင်းရန်/ရပ်ရန် Fan 1 Start/Stop(Individual schedule manual control)(used as By pass damper control)
Fan 2 မောင်းရန်/ရပ်ရန် Fan 2 Start/Stop(Individual schedule manual control)
Return air damper ဖွင့်ရန်/ပိတ်ရန် Return air damper Open/Close control(interlock with AHU operation)
Exhaust air damper ဖွင့်ရန်/ပိတ်ရန် Exhaust air damper Open/Close control(interlock with AHU operation)

Variable Air Volume (VAV) AHU ၏ Typical Sensor Termination



ပုံ ၃-၅၂ Variable Air Volume(VAV)AHU ၏ Typical Sensor Termination

(5) Analog Output

Direct Digital Controller(DDC) UAH24842L သည် Analog output channel နှစ်ခု ထုတ်ပေးနိုင်သည်။

- AHU Variable Speed Drive(VSD) control နှင့်
- AHU chilled water valve control တို့ ဖြစ်သည်။

၃.၁၅.၂ DDC Terminal Block Assignment (UAH2484L)

Terminal Block (၇)ခု ပါရှိသည်။ TB1 မှ TB6 နှင့် TB8 terminal တို့ ဖြစ်သည်။

Terminal Block No	Label	Description	Remark
TB0	+24V	24 VAC Input(L)	
	COM	24 VAC Input(N)	
TB1	AO1	Analog Output 1	
	COM	COM terminal for AO1 & AO2	
	AO2	Analog Output 2	
TB2	UI1 – UI4	Universal Input 1-4	
	COM	2 COM Terminals for UI 1-4	Each com shared by 2 UI
TB3	UI5 – UI8	Universal Input 5-8	
	COM	2 COM Terminals for UI 5-8	Each com shared by 2 UI
TB4	UI9 – UI12	Universal Input 9-12	
	COM	2 COM Terminals for UI 9-12	Each com shared by 2 UI
TB5	UI13 – UI16	Universal Input 13-16	
	COM	2 COM Terminals for UI 13-16	Each com shared by 2 UI
TB6	UI17 – UI20	Universal Input 17-20	
	COM	2 COM Terminals for UI 17-20	Each com shared by 2 UI
TB7	UI21 – UI24	Universal Input 21-24	
	COM	2 COM Terminals for UI 21-24	Each com shared by 2 UI
TB8	P3	Pulse Input	Only P3 is used.
	COM	COM terminal for P3 & P4	
	P4	Pulse Input	
TB9	TO1-TO8	Digital Output 1 - 8	Only TO1,3,5,6 are used. TO3 not used for Tower 1
TB10	N+	Network wire from previous DDC	
	N-	Network wire from previous DDC	
	N+	Network wire to next DDC	
	N-	Network wire to next DDC	

၃.၁၅.၃ AHU Control Logic

AHU တစ်လုံးကို မောင်းနိုင်သည့် operating mode (၅)မျိုး ရှိသည်။

(၁) Purge mode
(၂) Alarm mode
(၃) Normal operation mode
(၄) Manual control mode နှင့်
(၅) Bypass damper control တို့ ဖြစ်သည်။

(၁) Purge mode

Purge mode သည် နံနက်စောစော AHU မမောင်းခင် တစ်ညလုံး အခန်းအတွင်းရှိနေသည့် လေပုပ်လေဟောင်းများကို အခန်းအတွင်းမှ စုပ်ထုတ်ပစ်ပြီး လေသန့်များပြန်ထည့်ပေးခြင်းဖြစ်သည်။ "Flushing Mode" ဟုလည်းခေါ်သည်။

Network မှ purge လုပ်ရန် command ပေးလျှင် သို့မဟုတ် network မှ purge mode ကို enable လုပ်လျှင် controller သည် "**Purge Mode**" သို့မဟုတ် "**Flushing Mode**" ကို စတင်သည်။

Controller မှ အောက်ပါ output များကို ထုတ်ပေးကာ(command ပေးကာ) controlled device များကို စတင်လုပ်စေသည်။

- On/Off အမျိုးအစား(type) exhaust air damper ကို ဖွင့်သည်။ (set to open)
- On/Off အမျိုးအစား(type) return air damper ကို ပိတ်သည်။ (set to close)
- AHU supply air fan ကို မောင်း(run)သည်။ Fan speed သည် "Purge Mode" မှ set point အတိုင်းဖြစ်သည်။
- Modulating အမျိုးအစား(type) chilled water valve ကို ပိတ်သည်။ (set to 0%)

(၂) Alarm mode

အကယ်၍ smoke detector activate ဖြစ်လျှင် "**Alarm Mode**" ကို စတင်သည်။ မီးခိုးများ AHU အတွင်းသို့ ရောက်ရှိလာသောကြောင့် ထိုမီးခိုးများ အခန်းများအတွင်းသို့ မပျံ့နှံ့စေရန် AHUကို ရပ်တန့်စေရမည်။

Blower ၏ မြန်နှုန်း(VSD speed)ကို 0% (set to 0%)ဖြစ်စေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရပ်တန့်စေသည်။

Return air damper ကို ပိတ်သည်။ (set to close)

အကယ်၍ AHU ရပ်နေလျှင် chilled water valve ကို အပြည့်ပိတ်(fully close) ထားရမည်။ Return air damper ကိုဖွင့် (open) သည်။ Exhaust air damper ကို ပိတ်(close)စေရမည်။

(၃) Normal operation mode

AHU မောင်းခြင်း၊ ရပ်ခြင်း(start/stop)ကို လူကိုယ်တိုင်(manually)မောင်းနိုင်သည် သို့မဟုတ် ထည့်ပေးထားသည့် အချိန်ဇယား(schedule)များအတိုင်း မောင်းနိုင်သည်။

AHU ကို DDC မှ မောင်းခြင်း၊ ရပ်ခြင်း ပြုလုပ်ရန်အတွက် mode selection switch သို့မဟုတ် selector switch ကို "on" ထားရမည်။ သို့မဟုတ် Auto mode သို့ပြောင်းထားပေးရမည်။ အကယ်၍ Mode selection switch သို့မဟုတ် selector switch သည် local mode သို့ရောက်နေလျှင် DDC မှ မောင်းခြင်း၊ ရပ်ခြင်း ပြုလုပ်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

(၄) Manual control Mode

AHU မောင်းနေစဉ်

- On/Off အမျိုးအစား(type) exhaust air damper ကို ပိတ်သည်။ (set to close)
- On/Off အမျိုးအစား(type) return air damper ကို ဖွင့်သည်။ (set to open)
- AHU supply air fan ကိုမောင်းရန် fan speed သည် static pressure setpoint အတိုင်းရရှိရန်အတွက် PID algorithm မှထုတ်ပေးသည့် output contol singal အတိုင်း VSD ကိုမောင်းရန် ဖြစ်သည်။
- Modulating အမျိုးအစား(type) chilled water valve ကို cooling set point အတိုင်းရရှိရန်အတွက် PID algorithm မှထုတ်ပေးသည့် output contol singal အတိုင်း modulating actuator ကိုမောင်းရန် ဖြစ်သည်။

AHU ရပ်ထားလျှင်

- On/Off type Exhaust air damper ကို ပိတ်သည်။(set to close)
- On/Off type return air damper ကို ဖွင့်သည်။(set to open)
- VSD output ကို 0 % အဖြစ်ထားသည်။ (set to 0 %)
- Valve output ကို 0 % အဖြစ်ထားသည်။ (set to 0 %)

(၅) Bypass damper control

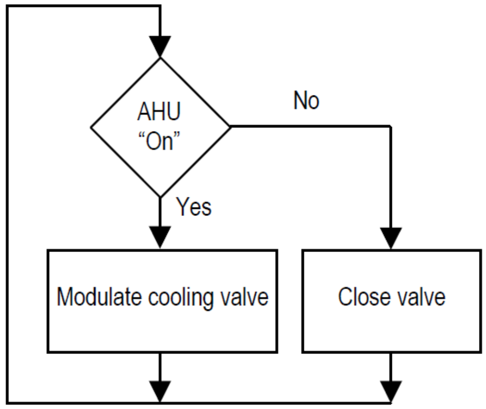
Bypass damper control သည် AHU နှင့် interlock မလုပ်ထားပါ။ ပိတ်ခြင်း ၊ ဖွင့်ခြင်း (open/close)ကို manually သို့မဟုတ် schedule control ဖြင့် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Chilled Water Valve Control

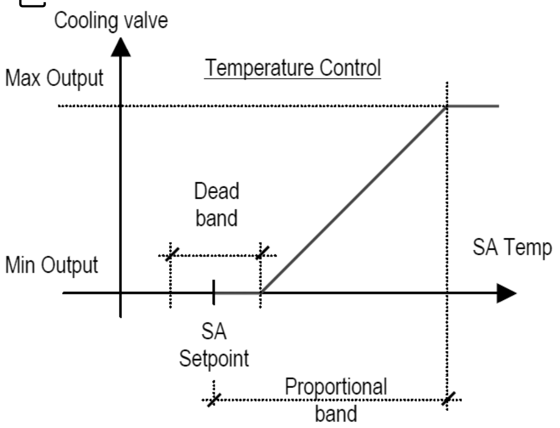
PID control algorithm ဖြင့် modulating type chilled water valve ကို control လုပ်သည်။ Actuator သည် 0~10 Vdc control signal ကို အသုံးပြုထားသည့် အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။

Temperature control loop ၏ default PID parameter များမှာ

- Default setpoint သည် 12°C ဖြစ်သည်။
- Supply air temperature သည် control PID loop အတွက် reference input ဖြစ်သည်။
- Proportional band ၏ default value သည် 5.0 °C ဖြစ်သည်။
- Dead band ၏ default value သည် 0.40 °C ဖြစ်သည်။



ပုံ ၃-၅၃ Modulating valve control



ပုံ ၃-၅၄ Temperature control

Integral ၏ default value (I gain)သည် 120 sec ဖြစ်ပြီး derivative constant default value သည် 0 sec ဖြစ်သည်။ (တစ်နည်းအားဖြင့် PI control သာဖြစ်သည်။)

Supply Fan Variable Speed Drive (VSD) control

PID control algorithm ဖြင့် fan မော်တာ Variable Speed Drive (VSD) ကို control လုပ်သည်။ Output signal သည် 0~10 Vdc အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။

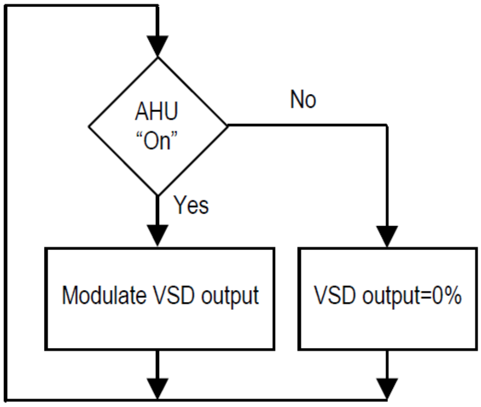
Temperature setpoint အတွက် default PID parameter များမှာ

- Default setpoint သည် 100 Pa ဖြစ်သည်။
- Minimum supply air static pressure သည် control PID loop အတွက် reference input ဖြစ်သည်။

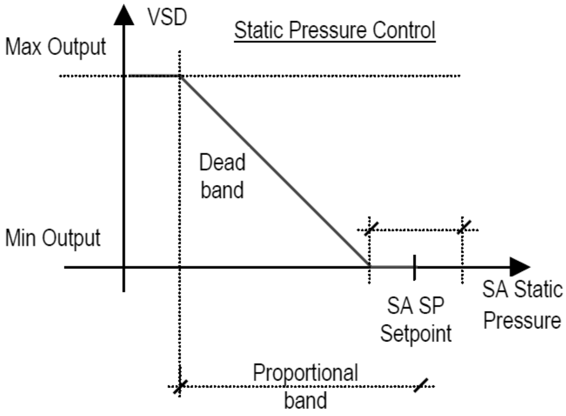
Sensor range သည် 0~1250 Pa ဖြစ်သည်။

- Proportional band ၏ default value သည် 100 Pa ဖြစ်သည်။
- Dead band ၏ default value သည် 10 Pa ဖြစ်သည်။

Integral ၏ default value သည် 60 seconds ဖြစ်ပြီး derivative constant default value သည် 0 sec ဖြစ်သည်။ (တစ်နည်းအားဖြင့် PI control သာဖြစ်သည်။)



ပုံ ၃-၅၅ VSD control



ပုံ ၃-၅၆ Static Pressure Control

-End-

Chapter - 4 Cooling Towers

၄.၁ Introduction

Air conditioning system များနှင့် industrial cooling process များမှ ထွက်လာသည့် အပူများ (generated heat)ကို စွန့်ထုတ်ပစ်(reject)ရန် လိုအပ်သည်။ စွန့်ထုတ်ပစ်ခြင်း(rejecting) မပြုလုပ်ပါက ထို ထွက်ပေါ်လာသည့် အပူများ(generated heat)သည် တစ်နေရာသို့ ပျံ့လွင့်ကွယ်ပျောက်(dissipated) သွားလိမ့် မည်။ Cooling tower သည် system တစ်ခုအတွင်းမှ အပူ(heat)များကို အနီးရှိ လေထုထဲသို့ စွန့်ထုတ် ပေးနိုင်သော ကိရိယာ(heat rejection device)တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ ထိုသို့ အပူများကို စွန့်ထုတ်နိုင်ရန် အတွက် condenser water အပူချိန်သည် လေထု၏ အပူချိန်ထက် ပို၍ မြင့်မားနေရန် လိုအပ်သည်။

အပူ(heat)သည် အပူချိန်မြင့်ရာ(high temperature) မှ နိမ့်ရာ(low temperature)သို့သာ အလိုလျောက် အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer) ဖြစ်နိုင်သည်။

ပုံ ၄-၁ Cooling tower အမျိုးမျိုး

Chiller သို့မဟုတ် industrial process heat exchanger များမှ ထွက်လာသည့် အပူများ(generated heat)ကို ဖယ်ထုတ်ပစ်ရန်အတွက် ရေကို "**Heat Transfer Medium**" အဖြစ် အသုံးပြုကြသည်။ ရေသည် အလွယ်တကူ ပေါပေါများများ ရနိုင်ပြီး၊ ကုန်ကျစရိတ်လည်း အလွန်သက်သာသည်။ လွန်ခဲ့သော နှစ်ပေါင်း များစွာက ထိုထွက်လာသည့် အပူများ(generated heat)ကို ရေကန်များ၊ ရေအိုင်များ၊ ပင်လယ်များ၊ ချောင်းများ အတွင်းသို့ စွန့်ထုတ်ပစ်ခဲ့ကြသည်။ ထိုသို့ စွန့်ထုတ်မှုကြောင့် ရေကန်များအတွင်းရှိ ရေ၏အပူချိန်မြင့်တက်ကာ ပတ်ဝန်းကျင် ထိခိုက်ပျက်စီးမှု(ecological disturbance)များကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ ရေနေသတ္တဝါများ သေကျေ ပျက်စီးရသည်။

ထို့ကြောင့် ယခုအခါတွင် air conditioning system များ၊ water cooled refrigeration system များ နှင့် process cooling system များမှ စွန့်ထုတ်ပစ်လိုက်သော အပူများ(rejected heat)ကို ဖယ်ထုတ်ရန် အတွက် cooling tower များကို အသုံးပြုလာကြသည်။ Cooling tower တပ်ဆင် အသုံးပြုခြင်းကြောင့် ကုန်ကျ စရိတ် အလွန်သက်သာသည်။ သဘာဝပတ်ဝန်းကျင် ထိခိုက်စေမှု(ecological effect)ကိုလည်း လျော့နည်း အောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Air conditioning system များသာမက process cooling system များ နှင့် compressed air system များတွင် အပူများ စွန့်ထုတ်ပစ်ရန်(heat rejection)အတွက် cooling tower များကို အသုံးပြုကြသည်။ Water cooled chiller များနှင့် water cooled package unit များနှင့် တွဲ၍လည်း အသုံးပြုကြသည်။

Cooling tower များသည်

(၁) Sensible heat transfer နည်း

(၂) Latent heat transfer နည်း နှင့်

(၃) အထက်ပါနည်း နှစ်မျိုးလုံးဖြင့် အပူ(heat)များကို လေထဲ(atmosphere)သို့ တစ်ပြိုင်နက် စွန့်ထုတ်ပစ် (reject) ကြသည်။

ရေငွေ့ပျံစေခြင်းဖြင့် အပူကိုဖယ်ထုတ်ခြင်း(evaporative cooling)နည်းသည် latent heat transfer လုပ်ခြင်းဖြင့် စွန့်ထုတ်ပစ်ခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ ပူသောရေများကို cooling tower အတွင်းရှိ fill packing များ အပေါ်၌ ဖြတ်၍ စီးဆင်းစေသည့်အခါ ရေအချို့သည် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ဖြစ်ကာ ရေ၏အပူချိန် ကျဆင်း သွားသည်။

ရေငွေ့ပျံစေခြင်းဖြင့် အပူကိုဖယ်ထုတ်ခြင်း(evaporative cooling)နည်းဖြင့် စွန့်ထုတ်(reject) နိုင်သည့် အပူ(latent heat)ပမာဏသည် ရေငွေ့ပါဝင်မှု(moisture content) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေထု၏ Wet Bulb အပူချိန်နိမ့်လေ ရေငွေ့ပါဝင်မှု(moisture content) နည်းလေ ဖြစ်ပြီး cooling tower မှ အပူ(latent heat)ပမာဏများများ စွန့်ထုတ်(reject)နိုင်လေ ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် Wet Bulb အပူချိန် နိမ့်သောလေသည် ပို၍ ခြောက်သွေ့သောကြောင့် ပို၍ evaporative cooling ဖြစ်စေနိုင်သည်။

ထို့အပြင် ပိုနွေးသောရေများ(warmer water)မှ အပူများသည် sensible cooling နည်းဖြင့် အေးသည့် လေ(cool air)ထဲသို့ စွန့်ထုတ်(reject) ခံရသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပိုနွေးသော ရေများ(warmer water)မှ အပူများသည် sensible cooling နည်းဖြင့် အေးသည့်လေ(cool air)ထဲသို့ ကူးပြောင်း(transfer) သွားသည်။

လေထဲသို့ ကူးပြောင်း(transfer)သွားသည့် "Sensible Heat" ပမာဏသည် လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်(temperature)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေထဲသို့ ကူးပြောင်း(transfer)သွားသည့် "Latent Heat" ပမာဏသည် လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်(temperature)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

၄.၂ Cooling Tower နှင့်သက်ဆိုင်သော အခေါ်အဝေါ်များ(Technical Terms)

Approach – Condenser water supply အပူချိန်(temperature) နှင့် cooling tower အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်(temperature)တို့ ခြားနားချက်သည် "Approach" ဖြစ်သည်။

Approach temperature = Leaving condenser water temperature - Entering air Wet Bulb temperature

ရေဖောက်ထုတ်ခြင်း (Blow Down or Bleed Off)

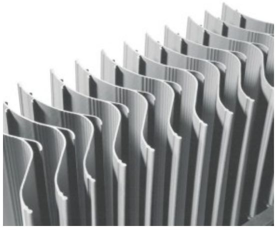
Cooling tower မှ condenser water များသည် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ကြောင့် တဖြည်းဖြည်း လျော့နည်း သွားသည်။ Condenser water ထဲတွင် ပါရှိနေသည့် အခဲများ(solid) များ၊ ဓာတ်ဆား(salt)များနှင့် အညစ်အကြေးများ(impurities) ပါဝင်နေမှု တဖြည်းဖြည်း မြင့်တက်လာသည်။ အညစ်အကြေးပါဝင်မှု (concentration)များသည့် condenser water များကို ဖောက်ထုတ်၍ ရေအသစ်(fresh water)ထပ်ထည့် ပေးခြင်းဖြင့် ရှိသင့်ရှိထိုက်သော concentration level ရအောင် ထိန်းထားရသည်။ ထိုသို့ အညစ်အကြေးပါဝင်မှု (concentration)မြင့်သည့် condenser water များ ဖောက်ချခြင်းကို "**Blow Down**" သို့မဟုတ် "**Bleed Off**" လုပ်သည် ဟုခေါ်သည်။

Capacity: Cooling tower တစ်လုံးမှ စွန့်ထုတ်ပစ်နိုင်သော အပူပမာဏ (amount of heat that cooling tower can reject)သည် cooling tower ၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) ဖြစ်သည်။

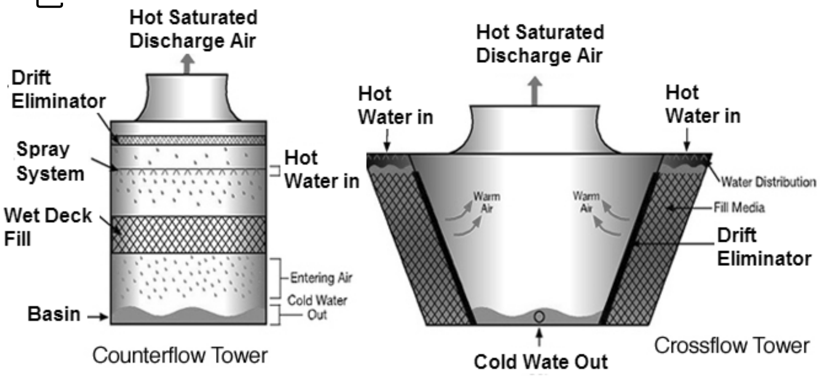
Cooling tower ၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)ကို တွက်ရန် ရေလည်ပတ်နှုန်း(flow rate)၊ approach temperature နှင့် အနီးရှိ လေထု၏ Wet Bulb အပူချိန် တို့ကို သိရန် လိုအပ်သည်။

Drift: ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) မဖြစ်ဘဲ fan ၏ လေစုပ်အားကြောင့် cooling tower အပြင်ဘက်သို့ ရေစက်ငယ်များ ရောက်သွားခြင်းကို "**Drift**" ဖြစ်သည် ဟု ခေါ်သည်။

Eliminator: Fan ကြောင့် cooling tower အပြင်ဘက်သို့ ရောက်ရှိသွားမည့် ရေစက်ငယ်များအား ပြန်လည်စုဆောင်းပေးသည့် ကိရိယာကို eliminator ဟုခေါ်သည်။ ("Drift" လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်ပေးသောကြောင့် "**Drift Eliminator**" ဟုခေါ်ခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ၄-၂ Drift Elimimator



ပုံ ၄-၃ Cooling tower တွင် Drift Elimimator တပ်ဆင်ထားပုံ

Cell — သီးခြားမောင်းနိုင်အောင်(independently operate)ပြုလုပ်ထားသော cooling tower ၏ အခန်းငယ်ကို cell ဟု ခေါ်သည်။

Counter Flow — ရေစီးရာလမ်းကြောင်း(water flow path)နှင့် လေသွားလမ်းကြောင်း(air flow path)သည် အပြိုင်ဖြစ်ပြီး ဦးတည်ရာ ဆန့်ကျင်(parallel & opposite direction)ဖြစ်နေလျှင် "**Counter Flow Cooling Tower**" ဟု ခေါ်သည်။

Cross flow — ရေစီးရာလမ်းကြောင်း (water flow path)နှင့် လေသွားလမ်းကြောင်း (air flow path) တို့သည် 90° ထောင့်မှန်(perpendicular)ဖြစ်နေလျှင် သို့မဟုတ် ကြက်ခြေခတ် ပုံစံဖြင့် ဖြတ်သွား ကြလျှင် "**Cross Flow Cooling Tower**" ဟုခေါ်သည်။

Double flow — Cross flow cooling tower ၏ ဘေးနှစ်ဘက်မှ ရေများစီးဆင်းနေလျှင် "**Double Flow**" ဟု ခေါ်သည်။

Evaporation (Loss) — Condenser water သည် အပူကြောင့် အရည်အဖြစ် မှ အငွေ့(vapor)အဖြစ် အသွင်ပြောင်းခြင်း(phase change) ဖြစ်ပြီး ရေငွေ့အဖြစ် cooling tower မှ တစ်ဆင့် လေထဲသို့ ရောက်ရှိသွားခြင်းကို "Evaporation" ဟုခေါ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ ရေငွေ့ပျံခြင်း (evaporation) ဖြစ်ကာ ဆုံးရှုံးသွားသည့် ရေများကို "Evaporation Loss" ဟု ခေါ်သည်။

Fill — ပူသည့် condenser water နှင့် အေးသည့်လေ တို့အကြား အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer) ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည့် ပစ္စည်း ကို "Fill" ဟုခေါ်သည်။ Fill များသည် Heat transfer media သို့မဟုတ် အပူစီးကူးနိုင်သည့် မျက်နှာပြင် (heat transfer surface) ဖြစ်ကြသည်။

Forced Draft — Fan များမှ လေကို cooling tower အတွင်းသို့ ရောက်အောင် မှုတ်ထည့်(push)သောကြောင့် cooling tower အတွင်း၌ ဖိအား(positive pressure)ဖြစ်နေသည့် cooling tower အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။

Induced Draft Cooling tower fan များသည် လေကို cooling water အတွင်းမှ စုပ်ယူ(pull)သောကြောင့် cooling tower cell အတွင်း၌ စုပ်အား(negative pressure) ဖြစ်နေသည့် cooling tower အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။

Lift Cooling tower အပေါ်ရှိ ရေပူကန်(hot water basin)နှင့် အောက်ရှိ ရေအမြင့်(water level) နှစ်ခုအကြား အကွာအဝေး ဖြစ်ပြီး "**Static Head**" ဟုခေါ်သည်။ Condenser water pump head တွက်ရာတွင် ဤအကွာအဝေး(static head)ကို အသုံးပြုသည်။

Make up (water) Condenser water များ cooling tower မှ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ကြောင့် ရေဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ်ပြီး drift ဖြစ်ခြင်းကြောင့်လည်း ရေဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ ထိုသို့ လျော့နည်းသွားသည့် condenser water များအတွက် ပြန်လည် ဖြည့်ပေးရသည့် ရေကို "make up water" ဟုခေါ်သည်။ ပြန်ဖြည့်ရန်အတွက် သိုလှောင်ထားသည့် ရေကန်ကို "make up water tank" ဟုခေါ်သည်။ ဖြည့်မည့် ရေပိုက်ကို "make up water pipe" ဟုခေါ်သည်။

Range Condenser water ၏ အဝင်(entering to cooling tower) အပူချိန် နှင့် အထွက်(leaving from cooling tower)အပူချိန် ကွာခြားချက်။

Range = Entering condenser water temperature at Cooling Tower - Leaving condenser water temperature at cooling tower

၄.၃ Condenser Water Piping Configuration

Chilled water system တစ်ခုကို water cooled chiller များဖြင့် သော်လည်းကောင်း၊ air cooled chiller များဖြင့် သော်လည်းကောင်း အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထား လေ့ရှိသည်။ Water cooled chiller ကို အသုံးပြုပါက circuit သုံးမျိုးရှိပြီး air cooled chiller ကို အသုံးပြုပါက circuit နှစ်မျိုး ရှိသည်။

	Water cooled chiller နှင့် မောင်းသော chilled water system	**Reference**
(၁)	Air side circuit သို့မဟုတ် air distribution system	Serving Room
(၂)	Chilled water circuit သို့မဟုတ် chilled water distribution system	AHU/FCU
(၃)	Condenser water circuit	Chiller

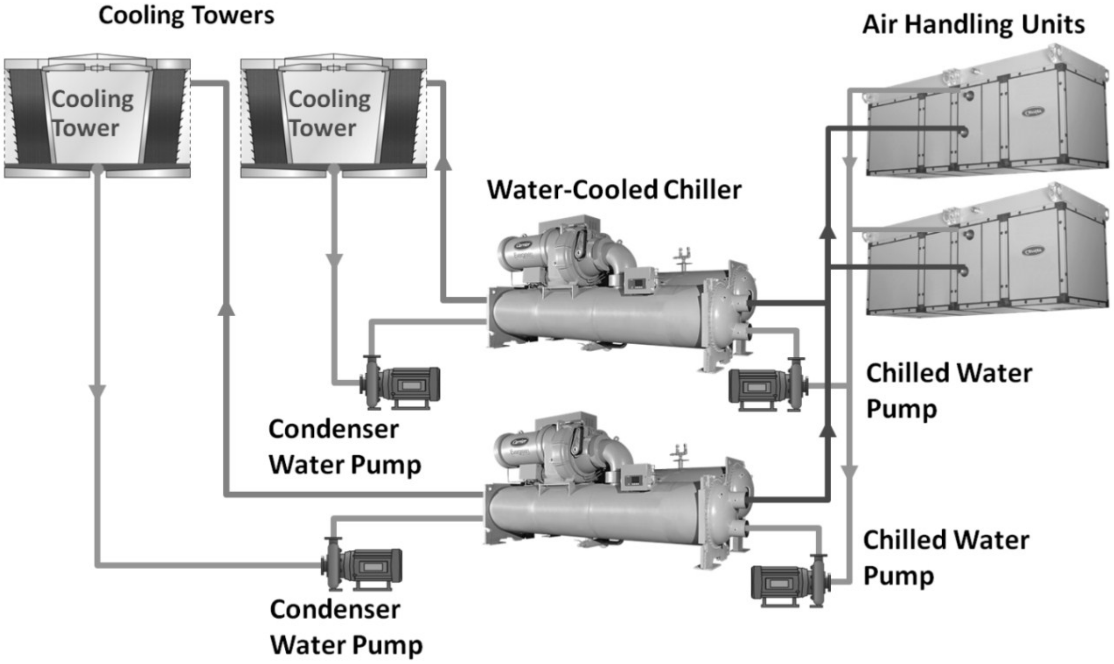
Naming of Circuit

Circuit များ အားလုံးတွင် အဝင်(entering)နှင့် အထွက်(leaving) သို့မဟုတ် supply နှင့် return ဟုသည့် အခေါ်အဝေါ်ကို သုံးစွဲလေ့ရှိသည်။ Equipment များကို ရည်ညွှန်း ပြောဆိုလျှင် အဝင်(entering)နှင့် အထွက်(leaving)ဟူ၍ သုံးစွဲသည်။ System များကို ရည်ညွှန်း ပြောဆိုလျှင် supply နှင့် return ဟူ၍ သုံးစွဲသည်။

Chilled water circuit တွင် building သို့မဟုတ် load side (AHU/FCU) ကို ရည်ညွှန်းရာ(reference) အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Chiller မှ ထွက်သွားသည့်(leaving) chilled water ကို chilled water supply (supply to building) ဟု သတ်မှတ်ပြီး chiller အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် အဝင်(entering) chilled water ကို chilled water return (return from building)ဟု သတ်မှတ်သည်။

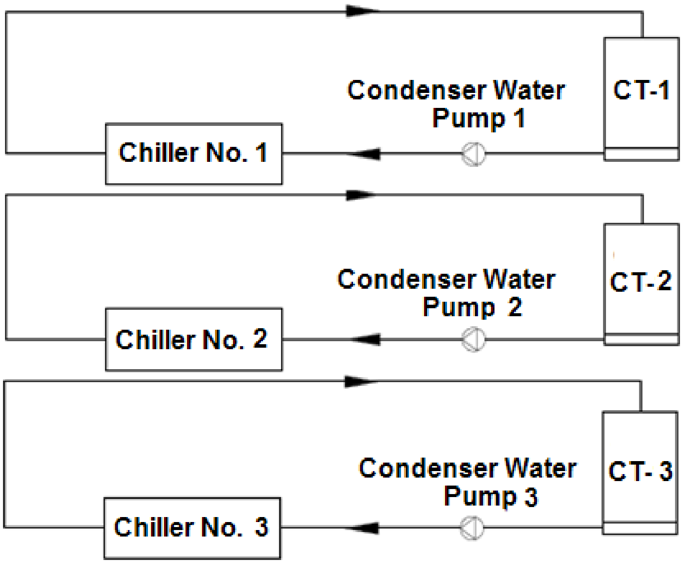
Condenser water circuit တွင် chiller ကို ရည်ညွှန်းရာ(reference)အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Condenser water အထွက်(leaving chilled water)ကို condenser water return (return from chiller)ဟု သတ်မှတ်ပြီး condenser water အဝင်(entering) condenser water ကို condenser water supply (supply to chiller) ဟု သတ်မှတ်သည်။

Air side circuit တွင် serving area ကို ရည်ညွှန်းရာ(reference)အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ AHU မှ ထွက်သွားသည့် လေ(leaving air)ကို supply air(supply to serving area)ဟု သတ်မှတ်ပြီး AHU သို့ ပြန်လာသည့် လေကို return air (return air from serving area)ဟု သတ်မှတ်သည်။



ပုံ ၄-၄ One to One System (Individual System) ပိုက်များ ဆက်ထားပုံကို ဖော်ပြထားပုံ

၄.၃.၁ One to One System (Individual System)

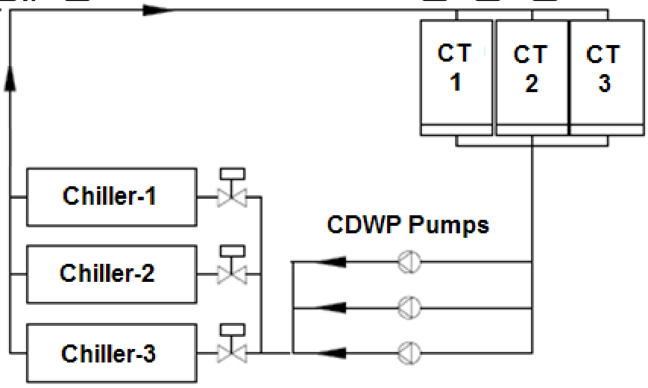


ပုံ ၄-၅ One to One System (Individual System) ပိုက်များ ဆက်ထားပုံ

ပုံ(၄-၅)တွင် chiller တစ်လုံး၊ pump တစ်လုံး နှင့် cooling tower တစ်လုံး တို့သည် သီးခြား condenser water circuit တစ်ခုအဖြစ် တည်ရှိသည်။ Chiller သုံးလုံးရှိသောကြောင့် condenser water circuit သုံးခုရှိသည်။ Condenser water pump သည် သူနှင့် သက်ဆိုင်သည့် chiller ဖြင့်သာ မောင်းနိုင်သည်။ အစုံလိုက်သာ မောင်းနိုင်သည်။

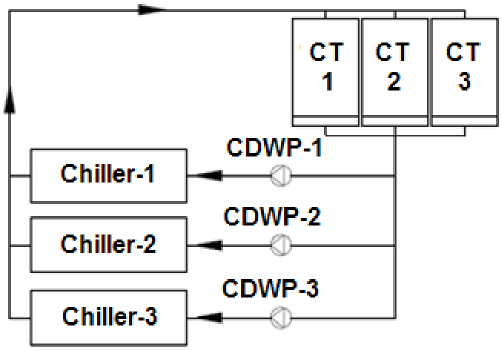
၄.၃.၂ Common Condenser water Header at Chiller and Cooling Tower

ပုံ(၄-၆)တွင် chiller သုံးလုံး၊ pump သုံးလုံး နှင့် cooling tower သုံးလုံးတို့ သည် condenser water circuit တစ်ခုအဖြစ် တည်ရှိသည်။ Condenser water pump သည် မည်သည့် chiller နှင့်မဆို မောင်းနိုင်သည်။



ပုံ ၄-၆ Chiller နှင့် condenser pump ဘက်တွင် common header တပ်ဆင်ထားပုံ

၄.၃.၃ Common Condenser Water Header at Cooling Tower



Chiller သုံးလုံး၊ pump သုံးလုံး နှင့် cooling tower သုံးလုံးတို့ သည် condenser water circuit တစ်ခု အဖြစ်တည်ရှိသည်။ Condenser water pump သည် သက်ဆိုင်သည့် chiller ဖြင့်သာ မောင်းနိုင်သည်။

ပုံ ၄-၇ Chiller နှင့် cooling tower ဘက်တွင် common header တပ်ဆင်ထားပုံ

၄.၄ Cooling Tower အမျိုးအစားများ (Type) နှင့် Configuration

Cooling tower ၏ configuration နှင့် အမျိုးအစား(type)များကို

(က) လေလမ်းကြောင်း၏ ဦးတည်ရာ(air flow direction) နှင့် ရေလမ်းကြောင်း၏ ဦးတည်ရာ(water flow direction) တို့ကို မူတည်၍ counter flow cooling tower နှင့် cross flow cooling tower ဟူ၍ ခွဲခြားသည်။

(ခ) Tower fan များ တပ်ဆင်ထားသည့် နေရာ(location)ကို မူတည်၍ "**Induced Draft**" နှင့် "**Force Draft**" ဟူ၍လည်း ခွဲခြားသည်။

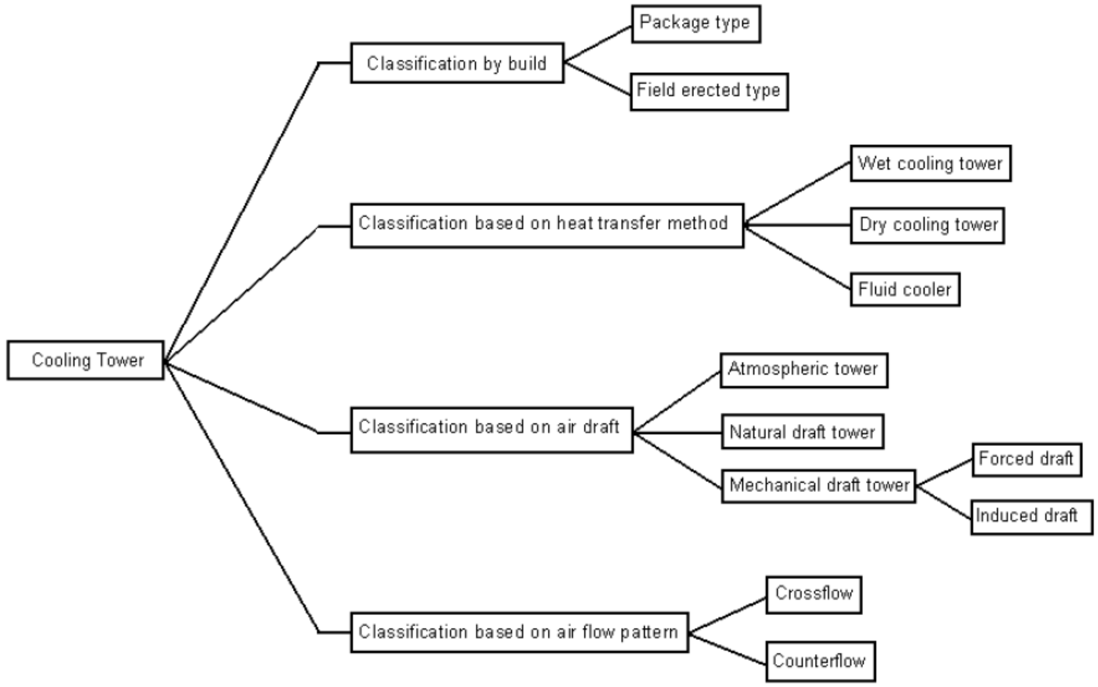
၄.၄.၁ Fan Location

Force draft အမျိုးအစားတွင် fan မှ လေများကို cooling tower အတွင်းသို့ မှုတ်ထည့်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Cooling tower ၏ cell အတွင်း၌ ဖိအား(positive pressure) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Induce draft cooling tower အမျိုးအစားတွင် fan သည် cooling tower ထဲမှ လေကို စုပ်ယူသည်။ Cooling tower ၏ cell အတွင်း၌ စုပ်အား(negative pressure) ဖြစ်ပေါ်သည်။

အဆောက်အဦများရှိ air con system အတွက် အသုံးပြုသော cooling tower များသည် counter flow သို့မဟုတ် cross flow အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။ Counter flow cooling tower အမျိုးအစားကို

လေးထောင့် ပုံသဏ္ဍာန် သို့မဟုတ် အဝိုင်းပုံသဏ္ဍာန် ပြုလုပ်ကြသည်။ Cross flow cooling tower များကို လေးထောင့် ပုံသဏ္ဍာန် ပြုလုပ်ကြပြီး ဘေးနှစ်ဘက်မှ လေများ ဝင်လာစေသည်။

Classification of Cooling Towers

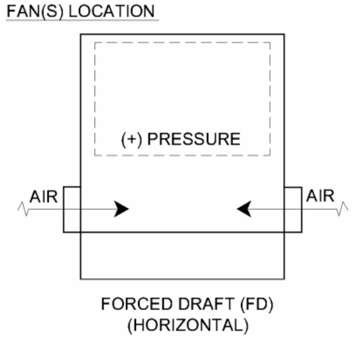


ပုံ ၄-၈ Coolig tower အမျိုးအစား ခွဲခြားပုံ

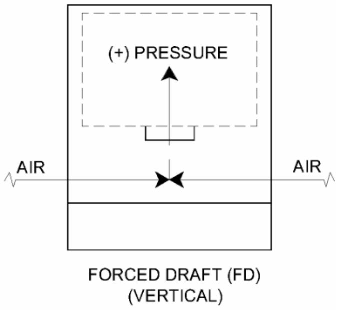
Cooling tower များတွင် လေစီးဝင်သည့်(air flow)ပုံစံသည် induced draft အမျိုးအစားလည်း ဖြစ်နိုင်သည် force draft အမျိုးအစားလည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Induced Draft အမျိုးအစားသည် cooling tower အတွင်းမှလေ များကို fan က စုပ်ယူခြင်း ဖြစ်သည်။

Cooling tower အမျိုးအစား လေးမျိုးမှာ

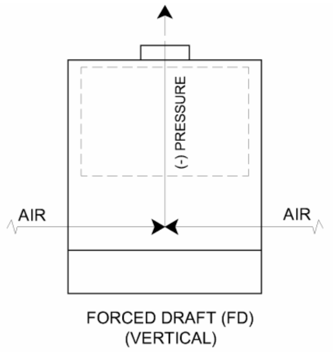
(၁) Induced draft counter flow
(၂) Force draft counter flow
(၃) Induced draft cross flow နှင့်
(၄) Force draft cross flow တို့ဖြစ်သည်။



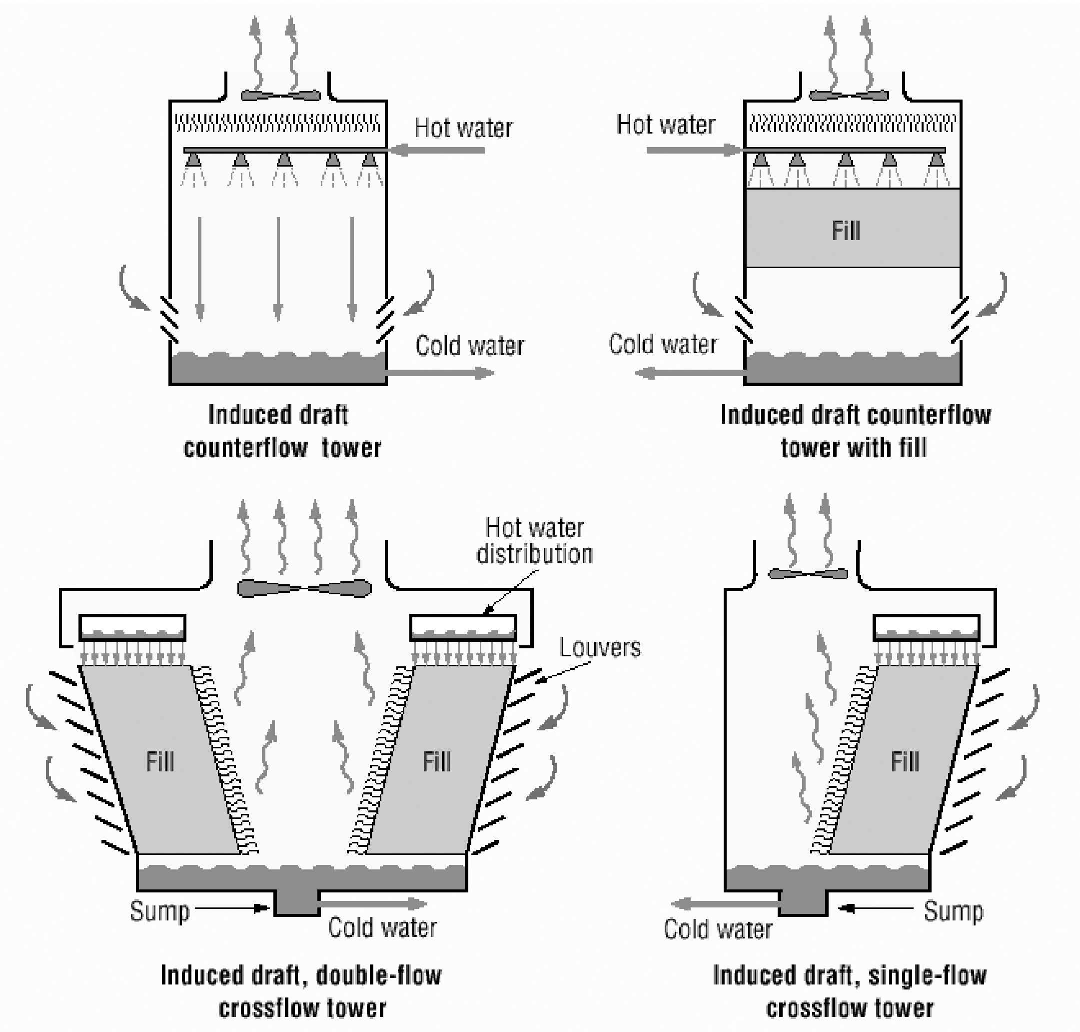
ပုံ ၄-၁၁ Forced draft horizontal (+ pressure)



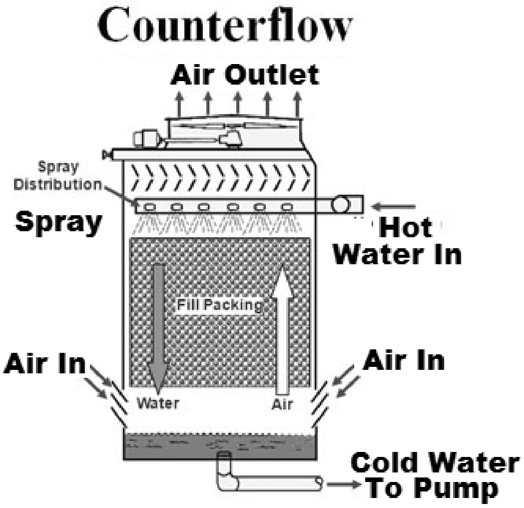
ပုံ ၄-၁၂ Forced draft vertical (+ pressure)



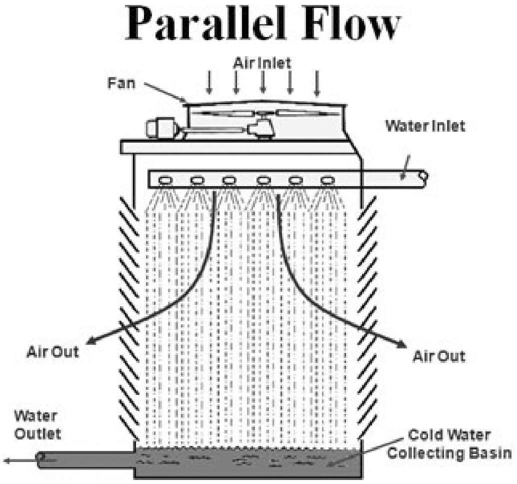
ပုံ ၄-၁၃ (- pressure)



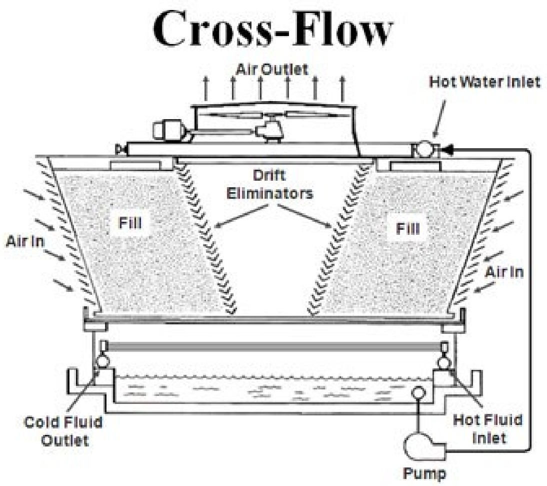
ပုံ ၄-၁၃ Cooling tower အမျိုးအစားများ



ပုံ ၄-၁၄ Counter flow cooling tower



ပုံ ၄-၁၅ Parallel flow cooling tower



လေလမ်းကြောင်း၏ ဦးတည်ရာ(air flow direction) နှင့် ရေလမ်းကြောင်း၏ ဦးတည်ရာ (water flow direction) တို့ကိုမူတည်၍ parallel flow ကိုပါ ထည့်၍ သုံးမျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

(၁) Counter flow cooling tower
(၂) Parallel flow cooling tower
(၃) Cross flow cooling tower ဟူ၍လည်း ခွဲခြားနိုင်သည်။

ပုံ ၄-၁၆ Cross flow cooling tower

၄.၅ Cross Flow Tower နှင့် Counter Flow Tower တို့၏ အားနည်းချက် နှင့် အားသာချက်များ

Cross flow tower ၏ အားနည်းချက် နှင့် အားသာချက်များ

Condenser Water Side အားသာချက်များ		**Condenser Water Side** အားနည်းချက်များ	
(၁)	Pump head နည်းသည်။ Power နည်းသည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု သက်သာသည်။	(၁)	Infill ပေါ်သို့ ရေများ ညီညီညာညာ ကျစေရန် ခက်ခဲသည်။
(၂)	ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခြင်း(maintenance) လုပ်ရန် လွယ်ကူသည်။	(၂)	Biological fouling ဖြစ်နိုင်သည်။
(၃)	ရေစီးနှုန်း(water flow) မညီညာခြင်းကြောင့် ဖြစ်သော ပြဿနာ နည်းသည်။	(၃)	Cooling tower ၏ အထိုင်ချရန်(foot print) နေရာ ကျယ်ကျယ် လိုအပ်သည်။
Air Side အားသာချက်များ		**Air Side** အားနည်းချက်များ	
(၁)	ဖိအား ကျဆင်းမှု(static pressure loss) နည်းသည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု နည်းသည်။	(၁)	Inlet louver ၏ မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area) ကျယ်ကျယ် လိုအပ်သည်။ လေကို လိုသလို ထိန်းရန် (control) ခက်ခဲသည်။
(၂)	Drift ဖြစ်မှု နည်းသည်။		
(၃)	Capacity များများရရန် cell အရေအတွက် နည်းနည်းသာ လိုသည်။		

Counter Flow Tower ၏ အားနည်းချက် နှင့် အားသာချက်များ

Condenser Water Side အားသာချက်များ		**Condenser Water Side** အားနည်းချက်များ	
(၁)	Spray ဖြင့် ဖြန်းခြင်းကြောင့် ရေထွက်မှု ကောင်းမွန် ညီညာသည်။	(၁)	Spray များ၏ နော်ဇယ်(nozzle) ကြောင့် ဖိအား ဆုံးရှုံးမှု(head loss)များ သည်။ Pump စွမ်းအင် (power)များများ လိုသည်။ စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု များသည်။
(၂)	Approach နည်းရန် အတွက် အလွန် မြင့်သော tower ဖြစ်ရန် လိုသည်။	(၂)	Spray nozzle များကို သန့်ရှင်းရေးလုပ်ရန် နှင့် ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းရန် ခက်ခဲသည်။

Air Side အားသာချက်များ		Air Side အားနည်းချက်များ	
(၁)	Counter flow ဖြစ်သောကြောင့် အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer) ပိုကောင်းသည်။	(၁)	Air static pressure loss များသည်။ Louver များများလိုအပ်သည်။ စွမ်းအင် သုံးစွဲမှုများသည်။
		(၂)	အဝ၌ လေအလျင်(inlet velocity) များသောကြောင့် အနီးရှိ အမှိုက်များ cooling tower အတွင်း သို့ ဝင်ရောက် လေ့ရှိသည်။
		(၃)	လေစီးနှုန်း(air flow) ညီမျှရန် ခက်ခဲသည်။

Counter flow tower များသည် cross flow tower များထက် အထိုင်ချရန်နေရာ (foot print) ပိုသေးငယ်သောကြောင့် တပ်ဆင်ရန် နေရာကျဉ်းကျဉ်းသာ လိုအပ်သည်။ Counter flow tower များသည် cross flow tower များထက် လေစီးနှုန်း(air flow)ပိုများပြီး ဖိအားကျဆင်းမှု(static pressure loss) များသောကြောင့် fan စွမ်းအား(power) များစွာ လိုအပ်သည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) ပိုများသည်။

၄.၆ Direct Contact သို့မဟုတ် Open Cooling Tower နှင့် Closed Circuit Cooling Tower

Cooling tower များကို direct contact သို့မဟုတ် open cooling tower နှင့် closed circuit cooling tower ဟူ၍ အကြမ်းအားဖြင့် နှစ်မျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

(က) Direct contact သို့မဟုတ် open cooling tower တွင် ရေသည် cooling atmosphere နှင့် တိုက်ရိုက် ထိတွေ့နေပြီး အပူများကို လေထုထဲသို့ တစ်ပြိုင်နက် စွန့်ထုတ်သည်။

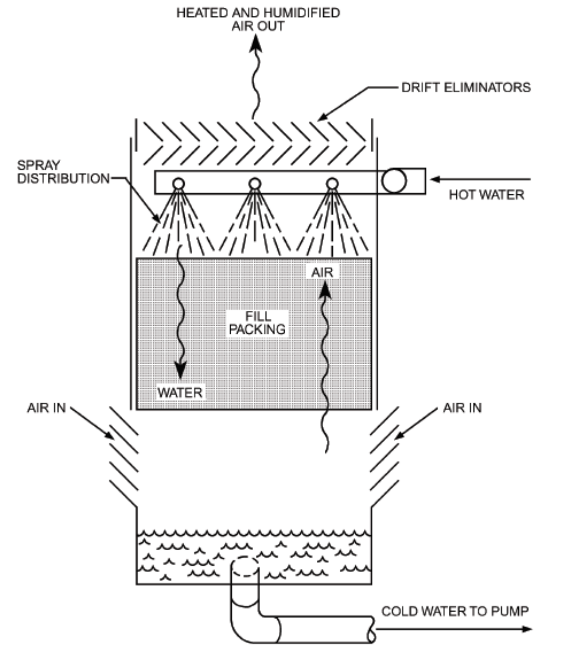
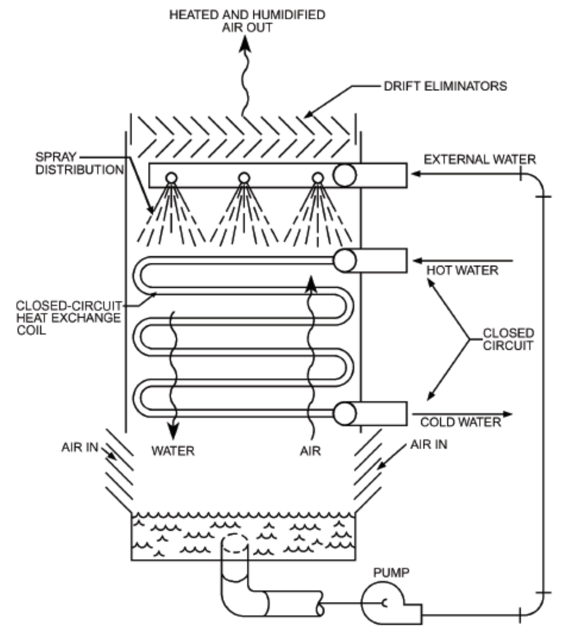
(ခ) Closed circuit cooling tower တွင် ပူနေသည့်ရေ သို့မဟုတ် hot fluid သည် လေထု (atmosphere) နှင့် တိုက်ရိုက်မထိဘဲ indirect contact တစ်မျိုးမျိုးမှ တစ်ဆင့် အပူကို စွန့်ထုတ်သည်။

Indirect contact သို့မဟုတ် closed circuit အမျိုးအစား cooling tower များတွင် external circuit နှင့် internal circuit ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။

Closed circuit cooling tower များကို မည်သည့် နေရာတွင်မဆို တပ်ဆင်နိုင်သည်။ Closed circuit cooling tower များကို chiller ထက်နိမ့်သောနေရာများတွင်လည်း တပ်ဆင်နိုင်သည်။ Open circuit cooling tower များကို chiller ထက် မြင့်သောနေရာ၌သာ တပ်ဆင်နိုင်သည်။

အပူစွန့်ထုတ်ရမည့် လိုအပ်ချက်(heat rejection requirement)ကို လိုက်၍ cooling tower အရွယ်အစား(size)၊ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(capacity) နှင့် အမျိုးအစား(type)အမျိုးမျိုးကို ထုတ်လုပ်ကြသည်။ Cooling tower သို့ရောက်ရှိလာသည့် warm water ၏ အပူချိန်၊ cooling tower မှ ထွက်သွားသည့် ရေ၏အပူချိန်(leaving temperature)၊ ရေစီးနှုန်း(water flow rate)၊ လေထု(ambient air)၏ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb အပူချိန် (temperature)ကို လိုက်၍ သင့်လျော်သည့် cooling tower အရွယ်အစား နှင့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(capacity) တို့ကို အခြေခံ၍ ရွေးချယ်ကြရသည်။

AHRI အဖွဲ့၏ သတ်မှတ်ချက်များ(standard) အရ air conditioning system မှ chiller များနှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုသည့် cooling tower ထဲသို့ ဝင်လာသော entering water temperature(from chiller)သည် 35°C(95°F)ဖြစ်ပြီး ထွက်သွားသည့် ရေအပူချိန်(temperature)သည် 29.4°C (85°F) ဖြစ်သည်။

	
ပုံ ၄-၁၇ Direct-Contact or Open Evaporative Cooling Tower	ပုံ ၄-၁၈ Indirect-Contact or Closed-Circuit Evaporative Cooling Tower

Return(entering water to tower)temperature နှင့် supply(leaving water form tower) temperature ၏ ခြားနားချက်ကို "**Range**" ဟုခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရေအဝင် အပူချိန်နှင့် ရေအထွက်အပူချိန် ခြားနားချက်ဖြစ်သည်။ Cooling tower ထဲမှ ထွက်သွားသည့် ရေ၏ အပူချိန် (leaving water temperature) နှင့် cooling tower ထဲသို့ဝင်လာသည့် လေ(ambient air)၏ Wet Bulb အပူချိန် ခြားနားချက်ကို "**Approach Temperature**" ဟု ခေါ်သည်။

သီအိုရီအရ cooling tower မှ အထွက်ရေအပူချိန်(leaving condenser water temperature)ကို လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်အထိ အေးအောင် လုပ်ပေးနိုင်စွမ်းရှိသည်။ သို့သော် အလွန်ကြီးမားသော cooling tower ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။

နိမ့်သည့် "Approach Temperature" ရရန်အတွက် cooling tower အရွယ်အစား ကြီးမားရန် လိုသည်။ Cooling tower များကို စီးပွားရေးအရ တွက်ခြေကိုက်အောင် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်လိုလျှင် "Approach Temperature" ကို 2.8°C(5°F)ခန့် ထားလေ့ရှိသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် cooling tower မှ အထွက်ရေ အပူချိန်(leaving condenser water temperature)ကို လေထု(ambient air)၏ Wet Bulb အပူချိန်ထက် 2.8°C(5°F) နီးပါးခန့် များအောင် ပြုလုပ်ထားရှိသည်။

Approach Temperature =	Leaving condenser water temperature	-	Ambient Web Bulb temperature

ရေပူများကို လေထဲတွင် ပက်ဖြန်း(spray)ကာ အပူများကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Heat transfer medium သို့မဟုတ် fill ရှိခြင်း၊ မရှိခြင်းသည် cooling tower ၏ အမျိုးအစားပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေနှင့် ထိတွေ့နေသည့် ရေ၏မျက်နှာပြင်အကျယ်(amount of water surface exposed to the air)သည် spray efficiency ကောင်း မကောင်းပေါ်တွင် မူတည်သည်။

လေနှင့် ထိတွေ့သည့် မျက်နှာပြင်(exposed surface) ဧရိယာများလေ cooling tower ၏ အပူ ဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(capability) ကောင်းလေ ဖြစ်သည်။ လေနှင့် ထိတွေ့နေသည့်အချိန်(time of contact) သည် cooling tower ၏ အမြင့်(high) နှင့် ရေ၏ ဖိအား(pressure of the water distribution system)တို့ ပေါ်တွင်မူတည်သည်။

Cooling tower အရွယ်အစားကြီးမားလေ လေနှင့်ရေ ထိတွေ့ နေသည့်အချိန်(time of contact) ပိုကြာလေ ဖြစ်သည်။ လေနှင့်ရေ ထိတွေ့ နေသည့်အချိန်(time of contact)ကြာလေ cooling tower ၏ အပူ ဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(capability) ပိုကောင်းလေ ဖြစ်သည်။

လေနှင့် ထိတွေ့နေသော ရေ၏ မျက်နှာပြင်(amount of water surface exposed to the air) ဧရိယာ များများနှင့် လေနှင့်ထိတွေ့ နေသည့်အချိန်(time of contact) ကြာရှည်စေရန်အတွက် heat transfer medium သို့မဟုတ် fill များကို တပ်ဆင်ကြသည်။

Cooling tower တွင် တပ်ဆင်မည့် ပိုက်များသည် လုံလောက်အောင် ကြီးမားသော အရွယ်အစား ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။ ထိုပိုက်များ၏ အလျားလိုက် ဘေးသို့ဆန့်ထွက်ခြင်း(expansion) နှင့် ကျုံ့ခြင်း (contraction) တို့ကိုပါ ထည့်သွင်း၍ ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ တစ်ခုထက်ပိုသော ရေအဝင်ပိုက်များ တပ်ဆင် ထားပါက cell တစ်ခုချင်းဆီသို့ ရေအညီအမျှ ဝင်ရောက်စေရန်အတွက် balancing valve များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

Tower များ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခြင်း(maintenance) နှင့် servicing လုပ်သည့်အခါ basin များကို ရေဆေးကြောရန်အတွက် condenser water ပိုက်မှ ရေကို ပိတ်ထား လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် isolation gate valve သို့မဟုတ် shutoff valve များကို အဝင်ပိုက်နှင့် အထွက် ပိုက်များတွင် တပ်ဆင်ထား ရမည်။

နှစ်လုံးထက်ပိုသော tower များကို အပြိုင်ပုံစံ(parallel)ဖြင့် တပ်ဆင်ထားပါက ရေအမြင့်ကို ထိန်းညှိ ပေးသည့်(equalizer)ပိုက်ကို cooling tower များအားလုံးနှင့် ချိတ်ဆက်မိအောင် တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ် သည်။ Equalizer ပိုက် တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် tower တစ်လုံး၏ basin မှ ရေအမြင့်(level) နိမ့်ဆင်း သွားပါက တခြား tower တစ်လုံးမှ ရေများ ဝင်ရောက်ကာ ဖြည့်ပေးလိမ့်မည်။ ထိုသို့ ရေအမြင့်(level) ထိန်းညှိ ရန်အတွက် equalizer ပိုက်ရှိ valve များကို ပြုပြင်ထိန်းသိမ်း(maintenance)ချိန်မှ လွဲလျှင် အမြဲ ဖွင့်ထားရမည်။

Cooling tower တွင် တပ်ဆင်မည့်ပိုက်များ၏ အမြင့်(level)ကို ရေအမြင့်(operating water level) ထက် နိမ့်နိုင်သမျှနိမ့်အောင် တပ်ဆင်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Cooling tower ရပ်နား(shutdown)ထားသည့်အခါ ရေမလျှံစေရန် နှင့် pump များကို စတင် မောင်းသည့်အခိုက်တွင် လေမခို(air lock)စေရန်အတွက် ပန့်ကို အဆင်ပြေ ချောမွေ့စွာ "Ramp Up" သို့မဟုတ် "Ramp Down" ပြုလုပ်ပေး ရမည်။

Condenser water pump စတင်မောင်းချိန်၌ ရေစုပ်ယူသည့်ပိုက်လိုင်း(water suction line)၌ လေမခိုစေရန် basin များ အတွင်း၌ လုံလောက်သော ရေပမာဏ ရှိနေရန် လိုအပ်သည်။

၄.၇ Cooling Tower ၌ ပါဝင်သည့် အစိတ်အပိုင်း(Component)များ

Cooling tower တစ်လုံးတွင် အဓိကကျသည့် functional component ခြောက်မျိုး ပါဝင်သည်။

(က) Fill

(ခ) Wet deck(hot water basin)

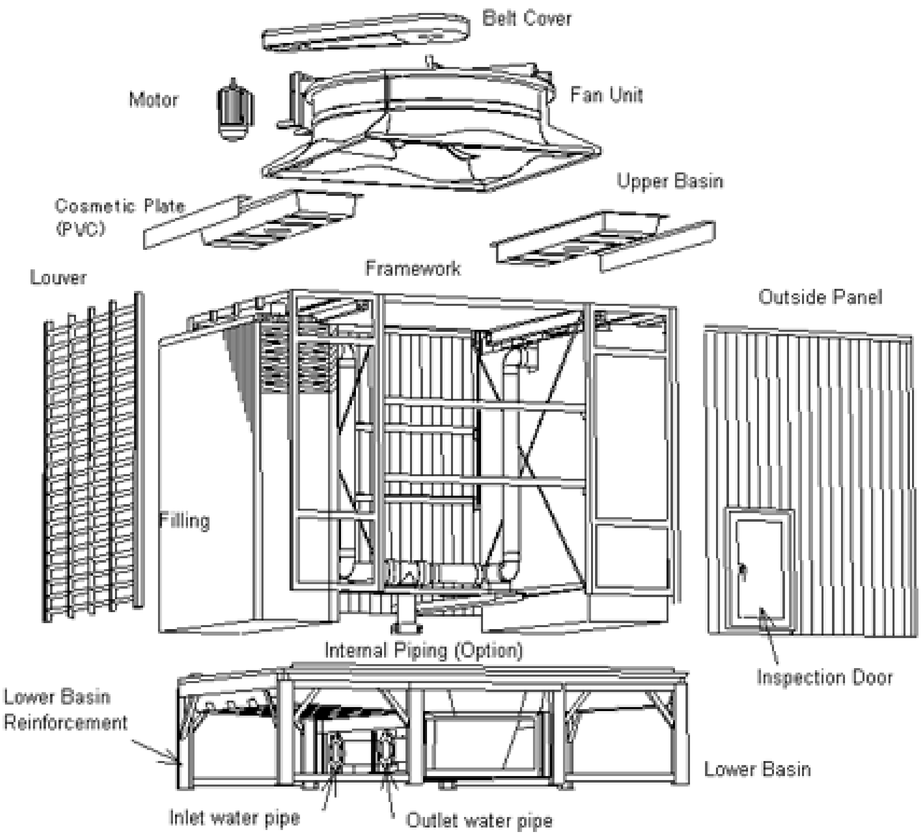
(ဂ) Cold water basin

(ဃ) Fan(s)

(င) Inlet louver နှင့်

(စ) Drift eliminator တို့ ဖြစ်သည်။

Structure frame နှင့် casing တို့သည် တည်ဆောက်မှုပိုင်းဆိုင်ရာ element များဖြစ်ကြသည်။



ပုံ ၄-၁၉ Cooling Tower တစ်လုံးတွင်ပါဝင်သည့် အစိတ်အပိုင်းများ

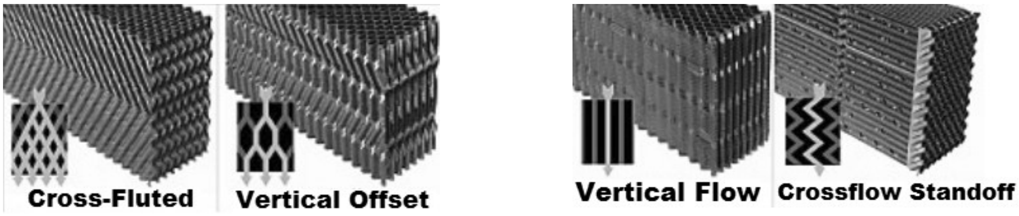
(က) Fill

Fill များကို ရေနှင့် လေအကြားတွင် အပူစီးကူးမှု(heat transfer) ပိုမို ကောင်းမွန်စေရန်နှင့် အပူစီးကူးမှု မျက်နှာပြင် (heat transfer surface) ဧရိယာ ပိုများစေရန်အတွက် အသုံးပြုကြသည်။

(၁) Spray fill ၊

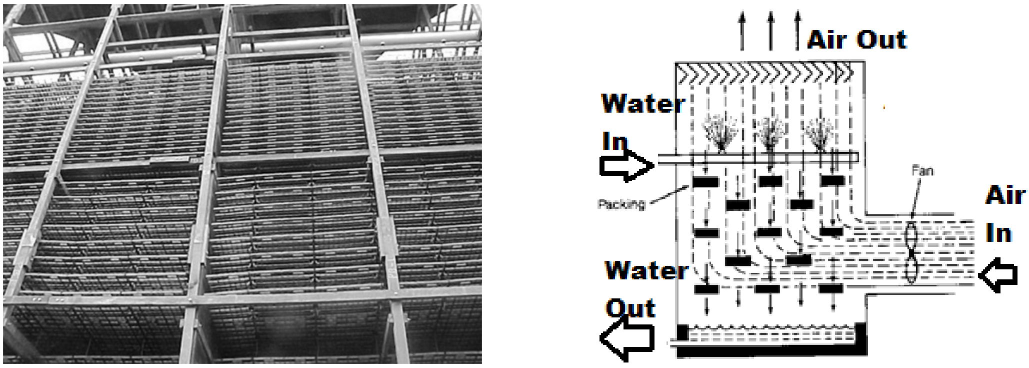
(၂) Splash fill နှင့်

(၃) Film fill ဟူ၍ အမျိုးအစား သုံးမျိုးရှိသည်။

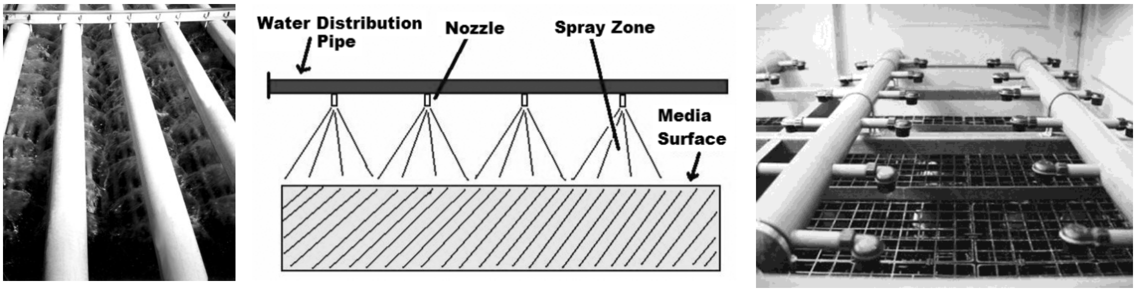


ပုံ ၄-၂၀ Cross-fluted   Vertical offset   Vertical flow   Cross flow standoff

Counter flow နှင့် cross flow tower များတွင် splash type fill နှင့် film type fill နှစ်မျိုးလုံးကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Film-type fill ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသော tower များသည် များသောအားဖြင့် အရွယ်အစား သေးငယ်လေ့ရှိသည်။ Splash type fill အမျိုးအစားအသုံးပြုထားသော cooling tower များတွင် လေနှင့် ရေ စီးဆင်းပက်ဖြန်းခြင်း(air and water distribution) အနည်းငယ် လွဲမှားမှုကြောင့် cooling tower ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) မပြောင်းလဲနိုင်ပေ။



ပုံ ၄-၂၁ Splash type fill



ပုံ ၄-၂၂ Spray fill များ

Spray Fill

Spray fill များကို HVAC cooling tower များတွင် အသုံးပြုလေ့မရှိပါ။ Spray fill များကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် cooling tower ၏ efficiency အလွန်ညံ့နိုင်သည်။ တခြားသော cooling tower များနှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် spray fill များကိုအသုံးပြုထားသည့် cooling tower သည် အရွယ်အစားကြီးမားပြီး လေစီးနှုန်း(air flow rate)များများ ရရန် လိုအပ်သည်။

Film Fill

Film fill များသည် splash fill များကဲ့သို့ ရေကို ရေစက်ငယ်များ ဖြစ်အောင် ခွဲပစ်ခြင်း(breaking) မပြုလုပ်ကြပေ။ Film fill များသည် condenser water များ အရှိန်နည်းနည်းဖြင့် တဖြည်းဖြည်းခြင်း စီးဆင်းသွားစေရန် နှင့် အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer)ဖြစ်ပေါ်စေရန် ဧရိယာများများ ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ ရေ နှင့် လေတို့ ထိတွေ့ရာ နေရာကျယ်ပြန့်ခြင်း၊ ထိတွေ့ချိန် ကြာမြင့်ခြင်းတို့ကြောင့် အပူစွန့်ထုတ်နိုင်စွမ်း (heat rejection capacity) ပိုကောင်းစေသည်။

PVC sheet များ(vacuum formed PVC)များကို အသုံးပြု၍ ဒေါင်လိုက်အလွှာ(vertical layer) ဖြစ်အောင် တည်ဆောက်ထားသည်။ ဒေါင်လိုက်အလွှာ(vertical layer)များကြောင့်

(က) ရေစီးဆင်းမှုကို ညီညီညာညာ ဖြစ်စေသည်။ (uniform water flow)

(ခ) ခုခံမှုနည်းသည့် လေစီးဆင်းခြင်း(low resistance air flow)ကို ဖြစ်စေသောကြောင့် ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(air pressure drop) နည်းသည်။

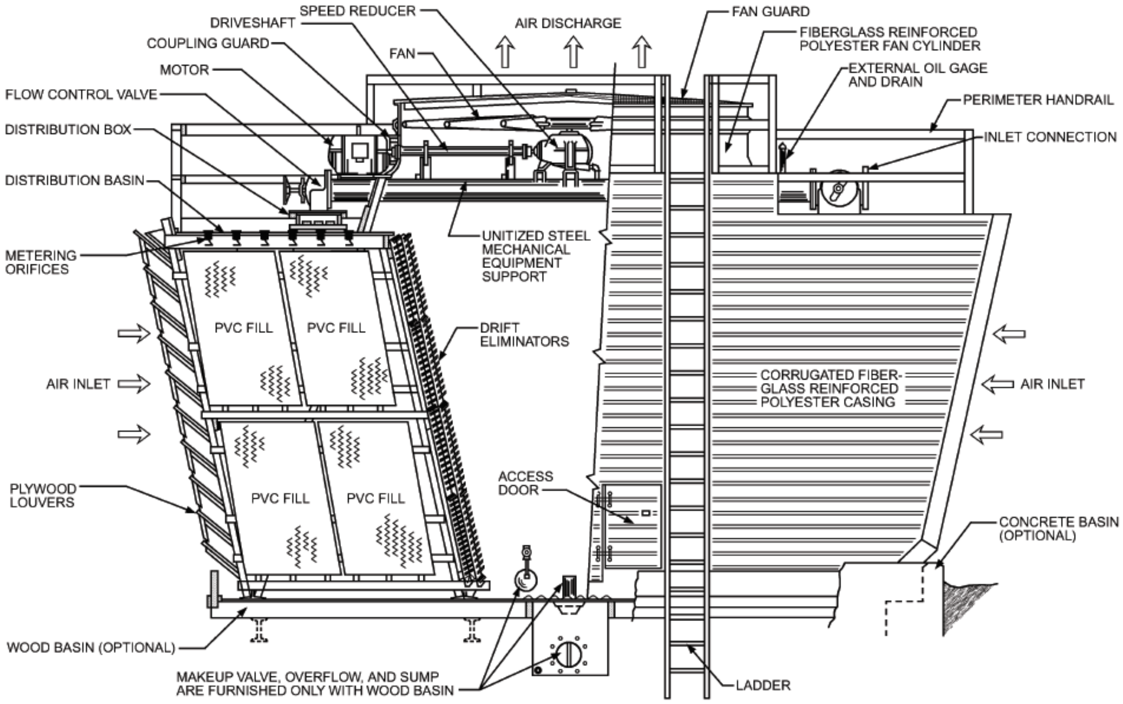
အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)တူလျှင် "Film Fill" များသည် "Splash Fill"များထက် ပို၍ efficient ဖြစ်ပြီး ဈေးသက်သာသည်။ "Film Fill" သုံးသည့် cooling tower များသည် တခြား cooling tower များထက် အရွယ်အစား ပို၍ သေးငယ်သည်။ HVAC cooling tower များအားလုံးသည် ယခုအခါ "Film Fill" များကိုသာ အသုံးပြုကြသည်။

Wooden Structure

ရေးအချိန်က cooling tower ၏ ဖရိမ်(frame)ကို သစ်သားများဖြင့် တည်ဆောက်ကြသည်။

Steel structure – Galvanized Steel

Cooling tower များသည် လေ နှင့် ရေ တစ်ပြိုင်နက် အမြဲတမ်း ထိတွေ့နေသည့်နေရာ ဖြစ်သောကြောင့် သံချေး တက်လွယ်သည်။ သံချေးတက်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန် အတွက် သံမဏိ(carbon steel) များကို galvanizing ပြုလုပ်ကြသည်။ Galvanizing ဆိုသည်မှာ သွပ်(zinc)၊ ခဲ(lead)နှင့် အလျူမီနီယံ(aluminum)တို့ကိုရောစပ်၍ သံမဏိ(carbon steel)အပေါ်တွင် အလွှာဖြစ်အောင် ဖုံးအုပ်ခြင်း(coating) ဖြစ်သည်။ Carbon steel structure များကို ပထမဦးစွာ ဟိုက်ဒရိုကလိုရစ်(Hydrochloric)အက်စစ် အပျော့ သို့မဟုတ် ဆာလဖြူရစ်(sulfuric) အက်စစ် အပျော့ဖြင့် ဆေးကြော သန့်စင်ရသည်။



ပုံ ၄-၂၂ Cooling Tower တစ်ခုရှိ အစိတ်အပိုင်းများကို ဖော်ပြထားပုံ

ထို့နောက် Zinc communism chronicle ကန်ထဲသို့ နစ်ရသည်။ အခြောက်ခံပြီးနောက် သွပ်ရည်ကန်(Zinc liquid)ထဲတွင် နစ်ရသည်။ ထို့နောက် ရေဖြင့် ဆေးကြောရသည်။ Water quench bath ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ထိုနည်းကို "Hot Dipped Galvanizing" နည်း သို့မဟုတ် "Dry Kettle" နည်းဟုခေါ်သည်။ Galvanizing အလွှာ၏အထူ(film thickness)ကို ounces of zinc per square foot of metal surface ဖြင့် သတ်မှတ်သည်။

ပုံမှန်အားဖြင့် တစ်စတုရန်းပေလျှင် (၂.၃၅)အောင်စနှုန်း(2.35 oz/ft^2)ဖြင့် coating လုပ်ခြင်း သို့မဟုတ် hot dipped galvanizing လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Galvanizing ပြုလုပ်ပြီး သည့် structure များ၊ ဖရိမ်(frame) များကို ဂဟေဆော်ခြင်း(welding) မပြုလုပ်သင့်ပါ။ ဂဟေဆော်ခြင်း(welding) မှဖြစ်ပေါ်လာသော အပူ(heat) ကြောင့် galvanizing လုပ်ထားသည့် အလွှာများ(coating)ထိခိုက် ပျက်စီးသွားနိုင်သည်။

ထိုဂဟေဆော်ခြင်း(welding) ပြုလုပ်သည့် နေရာမှ စ၍ သံချေးတက်လေ့ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် ဖြတ်ခြင်း (cutting)နှင့် ဂဟေဆော်ခြင်း(welding)ပြုလုပ်ပြီးမှသာ galvanizing ပြုလုပ်ရသည်။ Galvanizing လုပ်ပြီးသောအခါ bolt နှင့် nut များကို သုံး၍ တပ်ဆင်(assemble) နိုင်သည်။

Stainless Steel

Stainless steel သည် carbon steel ထက်စာလျှင် ခံနိုင်ရည်(structural strength) ပိုနည်းသည်။ သို့သော် သံချေးတက်ခြင်း ဒဏ်ကို ပိုကာကွယ်နိုင်သည်။ ဈေးကွက်တွင် ရရှိနိုင်သော stainless steel အမျိုးအစားများသည် SS 304 နှင့် SS 315 တို့ ဖြစ်သည်။ ဖရိမ်(frame)များကို သံမဏိ(stainless steel) ဖြင့် ပြုလုပ်လျှင် stainless steel bolt နှင့် nut များကိုသာ အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။

Concrete

အလွန်ကြီးမားသည့် cooling tower များကို အင်္ဂတေ(concrete) ဖြင့် တည်ဆောက်လေ့ရှိသည်။

Fiberglass

ရေပူကန်(hot water basin) နှင့် ရေအေးကန်(cold water basin) များကို fiberglass ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။

Stressed Skin Fiberglass/ Stainless Steel Casing

Casing များကို လေသွားရာ လမ်းကြောင်းအဖြစ် လည်းကောင်း၊ အကာအရံအဖြစ် လည်းကောင်း၊ cooling tower အတွင်းရှိ လေများ အပြင်သို့ မရောက်ရှိစေရန်အတွက် လည်းကောင်း အသုံးပြုကြသည်။

Casing အဖြစ် အသုံးပြုသည့် ပစ္စည်းများ(material)သည် galvanized steel ၊ fiberglass နှင့် UV inhibited plastic panel တို့ ဖြစ်သည်။ Galvanized steel panel ကို သုံးလျှင် epoxy သို့မဟုတ် polymer ကို နောက်ဆုံး အလွှာ(final coating)အဖြစ် ထပ်အုပ် ပေးရသည်။

(ခ) Hot Water Basin သို့မဟုတ် Wet Deck

Hot water basin သို့မဟုတ် Wet deck သည် cooling tower ၏ အပေါ်ပိုင်းတွင် တည်ရှိသည်။ Chiller မှ ထွက်လာသည် အပူချိန်မြင့်သော condenser water သည် cooling tower အတွင်းသို့ ရောက်သည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် hot water basin ထဲသို့ စီးဝင်သည်။ ရေပူများ စီးဝင်လာသည့် ကန်ငယ် ဖြစ်သောကြောင့် "**Hot Water Basin**" ဟု ခေါ်သည်။

Hot water basin ၏ တာဝန်သည် ပူနွေးနေသော condenser water များကို fill များပေါ်သို့ အညီအမျှ ကျစေရန် ဖြစ်သည်။ သို့မှသာ ညီညာစွာ အပူစီးကူးခြင်း(uniform heat transfer) ဖြစ်စေနိုင်သည်။ Cross flow cooling tower များတွင် hot water basin သည် တိမ်သောရေကန်ငယ်ဖြစ်ပြီး အောက်ခြေရှိ အပေါက်ငယ်များက orifices အဖြစ်ရှိနေသည်။ ပူသော condenser water သည် return ပိုက်မှတစ်ဆင့် hot water basin အတွင်းသို့ ရောက်ရှိကာ ကမ္ဘာမြေဆွဲအား(gravity force)ကြောင့် အပေါက်ငယ် ကလေးများမှ တစ်ဆင့် fill များပေါ် ညီညာစွာ ကျဆင်းသွားသည်။

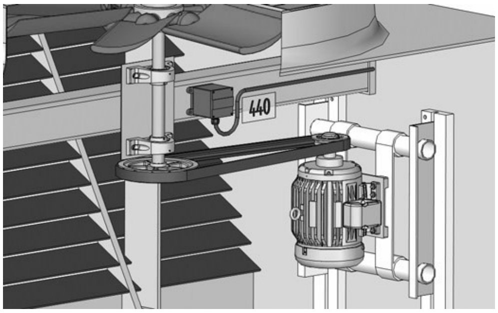
Cross flow cooling tower ၏ hot water basin သည် ဖြုတ်၍၊ တပ်၍ ရသည့်(removable) အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ Counter flow cooling tower ၏ hot water basin သည် လေလမ်းကြောင်း(air steam)တွင် တည်ရှိသည်။

Cold Water Basin

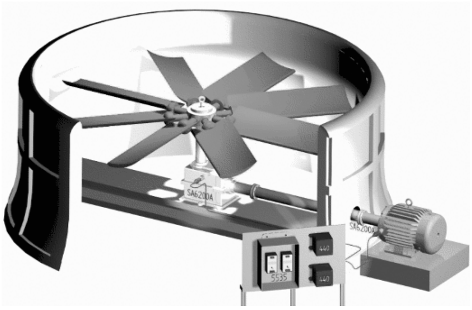
Cold water basin သည် cooling tower ၏ အောက်ခြေပိုင်းတွင်း တည်ရှိပြီး အအေးခံပြီးသည့်ရေ (cold water)များကို ပြန်လည်စုစည်းသည့် အလုပ်ကို လုပ်ဆောင်ပေးသည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် (၁၂)လက်မမှ (၁၈)လက်မ အထိနက်သော ရေကန်အငယ်စားကလေး ဖြစ်သည်။ ထိုကန်ထဲမှ ရေများကို condenser water pump က စုပ်ယူသည်။ Pump မောင်းနေသည့် အချိန်တွင် ရေအနက်သည် (၁၂)လက်မထက် နည်းသည်။ Cold water basin သည် cooling tower တစ်ခုလုံးတွင် အရေးအကြီးဆုံး(critical)လုပ်ငန်းကို လုပ်ဆောင် ပေးရသည်။

(က) Condenser water pump ရပ်တန့်သည့်အခိုက်တွင် ပိုက်အတွင်းရှိ condenser water များကို စုဆောင်းသိမ်းဆည်းထားရန်

(ခ) Condenser water pump စတင်မောင်းသည့်အခိုက်တွင် cold water basin တွင် pump စုပ်ယူရန်အတွက် ရေအလုံအလောက် ရှိနေစေရန်။ (pump စမောင်းသည့် အခိုက်တန့်တွင် return pipe မှ ရေများ ချက်ချင်း မကျရောက်လာနိုင်ပါ)။ ရေမလုံလောက်ပါက လေခိုခြင်း(air lock) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။



ပုံ ၄-၂၃ Belt drive



ပုံ ၄-၂၄ Gear drive သို့မဟုတ် Direct drive

(ဃ) Fan ၊ Motor နှင့် Drive

Cooling tower ၌ အသုံးပြုသော fan နှစ်မျိုးသည် centrifugal fan နှင့် axial propeller fan တို့ ဖြစ်သည်။ Forced draft tower တွင် နှစ်မျိုးလုံး အသုံးပြုပြီး induced draft tower များတွင် axial propeller fan ကိုသာ အသုံးပြုသည်။ Fan များအကြောင်းကို fan အခန်း(၆) (Chapter-6)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။ Fan နှင့် fan မော်တာ(motor)များ အကြားတွင် power transmission ပြုလုပ်ရန်အတွက် mechanical drive နှစ်မျိုးကို အသုံးပြုသည်။ ပန်ကာကြိုးဖြင့် မောင်းခြင်း(belt drive) နှင့် ဂီယာဖြင့် မောင်းခြင်း (gear drive)တို့ ဖြစ်သည်။

(င) Intake Louvers နှင့် Drift Eliminator

Cooling tower ၏ fill pack များဆီသို့ လေများရောက်သွားစေရန် လေဝင်ပေါက်များ(intake louvers) ကို တပ်ဆင် ထားရခြင်းဖြစ်သည်။ Drift eliminator များကို cooling tower မှ လေများ ထွက်မည့်နေရာတွင် တပ်ဆင် ထားသည်။ Drift eliminator ၏ တာဝန်သည် လေစုပ်အားကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော ရေစက်များ (water droplet) ကို cooling tower ၏ အပြင်ဘက်သို့ လွင့်ထွက်မသွားအောင် တားဆီးပေးရန်ဖြစ်သည်။ Drift eliminator ကို PVC သို့မဟုတ် steel ဖြင့် ပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။ Drift eliminator များသည် လေ၏ သွားရာလမ်းကြောင်းကို 90° ကျော် ပြောင်းလဲသွားအောင် သုံးကြိမ် သို့မဟုတ် လေးကြိမ် ပြုလုပ်ပေးခြင်းဖြင့် ရေစက်ငယ်များသည် drift eliminator ၏ ချိုတ်တွင် ပိတ်မိ(trap)နေကာ ကျန်ရစ်ခဲ့ပြီး လေများကိုသာ cooling tower မှ ထွက်သွား စေသည်။ ဤနည်းဖြင့် drift eliminator သည် drift ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော ရေဆုံးရှုံးမှု(water loss) လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

၄.၈ အလုပ်လုပ်ပုံ (Principle of Operation)

Cooling tower တွင် water spray system ၊ fill packing material နှင့် fan တို့ ပါဝင်သည်။ Spray system သည် ရေပူ(hot water)များကို fill packing ပေါ်သို့ ဖြန်းချသည်။ Cooling tower အတွင်း၌ လေ နှင့် ရေ ထိတွေ့နေသည့် မျက်နှာပြင်(contact surface)ဧရိယာ ပိုများလာရန်အတွက် fill packing များကို အသုံးပြုကြခြင်း ဖြစ်သည်။ ရေပူ(hot water)မှ အပူများ စွန့်ထုတ်ရန်အတွက် fan များသည် လေများ(ambient air)ကို cooling tower အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်အောင် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Condenser water မှ စုပ်ယူသယ်ဆောင်ထားသော အပူများကို cooling tower အတွင်း၌ sensible cooling ဖယ်ထုတ်ခြင်းနည်း နှင့် ရေငွေ့ပျံစေခြင်းဖြင့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း (evaporative cooling)နည်း နှစ်နည်း တို့ဖြင့် စွန့်ထုတ်ပစ် (reject)သည်။

Cooling tower မှ စွန့်ထုတ်သည့် အပူပမာဏ(amount of heat rejected)သည် ဝင်လာသည့် လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်(sensible cooling ဖြစ်ရန်အတွက်)နှင့် Wet Bulb အပူချိန်(evaporative cooling ဖြစ်ရန်အတွက်)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Condenser circuit တွင် ပါဝင်သော equipment များမှာ cooling tower ၊ condenser water pump နှင့် chiller တို့ ဖြစ်သည်။ Condenser water pump သည် condenser water ကို chiller အတွင်းသို့ တွန်းပို့သည်။ Condenser water သည် chiller အတွင်းသို့ ရောက်ရှိပြီး chiller အတွင်းမှ အပူများကို စုပ်ယူ ပြီးနောက် condenser water အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။ ထိုနောက် condenser water သည် cooling tower သို့ ရောက်ရှိပြီး အပူများကို လေထုထဲသို့ စွန့်ထုတ်(reject)လိုက်သောကြောင့် cooled water basin သို့ ရောက်သည့်အခါ condenser water ၏ အပူချိန် နိမ့်ကျသွားသည်။ တစ်ဖန် condenser water သည် chiller အတွင်းမှ အပူများကို စုပ်ယူရန် ပြန်လည် ဝင်ရောက်သွားသည်။ Chiller ၊ condenser water pump နှင့် cooling tower တို့ အတွင်း၌ condenser water အဆက်မပြတ် လည်ပတ်နေသည်။

Cooling tower တစ်လုံးသည် အပူများကို

(၁) Heat transfer နည်း၊

(၂) Mass transfer နည်း နှင့်

(၃) Combination of heat and mass transfer နည်းတို့ဖြင့် အပူများကို စွန့်ထုတ်(reject)သည်။

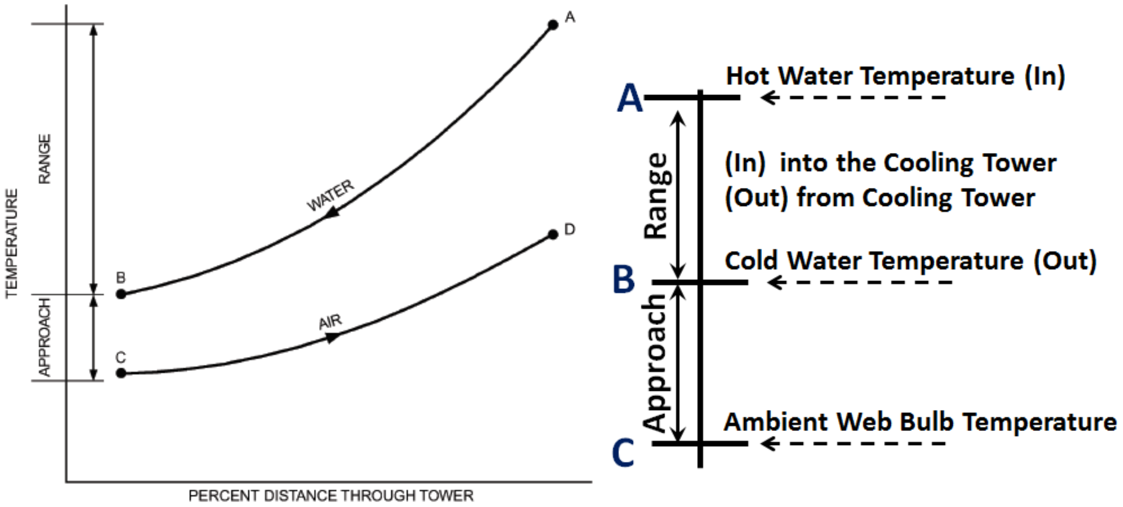
ဖိအားပြောင်းလဲမှု မရှိသည့်(constant pressure)အခြေအနေတွင် အရည်(liquid)အဖြစ်မှ အငွေ့(vapor) အဖြစ်သို့ အသွင်ပြောင်းခြင်း(phase change)ကို "**Vaporization**" ဟုခေါ်သည်။ ထို vaporization ဖြစ်သည့် အချိန်တွင် စုပ်ယူသည့် အပူကို "**Latent Heat of Vaporization**" ဟုခေါ်သည်။ လေထုဖိအား(atmospheric pressure)တွင် ဖြစ်ပေါ်လျှင် "Latent Heat of Vaporization" at atmospheric pressure ဟုခေါ်သည်။ Cooling tower သည် condenser water မှ အပူအချို့ကို လေထုအတွင်းသို့ "**Evaporative Cooling**"နည်းဖြင့် စွန့်ထုတ်(reject) လုပ်သည်။ ထို့ကြောင့် ရေဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုဆုံးရှုံးသွားသည့် ရေကို "**Evaporation Loss**" ဟုခေါ်သည်။ အောက်ပါ ပုံ(၄-၂၅)သည် counter flow cooling tower တစ်လုံး ၏ ရေ(condenser water)နှင့် လေအပူချိန်ဆက်စပ်မှု(temperature relationship)ကို ဖော်ပြထားသည်။

Condenser water အပူချိန် သည် A မှ B သို့ curve တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း နိမ့်ဆင်းသွားပြီး လေထု၏ Wet Bulb အပူချိန်သည် C မှ D သို့မြင့်တက်လာသည်။ Condenser water တွင် အပူဆုံးရှုံးခြင်း(heat loss)ဖြစ်ပြီး အနီးရှိလေထုတွင် အပူတိုးခြင်း(heat gain) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Condenser water အပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature difference)သည် condenser water entering အပူချိန်(cooling tower အတွင်းသို့) မှ condenser water leaving အပူချိန်(cooling tower မှ အထွက်)ကို နှုတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ A အနှုတ် B ဖြစ်သည်။

ထိုအပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature difference)ကို "Range" ဟု ခေါ်သည်။ Steady-state အခြေအနေသို့ ရောက်ပြီးချိန်တွင် range သည် condenser water ၏ နိမ့်ဆင်း သွားသော အပူချိန်ပင် ဖြစ်သည်။

Air Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute (AHRI)မှ စံ(standard)အဖြစ် သတ်မှတ်ထားသော chiller မှ ထွက်လာသည့်(leaving from chiller) condenser water အပူချိန်သည် 35°C(95°F) ဖြစ်ပြီး chiller အတွင်းသို့ဝင်သည့်(entering into chiller) condenser water အပူချိန်သည် 29.4°C(85°F)ဖြစ်သည်။ ထိုအချက်ကို မူတည်၍ cooling tower များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ကြသည်။

အသုံးပြုပုံ(application)နှင့် cooling tower ရွေးချယ်ပုံ(selection)ပေါ် မူတည်၍ ကွဲပြားမှုများ ရှိနိုင်သည်။



ပုံ ၄-၂၅ Range နှင့် Approch Temperature တို့ကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားပုံ

> Leaving condenser water ၏ အပူချိန်(point B)နှင့် အဝင်လေ၏(entering) အပူချိန်(point C) တို့၏ ခြားနားချက်သည် cooling tower ၏ "**Approach**" ပင်ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်သို့ ရောက်အောင် ချဉ်းကပ်နေသောကြောင့် "Approach" ခေါ်ဆိုခြင်းဖြစ်သည်။ Approach သည် cooling tower တစ်လုံး၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(capability) ဖြစ်သည်။

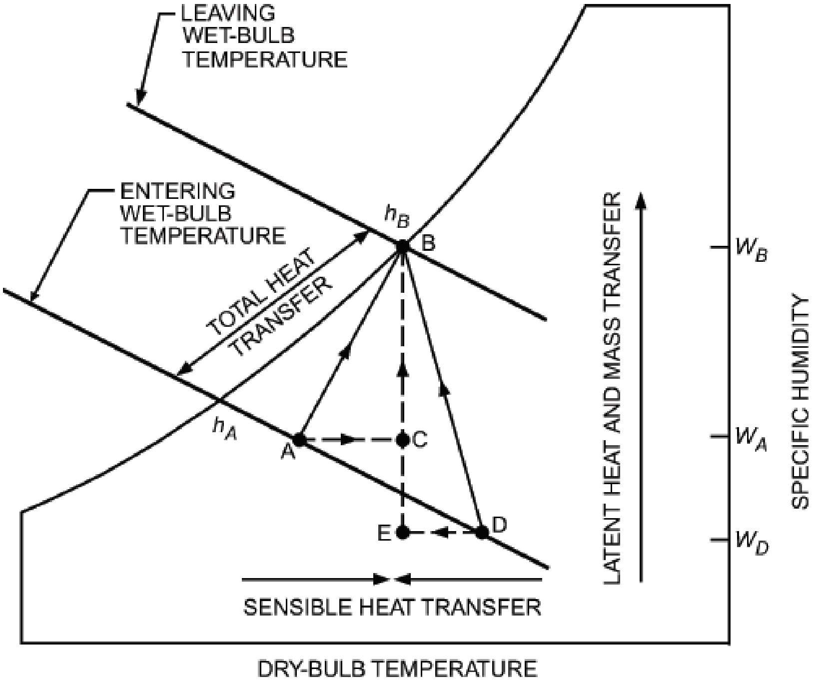
အလွန်ကြီးမားသော(လိုအပ်သည်ထက် ပိုကြီးအောင် ပြုလုပ်ထားသော) cooling tower များသည် အလွန်ငယ်သော approach (colder leaving water)ကို ပေးနိုင်သည်။ (သတ်မှတ်ထားသော heat load ၊ flow rate နှင့် entering air condition များအတွက် သာဖြစ်သည်။) လေထု(atmosphere) အတွင်းသို့ စွန့်ထုတ်လိုက်သော အပူပမာဏ(amount of heat transferred)သည် heat load imposed on the tower နှင့်အမြဲ တူညီသည်။

> Cooling tower တစ်လုံး၏ ကူးပြောင်းနိုင်သည့် အပူပမာဏ(amount of heat transfer)သည် ထို cooling tower ၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(thermal capability) နှင့် ဝင်လာသည့်လေ၏ အပူချိန် (entering air Wet Bulb temperature)တို့ ပေါ်တွင် မူတည်သည်။
>
> တစ်နည်းအားဖြင့် cooling tower တစ်လုံး၏လုပ်ဆောင်နိုင်စွမ်း(thermal capability)ကောင်းလေ အပူများများ စွန့်ထုတ်ပစ်နိုင်လေ ဖြစ်သည်။ ဝင်လာသည့် လေ၏ အပူချိန်(entering air Wet Bulb temperature) နိမ့်လေ အပူစွန့်ထုတ်နိုင်စွမ်း များလေ ဖြစ်သည်။

ဝင်လေ(entering air)၏ Wet Bulb အပူချိန်သည် cooling tower တည်ရှိရာ ဒေသ၏ ရာသီဉတု ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Cooling tower တစ်လုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(thermal performance)သည် ဝင်လာသည့် လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်ပေါ်တွင် အများဆုံး မူတည်သည်။ ဝင်လာသည့်လေ၏ Dry Bulb အပူချိန် နှင့် relative humidity သည် mechanical draft cooling tower ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(thermal performance) အတွက် အနည်းငယ်သာ အကျိုးသက်ရောက်မှု(insignificant effect) ရှိသည်။ Cooling tower တစ်လုံး၏ ရေဆုံးရှုံးမှု နည်းခြင်း၊ များခြင်း (evaporation loss)ဖြစ်မှု အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Cooling tower တစ်လုံး အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားသော လေ၏ psychrometric analysis ကို ပုံ(၄-၂၅) နှင့် ပုံ(၄-၂၆)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ လေထု (ambient condition) (point A)တွင် cooling tower

တစ်လုံးအတွင်း ဝင်ရောက်သွားပြီးနောက် condenser water မှ heat နှင့် mass(moisture)ကို စုပ်ယူသွားသည်။ ထိုနောက် point B မှ တစ်ဆင့် ထွက်သွားသည်။ ထို point B အခြေအနေသည် saturated condition ဖြစ်သည်။ သို့သော် သတ်မှတ်ထားသည့် အပူစွန့်ထုတ်ပစ်မှု ပမာဏထက်နည်းသည့်အခါ(very light loads)မျိုးတွင် ထွက်သွားသည့် လေ(discharge air)သည် fully saturated ဖြစ်ချင်မှ ဖြစ်ပေလိမ့်မည်။



ပုံ ၄-၂၆ Cooling Tower တစ်လုံး၏ performance ကို psychrometric chart ပေါ်တွင် ဖော်ပြထားပုံ

Condenser water မှ လေသို့ ကူးပြောင်းသွားသည့်အပူ(heat transfer)ပမာဏသည် cooling tower အတွင်းသို့ ဝင်သွားသည့်လေ၏ enthalpy (enthalpy of entering air)နှင့် ထွက်သွားသည့် လေ၏ enthalpy (enthalpy of leaving air)ကွာခြားချက် ဖြစ်သည်။ (hB – hA)ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် enthalpy လိုင်းများသည် Wet Bulb အပူချိန် လိုင်းများနှင့် အလွန် နီးကပ်စွာ ရှိနေသောကြောင့်ဖြစ်သည်။ လေ၏ enthalpy ပြောင်းလဲမှု(change in enthalpy of the air)သည် လေ၏ Wet Bulb အပူချိန် ပြောင်းလဲမှု ပင်ဖြစ်သည်။

ပုံ(၄-၂၆)မှ Vector AB သည် လေထု(ambient air)၏ total heat gain ဖြစ်သည်။ Vector AB ကို component AC နှင့် component CB အဖြစ် ခွဲနိုင်သည်။ Component AC သည် sensible heat portion ဖြစ်သည်။ Component CB သည် latent heat အပိုင်း ဖြစ်သည်။ ဝင်လာသည့်လေသည် point D သို့ ပြောင်းသွားခဲ့လျှင် Wet Bulb အပူချိန် တူညီသည်။ သို့သော် Dry Bulb အပူချိန် ပိုမြင့်သည့်အခါ total heat transfer(vector DB)သည် တူညီလိမ့်မည်သာ ဖြစ်သည်။ Sensible အပိုင်း(components)နှင့် latent အပိုင်း(component)တို့သည် များစွာ ပြောင်းလဲသွားသည်။

DE သည် လေ၏ sensible cooling အပိုင်းဖြစ်သည်။ Condenser water သည် အပူ(heat)နှင့် ရေ(mass)အချို့ ကို လေအတွင်းသို့ စွန့်ထုတ်မှုကြောင့် EB သည် latent heat ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် တူညီသည့် water cooling load အတွက် latent နှင့် sensible heat တို့ စွန့်ထုတ်ပစ်သည့် ပမာဏအချိုးသည် များစွာ ပြောင်းလဲနိုင်သည်။ Latent heat နှင့် sensible heat တို့ စွန့်ထုတ်သည့် ပမာဏ အချိုးသည် cooling tower တစ်လုံး ၏ ရေသုံးစွဲမှု သို့မဟုတ် ရေဆုံးရှုံးမှုကို တွက်ချက်ရန် အလွန်အရေးပါသည်။

Evaporation cooling နည်းဖြင့် အပူများကို ဖယ်ထုတ်သည့်အခါ ရေများ ဆုံးရှုံးသွားသောကြောင့် "Mass Transfer" နည်းဖြင့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ "Mass Transfer" နည်း သို့မဟုတ် Evaporation cooling နည်းသည် latent heat အပိုင်းနှင့်သာ သက်ဆိုင်ပြီး specific humidity ပြောင်းလဲမှုနှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။

အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ဝင်လာသည့် Dry Bulb အပူချိန် သို့မဟုတ် relative humidity သည် latent to sensible heat transfer ၏ အချိုးပေါ်တွင် မူတည်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Latent to sensible heat transfer ၏ အချိုး(ratio)သည် ရေငွေ့ပျံနှုန်း(rate of evaporation)အပေါ်တွင်လည်း အကျိုးသက်ရောက်မှု ရှိသည်။

ပုံ(၄-၂၆)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း case AB(WB – WA)၏ ရေငွေ့ပျံနှုန်း(evaporation rate) သည် case DB(WB – WD)၏ ရေငွေ့ပျံနှုန်း(rate of evaporation)ထက်နည်းသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် latent heat transfer(mass transfer)သည် total heat transfer ၏ သေးငယ်သော ပမာဏဖြစ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

Cooling tower တစ်လုံး၏ ဒီဇိုင်း အခြေနေတွင် ဖြစ်နိုင်သော ယေဘုယျ ရေငွေ့ပျံနှုန်း(evaporation rate) သည် ရေစီးနှုန်း(water flow)၏ ၁% ဖြစ်သည်။ 7 K of water temperature range ဖြစ်သည်။ ပျမ်းမျှရေငွေ့ပျံနှုန်း(evaporation rate)သည် ဒီဇိုင်းတွက်စဉ်က ရေငွေ့ပျံနှုန်း(design rate) ထက် နည်းသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ညဘက် သို့မဟုတ် အေးသည့်ရာသီတွင် ဝင်လာသော လေ၏ အပူချိန် ကျဆင်းလာသည်နှင့်အမျှ sensible component ပိုများလာပြီး latent heat transfer (mass transfer) နည်းကာ ရေငွေ့ပျံနှုန်း(evaporation rate) နည်းခြင်းကြောင့် ဖြစ်သည်။

ရေငွေ့ပျံခြင်း (evaporation)ကြောင့် ရေဆုံးရှုံးမှု(water loss) ဖြစ်သည့်အပြင် ပန်ကာကြောင့် ရေစက်များ လွင့်စင်ခြင်း(liquid carries over) နှင့် ရေဖောက်ထုတ်ခြင်း(blow down)စသည် တို့ကြောင့်လည်း ရေဆုံးရှုံးမှု (water loss)များ ဖြစ်ပေါ်သည်။ ပန်ကာကြောင့် ရေစက်များ လွင့်စင်ခြင်း(liquid carry over) နှင့် ရေဖောက်ထုတ်ခြင်း(blow down) တို့အကြောင်းကို နောက်ပိုင်းတွင် ဖော်ပြထားသည်။

၄.၉ ဒီဇိုင်းအခြေအနေများ (Design Conditions)

Cooling tower တစ်လုံး၏ လုပ်ဆောင်နိုင်စွမ်း(thermal capability)ကို အောက်ပါ အချက် (parameter) များဖြင့် သတ်မှတ်သည်။

(က) Cooling tower အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် condenser water ၏ အပူချိန်နှင့် ထွက်သွားသည့် အပူချိန် (entering and leaving water temperatures)

(ခ) ဝင်လေ ၏ Wet Bulb နှင့် Dry Bulb အပူချိန် နှင့်

(ဂ) Condenser water ၏ ရေစီးနှုန်း(flow rate)တို့ ဖြစ်သည်။

များသောအားဖြင့် condenser water velocity အနည်းဆုံး 1.5 m/s မှ အများဆုံး 3.6 m/s အခြေခံ၍ condenser pipe အရွယ်အစားကို ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။

Evaporative cooling tower တိုင်း၌ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ဖြစ်သည့် ရေပမာဏသည် ဝင်လာသည့် လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်နှင့် သက်ဆိုင်သည်။ Air conditioning တွင် သုံးသည့် cooling tower တစ်လုံး၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(thermal capability)ကို nominal capacity ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။

လျှပ်စစ်ဓာတ်အားဖြင့် မောင်းသည့်(electric) chiller ၏ evaporator မှ ၁ ကီလိုဝပ်(1kW) အအေးဓာတ်(cooling)ရရှိရန် အတွက် cooling tower သည် ခန့်မှန်းခြေ ၁.၂၅ ကီလိုဝပ်(1.25 kW) ပမာဏ အပူကို ဖယ်ထုတ်(heat rejection)ပေးရန် လိုအပ်သည်။

ရေစီးနှုန်း(flow rate) 54 mLiter/sec ရှိသည့် condenser water ၏ အပူချိန် 35°C(95°F)မှ 29.4°C(85°F)ရောက်အောင် လုပ်နိုင်လျှင် တစ်ကီလိုဝပ်(1kW) အပူစွန့်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)ဖြစ်သည်။ ထိုအချိန်တွင် cooling tower အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသော လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်သည် 25.6°C ပေါ်တွင် အခြေခံသည်။ ထိုအခြေနေတွင် တစ်ကီလိုဝပ်(1kW) evaporator cooling ရရှိရန် ခန့်မှန်းခြေ (၁.၂၅)ကီလိုဝပ် (1.25 kW) ပမာဏရှိသော အပူကို cooling tower မှ စွန့်ထုတ်(reject) ပေးရမည်။

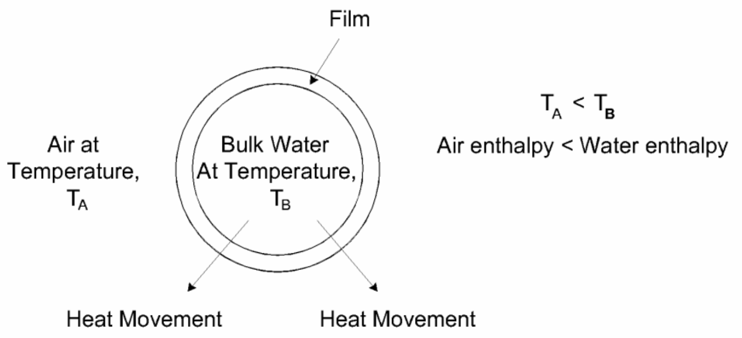
လျှပ်စစ်မော်တာဖြင့် မောင်းသည့်(electric) chiller မှ တစ်ကီလိုဝပ်(1kW) cooling capacity ထုတ်ပေးတိုင်း cooling tower သည် chiller မှ တစ်ကီလိုဝပ်(1kW)အပြင် 0.25 kW of compressor heat ကိုပါ ဖယ်ထုတ်(reject) ပေးရသည်။ 0.25 kW of compressor heat ကို "**Heat of Compression**" ဟုလည်းခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် 0.6 kW/RT efficiency ရှိသည့် 500RT chiller မှ 500RT cooling capacity ကို ထုတ်ပေးနေချိန်တွင် cooling tower သည် 500RT cooling capacity အပြင် compressor မှထွက်သည့် "Heat of Compression" (500RT x 0.6 kW/RT = 300kW = 85RT) 85RT ကိုပါ စွန့်ထုတ် (reject) ပေးရသည်။ ထို့ကြောင့် cooling tower မှ 500RT+85RT= 585RT စွန့်ထုတ်(reject) ပေးရသည်။ Condenser water pump မှ heat ကို ထည့်မတွက် ထားပါ။ အချို့သော အခြေအနေများအတွက် nominal capacity rating အတိုင်း အသုံးပြုလေ့ မရှိသည်ကို တွေ့ရသည်။

အချုပ်အားဖြင့် cooling tower တစ်လုံး၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)ကို operating parameter များ ဖြစ်ကြသော ရေအဝင်အပူချိန်(entering water temperature)၊ ရေအထွက် အပူချိန်(leaving water temperature) ၊ condenser water စီးနှုန်း(flow rate)၊ ဝင်လေ၏ (entering air) Wet Bulb အပူချိန် နှင့် လေစီးနှုန်း(air flow rate) တို့ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

၄.၁၀ Cooling Tower Heat Transfer

$$\frac{K_a V}{L} = \int_{T2}^{T1} \frac{C_d T}{h_w - h_a}$$

$$KaV/L = \int_{CWT}^{HWT} \frac{dT}{h_W - h_A}$$



ပုံ ၄-၂၇

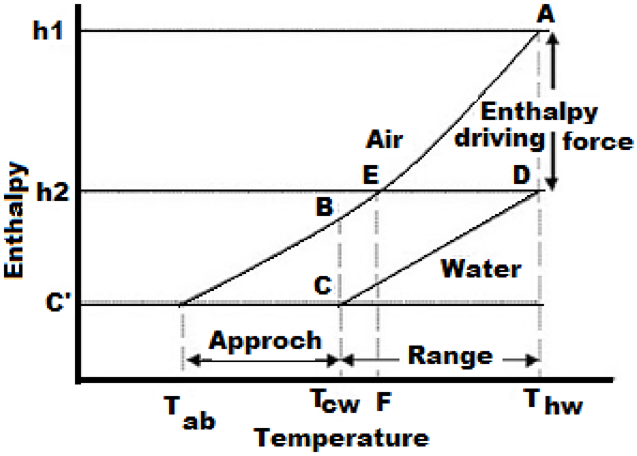
ပုံ(၄-၂၇)တွင် ဖော်ပြထားသည့် condenser water ရေစက်ငယ်မှ အပူကို အနီးရှိလေ(surrounding air)ထဲသို့ sensible heat transfer process နှင့် latent heat transfer process နည်းနှစ်မျိုးလုံးဖြင့် စွန့်ထုတ်ပစ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို အပူကူးပြောင်းခြင်းဖြစ်စဉ်(heat transfer process)ကို "**Merkel Equation**" ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

> Condenser water မှ ထွက်သွားသည့် အပူ(heat)ပမာဏသည် အနီးရှိလေ(surrounding air)မှ စုပ်ယူလိုက်သည့် ပမာဏနှင့် ညီမျှသည်။

ပုံ(၄-၂၈)တွင် cooling tower characteristic ကို ဂရပ်ပုံစံဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ Cooling tower characteristic ကို အောက်ပါအတိုင်း ဂရပ်ပုံစံဖြင့် ဖော်ပြသည့်နည်း(graphical representation)ဖြင့်လည်း လေ့လာနိုင်သည်။

Law of conservation of energy အရ (cooling tower တစ်ခုလုံးကို control volume အဖြစ် ယူဆလျှင်)

$$Amount\ of\ heat\ loss\ form\ Condenser\ water = Amount\ heat\ gain\ by\ Ambient\ Air$$



ပုံ ၄-၂၈ Cooling tower တစ်လုံး၏ Enthalpy driving force ဖြင့် ဖော်ပြထားပုံ

C' သည် ဝင်လာသည့်လေ၏ enthalpy ဖြစ်သည်။

BC သည် initial enthalpy driving force ဖြစ်သည်။

CD သည် air operating line with slope L/G ဖြစ်သည်။

DEF သည် projecting the exiting air point onto the water operating line and then onto the temperature axis shows the outlet air Wet-Bulb temperature ဖြစ်သည်။

L/G သည် liquid to gas mass flow ratio (lb/lb or kg/kg) ဖြစ်သည်။

Condenser water မှ အပူဆုံးရှုံးမှုပမာဏ(heat loss)သည် အနီးရှိလေထု(ambient air) မှ စုပ်ယူလိုက်သည့်အပူ(heat gain)ပမာဏ နှင့် တူညီသည်။ Condenser water ၏ အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss) ပမာဏသည် $Q_{water} = m . Cp . \Delta t$ ဖြစ်သည်။

Condenser water ၌ အပူချိန်ပြောင်းလဲမှု(temperature change)ဖြစ်သောကြောင့် sensible heat change သာ ဖြစ်ပေါ်သည်။ သို့သော် အနီးရှိလေထု(Ambient air)တွင် sensible heat နှင့် latent heat gain နှစ်မျိုးကြောင့် အပူတိုးလာခြင်း(heat gain) ဖြစ်ပေါ်သည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် condenser water ကို sensible cooling နှင့် ရေငွေ့ပျံစေခြင်းဖြင့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း (evaporative cooling)နည်း နှစ်မျိုးဖြင့် အေးစေသည်။

$$Q_{air} = m_{air}(h_2 - h_1) \qquad\qquad Q_{water} = m_{water}\ x\ 4.19\frac{kJ}{kg}\ (t_2 - t_1)$$

$$Q_{water} = Q_{air}$$

$$m_{water}\ x\ 4.19\frac{kJ}{kg}\ (t_2 - t_1) = m_{air}\ (h_2 - h_1)$$

t_2 = Entering temperature of condenser water

t_1 = Leaving temperature of condenser water

h_2 = Enthalpy of leaving air

h_1 = Enthalpy of entering air

$\frac{Mass\ of\ water}{Mass\ of\ air}$ ကို water to air mass ratio သို့မဟုတ် liquid to gas mass flow ratio ဟုခေါ်သည်။ ယူနစ်သည် lb of water/lb of air သို့မဟုတ် kg of water/kg of air ဖြစ်သည်။

လေထု(ambient air)အပူချိန် 78°F(25.5°C)DB နှင့် 50% RH သည် cooling tower အတွင်းသို့ ရောက်သည့်အခါ ရေငွေ့ပျံစေပြီး အပူကိုဖယ်ထုတ်ခြင်း(evaporative cooling)နည်းဖြင့် condenser water ကို အေးစေသည်။ လေ၏ enthalpy သည် 30.1 Btu/lb မှ 45.1 Btu/lb အထိ မြင့်တက်သွားသည်။ 15 Btu/lb of dry air မြင့်တက်သွားသည်။ ထို 15 Btu/lb သည် condenser water အလေးချိန် တစ်ပေါင်ကို 15°F အပူအချိန် ကျဆင်းသွား စေနိုင်သည်။

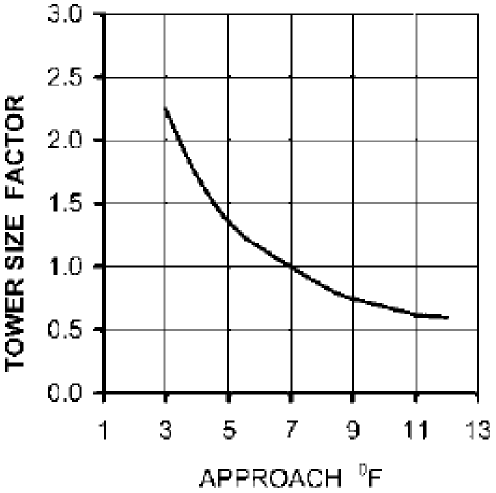
ဝင်လာသည့်လေ(ambient air)၏ စိုထိုင်းဆ(humidity ratio)သည် 0.0103 lb of water vapor/lb of dry air ဖြစ်ပြီး ထွက်သွားသည့် လေ၏ စိုထိုင်းဆ(humidity ratio)မှ 0.0233 lb of water vapor/lb or dry air ဖြစ်သည်။ ထို(0.0233lb - 0.0103=) 0.013 lb သည် ရေငွေ့ပျံ(evaporate)သွားသည့် condenser water ဖြစ်သည်။

85°F ၌ ရှိသော latent heat vaporization တန်ဖိုးသည် 1,045 Btu/lb(2260 KJ/kg) ဖြစ်သည်။ 0.031lb x 1045 Btu/lb =13.6 Btu ဖြစ်သည်။ 15 Btu ၏ ၉၁% သည် ရေငွေ့ပျံစေခြင်းဖြင့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(evaporative cooling)နည်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည်။ ကျန်သည့် ၉% ခန့်သည် sensible cooling ကြောင့်ဖြစ်သည်။ Condenser water အပူချိန်သည် 15°F ကျဆင်းပြီး လေ၏ အပူချိန် 3.3°F မြင့်တက်လာသည်။ လေ၏ အပူချိန်သည် 78°F မှ 81.3°F သို့ မြင့်တက်သည်။

၄.၁၁ Cooling Tower Performance Factor

Cooling tower တစ်လုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)သည် အောက်ပါ အချက်(factor or parameter) များပေါ်တွင် မူတည်သည်။

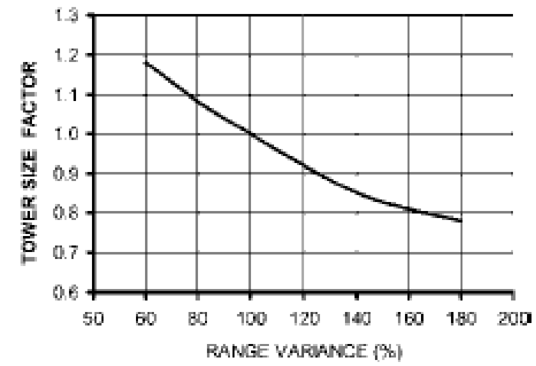
(၁) Range	(၅) Evaporation loss
(၂) Approach	(၆) Cycles of concentration
(၃) Effectiveness	(၇) Blow down losses နှင့်
(၄) Cooling capacity	(၈) Liquid/ Gas ratio တို့ ဖြစ်သည်။



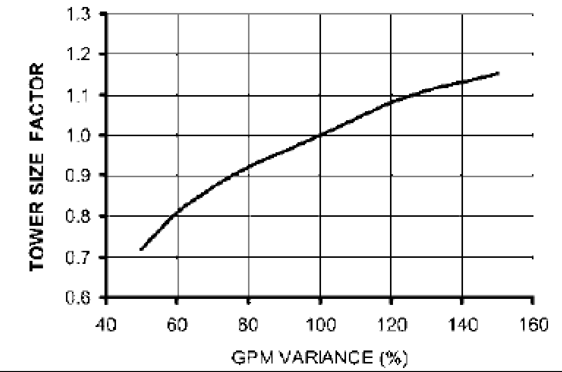
ပုံ ၄-၂၉ Condenser water range ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့်cooling tower အရွယ်အစား ပြောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

လေ၏ Wet Bulb အပူချိန် မြင့်တက်လာခြင်းကြောင့် cooling tower ၏ စွမ်းဆောင်ရည် (performance) ကျဆင်းသွားသည်။ လေ၏ Wet Bulb အပူချိန် ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် Approach တန်ဖိုး ပြောင်းလဲသည်။ Range ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် Approach တန်းဖိုး ပြောင်းလဲသည်။

Condenser water စီးနှုန်း(flow rate)များခြင်း သို့မဟုတ် range များခြင်းကြောင့် အပူ ဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) များလာသည်။



ပုံ ၄-၃၀ Variation in tower size factor with range.



ပုံ ၄-၃၁ Variation in tower size factor with condenser water flow rate.

အထက်ပါ ပုံ(၄-၃၁)တွင် condenser water စီးနှုန်း(flow rate) ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် cooling tower အရွယ်အစား ပြောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ အထက်ပါ ပုံ(၄-၃၀) သည် condenser water range ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် cooling tower အရွယ်အစား ပြောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားသည်။(Approach မပြောင်းပါ။)

၄.၁၂ Condenser Water Flow Rate

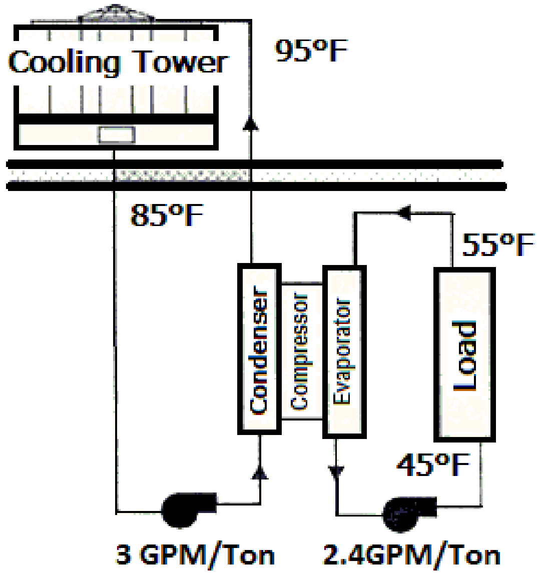
Condenser water system တွင် စီးနှုန်း(flow rate)သည် အလွန် အရေးကြီးသည်။ Condenser water မှ အပူ(heat)များ လေထု(ambient air)ထဲသို့ အပူစွန့်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) ဖြစ်စေရန် လုံလောက်သော condenser water စီးဝင်လည်ပတ်မှု ရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးရန် လိုအပ်သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် "Range" ကို 5.6°C (95°F - 85°F = 10°F)တန်ဖိုးတွင် အခြေခံ၍ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ကြသည်။

Cooling capacity 1 RT လျှင် condenser water ရေလည်ပတ်နှုန်းသည် 0.19 Liter/Sec (3GPM) ဖြစ်ပြီး Chilled water ရေလည်ပတ်နှုန်းသည် 2.4 GPM ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် condenser water ရေလည်ပတ်နှုန်း(flow rate)သည် chilled water ရေလည်ပတ်နှုန်း(flow rate)၏ (၁.၂၅)ဆ(1.25 times) ဖြစ်သည်။ ၂၅% ပိုများသည်။ Chilled water စီးနှုန်း(flow rate)သည် 0.15 Liter/Sec per RT သို့မဟုတ် 2.4 GPM per RT ဖြစ်သည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် electric chiller များတွင် heat of compression သည် chiller cooling load ၏ 25% နီးပါးနှင့် ညီမျှသောကြောင့်ဖြစ်သည်။

အကယ်၍ condenser water စီးနှုန်း(flow rate)သည် လိုအပ်သည်ထက် နည်းလျှင် condenser water return temperature မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ Chiller အတွင်းသို့ အပူချိန်မြင့်သည့် condenser water ဝင်ရောက်လာလျှင် refrigerant ၏ condensing pressure မြင့်တက်လာပြီး compressor ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption) ပိုများ လာလိမ့်မည်။

လုံလောက်သော ရေစီးနှုန်း(water flow rate) ကို chiller အတွင်းသို့ လည်ပတ်စေခြင်းကြောင့် condenser water return temperature ကျဆင်းလာကာ chiller efficiency ပိုကောင်း လာလိမ့်မည်။



ပုံ ၄-၃၂ Condenser and chilled water circuit

Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute (AHRI) သတ်မှတ်ချက်အရ ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(design condition) တွင် cooling capacity 1 RT ရရန် condenser water ရေလည်ပတ်နှုန်း(flow rate)သည် 0.19 Liter/Sec per RT သို့မဟုတ် 3 GPM per RT ဖြစ်သည်။

Lower part load အခြေအနေမျိုးတွင်လည်း condenser water စီးနှုန်း(flow rate)ကို ဒီဇိုင်း စီးနှုန်း (design flow rate)ထက် အနည်းငယ် လျော့နည်းအောင် လျှော့ချနိုင်သည်။

Actual condenser water စီးနှုန်း(flow rate) သည် design condenser water စီးနှုန်း(flow rate) ထက် ပိုမများရန် လိုအပ်သည်။ Condenser water စီးနှုန်း(flow rate) လိုအပ်သည်ထက် ပိုများခြင်းကြောင့် ပန့်အတွက် လိုအပ်သောစွမ်းအင်(pumping power)ကို ဖြုန်းတီးရာ ရောက်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် over pumping ဖြစ်စေသည်။

Cooling tower စွမ်းဆောင်ရည် (performance) ညံ့ဖျင်းနေလျှင် condenser water စီးနှုန်း(flow rate)များခြင်း ကြောင့်လည်း condenser water supply temperature မြင့်တက်လာနိုင်သည်။ Cooling tower တစ်ခုချင်းစီ၌ တူညီသောရေပမာဏ စီးဝင်ခြင်း(flow)မရှိသည့်အခါ (unbalance water flow ဖြစ်ခြင်းကြောင့်) အချို့ cooling towerသည် ဒီဇိုင်းစီးနှုန်း(design flow rate)ထက်ပိုများသည့် condenser စီးနှုန်း(flow rate)ကို ရရှိကာ အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature) ပိုမြင့်မားလာသည်။ အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature) မြင့်သောကြောင့် chiller efficiency ကျဆင်းလိမ့်မည်။

၄.၁၃ စုပ်ယူသည့်အပူနှင့် စွန့်ထုတ်သည့် အပူပမာဏ တူညီခြင်း (Heat Balancing)

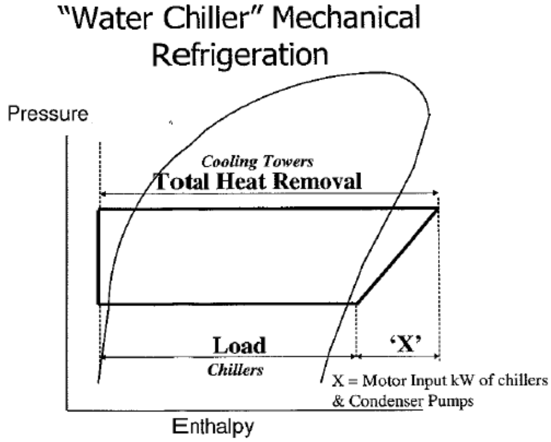
Vapor compression cycle များတွင် evaporator က အပူ(heat)ကိုစုပ်ယူသည့် အလုပ်လုပ်ကြပြီး condenser များက ထိုစုပ်ယူထားသော အပူကိုပြန်စွန့်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)လုပ်ကြသည်။ Compressor အတွင်းမှ အပူချိန်မြင့်ပြီး ဖိအားမြင့်သည့်(hot and high pressure) refrigerant gas များသည် condenser အတွင်းသို့ ရောက်ရှိလာပြီး နည်း နှစ်မျိုးဖြင့် အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)လုပ်ကြသည်။

ထို refrigerant gas သည် superheat အပူချိန်၌ အငွေ့(vapor) အခြေအနေဖြင့် sensible heat ကို စွန့်ထုတ်(reject)သည်။ ထို့နောက် saturated အပူချိန်၌ latent heat ကို စွန့်ထုတ်(reject)ကာ refrigerant အငွေ့ (vapor)မှ အရည်(liquid)အဖြစ်သို့ ပြောင်းသွားသည်။

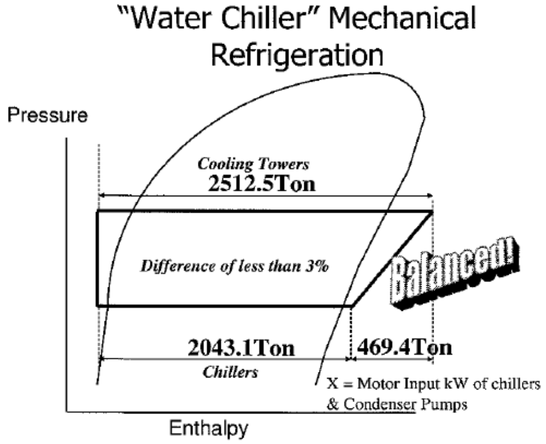
Condenser load သည် ဖယ်ထုတ်သည့်အပူပမာဏ(amount of heat rejection) ဖြစ်သည်။ Air cooled condenser မှ အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)ကြောင့် လေ၏အပူချိန် ခြားနားချက် 9°C မှ 12°C ခန့် မြင့်တက် လာအောင် ဒီဇိုင်းလုပ်လေ့ ရှိသည်။ အကယ်၍ အပူချိန်မြင့်တက်မှု(temperature raise) 10.5°C

ကို အခြေခံ၍ တွက်လျှင် 1kW အပူပမာဏကို စွန့်ထုတ်(reject)ရန်အတွက် လေစီးနှုန်း 0.093 kg (mass flow rate 0.093 kg/kW)လိုအပ်သည်။ [1/(10.5x1.02)= 0.093 kg/kW]

ဥပမာအားဖြင့် ရုံးခန်းတစ်ခု၏ air con unit သည် 350kW cooling capacity ရှိပြီး 430kW အပူပမာဏ ဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)ဖြစ်ရန် လေစီးနှုန်း(flow rate) 40.85 kg/s သို့မဟုတ် 36 m^3/s ရှိသည့် air-cooled condenser ကို အသုံးပြုရမည်။ လေဖြင့် အပူစွန့်ထုတ်သည့်အခါ ရေထက် volume flow rate သို့မဟုတ် mass flow rate ပိုများသောကြောင့် နေရာကျယ်ကျယ် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၄-၃၃ Heat Balance



ပုံ ၄-၃၄ Heat Balance

$$Condenser\ Load\ =\ Evaporator\ Load\ +\ Compressor\ input\ power$$

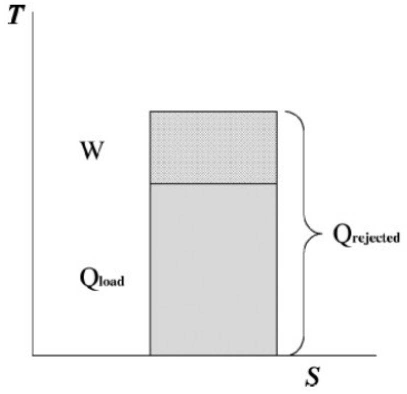
$$Heat\ rejected\ from\ cooling\ tower\ =\ Heat\ gain\ by\ chiller\ +\ Heat\ of\ compression$$

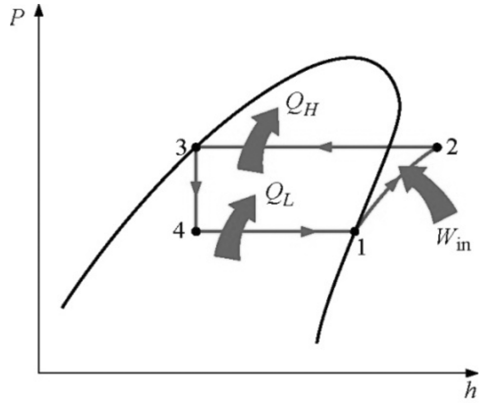
ဥပမာ condenser တစ်ခုသည် အပူ(heat)ပမာဏ 12kW ကို ဖယ်ထုတ်(reject)ရန်အတွက် အပူချိန် 35°C ရှိသော ပြင်ပလေ(outdoor air) သည် အပူချိန် 50°C အထိ မြင့်တက်သွားသည်။ ထို condenser သည် 8 kW အပူပမာဏကို ဖယ်ထုတ်(reject)ရန် လိုအပ်ပြီး ပြင်ပလေ(outdoor air)သည် 15°C ဖြစ်လျှင် အပူချိန်မည်မျှ အထိတက် သွားမည်နည်း။

Temperature difference = 50˚C – 35˚C = 15˚C

$$Condenser\ rating\ =\ \frac{Load}{Temperature\ Difference}$$

= 12 kW/15°C = 0.8 kW/˚C





ပုံ ၄-၃၅ Carnot cycle for refrigeration

ထို condenser သည် 1°C အပူချိန်ကွာခြားတိုင်း(temperature difference) အပူပမာဏ 0.8 kW ကို ဖယ်ထုတ်(reject) နိုင်စွမ်းရှိသည်။

၄.၁၄ ရွေးချယ်ရာတွင် စဉ်းစားရမည့် အချက်များ (Selection Consideration)

မိမိ၏ လုပ်ငန်း(application)နှင့် သင့်လျော်မှန်ကန်သော cooling tower ကို ရွေးချယ်အတွက် အောက်ပါ အချက်အလက်များကို ထည့်သွင်းစဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။

(က) Cooling duty (လိုအပ်သော အပူဖယ်ထုတ်နှုန်း(capacity) ၊ မောင်းနှင်မည့် duty အမျိုးအစား)

(ခ) Economics [စီးပွားရေးတွက်ချေကိုက်မှု၊ တပ်ဆင်ရန်ကုန်ကျစရိတ်(installation cost) ၊ မောင်းနှင့် လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ် (operation cost)]

(ဂ) Required services (လိုအပ်သည့် ဆားဗစ်အမျိုးအစားများ)

(ဃ) Environmental conditions (ပတ်ဝန်းကျင်ကို ထိခိုက်မှုရှိ မရှိ၊ ကျောင်း၊ ဆေးရုံ သို့မဟုတ် လူအများစု နှင့် နီးသည့်နေရာတွင် cooling tower ကို တပ်ဆင်ရန် မသင့်လျော်ပေ။ Legionella ပိုးမွှား (pathogenic gram)အန္တရာယ်ကြောင့် ဖြစ်သည်။) Legionella အကြောင်း အသေးစိတ် သိလိုပါက http://www.nea.gov.sg/cms/qed/cop_legionella.pdf တွင် လေ့လာနိုင်သည်။

(င) Maintenance requirements (ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းရန် လိုအပ်ချက်များ) နှင့်

(စ) Aesthetics- အမြင်လှပမှု ရှိ၊ မရှိ တို့ဖြစ်သည်။ (လူမြင်ကွင်းတွင် တပ်ဆင်ထားသော cooling tower များအား ကြည့်ကောင်းအောင် ပြုလုပ်ထားရန် သို့မဟုတ် ကာရံထားရန် လိုအပ်သည်။)

အထက်ပါ အချက်အလက်များသည် တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အပြန်အလှန်ဆက်စပ်မှု ရှိကြသည်။ တစ်ခုချင်းစီကို ဆန်းစစ်ရွေးချယ် ရမည်။

အထက်ပါ အချက်များအပြင် cooling tower ရွေးချယ်ခြင်းနှင့် သက်ဆိုင်သော အချက်အလက်များမှာ

(၁) Safety features ၊ safety codes နှင့် သက်ဆိုင်သော ဘေးရန်ကင်းရှင်းရေး စည်းမျည်း စည်းကမ်းများကို လိုက်နာရမည်။

(၂) အဆောက်အဦ အမျိုးအစားကို လိုက်၍ ချမှတ်ထားသည့် code များကို လိုက်နာရမည်။ (Conformity to building codes)

(၃) General design and rigidity of structures (တည်ဆောက်မည့် structure ဒီဇိုင်း နှင့် အမျိုးအစား)

(၄) Relative effects of corrosion, scale, or deterioration on service life (သံချေးတက်ခြင်း၊ ရေညှိတက်ခြင်း၊ စွမ်းရည်ကျဆင်းခြင်း နှင့် အသုံးပြုနိုင်သည့် သက်တမ်းတိုခြင်း စသည်တို့နှင့် သက်ဆိုင်သော အချက်များ)

(၅) Availability of spare parts (အပိုပစ္စည်းများ အလွယ်တကူ ရရှိနိုင်မှု)

(၆) Experience and reliability of manufacturers (ထုတ်လုပ်သူ၏ လုပ်ငန်းအတွေ့အကြုံနှင့် စိတ်ချနိုင်မှုရှိ ၊ မရှိ)

(၇) Independent certification of thermal ratings (ဖော်ပြထားသော စွမ်းဆောင်ရည်နှုန်း(rating)များကို ထုတ်လုပ်သူမဟုတ်သည့် တခြားသောအဖွဲ့ တစ်ခုခုမှ ထောက်ခံပေးမှု)

(၈) Operating flexibility for economical operation at varying loads or during seasonal changes. (နွေ၊မိုး၊ဆောင်း ရာသီဥတုအားလုံး၌ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် load များ အားလုံး နှင့် ကိုက်ညီအောင် မောင်းနိုင်မှု)တို့ ဖြစ်သည်။

ထိုအချက်အလက်များအပြင် တုန်ခါမှု(equipment vibration)၊ ဆူညံသံ(sound levels) ၊ ဆူညံသံလျော့နည်းအောင် ဆောင်ရွက်ခြင်း(acoustical attenuation)၊ ဗိသုကာဒီဇိုင်း(architectural design) နှင့် လိုက်လျော ညီထွေဖြစ်မှု တို့ကိုလည်း အဓိကထား စဉ်းစားရမည် ဖြစ်သည်။

Cooling duty နှင့်သက်ဆိုင်သော အချက်အလက်များသည် အမြင့်(height)၊ အရှည်(length)၊ အထု (width)၊ လေလည်ပတ်နှုန်း(volume of airflow)၊ fan နှင့် pump တို့၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှုန်း(energy consumption)၊ တည်ဆောက်ထားသည့် ပစ္စည်းအမျိုးအစား(materials of construction)၊ ရေအရည်အသွေး (water quality) နှင့် ဈေးကွက်တွင် ရရှိနိုင်မှု(availability)တို့ ဖြစ်သည်။

မိမိအဆောက်အဦ သို့မဟုတ် မိမိ system အတွက် အကောင်းဆုံးနှင့် အသင့်လျော်ဆုံးသော cooling tower အမျိုးအစားနှင့် အရွယ်အစားကို economic evaluation လုပ်ပြီးမှသာ ရရှိနိုင်သည်။ နည်းပညာအရ (technically) အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်ရန် လိုအပ်သလို စီးပွားရေးအရ(economically)လည်း အကျိုးအမြတ် များရန် လိုအပ်သည်။

2007 ASHRAE Handbook စာအုပ်မှ Chapter 36 ၌ ပါရှိသော HVAC Applications အပိုင်းတွင် အသုံးများသည့် စီးပွားရေးအရ တွက်ခြေကိုက်မှု ရှိ/မရှိ ဆန်းစစ်နည်း(economic evaluation) နှစ်မျိုးကို ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Life Cycle Costing (equipment တစ်ခု စဝယ်သည့်နေ့မှ သုံးမရ၍ ဖျက်ပစ်သည့်နေ့အထိ ကုန်ကျစရိတ် စုစုပေါင်းကို တွက်သည့်နည်း)နှင့်

(၂) Payback analysis (ဝယ်ပြီး တပ်ဆင်ရန် ကုန်ကျစရိတ်များကို ပြန်လည်ရရှိရန် နှစ်မည်မျှကြာသည်ကို တွက်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။)

အထက်ပါ နည်းနှစ်နည်း အနက်မှ ကြိုက်နှစ်သက်ရာ နည်းကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

အစပိုင်းကုန်ကျစရိတ်များ (initial cost) အတွက် အောက်ပါ အချက်အလက်တို့ကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားသင့်သည်။

- Erected cost of equipment (ငြမ်း၊ ကရိန်း စသည့်တို့အတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- Costs of interface with other subsystems (သက်ဆိုင်သည့် တခြားသော subsystem များနှင့် interface လုပ်ရန် ကုန်ကျစရိတ်)
- Pumps and prime movers (ပန့် စသည့် တို့အတွက်ကုန်ကျစရိတ်)
- Electrical wiring to pump and fan motors (ပန့် ၊ မော်တာ နှင့် fan မော်တာ တို့၏ လျှပ်စစ်ဝါယာနှင့် သက်ဆိုင်သော ကုန်ကျစရိတ်)
- Electrical controls and switchgear (လျှပ်စစ် panel များ နှင့် control များ၊ switchgear တို့ အတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- Piping to and from the tower (ပိုက်များ တပ်ဆင်ရန်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- Tower basin ၊ sump screens ၊ overflow piping and makeup lines ၊ if not furnished by the manufacturer (တခြားသော အစိတ်အပိုင်းများ အတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- Shutoff and control valves (ဘားများအတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- Walkways ၊ ladders ၊ etc., providing access to the tower ၊ if not furnished by the manufacturer (လျှောက်လမ်း၊ လှေကားတို့အတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- Fire protection sprinkler system (မီးဘေးကာကွယ်ရေး အစီအမံများအတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- ပိုင်ဆိုင်မှုအတွက် ကုန်ကျစရိတ်(ownership cost)နှင့် ထိန်းသိမ်းပြုပြင်မှု ကုန်ကျစရိတ်(maintenance costs) တို့အတွက် အောက်ပါ အချက်အလက်တို့ကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားသင့်သည်။

- System energy costs (fans, pumps, etc.) (တစ်နာရီမောင်းရန်အတွက် လိုအပ်သည့် စွမ်းအင် အတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- Energy demand charges (လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခ ကုန်ကျစရိတ်)
- Expected equipment life (အမျှော်လင့်နိုင်ဆုံးသော အသုံးပြုနိုင်မည့် သက်တမ်း)
- Maintenance and repair costs (ထိန်းသိမ်းစရိတ် နှင့် ပြုပြင်စရိတ်)
- Money costs (အတိုးတွက်၊ ငွေကြေးဖောင်းပွမှု စသည့်တို့အတွက် ထည့်ဆောင်းရမည့် စရိတ်)

၄.၁၅ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း (Cooling Tower Sizing)

Cooling tower များသည် central air conditioning system မှ စွန့်ထုတ်သည့် အပူ(heat) များကို သာမက chiller ၏ compressor မှ အပူ(heat)များကိုလည်း အတူတကွ စွန့်ထုတ်ပေးရသည်။ Chiller မှ အပူ (heat of compression)ပမာဏသည် chiller ၏ efficiency ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အကြမ်းအားဖြင့် လျှပ်စစ် မော်တာဖြင့် မောင်းသော(electric) chiller များအတွက် cooling load ၏ ၂၅% ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် cooling tower ၏ အရွယ်အစား(size)သည် chiller cooling capacity ၏ ၁၂၅% ဖြစ်သည်။ (၁.၂၅ ဆခန့် ဖြစ်သည်)။ လျှပ်စစ်မော်တာဖြင့် မောင်းသည့် chiller အတွက်သာ ဖြစ်သည်။

Chiller efficiency သည် cooling tower ၏ အရွယ်အစား(size)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Cooling tower ၏ အရွယ်အစားသည် လိုအပ်သည်ထက် သေးငယ်နေလျှင် အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) မလုံလောက်သောကြောင့် ထွက်ရေအပူချိန်(condenser supply water(leaving)temperature) မြင့်တက် လာလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် chiller efficiency ကျဆင်းသွားနိုင်သည်။ Cooling tower မှ ထွက်ရေအပူချိန် (condenser supply water temperature) နိမ့်လျှင် chiller ၏ efficiency ပိုကောင်းလာသည်။

Cooling tower သည် သီအိုရီအရ ထွက်ရေအပူချိန်(leaving condenser temperature)ကို လေ၏ Wet Bulb အပူချိန် သို့ရောက်အောင် နိမ့်ချပေး နိုင်သည်။ ထိုသို့ နိမ့်ချရန်အတွက် မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area)ကျယ်ကျယ်နှင့် လေစီးနှုန်း (air flow)များများ လိုအပ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသော cooling tower များသည် chiller efficiency ကို ပိုမို ကောင်းမွန်စေသော်လည်း cooling tower တန်ဖိုး သို့မဟုတ် တပ်ဆင်ခ နှင့် လည်ပတ်ရန်ကုန်ကျစရိတ်(operating cost) စသည်တို့ အဆမတန် များလာလိမ့်မည်။ လိုအပ်သည်ထက် ပိုများသည့် cooling tower အရေအတွက်ကို တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်လိမ့်မည်။

> Cooling tower ၏ မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area)နည်းခြင်း၊ များခြင်းသည် capital cost(cooling tower တန်ဖိုး)နှင့်သာ သက်ဆိုင်သည်။ Cooling tower ၏ လေစီးနှုန်း(air flow)နည်းခြင်း၊ များခြင်း သည် လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ်(operating cost) နှင့်သာ သက်ဆိုင်သည်။
>
> ထို့ကြောင့် တူညီသော cooling capacity ရှိသည့် cooling tower နှစ်လုံးတွင် မျက်နှာပြင်ဧရိယာ (surface area)များပြီး လေစီးနှုန်း(air flow)နည်းသည့် cooling tower သည် capital cost များပြီး လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ်(operating cost) နည်းလိမ့်မည်။ မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area)နည်းပြီး လေစီးနှုန်း(air flow) များသည့် cooling tower သည် capital cost နည်းပြီး လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ် (operating cost)များလိမ့်မည်။

ထို့ကြောင့် cooling tower အရွယ်အစားကို အစပိုင်းကုန်ကျစရိတ်(initial capital cost) နှင့် chiller cooling tower ၏ လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ် (operating cost)တို့ အကြားတွင် အကောင်းဆုံး(optiminum) ဖြစ်အောင် ချိန်ဆ၍ ရွေးချယ်ရခြင်း ဖြစ်သည်။

Cooling tower ကို chiller ၏ ထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature)၊ ဝင်ရေအပူချိန်(return temperature)လိုအပ်ချက် နှင့် cooling tower ရှိသည့်နေရာ၏ လေထု(outdoor air) Wet Bulb အပူချိန်ပေါ်တွင် အခြေခံ၍ ရွေးချယ်ရမည်။ Chiller မှထွက်ပြီး cooling tower ထဲသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် condenser water အပူချိန်(return temperature)သည် 35°C (95°F) ဖြစ်ပြီး condenser supply temperature သည် 29.4°C(85°F) ဖြစ်သည်။ လေထုအပူချိန်သည် Wet Bulb အပူချိန်သည် cooling tower တည်ရှိရာဒေသ နှင့် ရာသီဥတုပေါ်တွင် မူတည်သည်။

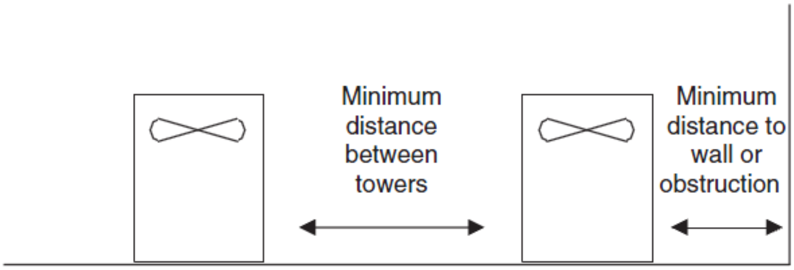
Cooling tower ထုတ်လုပ်သူများသည် cooling tower ၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း (heat rejection capacity)ကို အမျိုးမျိုးသော operating conditioning များတွင် သတ်မှတ်ကြသည်။

> Cooling tower ၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)သည် operating condition အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ မောင်းနေသည့် အချိန်၌ လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်သည် ဒီဇိုင်းလုပ်သည့် Wet Bulb အပူချိန်ထက် ပိုမြင့်နေပါက ထို cooling tower သည် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း (heat rejection capacity)ကို ရရှိလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)ထက် နည်းသည့် capacity ကိုသာ ပေးနိုင်သည်။

ထိုကဲ့သို့ အခြေအနေမျိုးတွင် Wet Bulb အပူချိန်မြင့်သောကြောင့် cooling capacity ကို သတ်မှတ်ထားသည့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(rated capacity)မှ အချိုးကျ လျော့နည်းသွားမည့် capacity ကို ခန့်မှန်းယူနိုင်သည်။ Rule of thumb အရ cooling tower ၏ nominal capacity ကို chiller rated capacity ၏ တစ်ဆခွဲ (1.5 times) အဖြစ် သတ်မှတ်ကြသည်။

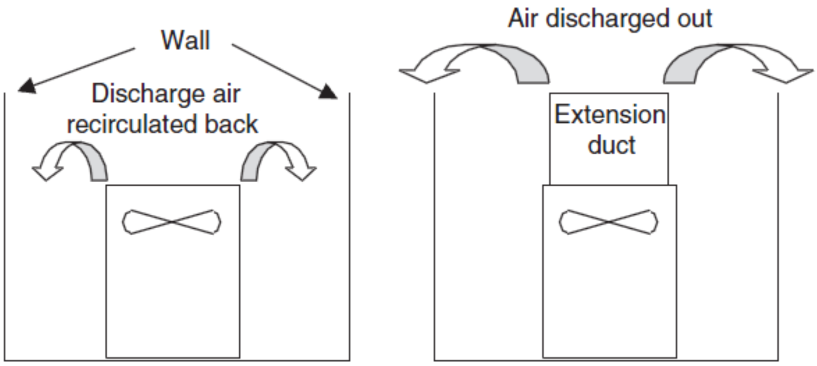
၄.၁၆ တပ်ဆင်ခြင်း (Installation of Cooling Tower)

Cooling tower ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)သည် လေစီးနှုန်း(air flow) ပေါ်တွင် မူတည်သောကြောင့် cooling tower ကို လေဝင်လေထွက် ကောင်းသည့် နေရာတွင် ထားရှိသင့်သည်။ ပုံ(၄-၃၆)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း cooling tower တပ်ဆင်ထားမည့်နေရာ အကျယ်လုံလောက်အောင် ထားပေးသင့်ပုံကို ဖော်ထားပြသည်။ Cooling tower ၏ လေဝင်ပေါက်(air intake)သည် နံရံနှင့် အလွန်နီးကပ်စွာ မရှိသင့်။ ထားရှိရမည့် အကွာအဝေးကို cooling tower ထုတ်လုပ်သူများထံမှ ရယူနိုင်သည်။ Cooling tower တစ်ခု နှင့် ကပ်လျက်ရှိ တခြား cooling tower တစ်ခုသည်လည်း လုံလောက်သည့် အကွာအဝေးတွင် တည်ရှိသင့်သည်။



ပုံ ၄-၃၆ Cooling tower နှစ်ခုအကြားအကွာဝေး နှင့် cooling tower နှင့် နံရံ အကြားအကွာအဝေး

Cooling tower တစ်ခုမှ မှုတ်ထုတ်လိုက်သည့် လေပူများ(warm and moist air)သည် တခြား cooling tower ၏ လေဝင်ပေါက်(air intake)အဝသို့ မရောက်ရှိစေရန် သတိပြုရမည်။ အချို့သော အခြေအနေများတွင် extension duct ကို cooling tower ၏ အထွက်(discharge) နေရာတွင် တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် လေပူ(hot air)များကို cooling tower မှ ဝေးရာသို့ ရောက်အောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။



ပုံ ၄-၃၇ Extension duct အသုံးပြု၍ recirculation မဖြစ်အောင် ကာကွယ်ထားသည်။

၄.၁၇ Capacity Control

များသောအားဖြင့် chiller နှင့် cooling tower တို့ကို interlock ပြုလုပ်ထားကြသည်။ Chiller မမောင်းခင် cooling tower နှင့် condenser water pump ကို အရင် စမောင်း ရသည်။ Cooling tower မမောင်းဘဲ chiller မောင်း၍ မရအောင် လုပ်ထားခြင်း ကို "**Interlock**" လုပ်သည် ဟုခေါ်သည်။

Cooling tower အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(capacity)သည် လေစီးနှုန်း(air flow) နှင့် မျက်နှာပြင် ဧရိယာ(surface area) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ သို့သော် cooling tower ၏ မျက်နှာပြင် ဧရိယာ(surface area)သည် capacity control နှင့် မသက်ဆိုင်ပေ။ လေစီးနှုန်း(air flow)သာ capacity control နှင့် သက်ဆိုင်သည်။

Chiller သည် ဝန်အနည်းငယ်ဖြင့် မောင်းနေချိန်(part load condition)တွင် cooling tower မှ ဖယ်ထုတ်ရမည့် အပူ(rejected heat)ပမာဏ နည်းသည်။ ထိုကဲ့သို့ အခြေအနေမျိုးတွင် cooling tower အား မြန်နှုန်းအပြည့် (full speed) သို့မဟုတ် full capacity ဖြင့် မောင်းရန် မလိုအပ်ပေ။

Cooling tower ၏ လေစီးနှုန်း(air flow)ကိုလျှော့ချခြင်းဖြင့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) ကို လျှော့ချနိုင်သည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) ကိုလည်း လျှော့နည်းစေသည်။

Cooling tower ၏ လေစီးနှုန်း(air flow)ကို နည်းနှစ်မျိုးဖြင့် လျှော့ချနိုင်သည်။

(၁) ပထမနည်း Fan အားလုံးကို အတူတကွ switch on/off လုပ်ခြင်း။(cooling tower fan cycling)

(၂) ဒုတိယနည်း Fan များကို Variable Speed Drive(VSD) ဖြင့် မောင်းခြင်း။

ပထမနည်းတွင် လိုအပ်သည့် ရေအပူချိန်(condenser water temperature)သို့ ရောက်အောင် cooling tower fan များကို မောင်းခြင်း၊ရပ်နားခြင်း(switch on/off)ဖြင့် control လုပ်နိုင်သည်။ Condenser water အပူချိန်သည် မြင့်တက်ခြင်း(fan မမောင်းသည့်အချိန်တွင်)၊ ကျဆင်းခြင်း(fan မောင်းနေသည့် အခိုက်တွင်) ဖြစ်ကာ chiller operation ကို မတည်မငြိမ်(unstable) ဖြစ်စေသည်။ Fan များကို မကြာခဏ မောင်းလိုက်၊ ရပ်လိုက် လုပ်ခြင်းကြောင့် သက်တမ်းမတိုင်မီ ပျက်စီးသွားနိုင်သည်။

ဒုတိယနည်းသည် အကောင်းဆုံးနည်းဖြစ်သည်။ Fan များ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို လိုအပ်သလို မောင်းနိုင်ရန် Variable Speed Drive(VSD) တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ သတ်မှတ်ထားသည့် ရေအပူချိန် (condenser water temperature)ရရန်အတွက် VSD က tower fan မြန်နှုန်း(speed)ကို လိုအပ်သလို အတိုး၊ အလျှော့ (modulate) ပြုလုပ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

အလွယ်ကူဆုံးနည်းလမ်း(control strategy)သည် condenser supply temperature ကို ဒီဇိုင်းတန်ဖိုး(design value)တွင် ထိန်းထားခြင်းဖြစ်သည်။ Condenser water temperature 29.4°C (85 °F) ကို set point အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး condenser water temperature သည် set point ထက် ပိုမြင့်ပါက VSD မှ fan မြန်နှုန်း(speed)ကို မြှင့်ပေးခြင်းဖြင့် (လေစီးနှုန်း(air flow) ပိုများအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Set point ထက် ပိုနိမ့်နေပါက VSD မှ fan မြန်နှုန်း(speed)ကို လျှော့ချပေးခြင်းဖြင့် လေစီးနှုန်း(air flow)ကို လျှော့နည်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Fan ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption)သည် fan မြန်နှုန်း(speed)၏ သုံးထပ်ကိန်း (cube)နှင့် ညီမျှသည်။ Fan ၏ မြန်နှုန်း(speed) ကို ၂၀% လျှော့ချလိုက်လျှင်[မြန်နှုန်း(speed)ကို ၁၀၀% မှ ၈၀% သို့ လျှော့ချလိုက်လျှင်] fan ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption)သည် ၅၀% ခန့် လျှော့ကျသွားသည်။(0.8^3 =0.51)။ Part load condition တွင် control လုပ်နည်း(strategy) နှင့် VSD ကို သုံး၍ fan မှ စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving) ဖြစ်စေနိုင်သည်။

ဥပမာ 500RT အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) ရှိသော cooling tower တစ်လုံးသည် အဝင်ရေအပူချိန် 35°C မှ 30°C သို့ရောက်အောင် အေးစေနိုင်သည်။ မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed)ဖြင့် မောင်းသော fan ၏ မော်တာ၏ စွမ်းအားသည် 15kW ဖြစ်သည်။ လက်ရှိမောင်းနေချိန်တွင် cooling tower အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့်ရေပူ(warm water entering to cooling tower) သည် 32°C ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် cooling tower ၏ load သည် rated capacity ၏ 40% သာ ဖြစ်သည်။

(Rated condition = 35°C – 30°C =5°C) Actual condition = 32°C – 30°C = 2°C

ထို့ကြောင့် 2°C ကို 5°C ဖြင့်စားလျှင်(2/5 =40%) rated capacity ၏ ၄၀%ဖြစ်သည်။)

VSD တပ်ဆင်ပြီး fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို လျှော့ချကာ စွမ်းအင်ချွေတာခြင်း(energy saving) ပြုလုပ်နိုင်သည်။ အထွက်ရေအပူချိန်(condenser leaving water temperature)ကို 30°C အဖြစ် set point ထားကာ fan ကို မောင်းနိုင်သည်။

Theoretical fan power consumption =$(0.4)^3$ x 15= 1kW

Saving in Power consumption =(15-1)= 14 kW

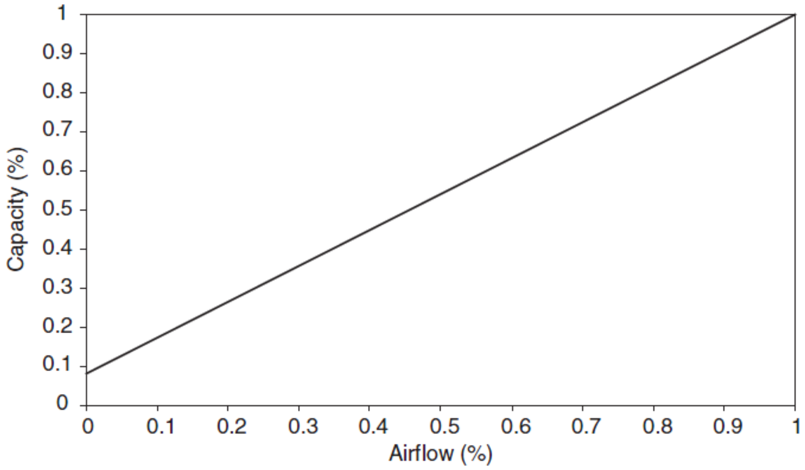
အချို့သော အဆောက်အဦများတွင် နေ့အချိန်တွင် မောင်းမည့် အမြင့်ဆုံး(peak) cooling load ကို အခြေခံ၍ cooling tower များကို ရွေးချယ်တပ်ဆင် ထားကြသည်။ ညနေဘက် နှင့် ညဘက် off-peak cooling load သည် အလွန်နည်းသောကြောင့် အချို့သော cooling tower များကိုသာ မောင်းရန် လိုအပ်သည်။ ထိုအချိန်တွင် cooling tower fan များအားလုံးကို ပိတ်ထားသော်လည်း လိုအပ်သည့် အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)ကို ရရှိနိုင်သည်။ Condenser water ကိုသာ လည်ပတ်(circulate)စေပြီး fan များကို ပိတ်ထားခြင်းဖြင့် ဒီဇိုင်း အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(design heat rejection capacity) ၏ ၅% ရရှိနိုင်သည်။

Cooling tower တစ်လုံးရှိ fan များကို ပိတ်၍(ရပ်ထားပြီး) condenser water ကိုသာ လည်ပတ် (circulate)စေလျှင် ထို cooling tower ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(design heat rejection capacity)၏ 5% ရရှိနိုင်သည်။

ဥပမာ 500RT အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) ရှိသော cooling tower (၅)လုံး တပ်ဆင်ထားသည့် system တွင် cooling tower fan များအားလုံးကို ရပ်နားထား(switch off)ပြီး condenser water ကိုသာ လည်ပတ်စေခြင်းဖြင့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း 125 RT ရရှိနိုင်သည်။

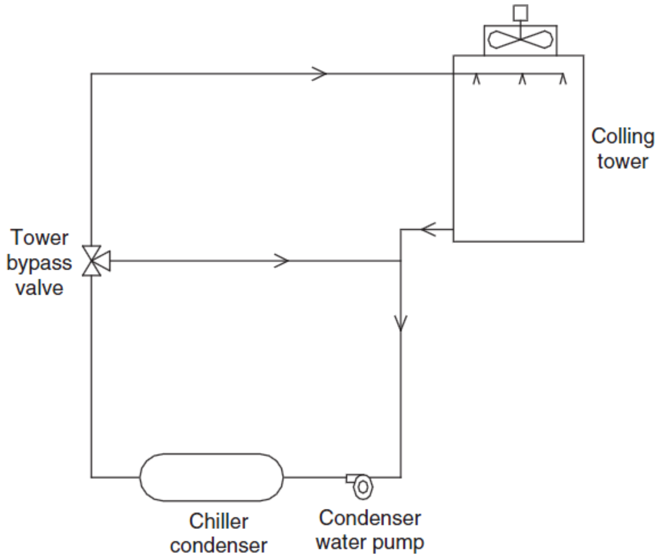
5 nos: of cooling tower x 500 RT x 0.05 = 125 RT

အနှစ်ချုပ်အားဖြင့် cooling tower အတွက် စွမ်းအင်(energy)များစွာ မလိုအပ်သော်လည်း cooling tower ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)သည် chiller ၏ operating efficiency အပေါ်တွင် သက်ရောက်မှုများစွာရှိသည်။



ပုံ ၄-၃၈ လေစီးနှုန်း(air flow) နှင့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)တို့ ဆက်စပ်မှု

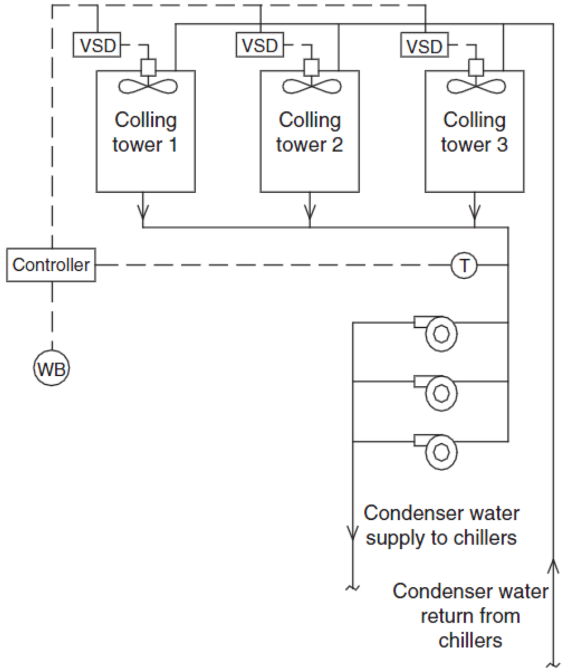
Cooling tower ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)သည် အနီးရှိလေ၏ Wet Bulb အပူချိန် ပေါ်တွင်မူတည်သည်။ ညဘက်နှင့် အေးသည့် ဆောင်းရာသီတွင် Wet Bulb အပူချိန် သည် design value ထက် ပိုနိမ့်သည်။ ထိုအခါမျိုးတွင် cooling tower သည် ပိုနိမ့်သည့် ရေအပူချိန်(lower condenser temperature)ကို ပေးနိုင်သည်။ (cooling tower ၏ approach temperature သည် ပြောင်းလဲခြင်းမရှိပေ)။ Chiller efficiency သည် အထွက်ရေ အပူချိန်(supply condenser water temperature)တွင် မူတည်သောကြောင့် ညဘက် နှင့် အေးသည့်ရာသီများတွင် အပူချိန်နိမ့်သည့် condenser water ရသောကြောင့်chiller efficiency ပိုကောင်းလာသည်။



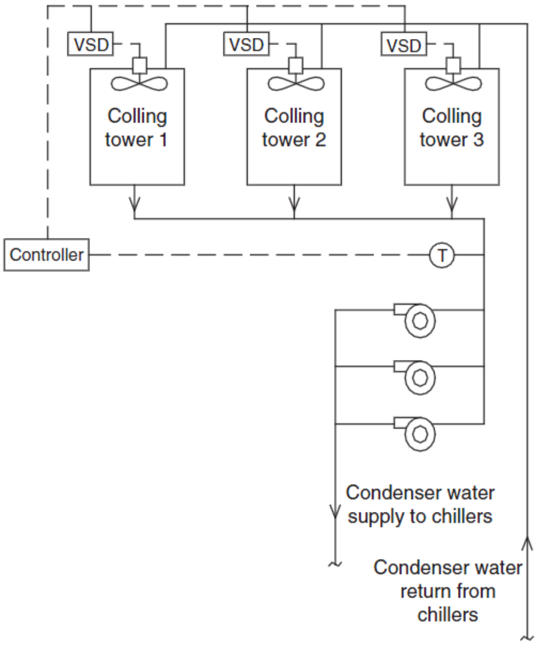
ပုံ ၄-၃၉ Condenser water circuit with bypass valve

Approach temperature သည် အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature) မှ လေထု Wet Bulb အပူချိန်ကိုနုတ်၍ ရသည့်တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။ VSD control strategy ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည့်နည်း တစ်ခုသည် set point ကို ပုံသေ(fixed)မထားဘဲ ပြောင်းလဲပေးခြင်းဖြစ်သည်။ 29.4°C

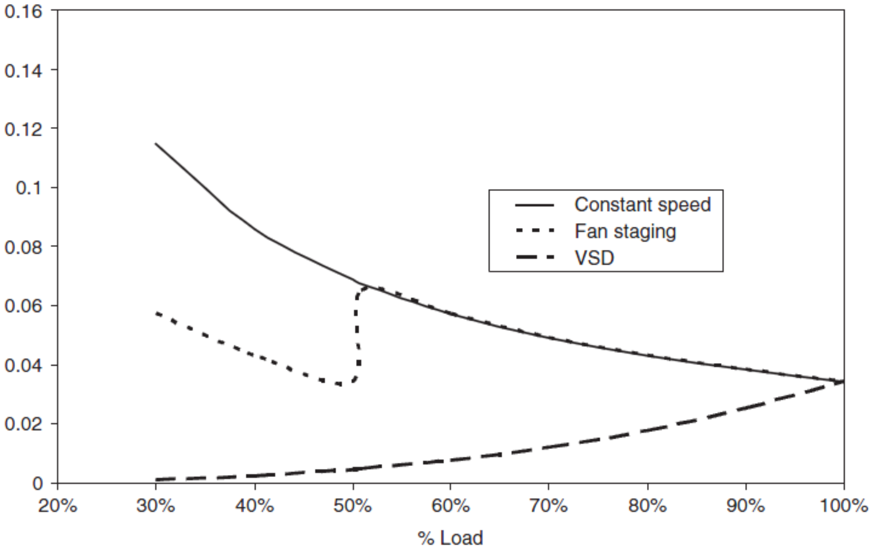
(85°F)ကို ပုံသေ set point အဖြစ် မသတ်မှတ်ဘဲ လေထု Wet Bulb အပူချိန် နှင့် approach temperature(5°F) တို့ နှစ်ခုပေါင်း တန်ဖိုးကို အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature) set point အဖြစ် သတ်မှတ်ခြင်းဖြင့် cooling tower နှင့် chiller ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption)ကို ပိုနည်းအောင် လုပ်နိုင်သည်။



ပုံ ၄-၄၀(က) Cooling tower fan control to optimize condenser water temperature.



ပုံ ၄-၄၀(ခ) Cooling towers with variable speed fans.



ပုံ ၄-၄၁ Cooling tower efficiency for different operating strategies.

ပုံ(၄-၄၁)သည် cooling tower ကို မောင်းနိုင်သည့် operating strategy သုံးမျိုးကို ဖော်ပြထားသည်။ X ဝင်ရိုး သည် cooling tower ၏ % of loading ဖြစ်သည်။ Y ဝင်ရိုးသည် cooling tower ၏ efficiency (kW/RT) ဖြစ်သည်။ kW/RT သည် fan power (kW)ကို အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) ပမာဏ(RT)ဖြင့်

စားထားခြင်းဖြစ်သည်။ အထက်ပါ ဥပမာတွင် fan မော်တာ၏ စွမ်းအား(power)သည် 15kW ဖြစ်ပြီး အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) ပမာဏသည် 500 RT ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ထို cooling tower ၏ efficiency သည် 15/500 = 0.03 kW/RT ဖြစ်သည်။

Cooling tower ၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)သည် လေစီးနှုန်း(air flow) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အားလုံး တူညီသည့် identical cooling tower နှစ်လုံးမှ ပထမအလုံးသည် မြန်နှုန်းအပြည့်(full speed) ဖြင့် မောင်းလျှင် rated capacity ကို ပေးနိုင်သည်။ ဒုတိယအလုံးသည် မြန်နှုန်းတစ်ဝက်(half speed)ဖြင့် မောင်းလျှင် rated capacity ၏ တစ်ဝက်ကိုသာ ပေးနိုင်သည်။

Fan ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption)သည် မြန်နှုန်း(speed)၏ သုံးထပ်ကိန်း(cube)နှင့် ညီမျှသောကြောင့် ဒုတိယ cooling tower၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုသည် (0.5^3 = 0.125) 12.5% of rated power သာဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် cooling tower တစ်လုံးတည်းကို မြန်နှုန်းအပြည့်(full speed) ဖြင့်မောင်းခြင်းထက် ပုံစံတူ(identical) cooling tower နှစ်လုံးကို မြန်နှုန်းတစ်ဝက်(half speed)နှင့် မောင်းခြင်းဖြင့် စွမ်းအင်(energy) 50% (12.5% x 2 cooling tower = 50%) ချွေတာ(save) နိုင်သည်။ တူညီသော အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)ကိုလည်း ရရှိသည်။ ရရှိသည့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) တူညီသော်လည်း ထည့်ပေးရသည့် စွမ်းအင်(energy) ပမာဏသည့် ၅၀% ခန့် လျော့နည်းသည်။

ထို့ကြောင့် cooling tower အရေအတွက်များများကို ပြိုင်တူမောင်းခြင်းဖြင့် လိုအပ်သည့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(capacity)ကို ရရှိသည့်အပြင် fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကိုလည်း များစွာ လျှော့ချနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် fan စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှုန်း(power consumption)ကိုလည်း များစွာ လျှော့ချနိုင်သည်။ Cooling tower အရေအတွက် များများ မောင်းခြင်းကြောင့် ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss) လည်းနည်းကာ ပန့်အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအား(pumping power)ကိုလည်း လျှော့ချနိုင်သည်။ Cooling tower တိုင်းတွင် ရေစီးနှုန်းနည်း(lower water flow)သောကြောင့် ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure losses across the cooling tower) နည်းခြင်းဖြစ်သည်။

အဆောက်အဦတိုင်းလိုလိုတွင် တစ်လုံး သို့မဟုတ် တစ်လုံးထက် ပိုသော cooling tower များကို အရန်(standby unit)အဖြစ် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိကြသည်။ ထို အရန်(standby unit)များကို duty unit များ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းနေစဉ် အသုံးပြုရန်အတွက် သော်လည်းကောင်း၊ မောင်းနေသည် cooling tower များ စက်ချို့ယွင်း(break down)သည့်အခါတွင် အသုံးပြုရန်အတွက် သော်လည်းကောင်း တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ Duty cooling tower များ သာမက အရန်(standby unit)များကို မောင်းခြင်းဖြင့် တူညီသော အပူ ဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) ပမာဏကို ရရှိနိုင်ပြီး fan မြန်နှုန်း(speed) ကို လျှော့ချနိုင်သည်။ Fan မော်တာ မြန်နှုန်း(speed) ကို လျှော့ချပေးနိုင်လျှင် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) လျော့နည်း လာလိမ့်မည်။

၄.၁၈ Condenser Water Temperature Reset

Condenser water supply temperature ကို 0.6°C(1°F)ကျဆင်းအောင်လုပ်ခြင်းဖြင့် chiller efficiency 1% မှ 2% ပိုကောင်းလာ နိုင်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် condenser water supply temperature နိမ့်သောကြောင့် chiller ၏ condensing pressure လည်း နိမ့်လာသည်။ Condensing pressure နိမ့်သောကြောင့် differential pressure across the compressor သည်လည်း နည်းလာသည်။ ထို့ကြောင့် chiller ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption)လည်း နည်းလာသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် efficiency ပိုကောင်းလာသည်။

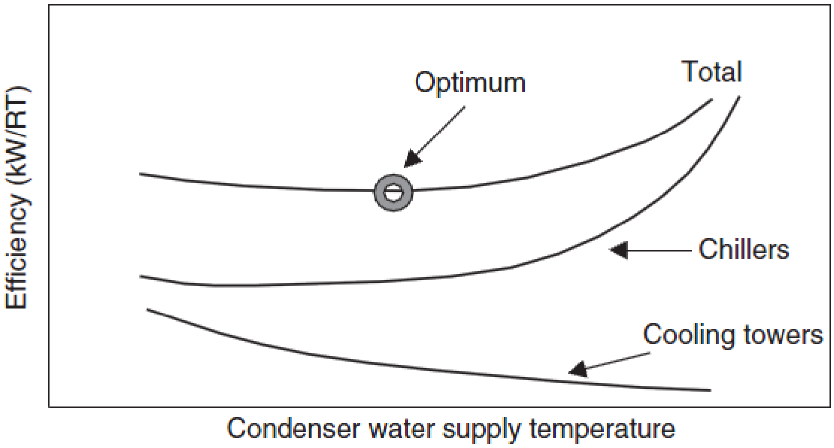
$$\textit{Set Point Temperature} = \textit{Ambient wet bulb Temperature} + \textit{Approch Temperature}$$

Approach temperature တန်ဖိုး 2.8°C(5°F)ကို အခြေခံ၍ Cooling tower များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ကြသည်။ သာမန်အားဖြင့် အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature)သည် လေထု

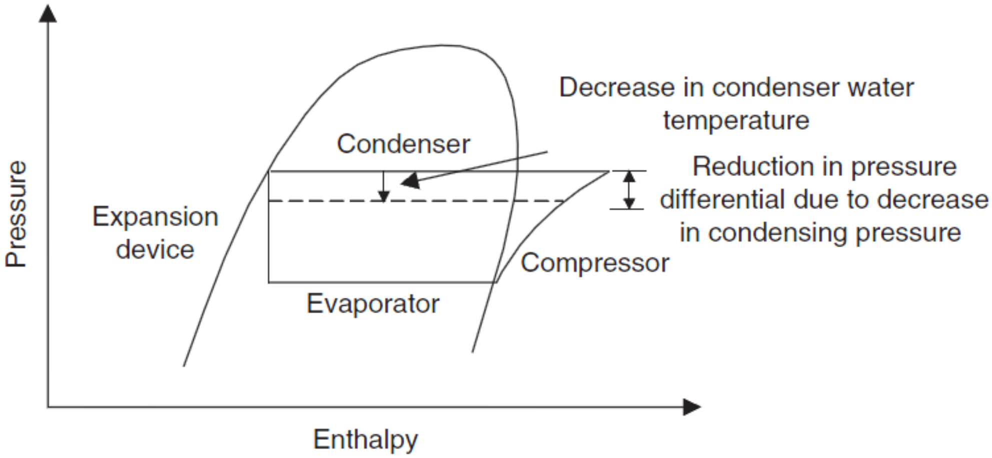
(ambient air)၏ Wet Bulb အပူချိန်ထက် 2.8°C(5°F) ပိုမြင့်လေ့ ရှိသည်။ Part load condition တွင် approach temperature သည် 2.8°C(5°F)ထက် နည်းသည်။

Condenser water supply temperature ကို ထိန်းထား(control)သည့် cooling tower များတွင် အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature)သည် ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(condition) မှ များစွာ နိမ့်သည့်အပူချိန်(temperature)အထိ ကျဆင်းသွားသည်။ ထိုသို့ off design condition အထိ ကျဆင်းမှုကြောင့် chiller ၏ efficiency သည် ပိုမို ကောင်းမွန်လာသော်လည်း cooling tower ၏ efficiency သည် အလွန်ဆိုးဝါး နေလိမ့်မည်။

အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature) မြင့်လျှင် chiller ၏ efficiency ညံ့ပြီး cooling tower ၏ efficiency အလွန်ကောင်း နိုင်သည်။ အထွက်ရေ အပူချိန်(condenser water supply temperature) နိမ့်လျှင် chiller ၏ efficiency ကောင်းလာနိုင်သော်လည်း cooling tower ၏ efficiency ညံ့ဖျင်း လိမ့်မည်။ Optimum point သည် chiller efficiency နှင့် cooling tower efficiency နှစ်ခုပေါင်း၏ အကောင်းဆုံး efficiency ကို ပေးနိုင်သော နေရာ(point) ဖြစ်သည်။



ပုံ ၄-၄၂ Condenser water supply temperature ကို မူတည်၍ chiller နှင့် cooling tower တို့၏ efficiency ပြောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၄-၄၃ Condenser water temperature နိမ့်အောင် ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် chiller efficiency ကောင်းလာပုံ

ထို့ကြောင့် overall optimum operating point သည် condenser water ၏ အနိမ့်ဆုံး အပူချိန် (temperature) မဟုတ်ပေ။ တစ်နည်းအားဖြင့် အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature) နိမ့်လာလေ chiller efficiency ကောင်းလာလေ ဖြစ်သော်လည်း system efficiency (chiller ၊ pump နှင့် cooling tower နစ်ခုပေါင်း) ပိုကောင်းလာလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

Optimum operating point သည် chiller plant room တစ်ခု နှင့်တစ်ခု မတူညီနိုင်။ System design၊ equipment တစ်ခုချင်းစီ၏ efficiency နှင့် configuration တို့ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ထို optimum point ကို အလွယ်တကူ ရရှိရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

၄.၁၉ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခြင်း(Maintenance)

Cooling tower တစ်ခု၏ အခြေအနေ(condition)သည် water spray system ၊ fill packing နှင့် fan တို့၏ အခြေအနေ ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ပုံမှန် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

Spray system အလုပ်ကောင်းကောင်း မလုပ်သည့်အခါ ရေများသည် fill packing ပေါ်သို့ အညီအမျှ မကျရောက်ဘဲ ဘားများ(discharge bar)ပေါ်သို့ ရေများ တိုက်ရိုက်ရောက်ရှိသွားသည်။ Infill သို့မဟုတ် fill packing များ ပျက်စီးနေပါက ကောင်းစွာ အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer) ဖြစ်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

Cooling tower fan များသည် ပန်ကာကြိုးဖြင့်မောင်းသည့်(belt driven) fan များ ဖြစ်ကြသည်။ ပန်ကာကြိုးတင်းအား(belt tension)မမှန်ခြင်း၊ alignment မမှန်ခြင်း၊ slip ဖြစ်မှုများခြင်း တို့ကြောင့် လိုအပ်သည့် လေစီးနှုန်း(air flow)ကို မရရှိနိုင်ပေ။ Spray များကောင်းစွာ အလုပ်မလုပ်ခြင်း ၊ fill များ ပျက်စီးနေခြင်း နှင့် fan မြန်နှုန်း(speed) နေးခြင်း တို့ကြောင့် cooling tower ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကျဆင်းခြင်း 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။

၄.၂၀ Make Up Water

Cooling tower မှ ရေဆုံးရှုံးမှု(water loss)ဖြစ်ပေါ်ရသည့်အကြောင်းများမှာ

(၁) Evaporation loss

(၂) Drift loss နှင့်

(၃) Blown down loss သို့မဟုတ် bleed off loss တို့ကြောင့် ဖြစ်သည်။

ထိုအချက် သုံးချက်လုံးကို သေချာစွာတွက်ချက်နိုင်မှသာ make up water system ကိုသေချာစွာ ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်နိုင်မည်ဖြစ်သည်။

(က) **Evaporation loss:** ရေ၏ heat of vaporization သည် 1045 Btu/lb at 85°F(29.4°C) ဖြစ်သည်။ Condenser water သည် စုပ်ယူထားသော အပူများသည် cooling tower သို့ရောက်သည့်အခါ စွန့်ထုတ်ပစ်ပြီး ရေများကို ရေငွေ့(vapor)အဖြစ်သို့ ပြောင်းစေသည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် Condenser water temperature သည် 35°C မှ 29.4°C အတွင်းဖြစ်သည်။ 85°F(29.4°C) အပူချိန်တွင် ရေတစ်ပေါင်သည် 1045 Btu အပူပမာဏကို သယ်ဆောင်ပြီး ရေငွေ့(water vapor)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားကာ လေထဲသို့ ရေငွေ့ပျံသွားသည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် condenser ရေစီးနှုန်း(water flow rate) 1 GPM (Gallon per Minute)အတွက် 1°F range ကျဆင်းရန် အောက်ပါအတိုင်း တွက်ချက်နိုင်သည်။

Flow: 1GPM (equivalent to 500 lb/hr)

Range: 1°F

$$Q = \frac{1gal}{min} \; x \; 8.34 \; \frac{lb}{gal} \; x \; \frac{60min}{hr} \; x \frac{1btu}{lb\,°F} \; x \; 1°F \; = \; 500\frac{Btu}{hr}$$

Heat of vaporization = Q1 = 1045 Btu/lb

Evaporation rate = B = 500 Btu/hr ÷ 1045 Btu/lb = 0.478 lb/hr

Evaporation rate 0.478 lb/hr သည် 0.1% of condenser water flow rate per °F range ဖြစ်သည်။ Range 10°F ကို အခြေခံလျှင် ရေစီးနှုန်း(condenser water flow rate)၏ 1% ပမာဏခန့် ရေဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။ HVAC application များတွင် ယေဘုယျအားဖြင့် အသုံးပြုလေ့ ရှိသည်။

(ခ) **Drift loss:** Drift loss ပမာဏကို cooling tower ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)များမှ ပေးလေ့ရှိသည်။ HVAC cooling tower များ၏ drift loss သည် 0.1% မှ 0.2% အတွင်း ဖြစ်သည်။

(ဂ) **Blown down loss:** water treatment program များ၌ ရှိသင့်ရှိထိုက်သော cycle of concentration ကို သတ်မှတ်လေ့ ရှိသည်။

Cycle of concentration ဆိုသည်မှာ condenser water အတွင်း၌ ပျော်ဝင်နေသည့် အရာဝတ္ထုများ (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။

ဥပမာ - Cooling tower တစ်လုံး၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)သည် 870kW ဖြစ်သည်။ Water treatment အတွက် 1200 ppm hardness အထိ လက်ခံနိုင်သည်။ အခုလက်ရှိ condenser water ၏ အခြေအနေ သည် 560 ppm ဖြစ်သည်။ ရေမည်မျှကို ဖောက်ထုတ် ရမည်နည်း။ Make up water ပမာဏ မည်မျှ လိုအပ်မည်နည်း။

Cooling tower heat rejection capacity = 870 kW

Latent heat of water vapor = 2420 kJ/kg

Rate of evaporation = 870/2420 = 0.36 kg/s

Rate of make up = 0.36[$\frac{0.0012}{0.0012-0.0056}$] = 0.68 kg/s

Rate of bleed off = 0.68 - 0.36 = 0.32 kg/s

Mass of solid entering = mass of solid leaving

$$Cm\,x\,Wm = Cb\,x\,(Wm - We)$$

$$Wm = We\,[\frac{Cb}{Cb-Cm}]$$

လေ၏ specific heat capacity(1.02 kJ/kg °K)သည် ရေ၏ specific heat capacity ထက် နည်းသောကြောင့် တူညီသော အပူပမာဏကို ဖယ်ထုတ်ရန် ထုထည်များများ လိုအပ်သည်။ လေ၏ specific volume များသောကြောင့် air cooled condenser များတွင် လေစီးနှုန်း(air volume flow rate) များများ လိုအပ်သည်။ ရေ၏ specific heat capacity သည် လေထက် ပိုများသောကြောင့် water cooled condenser များအတွက် ရေစီးနှုန်း(water volume flow rate) နည်းနည်းသာ လိုအပ်သည်။

8 kW အပူပမာဏကို ဖယ်ထုတ်ပစ်ရန်အတွက် အပူချိန်ခြားနားချက်(temperature difference) 10°C ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် ပြင်ပလေအပူချိန်(outdoor air tempeature)သည် 15°C မှ 25°C (15+10) အပူချိန်ထိရောက်အောင် မြင့်တက်သွား လိမ့်မည်။

အမြင့်ဆုံးလေ၏ အပူချိန်(maximum outdoor air temperature)ကို အခြေခံ၍ condenser များ၏ design load ကို တွက်ချက် ကြသည်။

ပထမ ဥပမာ မှ 350 kW cooling capacity နှင့် 450 kW အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)အတွက် water cooled condenser ကိုသာ အသုံးပြုလျှင် 9.8 Liter/sec သာ လိုအပ်သည်။

ဥပမာ - 930 kW အပူပမာဏကို ဖယ်ထုတ်(reject)ရန်အတွက် condenser တစ်ခု၏ အပူချိန်ခြားနားချက် (temperature difference) သည် 5.2°C ဖြစ်လျှင် ရေစီးနှုန်း(water flow rate) မည်မျှ လိုအပ်မည်နည်း။

$$Q = m.Cp.\Delta T$$

$\Delta T = 5.2$ Cp for water = 4.19 kJ/kgK

$m = 930 \div (5.2 \times 4.19) = 43$ kg/s

Cooling tower များသည် ထုထည်ကြီးမားသော ရေမှ အပူများကို ရေငွေ့ပျံစေခြင်းဖြင့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(evaporative cooling)နည်းဖြင့် စွန့်ထုတ်(reject)သည်။ Evaporative cooling ကြောင့် ရေဆုံးရှုံးမှု(water loss)ဖြစ်ပေါ်သည်။ Cooling tower မှ leaving condenser temperature သည် outdoor air Wet Bulb အပူချိန် ထက် 3°C မှ 8°C မြင့်သည့် အပူချိန် ဖြစ်သည်။

> အပူပမာဏ 1kW ကို စွန့်ထုတ်(reject)ရန် အတွက် ရေဆုံးရှုံးမှု(water loss)ပမာဏသည် 0.00041 kg ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရေ 1kg ဆုံးရှုံးလျှင် 2430 kJ ပမာဏ အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) ဖြစ်ပေါ်သည်။

ဥပမာ Condenser load သည် 400 kW ဖြစ်လျှင် 0.16 kg/s နှုန်းဖြင့် ရေဆုံးရှုံးမည်။

> Cooling tower အရွယ်အစား ကြီးလေ၊ အပူကူးပြောင်းနိုင်သည့်(heat transfer) ဧရိယာများလေ၊ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) များလေ ဖြစ်ပြီး ရေဆုံးရှုံးမှုလည်း များလိမ့်မည်။

ထို့ကြောင့် condenser water system အတွင်း၌ ရေပမာဏလျော့နည်းလာသည့်အတွက် ရေထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ရေထပ်ဖြည့်ပေးသည့် ပိုက်ကို make up water pipe ဟုခေါ်ပြီး ထည့်ဖြည့် ပေးရသည့် ရေကို make up water ဟုခေါ်သည်။

မည်သည့်ရေမျိုးဖြစ်ပါစေ ရေတိုင်းတွင် ပျော်ဝင်နေသည့် ဓာတ်သတ္တုများ(dissolved salts)ပါဝင်သည်။ ရေများ ရေငွေ့ပျံ(evaporate)သွားသည့်အခါ ပျော်ဝင်နေသည့် ဓာတ်သတ္တုများ(dissolved salts)ရေထဲ တွင် ဆက်လက် ကျန်ရှိနေဆဲ ဖြစ်သည်။ ထပ်ဖြည့်သည့်ရေ(make up water)နှင့်အတူ dissolved salt များထပ်မံရောက်ရှိလာသဖြင့် ရေထဲတွင် dissolved salt များ အချိန်နှင့်အမျှ များပြားလာသည်။ ထိုကဲ့သို့ များပြားလာခြင်းကို ဓာတ်သတ္တုများ ပါဝင်နေမှုပြင်းအား(dissolved salt concentration) မြင့်လာသည်ဟု ပြောလေ့ရှိသည်။

Concentration မြင့်သည့် condenser water များကို ဖောက်ထုတ်ပြီး ရေအသစ်ကို ထပ်ဖြည့်ခြင်းဖြင့် ပုံမှန် ရှိသင့်သော concentration level သို့ရောက်အောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ထိုသို့ဖောက်ထုတ်ခြင်း ကို "**Bleed Off**" လုပ်သည်ဟု ခေါ်သည်။ ဖောက်ထုတ်သည့်ရေကို "**bleed off water**" ဟု ခေါ်သည်။

ပျော်ဝင်နေသည့် ဓာတ်သတ္တုများ ပါဝင်မှုများခြင်း(high concentration)ကို ရေစေးခြင်း(hardness) ဖြစ်သည် ဟုလည်း ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ ရေစေးခြင်း(hardness)ကို တိုင်းသည့် ယူနစ်(unit)သည် ppm ဖြစ်သည်။ PPM သည် Parts Per Million ၏ အတိုခေါက် ဖြစ်သည်။

၄.၂၁ ဖြည့်ရေကန် အရွယ်အစား တွက်ခြင်း (Makeup Water Tank Size)

Cooling tower မောင်းနေစဉ် condenser water များသည် အချိန်နှင့်အမျှ တဖြည်းဖြည်း လျော့နည်း လေ့ရှိသည်။ အောက်ပါအဓိက အကြောင်းသုံးခုကြောင့် condenser water လျော့နည်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။

(၁) Condenser water များ ရေငွေ့ပျံသွားခြင်း (evaporation loss)

(၂) ပန်ကာ မှုတ်အား သို့မဟုတ် စုပ်အားကြောင့် ရေစက်များ cooling tower အပြင်ဘက်သို့ လွင့်စဉ် ထွက်သွားခြင်း(drift loss)နှင့်

(၃) ရေများကို ဖောက်ချခြင်း၊ "Blow Down"လုပ်ခြင်း သို့မဟုတ် "Drain" လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ (blow down loss)

(၁) ရေငွေ့ပျံခြင်းကြောင့်ဖြစ်သော ရေဆုံးရှုံးမှု (Evaporation Loss)တွက်နည်း

အောက်ပါ ပုံသေနည်းကို အသုံးပြု၍တွက်သည်။

$$We = \frac{Q}{600} = \frac{(T_1 - T_2)\ x\ W_c}{600}$$

We = Evaporation loss (Kg/ hour)

Q = Heat load (k Cal/ hour)

600 = Water evaporation heat(k Cal/ hour)

T_1 = Inlet water temperature(°C)

T_2 = Outlet water temperature(°C)

W_c = Circulating water flow(Kg/ hour)

လိုအပ်သည့်အချက်အလက်များ

T_1 = 35.0°C (Entering condenser water temperature)

T_2 = 29.5°C (Leaving condenser water temperature)

L = 45.86 Liter/Sec (condenser water flow rate)= 165,096 Liter/hour
= 165,096 Kg/hr. (Specific Gravity of water = 1.0)

တွက်နည်း

$$Evaporation\ Loss\ (We) = \frac{(35 - 29.5)\ x\ 165,096\ \text{Kg/hr}}{600}$$

We =1,513 Kg/ hour

(၂)Carry Over သို့မဟုတ် Drift Loss ကြောင့်ဖြစ်သော ရေဆုံးရှုံးမှု(Water Loss) တွက်နည်း

Carry-over ဖြစ်ခြင်းကြောင့် ရေများ ဆုံးရှုံးရခြင်းသည် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ထားသည့် cooling tower အပူ ဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)နှင့် လေအလျင်(velocity) အစရှိသည်တို့ အပေါ်တွင် မူတည် သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် carry over loss သို့မဟုတ် drift loss သည် ၀.၂% မှ ၀.၃% အတွင်း ဖြစ်နိုင်သည်။

၀.၂% ဖြစ်သည့်ဟု ယူဆလျှင်

Wco = 0.20% x 165,096

Wco = 330 kg/hr

(၃) Blow Down လုပ်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်သော ရေဆုံးရှုံးမှု(Water Loss) တွက်နည်း

ပုံမှန် blow-down ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် ရေများ လျော့နည်းသွားသည်။ Blow down loss သည် လည်ပတ်နေသော ရေပမာဏ၏ ၃% ဖြစ်သည်။

$$Wb = 0.3\% \, x \, Wc = 0.003 \, x \, 165{,}096 \;\; Wb = 495 \, kg/hour$$

(၄) ပြန်ဖြည့်ရမည့် ရေပမာဏကို တွက်ချက်ခြင်း (Make-up Water Requirement)

စုစုပေါင်း make-up water circulating flow rate သည်

$$Makeup\, Water(Mw) = We + Wco + Wb$$

= 1,513 + 330 + 495

= 2,041 kg/hr per cooling tower

အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) 242RT ရှိသော cooling tower တစ်လုံးသည် တစ်နာရီမောင်းတိုင်း ရေ(၂၀၄၁)ကီလိုဂရမ်(2,041 kg) ဆုံးရှုံးလိမ့်မည်။ ရေ၏ သိပ်သည်းဆသည် 1000kg/m^3 ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် အထက်ပါ cooling tower တစ်လုံးကို ဝန်အပြည့်(full load)ဖြင့် မောင်းလျှင် တစ်နာရီလျှင် ရေထုထည် နှစ်ကုဗမီတာ(2 m^3) ဆုံးရှုံးသည်။

Cooling towers သုံးလုံး ရှိသည့်အနက် cooling towers နှစ်လုံးသည် တစ်ပြိုင်နက်မောင်းနေပြီး ကျန်တစ်လုံးသည် အရန်အနေအထား(standby) ဖြစ်နေပေလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် ပြန်ဖြည့်ရမည့် ရေပမာဏကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

လိုအပ်သော make-up water ပမာဏမှာ

M_w = 2,041 kg/hour x 2

= 4,082 kg/hour (တစ်နာရီလျှင် ရေ 4,082 kg လိုအပ်သည်။)

(၅) ဖြည့်ရေကန် ပမာဏ တွက်ချက်ခြင်း (Make-up Water Storage tank)

ရေလှောင်ကန်(water storage tank)အရွယ်အစားကို ရနိုင်သည့်နေရာ(space available)ကို လိုက်၍ သင့်လျော်သည့် အရွယ်အစား ရွေးချယ်နိုင်သည်။ သို့သော် (၇၂)ကုဗမီတာထက် မနည်းရန် လိုသည်။

Total water requirement = 4,082 kg/hr x 18 hours

=73,476 kg ((၁၈) နာရီမောင်းလျှင် ရေအလေးချိန် (၇၃ ၄၇၆)ကီလိုဂရမ် လိုအပ်သည်။)

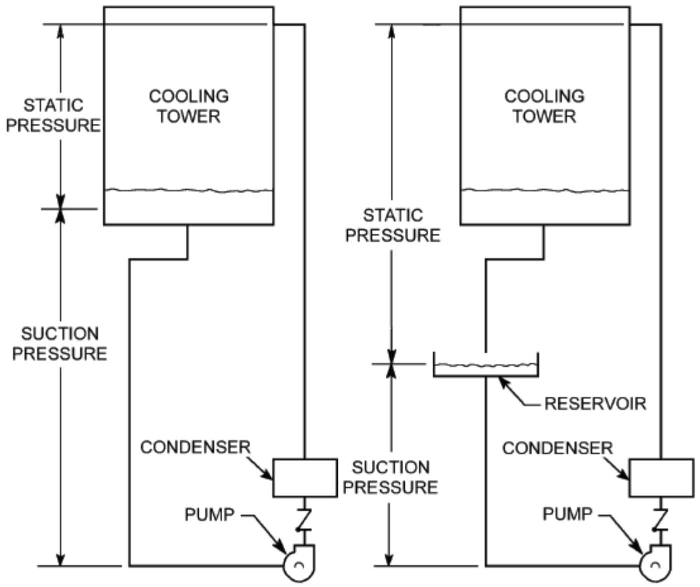
ရေလှောင်ကန်(water storage tank)အရွယ်အစား မှာ

3m(W) x 8m(L) x 3m(H) = 72 m^3 ဖြစ်သည်။

Make-up Water ကို သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားရမည့် ရေလှောင်ကန်(storage tank)၏ အရွယ်အစားသည် cooling tower နှစ်လုံးမောင်းသည့်အခါ ကုန်ဆုံးသွားမည့် ရေပမာဏကို (၁၈)နာရီကြာအောင် ပေးနိုင်စွမ်း ရှိရမည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် စည်ပင်မှရေ သို့မဟုတ် ပြင်ပမှရေ လုံးဝမရရှိဘဲ ရေလှောင်ကန်(storage tank)မှ ရေဖြင့် cooling tower နှစ်လုံးသည် (၁၈)နာရီကြာအောင် ပုံမှန်မောင်းနှင် လည်ပတ်နေနိုင်ရမည်။

၄.၂၂ Cooling Tower Piping



ပုံ ၄-၄၄ Schematic piping layout showing static and suction pressure

၄.၂၃ လေ့ကျင့်ရန် မေးခွန်း နှင့် အဖြေများ

Question -1 Cooling tower တစ်လုံးကို condenser water 50 Liter/Sec နှုန်းဖြင့် အပူချိန် 35°C မှ 30°C သို့ ရောက်အောင် ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ထားသည်။ လေထု၏ Wet Bulb အပူချိန် သည် 28.5°C ဖြစ်သည်။

သို့သော် cooling tower အမှန်တကယ် မောင်းနေ(operating)သည့်အချိန်တွင် အဝင်ရေအပူချိန် (temperature of leaving water)သည် 32°C ဖြစ်သည်။ ဤကဲ့သို့ actual leaving water temperature သည် ဒီဇိုင်းအပူချိန်(design temperature)ထက် မြင့်ရသည့် အကြောင်းကို ရှာပါ။ ဖြစ်နိုင်ခြေ အကြောင်း (possible reason)များကို ရှာပါ။ မည်ကဲ့သို့ ပြုပြင်ရမည်ကို ဖော်ပြပါ။

Actual operating condition များမှာ

Water flow rate = 48 Liter/Sec

Entering water temperature = 34°C

Wet-Bulb temperature of air entering the CT = 28°C

Question-2 Cooling tower တစ်လုံးသည် ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသည့် ရေစီးနှုန်း(water flow rate)၊ entering condenser water temperature နှင့် ambient Wet Bulb တို့တွင် မောင်းနေသော်လည်း သတ်မှတ်ထားသော အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(rated heat rejection capacity)ကို မရရှိပေ။ Cooling tower အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် entering air ၏ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb တို့၏ အပူချိန်သည် ambient ၏ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb ထက်ပို၍ မြင့်မားနေသည်ကို တွေ့ရသည်။ အဘယ်ကြောင့် cooling tower သည် သတ်မှတ်ထားသော အပူဖယ်ထုတ် နိုင်စွမ်း(rated capacity)ကို မပေးနိုင်ပါသနည်း။

Question-3 Cooling tower သည် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) 250 RT ရှိပြီး 15kW Fan မော်တာကို မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed)ဖြင့် မောင်းသည်။ Cooling tower ၏ actual operating conditioning သည် rated capacity ၏ 60% ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ VSD တပ်ဆင်၍ ထို cooling tower ကို သတ်မှတ်ထားသော အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(rated capacity)၏ ၆၀% ဖြင့် မောင်းလျှင် စွမ်းအင်(energy) မည်မျှ ချွေတာ(save) နိုင်မည်နည်း။

Question-4 Cooling tower အကြီးနှစ်လုံးသည် တစ်လုံးမောင်းနေသည့် အချိန်တွင် တခြားတစ်လုံးမှ အရန်(stand by unit)အဖြစ် မမောင်းဘဲ ရှိနေသည်။ ထို cooling tower အသေးနှစ်လုံးတွင် 15 kW Fan မော်တာ တပ်ဆင်ထားသည်။ ထို cooling tower နှစ်လုံးလုံးတွင် VSD တပ်ဆင်ပြီး နှစ်လုံးလုံးကို တစ်ပြိုင်နက် 50% load ဖြင့်မောင်းလျှင် fan power မည်မျှ ချွေတာ(save)နိုင် မည်နည်း။ Cooling tower နှစ်လုံး ၅၀% ဖြင့် မောင်းခြင်းသည် cooling tower တစ်လုံးတည်း ၁၀၀% မောင်းသည့် တူညီသည့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) ကိုရသည်။

Question-5 Cooling tower သုံးလုံး၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)သည် 500 RT ဖြစ်ပြီး တခြားတစ်လုံးသည် 250 RT ဖြစ်သည်။ ထို cooling tower အားလုံးသည် fan ကို switch off လုပ်လိုက်သည့်အခါ သတ်မှတ်ထားသော အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(rated capacity)၏ ၅%ကို ပေးနိုင်သည်။ ထို cooling tower လေးလုံး၏ fan များကို ပိတ်ပြီး မောင်းလျှင် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း စုစုပေါင်း(total heat rejection capacity) မည်မျှ ရရှိနိုင် မည်နည်း။

(500RT x 3 no of cooling tower x 0.05) + (250RT x 1 no of CT x 0.05) = 87.5 RT

Multiple Choice Question (MCQ)

1. The type of Cooling Towers with maximum heat transfer between air to water is ___.

   (a) Natural draft (b) Mechanical draft (c) Both a & b (d) Neither a nor b

2. Natural draft Cooling Towers are mainly used in ____.

   (a) Steel industry (b) Alumina industry (c) Fertilizer industry (d) Power

3. In counter flow induced draft cooling towers water and air both enter the top and exist at the top of the Cooling Tower.

   State whether True or False?

4. The range of the cooling tower is determined by the connected heat load –

   True or False?

5. Match the following cooling tower parameters

(a) Range	(i) Close to Wet Bulb temperature
(b) Approach	(ii) Related to ambient conditions
(c) Out let water temperature	(iii) Higher temperature difference

6. Better indicator for cooling tower performance is ____.

   (a) Wet Bulb temperature (b) Dry Bulb temperature (c) Range (d) Approach

7. Cooling tower effectiveness is the ratio of____.

   (a)Range/(range + approach) (b)Approach/(range + approach)
   (c)Range/ approach (d)Approach/Range

8. Cooling tower reduces circulation water temperature close to____.

   (a) Dry Bulb temperature (b) Ambient Wet Bulb Temperature (WBT)

(c) Dew point temperature (d) None of the above

9. The ratio of dissolved solids in circulating water to the dissolved solids in make up water is termed as ____.

(a) Liquid gas ratio (b) Cycles of concentration
(c) Cooling tower effectiveness (d) None of the above

10. Which one of the following has maximum effect on cooling tower performance:

(a) Fill media (b) Drift (c) Louvers (d) Casing

11. Which one of the following is true to estimate the range of Cooling Tower?

(a) Range = Cooling water inlet temperature – Wet Bulb temperature

(b) Range = Cooling water outlet temperature – Wet Bulb temperature

(c) $\text{Range} = \frac{\text{Water Load in kcal per hr}}{\text{Water Circulation liter per hr}}$

(d) None of the above

12. A cooling tower is said to be performing well when:

(a) approach is closer to zero (b) range is closer to zero

(c) approach is larger than design (d) range is larger than design

13. Heat release rate to the cooling tower in vapor compression refrigeration system is equal to:

(a) 63 kcal/min/ton (b) 500 kcal/min/ton

(c) 127 kcal/min/ton (d) 220 kcal/min/ton

14. The operating temperature level in the plant or process connected with a cooling tower is determined by:

(a) Dry Bulb temperature (b) Wet Bulb temperature

(c) Hot water temperature from the process (d) Cold water temperature into the process

15. Which one of the following fill material is more energy efficient for cooling tower :

(a) Splash fill (b) Film-fill
(c) Low clog film fill (d) None of the above

16. Which one from the following types of Cooling Towers consumes less power?

(a) Cross-flow splash fill Cooling Tower (b) Counter flow splash fill cooling tower

(c) Counter flow film fill Cooling Tower
(d) None of the above

17. L / G ratio in cooling tower is the ratio of ___.

(a) Length and girth
(b)Length and Temperature gradient
(c) Water flow rate and air mass flow rate
(d)Air mass flow rate and water flow rate

18. Normally the guaranteed best approach a cooling tower can achieve is ___.

(a) 5 °C
(b) 12 °C
(c) 8 °C
(d) 2.8 °C

19. The temperature selection normally chosen for designing of cooling tower is ___.

(a) Average maximum Wet Bulb for summer months
(b) Average maximum Wet Bulb for rainy months
(c) Average maximum Wet Bulb for winter months
(d) Average minimum Wet Bulb for summer months

20. Select the statement which is true for a FRP fan.

(a) It needs low starting torque
(b) Increases life of gear box
(c) Easy handling and maintenance
(d) All the above

မေးခွန်းတိုများ နှင့် အဖြေများ (Short Questions and Answers)

1. Mechanical draft cooling tower တစ်လုံး၏ လေစီးဆင်းမှု ပုံစံ(air flow arrangements) အမျိုးမျိုးကို ဖော်ပြပါ။

Mechanical draft cooling tower တစ်လုံးတွင် ပြုလုပ်ထားရှိနိုင်သည့် လေစီးဆင်းမှု ပုံစံ(air flow arrangements) အမျိုးမျိုးမှာ

(a) Counter flow induced draft
(b) Counter flow forced draft နှင့်
(c) Cross flow forced draft တို့ ဖြစ်သည်။

2. Cooling tower fan ၏ ဒလက်(blade)အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်သည့် ပစ္စည်း(material) အမျိုးအစားများကို ဖော်ပြပါ။

Cooling tower fan ၏ blade အဖြစ်အသုံးပြုနိုင်သည့် material အမျိုးအစားများမှာ

(1) Aluminum blades(metallic)
(2) Glass Reinforced Plastic(GRP) နှင့်
(3) Fiber Reinforced Plastic(FRP)တို့ ဖြစ်သည်။

3. Evaporative cooling tower တစ်လုံးတွင် ပါရှိရမည့် အခြေခံအစိတ်အပိုင်း(basic component) များကို ဖော်ပြပါ။

Evaporative cooling tower တစ်လုံးတွင် ပါရှိရမည့် အခြေခံအစိတ်အပိုင်း(basic component) များမှာ

Frame and casing ၊ fill ၊ cold water basin ၊ drift eliminators ၊ air inlet ၊ louvers ၊ nozzles နှင့် fans တို့ ဖြစ်သည်။

4. အောက်တွင်ပါရှိသော အချက်အလက်များကို အသုံးပြု၍ cooling tower တစ်လုံး၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)ကို ခန့်မှန်းပါ။ RT ဖြင့် ဖော်ပြပါ။

Estimate the cooling tower capacity(TR)with the following parameters

Water flow rate through CT	=	120 m^3/h
SP. heat of water	=	1 k.Cal/kg °C
Inlet water temperature	=	37 °C
Outlet water temperature	=	32 °C
Ambient WBT	=	29 °C

$$\boldsymbol{Cooling\ tower\ capacity(TR) = (flow\ rate\ x\ density\ x\ sp.heat\ x\ diff.temp)/3024}$$

= 120 x 1000 x 1 x (37-32)/3024 = 198.4TR

5. Cooling tower ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturer)အသုံးပြုလေ့ရှိသည့် design approach value ကို ဖော်ပြပါ။

Generally a 2.8 °C approach to the design Wet Bulb is the coldest water temperature that cooling tower manufactures will guarantee.

6. How a continuously monitored ambient DB and RH data can be utilised for the cooling tower design?

From the monitored DB(°C)and RH%, Wet Bulb temperature(WBT)can be arrived using psychometric chart and same is used for designing Cooling Tower. In the design of CT Wet Bulb temperature selected is not exceeded over 5 percent of the time in that area.

7. How size of cooling tower and Wet Bulb temperature are related?

Wet Bulb temperature is a factor in cooling tower selection. The higher the Wet Bulb temperature, the smaller the cooling tower required to give a specified approach to the Wet Bulbat a constant range and flow rate.

8. FRP ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည် ဒလက်များ(blades) တပ်ဆင်ထားသည့် cooling tower fan တစ်လုံး၏ feature များကို ဖော်ပြပါ။

FRP blades are normally hand mould. These blades are aerodynamic in profile to meet specific duty conditions more efficiently. Due to light weight FRP fans need low starting torque resulting in use of lower HP motors.

9. မည်သည့်အခြေအနေ(circumstances)မျိုးတွင် cooling tower ၏ မော်တာသည် ဝန်ပိုခြင်း(over load) ဖြစ်နိုင်ပါသနည်း။

Reasons for excessive electrical load on CT fan motors are:

(၁) Voltage reduction

(၂) Incorrect angle of axial fan blades

(၃) Loose belts on centrifugal fans

(၄) Over loading owing to excessive air flow-fill has minimum water loading per m3 of tower

(၅) Low ambient air temperature

10. Cooling plant တစ်ခုသည် 100 RT refrigeration ရရန် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ထားသည်။ ထို 100 RT refrigeration အတွက် compression type chiller ဖြင့် မောင်းလျှင် တပ်ဆင်ရမည့် cooling tower ၏ အရွယ်အစား(size)ကို တွက်ပါ။ ထို 100 RT refrigeration အတွက် absorption type chiller များဖြင့် မောင်းလျှင် တပ်ဆင်ရမည့် cooling tower ၏ အရွယ်အစား(size)ကို တွက်ပါ။
100 RT refrigeration အတွက် absorption type chiller ဖြင့် မောင်းလျှင် တပ်ဆင်ရမည့် cooling tower ၏ အရွယ်အစား(size)သည် compression type chiller ဖြင့်မောင်းလျှင် တပ်ဆင်ရမည့် Cooling Tower(size)ထက် နှစ်ဆခန့် ပိုများလိမ့်မည်။

11. Air conditioning တွင် သုံးသည့် compressor operation ၌ cooling water ၏ အပူချိန် (temperature)သည် မည့်ကဲ့သို့ အကျိုး သက်ရောက်မှု ရှိစေသနည်း။
Effect of cooling tower outlet water temperature on A/C compressors, 1 °C cooling water temperature rise may increase A/C compressor power consumption (kW) by 2.7%.
Cooling water ၏ အပူချိန်(temperature) 1°C ပိုမြင့်တက်လျှင် A/C compressor power consumption (kW)သည် ၂.၇% ခန့် ပို၍ များလိမ့်မည်။

12. Cooling tower တစ်လုံး၏ "Range နှင့် Approach" ကိုဖော်ပြပါ။ "Range" နှင့် "Approach" ၏ အဓိပ္ပာယ်ကို ရှင်းပြပါ။
(1) "Range" is the difference between the condenser water inlet and outlet temperature.
"Range" ဆိုသည်မှာ condenser water ၏ အဝင်အပူချိန်နှင့် အထွက်အပူချိန် ခြားနားချက်ဖြစ်သည်။
(2) "Approach" is the difference between the cooling tower outlet cold water temperature and ambient Wet Bulb temperature. Though both parameters should be monitored, the "Approach" is a better indicator of cooling tower performance.

"Approach" သည် cooling tower အထွက်(outlet) cold water temperature နှင့် ambient Wet Bulb temperature တို့၏ အပူချိန်ကွာခြားချက်ဖြစ်သည်။ ထိုအပူချိန်နှစ်ခုလုံးကို monitor လုပ်သင့်သည်။ "Approach" သည် cooling tower စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို စစ်ဆေးရန်အတွက် အကောင်းဆုံးသော indicator ဖြစ်သည်။

13. Cooling tower တစ်လုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို အကျိုးသက်ရောက်စေသည့် factor များကို ဖော်ပြပါ။

(၁) Capacity and range
(၂) Heat load
(၃) Wet Bulb temperature
(၄) Approach and water flow
(၅) Filling media

14. Cooling tower တစ်လုံး၏ effectiveness သည် ဘာကိုဆိုလိုသနည်း။

Cooling tower effectiveness in percentage is the ratio of range, to the ideal range, i.e., difference between cooling water inlet temperature and ambient Wet Bulb temperature or in other words it is = Range /(Range + Approach).

15. Cooling tower တစ်လုံး၏ evaporation loss ကို မည်သို့ တွက်ယူသနည်း။

Evaporation loss is the water quantity evaporated for cooling duty. An empirical relation used often is:

$$\text{CMH evaporation loss} = \frac{\text{Circulation Rate (CMH) x Temp Difference in C}}{675}$$

16. Cooling tower fan များတွင် အသုံးပြုသော FRP blade များ၏ အားသာချက်များ (conventional blade များနှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင်) များကို ဖော်ပြပါ။

FRP blade များသည် အကောင်းဆုံးသော(optimum) aerodynamic profile ကို ရရှိနိုင်သောကြောင့် ၂၀% မှ ၃၀% အထိ စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving) ရရှိနိုင်သည်။ အလေးချိန် ပေါ့ပါးသောကြောင့် စမောင်းသည့် အချိန်တွင် အနည်းငယ်မျှသော(low starting torque) လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် capacity ငယ်သော မော်တာသာ တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။

အလေးချိန် ပေါ့ပါးသောကြောင့် gearbox ၊ motor နှင့် bearing တို့၏ သက်တမ်း ပိုရှည်သည်။ အချိန်ကြာမြင့်စွာ အသုံးပြုနိုင်သည်။ ပြုပြင်ရန်အတွက် လွယ်ကူစွာ ဖြုတ်နိုင်၊ တပ်နိုင်သည်။

17. Cooling tower ၏ blowdown quantity ကို တွက်ယူရန် ပုံသေနည်းကို ဖော်ပြပါ။

Blow Down = Evaporation Loss /(C.O.C. – 1)

C.O.C = Cycle of concentration

18. What will be the effect of cooling water temperature in heat rate in thermal power plants?

Cooling water ၏ အပူချိန်(temperature)အနိမ့်အမြင့်သည် thermal power plant တစ်ခုအား မည်ကဲ့သို့ အကျိုးသက်ရောက် စေနိုင်သနည်း။

Effect of Cooling tower outlet water temperature on thermal power plant:

1°C temperature drop in cooling water will lead to heat rate saving of 5 kcal/kWh in thermal power plant.

Cooling water သို့မဟုတ် condenser water ၏ အပူချိန်(temperature) 1°C ကျဆင်းသောကြောင့် thermal power plant တွင် rate saving of 5 kcal/kWh ကို ရရှိစေနိုင်သည်။

19. Cooling tower များတွင် မည့်သည့် media အမျိုးအစားဖြင့် ပြုလုပ်ထာသော fill များကို အများဆုံး အသုံးပြုကြသနည်း။ Fill media နှစ်မျိုး ရှိသည်။

(၁) Splash fill media နှင့်

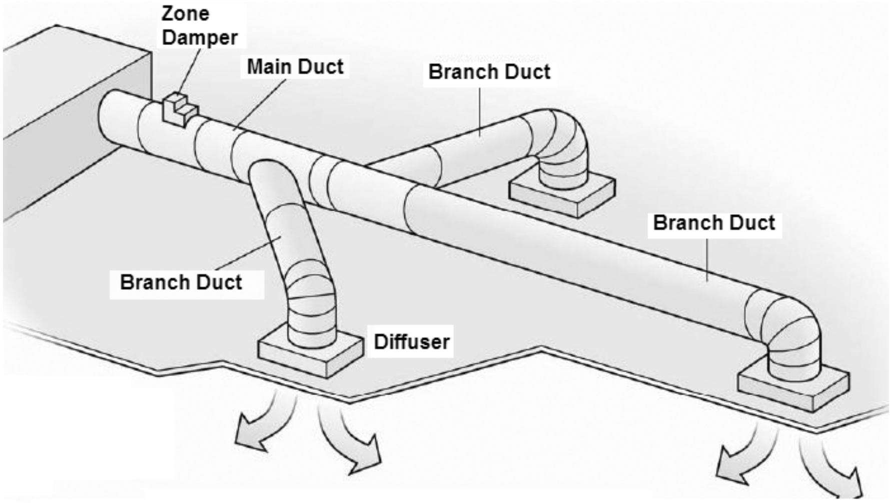
(၂) Film fill media တို့ ဖြစ်သည်။

20. Cooling tower များတွင် သုံးပြုသော fill များအနက် မည့်သည့် media အမျိုးအစားဖြင့် ပြုလုပ်ထားသော fill များသည့် ပို၍ "energy efficient" ဖြစ်သနည်း။

PVC သို့မဟုတ် polypropylene သို့မဟုတ် တခြားသော polymer တစ်မျိုးမျိုးဖြင့် ပြုလုပ်ထားသော filll များသည် ပို၍ "energy efficient" ဖြစ်ကြသည်။

End

Chapter-5 Air Distribution Systems



ပုံ ၅-၁ Air Distribution System

Air Conditioning and Mechanical Ventilation System များ၌ လေများကို လိုအပ်သည့် နေရာသို့ ရောက်အောင် ပို့ဆောင်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Mechanical Ventilation တွင်လည်း လေသန့်များ(fresh air) ပို့ဆောင်ပေးရန် နှင့် မလိုလားအပ်သည့် လေများ(exhaust air)ကို စုပ်ထုတ်ပစ်ရန် လိုအပ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ လေများ တစ်နေရာမှ တစ်နေရာသို့ ပို့ဆောင်ရန်အတွက် duct system များကို အသုံးပြုကြသည်။

Duct velocity ဆိုသည်မှာ duct အတွင်းရှိ ရွေ့လျားနေသော လေ၏မြန်နှုန်း ဖြစ်သည်။ Duct velocity အလွန်များခြင်း၊ နည်းခြင်း မဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။ လေအလျင်(velocity) အလွန်များခြင်းကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)များခြင်း၊ အသံဆူညံခြင်း(noise) နှင့် တုန်ခါခြင်း(vibration) စသည်တို့ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ လေအလျင်(velocity) အလွန်နည်းခြင်းကြောင့် လေမှ သယ်ဆောင်လာသည့် ဖုန် နှင့် အမှုန်များသည် duct ၏ အတွင်း မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် တင်ကျန်နေလိမ့်မည်။ အချိန်ကာလ ကြာမြင့်သောအခါ duct အတွင်း၌ ဖုန်များ သိမ်းဆည်းထားသကဲ့သို့ ဖြစ်နေလိမ့်မည်။

Duct နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ပုံသေနည်းများ

ဧရိယာ Area(A)

အဝိုင်းပုံသဏ္ဍာန်(round) duct ၏ ဧရိယာကိုတွက်ရန် $Area = 3.14\,x(radius)^2$

လေးထောင့် ပုံသဏ္ဍာန်(rectangular) duct ၏ ဧရိယာကို တွက်ရန် $Area = length\,x\,width$

ဧရိယာ၏ IP ယူနစ်သည် စတုရန်းပေ[square feet(ft^2)] ဖြစ်ပြီး SI ယူနစ်သည် စတုရန်းမီတာ [square meters(m^2)] ဖြစ်သည်။

Duct အတွင်း၌ စီးဆင်းသွားသော သို့မဟုတ် ဖြတ်သန်းသွားသော လေထုထည်စီးနှုန်း(volume flow rate) ကို တွက်ရန်

$$Volume\ Flow\ Rate = Velocity\ \ x\ \ Cross\ Sectional\ Area$$

လေစီးနှုန်း(flow)၏ IP ယူနစ်သည် Cubic Feet per Minute(CFM) ဖြစ်ပြီး SI ယူနစ်သည် Cubic Meters per Second(CMS) ဖြစ်သည်။ Duct velocity ၏ IP ယူနစ်သည် Feet per Minute(FPM)ဖြစ်ပြီး SI (Metric)ယူနစ်သည် Meters per Second (m/s) ဖြစ်သည်။

Velocity မှ "Velocity Pressure" သို့ပြောင်းရန်ပုံသေနည်း

$$\boldsymbol{Velocity\ Pressure(in\ Wg) = [\frac{Velocity(FPM)}{4005}]^2}$$

Where: V_P = Velocity Pressure, inches of water (inch wg)

V = Velocity, Feet Per Minute (FPM)

Frictional Losses

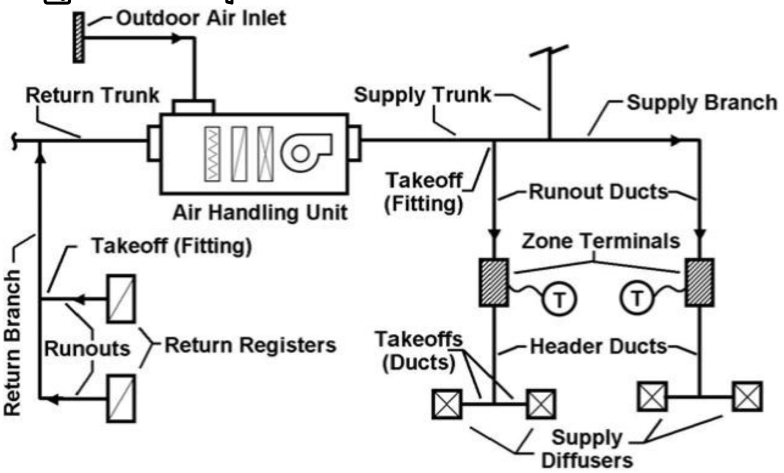
လေများ duct အတွင်း၌ စီးဆင်းသွားသည့်အခါ လေ၏စေးပျစ်မှု(fluid viscosity)နှင့် turbulence flow တို့ကြောင့် လေနှင့် duct ၏ အတွင်းမျက်နှာပြင် ပွတ်တိုက်မှု(friction) ဖြစ်ပေါ်လာကာ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု (pressure losses)ဖြစ်ပေါ်သည်။ "**Frictional Losses**" ဟုခေါ်သည်။

Dynamic Losses

Elbow ၊ reducer ၊ transformation စသည့် duct fitting များကြောင့် လေလမ်းကြောင်း(direction) သို့မဟုတ် ဧရိယာ(area) ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို flow disturbance များကို **"Dynamic Loss"** များဟု သတ်မှတ်သည်။ "Dynamic Loss" သည် ဖိအားဆုံးရှုံးမှုများ(pressure losses)ကို ဖြစ်စေသည်။

$$\boldsymbol{Total\ Pressure\ Losses\ =\ Frictional\ Losses\ +\ Dynamic\ Losses}$$

Duct နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အခေါ်အဝေါ်များ(Terms)



ပုံ ၅-၂ Duct နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အခေါ်အဝေါ်များ(duct terms)

Main Duct (Trunk)

Air Handling Unit(AHU) သို့မဟုတ် Fan Coil Unit (FCU) ၊ rooftop unit စသည်တို့နှင့် တိုက်ရိုက်ဆက်ထားသည့် duct ကို main duct (trunk) ဟုခေါ်ဆိုသည်။

Branch ducts

Main duct(trunk) မှ ခွဲထွက်သွားသည့် duct များကို "Branch Duct" ဟုခေါ်ဆိုသည်။

Duct fittings

Main duct(trunk) မှ branch duct အဖြစ် ဖြာထွက်သည့် အခွဲနေရာများကို duct fitting (takeoff point) များဟု ခေါ်သည်။ Duct fitting အမျိုးအစား များစွာရှိသည်။

Air Distribution Devices

Diffuser များ၊ register များ သို့မဟုတ် grille များ စသည့် လေထွက်ပေါက်များကို air distribution device များဟု ခေါ်သည်။

၅.၁ Duct အမျိုးအစားများ(Types)

၅.၁.၁ Duct ပုံသဏ္ဍာန်များ (Shapes of Air Duct)

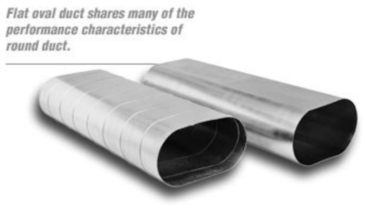
Duct များ၏ ပုံသဏ္ဍာန်ကို လိုက်၍ အမျိုးအစား သုံးမျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

Duct ပုံသဏ္ဍာန်	အားသာချက်များ	အားနည်းချက်များ
အဝိုင်းပုံသဏ္ဍာန် (Round) Duct သို့မဟုတ် Oval duct	(၁) Airflow characteristics အလွန်ကောင်းသည်။ (၂) Flexible duct များထက် ပို၍ ကြာကြာခံသည်။	(၁) Air con duct များတွင် insulation လုပ်ပေးရန် လိုသည်။
လေးထောင့် ပုံသဏ္ဍာန် (Rectangular) Duct	(၁) နေရာသက်သာသည်။ နေရာကျဉ်းကျဉ်းတွင် တပ်ဆင်နိုင်သည်။ (၂) Duct ပျော့(flexible duct) များ ထက် ပို၍ ကြာကြာခံသည်။	(၁) Insulation လုပ်ပေးရန်လိုသည်။
Insulated flexible duct	(၁) Pre-insulated duct ဖြစ်သည်။ (၂) တပ်ဆင်ရန်(installation) လွယ်ကူ သည်။ (၃) အလုပ်သမားခ(labour cost) သက်သာသည်။	(၁) Metal duct များကဲ့သို့ကြာရှည် အသုံးမပြုနိုင်ပါ။ (၂) Airflow နည်းသည်။ ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) များသည်။ (၃) ရုတ်တရက်ကွေးခြင်း (sharp bend) မဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ရမည်။

Round Duct နှင့် Oval Duct

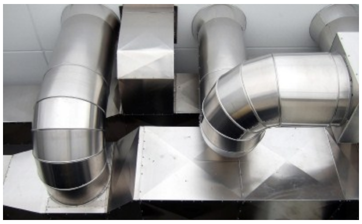
Round duct များ သည် ဈေးနှုန်းမြင့်မားသော်လည်း ဖိအားကျဆင်းမှု နည်းပြီး ပို၍ ခိုင်ခံ့ကြသည်။

Duct ပြုလုပ်သည့် စက်(automatic spiral)များဖြင့် အဝိုင်းပုံသဏ္ဍာန်(round) duct သို့မဟုတ် ဘဲဥပုံသဏ္ဍာန်(oval) duct များကို ပြုလုပ်ကြသည်။ သံမဏိပြား(galvanized steel sheet)များကို အသုံးပြု၍ လိုအပ်သည့်အရှည်(duct length) ရအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Oval duct များအတွက် Major Axis (duct width) နှင့် Minor Axis (duct depth)တို့ကို American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning (ASHRAE) သို့မဟုတ် Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association (SMACNA)မှ ဇယားများ အတိုင်း အတိအကျ ပြုလုပ်ရန် လိုသည်။



ပုံ ၅-၃ Oval duct

ပုံ ၅-၄ Round duct



ပုံ ၅-၅ Round duct

၅.၁.၂ Flexible Connection သို့မဟုတ် Flexible Duct

Fan မှ ဖြစ်ပေါ်လာသော တုန်ခါမှုများ(vibration) duct ဆီသို့ မရောက်သွားစေရန်(transmission) အတွက် fan နှင့် duct အကြားတွင် flexible connection ကို အသုံးပြုကြခြင်း ဖြစ်သည်။ Duct မှ

တုန်ခါမှုများ(vibration)ကို diffuser နှင့် ceiling သို့မရောက်စေရန် ပိုင်းခြားခြင်း(isolation)လုပ်သည့် အနေဖြင့် metal duct နှင့် diffuser အကြားတွင် flexible connector သို့မဟုတ် flexible duct ကို တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

Flexible connection ပြုလုပ်မည့် ပစ္စည်း(material)သည် မီးတောက် မဖြစ်ပေါ်စေသည့်၊ မီးတောက် မပြန့်ပွား နိုင်သည့်(flame retardant fabric) အမျိုးအစား ဖြစ်ရမည်။ မီးခိုးပြန့်ပွားနှုန်း(flame spread rating) အဆင့်(၂၅)ထက် မကျော်စေရ။ မီးခိုးဖြစ်ပေါ်နှုန်း(smoke developed rating) အဆင့်(၅၀)ထက် မကျော်စေရ။ NEPA No.255 ASTM E84 Under Writer's Lab Standard မှ စံချိန်စံညွှန်းအတိုင်း ဖြစ်ရမည်။ Flexible connection သည် လေလုံသည့်(air tight) အမျိုးအစား ဖြစ်ရမည်။ (၇)ပေ သို့မဟုတ် နှစ်မီတာ ထက် ပိုရှည်သည့် flexible duct များကို ခွင့်မပြုပေ။

၅.၁.၃ Vertical Duct and Horizontal Duct

တပ်ဆင်ထားပုံ အခြေခံ၍ duct အမျိုးအစား ခွဲခြားထားသည်။ ဒေါင်လိုက်တပ်ဆင်ထားသည့်(vertical) duct နှင့် အလျားလိုက် တပ်ဆင်ထားသည့် (horizontal) duct ဟူ၍ ခွဲခြားထားသည်။

၅.၁.၄ Supply Air Duct ၊ Return Air Duct and Outdoor Air Duct

လေအမျိုးအစားကို အခြေခံ၍ duct အမျိုးအစား ခွဲခြားထားသည်။

- **Supply Air Duct**

  အခန်းအတွင်းသို့ ထည့်ပေးမည့်(supply) လေကို သယ်ဆောင်သောကြောင့် supply air duct ဟု အမည်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ Positive pressure duct အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။
- **Return Air Duct**

  အခန်းအတွင်းမှ ပြန်လည်ရယူသည့် (return) လေကို သယ်ဆောင်သောကြောင့် return air duct ဟု အမည်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ Negative pressure duct အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။
- **Outdoor Air Duct**

  ပြင်ပ(outdoor)မှ လေကို သယ်ဆောင်သောကြောင့် outdoor air duct ဟု အမည်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။
- **Exhaust Air Duct**

  စွန့်ပစ်မည့်လေ သို့မဟုတ် စုပ်ထုတ်မည့် လေကို သယ်ဆောင်သောကြောင့် exhaust air ဟု အမည်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

Duct အရွယ်အစား(Size) နှင့် သံပြားအထူ (Sheet Thickness)

Duct အရွယ်အစား(size) နှင့် အမျိုးအစားကို လိုက်၍ လိုအပ်သည့် သံပြားအထူ(sheet thickness) ကွာခြားကြသည်။

Ventilation Duct

Maximum Size of Duct	Sheet Metal Thickness (အထူ)
460 mm အထိ	0.56 mm (24 gauge)
461 mm မှ 1070 mm အထိ	0.71 mm (22 gauge)
1070 mm မှ 1530 mm အထိ	0.91 mm (20 gauge)
1531 mm မှ 2150 mm အထိ	1.22 mm (18 gauge)
2151 mm နှင့် အထက်	1.22 mm (18 gauge)

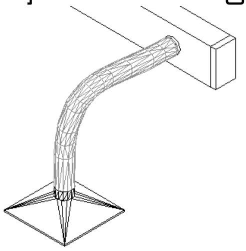
Air Conditioning Duct

Maximum Size of Duct	Sheet Metal Thickness(အထူ)
300 mm အထိ	0.46 mm (26 gauge)
301 mm မှ 760 mm အထိ	0.56 mm (24 gauge)
761 mm မှ 1400 mm အထိ	0.71 mm (22 gauge)
1401 mm မှ 2150 mm အထိ	0.91 mm (20 gauge)
2151mm နှင့် အထက်	1.22 mm (18 gauge)

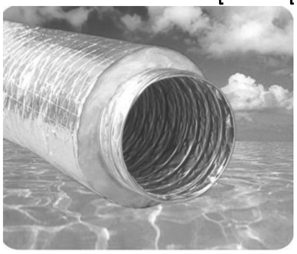
အဝိုင်းသဏ္ဍာန်(round) duct အတွက် သံပြားအထူ(material thickness) များ

Round Duct ၏ Nominal Diameter	သံပြားအထူ (G.I Sheet Thickness)
205 mm အထိ	0.6 mm (gauge)
205 mm မှ 760 mm အထိ	0.8 mm
760 mm မှ 1020 mm အထိ	1.0 mm
1020 mm မှ 1525 mm အထိ	1.2 mm

Round duct များ၏ elbow ၏ center radius သည် 1.5 x Duct Diameter ဖြစ်သည်။ Vertical duct များအတွက် နှစ်မီတာ(2 meter)ခြားတိုင်း duct support တစ်ခုထားရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၅-၆ Flexible duct တပ်ဆင်ထားပုံ

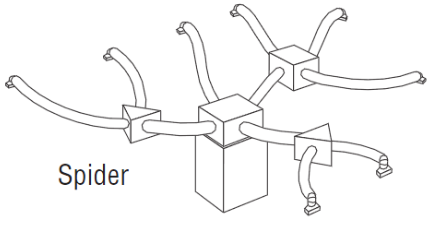


ပုံ ၅-၇ Flexible duct များ

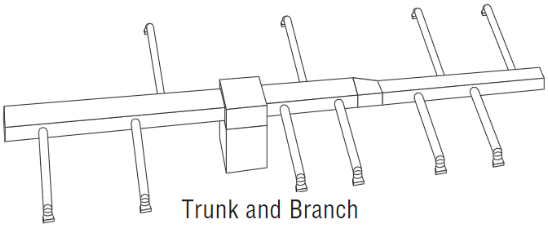
၅.၁.၅ Duct Layout

Duct layout များကို ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရာတွင် အောက်ပါ အချက်များကို အခြေခံသည်။

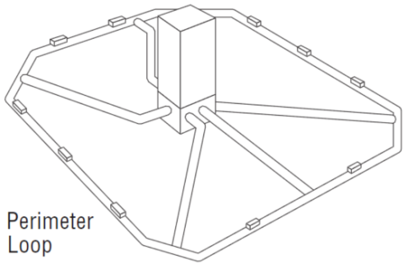
- Duct layout အချိုးညီလျှင် (symmetric) လေဖြန့်ဖြူးမှု ညီညာအောင် အလွယ်တကူ ပြုလုပ်နိုင်သည်။
- Main duct ကို တတ်နိုင်သမျှ သေးငယ်အောင်ပြုလုပ်ရန် နှင့် duct လမ်းကြောင်း (design path) ကို တိုနိုင်သမျှ တိုအောင် ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။
- VAV system များအတွက် ကွင်းပုံသဏ္ဍာန်(duct looping) ပြုလုပ်နိုင်သည်။
- Duct fitting အရေအတွက် နည်းနိုင်သမျှ နည်းအောင် layout ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ရမည်။
- အဆောက်အဦ ပြင်ပတွင် တပ်ဆင်ထားသော (exposed) duct များအတွက် အသွင်အပြင် (appearance) လှပစေရန် နှင့် structure များနှင့် ကိုက်ညီစွာ တပ်ဆင်ရမည်။



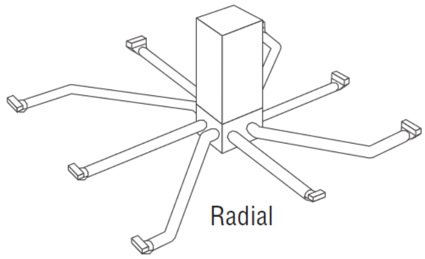
ပုံ ၅-၈ Spider ပုံသဏ္ဍာန်



ပုံ ၅-၉ Trunk and Branch ပုံသဏ္ဍာန်



ပုံ ၅-၁၀ Perimeter Loop ပုံသဏ္ဍာန်



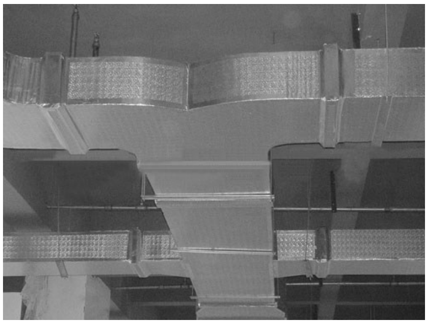
ပုံ ၅-၁၁ Radial ပုံသဏ္ဍာန်

၅.၂ Duct System များကို အဆင့်အတန်း(Classification) ခွဲခြား သတ်မှတ်ခြင်း

Duct system အတွင်းရှိ လေအလျင်(velocity) နှင့် ဖိအား(Pressure)အပေါ်တွင် အခြေခံ၍ duct system များကို အမျိုးအစား ခွဲခြား သတ်မှတ်လေ့ရှိသည်။

လေအလျင်(velocity)ကို အခြေခံ၍ "Low Velocity Duct System" နှင့် "High Velocity Duct System" ဟူ၍ နှစ်မျိုး ခွဲခြားထားသည်။ Comfort air conditioning များတွင် supply air velocity သည် တစ်မိနစ်လျင် ပေ(၂၅၀၀)နှုန်း(2500 feet per minute)ထက် မကျော်လျင် "**Low Velocity Duct System**"ဟု သတ်မှတ်သည်။ သို့သော် 1200 FPM(feet per minute) မှ 2200 FPM အတွင်း၌သာ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။ Supply air velocity သည် 2500 FPM ထက်ကျော်လျင် "**High Velocity Duct System**" အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။

ပုံ ၅-၁၂ Round duct တပ်ဆင်ထားပုံ



ပုံ ၅-၁၃ Rectangular duct တပ်ဆင်ထားပုံ

ဖိအား (pressure) အမျိုးမျိုး

ဖိအား(total pressure)ကို အခြေခံ၍ အမျိုးအစား သုံးမျိုး ခွဲခြားထားသည်။

Duct System Class	လေဖိအား(Pressure)	မြန်နှုန်း(Velocity)
Low Pressure (Class I)	3 ¾ in-wg ထက်နည်းလျင် (static pressure ≤ 5 cm water gauge)	Velocity ≤ 10 m/s
Medium Pressure (Class II)	3 ¾ မှ 6 ¾ in wg အတွင်း (static pressure ≤ 15 cm water gauge)	Velocity ≤ 10 m/s
High Pressure (Class III)	6 ¾ မှ 12 ¼ in wg အတွင်း static (pressure 15<p ≤ 25 cm water gauge)	Velocity > 10 m/s

Duct များအတွင်း၌ လေအလျင်(air velocity)များစေသည့် အကြောင်းများမှာ

(၁) တပ်ဆင်မှု ကုန်ကျစရိတ်နည်းစေရန်အတွက် အရွယ်အစားသေးငယ်သည့် duct များ ပြုလုပ်တပ်ဆင်ခြင်း နှင့် တပ်ဆင်ရန်နေရာ မလုံလောက်သောကြောင့် အရွယ်အစားသေးငယ်သည့် duct များကို တပ်ဆင်ခြင်း တို့ကြောင့် လေအလျင်(air velocity)များခြင်း ဖြစ်သည်။

(၂) လေအလျင်(air velocity) များသောကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)များသည်။ ထို့ကြောင့် fan စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption)များသည်။ မောင်းနှင်သည့်အခါ ကုန်ကျစရိတ်(operation cost) များသည်။

(၃) လေအလျင်(air velocity) အလွန်မြန်သောကြောင့် ဆူညံသံ ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် ဆူညံသံနည်းစေမည့် ကိရိယာများ(noise attenuator or silencer) တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။ အသုံးပြုမည့် နေရာ၊ တပ်ဆင်မည့် နေရာကို လိုက်၍ သင့်လျော်သည့် လေအလျင်(recommended air velocity)များကို ဖော်ပြ ထားသည်။

Recommended Maximum Duct Velocities for Low Velocity Systems (FPM)

Maximum Duct Velocity (ခွင့်ပြုသည့်အမြင့်ဆုံး Duct Velocity) feet per minute (FPM)					
အသုံးပြုပုံ (Application)	Controlling Factor Noise Generation Main Ducts	Controlling Factor Duct Friction			
		Main Ducts		Branch Ducts	
		Supply	Return	Supply	Return
Residences	600	1000	800	600	600
Apartments, Hotel Bedrooms Hospital Bedrooms	1000	1500	1300	1200	1000
Private Offices, Directors Rooms, Libraries	1200	2000	1500	1600	1200
Theaters Auditoriums	800	1300	1100	1000	800
General Offices, High Class Restaurants, High Class Stores, Banks	1500	2000	1500	1600	1200
Average Stores Cafeterias	1800	2000	1500	1600	1200
Industrial	2500	3000	1800	2200	1500

From Carrier Air System Design Manual

နေရာကိုလိုက်၍ ကန့်သတ်ထားသည့် လေအလျင်(air velocity)

လူများ နေထိုင်ရာ နေရာများ (residences)အတွက်	3 m/s မှ 5 m/s အတွင်း
ကပွဲရုံ၊ ရုပ်ရှင်ရုံ၊ သီရေတာများ(theaters)	4 m/s မှ 6.5 m/s အတွင်း
စားသောက်ဆိုင်များ(restaurants)၊ canteen များနှင့် ဘားများအတွက်	7.5 m/s မှ 10 m/s အတွင်း

ယေဘုယျအားဖြင့် duct အမျိုးအစားကို လိုက်၍ ကန့်သတ်ထားသည့် လေအလျင်(air velocity)

Main duct များအတွက် ခွင့်ပြုသည့် လေအလျင်(allowable air velocity)	5 m/s မှ 8 m/s အတွင်း
Branche duct များအတွက် ခွင့်ပြုသည့် လေအလျင်(allowable air velocity)	4 m/s မှ 6 m/s အတွင်း

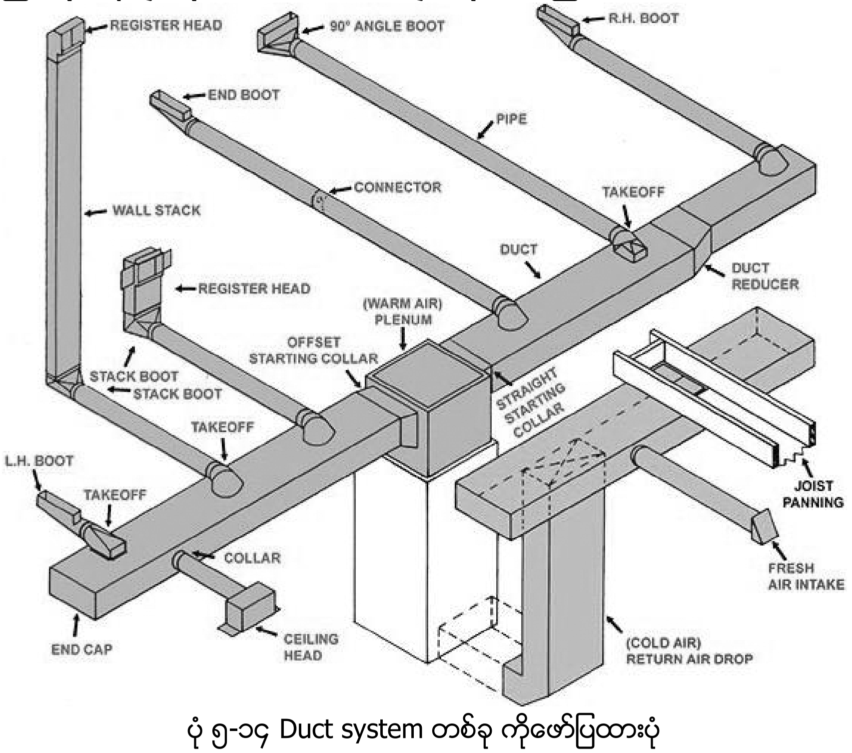
သို့သော် သင်္ဘောများ နှင့် လေယာဉ်ပျံများတွင် duct များ တပ်ဆင်ရန်နေရာ အခက်ခဲရှိသောကြောင့် ခွင့်ပြုသည့် လေအလျင်(allowable air velocity)ကို 30 m/s နှုန်းအထိ ခွင့်ပြုလေ့ရှိသည်။

Duct system ကို ဒီဇိုင်းလုပ်သည့်အခါ industry က လက်ခံထားသည့် ASHRAE Handbook သို့မဟုတ် SMACNA ၏ HVAC Duct System Design Manual တို့ကို ကိုးကားမှီငြမ်း(reference) သင့်သည်။ “Positive Pressure” သက်ရောက်ခြင်း ခံရသည့် duct များရှိသလို “Negative Pressure”သက်ရောက်ခြင်း ခံရသည့် duct များလည်း ရှိသည်။ ဥပမာ supply air fan သည် လေများကို duct အတွင်းသို့ မှုတ်ထည့်သောကြောင့် “Positive Pressure” ဖြစ်ပေါ်သည်။ ဥပမာ exhaust air fan သည် duct အတွင်းမှ လေများကို စုပ်ယူသောကြောင့် duct အတွင်းတွင် “Negative Pressure” ဖြစ်ပေါ်သည်။

Duct system အတွင်းရှိ လေအလျင်(air velocity)သည် တစ်နေရာ နှင့် တစ်နေရာ မတူညီကြပေ။ အမြဲပြောင်းလဲ နေသည်။ Coil များနှင့် လေစစ်(filter) များ ရှိသည့် နေရာတွင် လေအလျင်(air velocity)သည် 1000 FPM(5.08 m/s) မှ 3000 FPM(15.24 m/s)ကျော်အထိ ရှိတတ်သည်။

Duct ၏ ခံနိုင်ရည်(duct strength)၊ ကွေးညွှတ်ခြင်း(deflection) နှင့် လေယိုစိမ့်ခြင်း(leakage)တို့သည် duct အတွင်းရှိ လေဖိအား(pressure) ပမာဏပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေအလျင်(velocity) အပေါ်တွင် မူမတည်ပေ။ သို့သော် ဆူညံမှု(noise)၊ တုန်ခါမှု(vibration) နှင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(friction loss) တို့သည် လေအလျင် (velocity) ပမာဏပေါ်တွင် မူတည်ကြသည်။

Duct System ၏ အဓိက တာဝန်သည် လေများကို တစ်နေရာမှ လိုအပ်သည့် အခြားနေရာသို့ ရောက်အောင် ပို့ဆောင်ရန် ဖြစ်သည်။ Sheets ၊ re-inforcements ၊ seals နှင့် joints တို့ ဖြင့် duct ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ ထိုအရာများကို duct ၏ element များ ဟုခေါ်သည်။



ပုံ ၅-၁၄ Duct system တစ်ခု ကိုဖော်ပြထားပုံ

၅.၃ Duct များ ပြုလုပ်ခြင်း (Duct Construction)

Duct များ တည်ဆောက်ခြင်း(duct construction) ပြုလုပ်ရန်အတွက် specification သတ်မှတ်ရာတွင် အောက်ပါ အချက်များ ပါဝင်သင့်သည်။

(၁) မည်သည့် စံ(standards)ကို လိုက်နာရမည်ကို ပထမဦးစွာ ဆုံးဖြတ်ရန် လိုသည်။ ဥပမာ SMACNA duct construction standards 2005 သို့မဟုတ် ASHRAE standard သို့မဟုတ် local codes။

(၂) Duct အဆက် အမျိုးအစားများ(joint types) သို့မဟုတ် duct အဆက်(joint)များကို မည်ကဲ့သို့ တည်ဆောက်မည်။

(၃) Duct များကို အပေါ်မှ duct hanger ဖြင့် ချိတ်ဆွဲမည် သို့မဟုတ် အောက်မှ ဒေါက်(support)ဖြင့် ထောက်ထား ပေးမည်။

(၄) Welding လုပ်ခြင်း နှင့် grinding တို့နှင့် ပတ်သက်သည့် နည်းများ

(၅) Double-wall and lining

(၆) Painting (duct များကို သုတ်မည့် ဆေးအရောင် နှင့် ဆေးအမျိုးအစား)

(၇) အသုံးပြုမည့် ပစ္စည်း အမျိုးအစား (material types)

(၈) မည်သည့်နည်းဖြင့် လေယိုစိမ့်ခြင်း(leakage testing)ကို စမ်းသပ်မည်။ လက်ခံနိုင်သည့် လေယိုစိမ့်မှု (leakage) မည်မျှ ရှိရမည်။

Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association (SMACNA)

Duct Construction Manuals

(၁) SMACNA — HVAC Duct Construction Standards Metal and Flexible (Third Edition)

(၂) SMACNA — Fibrous Glass Duct Construction Standards (Fifth Edition)

(၃) SMACNA — Rectangular Industrial Duct Construction Standard (First Edition)

(၄) SMACNA — Round Industrial Duct Construction Standard (First Edition)

(၅) SMACNA — Thermoplastic Duct (PVC) Construction Manual (First Edition)

Duct များကို ထိခိုက်ပျက်စီးနိုင်သည့် နေရာများတွင် တပ်ဆင်မထားရ။ တပ်ဆင်ထားခဲ့သော် လိုအပ်သော အကာအကွယ်များ၊ အရံအတားများ ပြုလုပ်ပေးထားရမည်။

အိမ်သာများ(toilets) နှင့် မကောင်းသည့် အနံ့ဆိုးများ သယ်ဆောင်သည့် return air duct များကို supply air stream ရှိရာ နေရာများမှ တတ်နိုင်သမျှဝေးသည့် နေရာတွင် တပ်ဆင်ထားရမည်။

Supply air duct နှင့် return air duct များ၏ အတွင်းမျက်နှာပြင်များသည် ဖုန်၊ အမှုန် နှင့် အမှိုက်များ စုဝေးနေခြင်းမှ ကင်းဝေးစေရန် နှင့် တတ်နိုင်သမျှ ချောမွတ်စေရမည်။ ပွန်းတီးတိုက်စားခြင်း(abrasion) ဒဏ်ကို ခုခံနိုင်သည့် အမျိုးအစား ဖြစ်စေရမည်။

မျက်နှာကြက်များအတွင်းရှိ နေရာများ(ceiling space)အတွင်း return air များ စီးဆင်းနိုင်ရန် air plenum အဖြစ် အသုံးပြုပါ မျက်နှာကြက်နံရံများ နှင့် ဘေးဘက်နံရံများ(ceiling and the side-walls)ကို ပလာစတာဖြင့် အချောကိုင်ခြင်း(plastering) နှင့် ဆေးသုတ်ခြင်း(painting) တို့ပြုလုပ်ရမည်။ Masonry duct များကိုလည်း ထိုကဲ့သို့ ဖြစ်အောင် တတ်နိုင်သမျှ ပြုလုပ်ရမည်။

အခိုင်အခံ့ဖြစ်ရန်လိုသော(rigid) duct များကို steel ၊ aluminum ၊ glass-fibre batt ၊ mineral wool နှင့် အခြားခွင့်ပြုထားသော ပစ္စည်းအမျိုးအစားများ(approved materials)ဖြင့်သာ ပြုလုပ်ရမည်။

Duct သို့မဟုတ် duct lining များအတွက် သုံးထားသော glass fibre batt သို့မဟုတ် mineral wool များသည် air stream များနှင့် တိုက်ရိုက် ထိတွေ့နေပါက ဆွေးမြည့်ပျက်စီးခြင်း(erosion of fibres) မဖြစ်အောင် သင့်လျော်သော ကာကွယ်မှုများ ပြုလုပ်ပေးထား ရမည်။

Duct များကို sturd ဖြင့် ထောက်ပံ့(supported)ပေးရမည်။ Duct ထောက်ပံ့ပေးထားသော hanger နှင့် bracket များသည် သတ္တု(metal) များသာ ဖြစ်စေရမည်။ Duct covering ၊ duct lining နှင့် flexible connection material များသည် မီးမလောင်နိုင်သည့် ပစ္စည်းများ (non-combustible) ဖြစ်စေရမည်။

သို့သော် လိုအပ်ချက်အရ ၊ မလွဲရှောင်သာ မီးလောင်နိုင်သည့် ပစ္စည်းများ (combustible material) ကို အသုံးပြုခဲ့သော် အောက်ပါ အချက်များဖြင့် ပြည့်စုံစေရမည်။

(က) "Code of practice for fire precautions in buildings" ၌ ပါရှိသော နည်းများ(methods)အတိုင်း စမ်းသပ်ထားလျှင် surface flame spread rating သည် ပထမအဆင့် (class 1) ထက်မနိမ့်စေရ။ အဆောက်အဦ မျက်နှာကြက်၏ မီးခိုးပျံ့နှုန်း(flame spread rating)သည် class zero ဖြစ်ခဲ့လျှင် duct lining material များသည် class zero rating ဖြစ်ရမည်။

(ခ) မီးလောင်သည့်အခါ duct တွင် အသုံးပြုထားသည့် ပစ္စည်းများသည် မီးခိုး နှင့် အဆိပ်သင့်စေသည့် ဓာတ်ငွေ့ ထွက်မှု နည်းနိုင်သမျှ နည်းစေသည့် ပစ္စည်းများဖြစ်ရမည်။
Ventilation ductwork နှင့် terminal unit များဖြစ်ကြသော ventilation grille များ ၊ air diffuser များ ကို ဆက်သွယ်ထားသည့် flexible connection များ ၏ အရှည်သည် နှစ်မီတာ(2 m)ထက် မပိုစေရ။ အပူချိန်နည်းခြင်း ၊ များခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော ရွေ့ရှားမှုများ(thermal movements)ကို ကာကွယ်ရန် တပ်ဆင်ထားသည့် flexible joint များသည် 250 mm အရှည်ထက် မပိုစေရ။

Flexible joint များကို အလွယ်တကူ မီးမတောက်နိုင်သည့် သို့မဟုတ် မီးစတင်မလောင်နိုင်သည့်(not easily ignitable) ပစ္စည်းများဖြင့် ပြုလုပ်ထားရမည်။ ထိုပစ္စည်းများသည် British Standard BS 476: Part 5 အရ စမ်းသပ်ထားသည့် ပစ္စည်းများ ဖြစ်ရမည်။

Duct အားလုံးကို သန့်ရှင်းရေး ပြုလုပ်ရန်အတွက် သင့်လျော်သည့်နေရာများတွင် အပေါက်(opening) များ ထားရှိရမည်။ Air duct များ၊ air duct support များ၊ fitting များ နှင့် plenum များ၊(joints များ၊ seam များ၊ stiffening များ၊ reinforcing and access opening များ အပါအဝင်)ကို ASHRAE Handbook၊ Institution of Heating and Ventilating Engineers(IHVE) guide books သို့မဟုတ် SMACNA Manuals က ပြဋ္ဌာန်း သတ်မှတ်ထားသော duct ပြုလုပ်ခြင်း၊ တပ်ဆင်ခြင်း စံချိန်စံညွှန်းများ(construction standards) အတိုင်း ပြုလုပ်ရမည်။

၅.၃.၁ Duct ပြုလုပ်ရန် ပစ္စည်းအမျိုးအစား ရွေးချယ်ခြင်း (Ductwork Materials)

(၁) Galvanized Steel ကို အသုံးပြု၍ Duct ပြုလုပ်လျှင် အောက်ပါ စံချိန်စံညွှန်းများကို လိုက်နာရန်လိုသည်။

HVAC လုပ်ငန်းများ(applications)တွင် Galvanized steel sheets ကို duct ပြုလုပ်ရန်အတွက် အသုံးပြုလျှင် ASTM A90 ၊ A525 နှင့် A527 တို့ကို လိုက်နာရမည်။

(၂) Carbon steel ကို အသုံးပြု၍ Duct ပြုလုပ်လျှင် အောက်ပါ စံချိန်စံညွှန်းများကို လိုက်နာရန် လိုသည်။

24" ထက် ပိုကြီးသည် breechings ၊ flues နှင့် stacks များ အတွက် ကာဗွန်စတီး(carbon steel) ကို အသုံးပြုလျှင် ASTM A569 နှင့် ကိုက်ညီ စေရမည်။

(၃) Aluminum ကို အသုံးပြု၍ Duct ပြုလုပ်လျှင် အောက်ပါ စံချိန်စံညွှန်းများကို လိုက်နာရန်လိုသည်။

ရေငွေ့ပါဝင်မှုများသည့်လေဖြစ်၍ aluminum base alloy sheet များကို အသုံးပြု ASTM B209 ကို မှီငြမ်း ရမည်။

(၄) Stainless steel ကို အသုံးပြု၍ Duct ပြုလုပ်လျှင် အောက်ပါ စံချိန်စံညွှန်းများကို လိုက်နာရန်လိုသည်။

Kitchen hood နှင့် fume hood exhaust တို့ကို stainless steel ဖြင့်ပြုလုပ်ကြသည်။ Stacks and breechings (prefabricated)များအတွက် 304 ၊ 304L ၊ 316 or 316L အမျိုးအစား stainless steel sheets များကို အသုံးပြုလျှင် ASTM A167 ကို မှီငြမ်းရမည်။

SHEET METAL GAUGES

Sheet Metal Gauge	Thickness Inches	Remarks	Sheet Metal Gauge	Thickness Inches	Remarks
0	0.3125	Welded Ductwork Only	19	0.0437	SMACNA Ductwork Construction
1	0.2810		20	0.0375	
2	0.2650		21	0.0343	
3	0.2500		22	0.0312	
4	0.2340		23	0.0280	
5	0.2187		24	0.0250	
6	0.2030		25	0.0218	
7	0.1875		26	0.0187	
8	0.1720		27	0.0170	Gauges Not Permitted for Ductwork Construction
9	0.1560		28	0.0156	
10	0.1400		29	0.0140	
11	0.1250		30	0.0125	
12	0.1090		31	0.0109	
13	0.0937		32	0.0100	
14	0.0780		33	0.0093	
15	0.0700		34	0.0085	
16	0.0625	SMACNA Ductwork Construction	35	0.0078	
17	0.0560		36	0.0070	
18	0.0500				

Duct တည်ဆောက်ရာတွင် အသုံးပြုရန် ပစ္စည်းများ(Duct Material)

UL (Underwriters Laboratory) standard

Class 0 မီးတောက်ပျံ့ပွားနှုန်း အဆင့်သုည (zero flame spread) ဖြစ်ရမည်။ မီးခိုးထွက်နှုန်း အဆင့် သုည (zero smoke developed) ဖြစ်ရမည်။
ဥပမာ Iron ၊ galvanized steel ၊ aluminum ၊ concrete ၊ masonry ၊ clay tile စသည့် ပစ္စည်းများကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

Class 1 မီးတောက်ပျံ့ပွားနှုန်း (၂၅)ထက် နည်းလျှင် (flame spread ≤ 25) ၊ မီးခိုးထွက်နှုန်း (၂၅)ထက် နည်း (smoke developed ≤ 50) လျှင် class 1 ဟုသတ်မှတ်သည်။
ဥပမာ fiberglass ၊ many flexible ducts စသည့် ပစ္စည်း များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

Class 2 မီးတောက်ပျံ့ပွားနှုန်း (၅၀)ထက် နည်းလျှင် (flame spread ≤ 50) ၊ မီးခိုးထွက်နှုန်း (၁၀၀)ထက် နည်း(smoke developed ≤100)လျှင် class 2 ဟုသတ်မှတ်သည်။

၅.၃.၂ Duct Seal

Duct seal များကောင်းမွန်လျှင် လေယိုစိမ့်မှု(leakage)ကို လျော့နည်းစေနိုင်သည်။

Ductwork and plenum များကို အောက်ပါနည်းများ အတိုင်း seal လုပ်ရမည်။

Sealants and Adhesives

Water based sealant နှင့် solvent based sealant based ဟူ၍ အမျိုးအစား နှစ်မျိုးကွဲပြားသည်။ အဆောက်အဦ အပြင်ဘက်(outside) သို့မဟုတ် မြေအောက်ထပ်(underground) တို့တွင် အသုံးပြုရန် (applications)အတွက် solvent based sealant သည် ရာသီဥတုဒဏ်(resistant to weather) နှင့် ခရမ်းလွန်ရောင်ခြည်(ultraviolet rays)ဒဏ် ခံနိုင်ရမည်။

ASHRAE Minimum Duct Seal Level

Duct Location	Duct Type			
	Supply		Exhaust	Return
	≤ 2 in. w.c.	> 2 in. w.c.		
Outdoors	A	A	C	A
Unconditioned Spaces	B	A	C	B
Conditioned Spaces	C	B	B	C

ASHRAE Standard 90.1-2001 and ASHRAE Standard 90.1-2004 Ductwork Seal Classes

Seal Level	Sealing Requirements *
Seal Class A	All transverse joints and longitudinal seams, and duct wall penetrations. Pressure-sensitive tape shall not be used as the primary sealant.
Seal Class B	All transverse joints and longitudinal seams. Pressure-sensitive tape shall not be used as the primary sealant.
Seal Class C	All transverse joints only

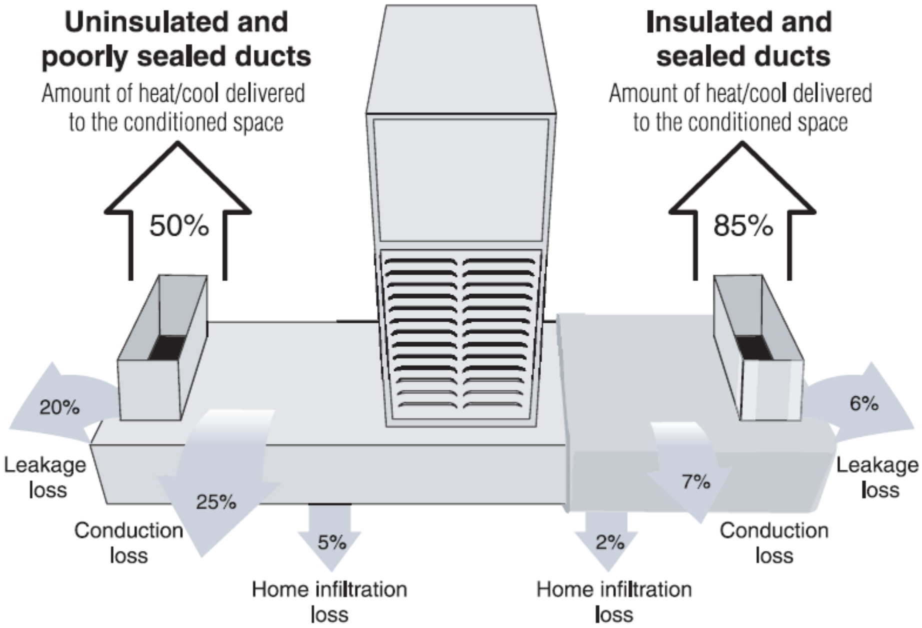
Sealing Ductwork (ASHRAE Standard 90.1) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (www.ASHRAE.org)

SMACNA Recommended Ductwork Seal Classes

	SMACNA Pressure Class (in. WC)						
	±1/2	±1	±2	±3	±4	±6	±10
Supply Ductwork							
Outdoors	A	A	A	A	A	A	A
Unconditioned Space	B	B	B	A	A	A	A
Conditioned Space	B	B	B	A	A	A	A
Return Ductwork							
Outdoors	A	A	A	A	A	A	A
Unconditioned Space	B	B	B	B	A	A	A
Conditioned Space	B	B	B	B	A	A	A
Exhaust Ductwork							
Outdoors	B	B	B	B	A	A	A
Unconditioned Space	B	B	B	B	A	A	A
Conditioned Space	B	B	B	B	A	A	A

SMACNA Ductwork Seal Classes

Seal Class	Applicable Static Pressure Construction Class
A	4" WC and higher
B	3" WC
C	2" WC
C	1/2" WC and higher for all ductwork upstream of VAV terminal units



ပုံ ၅-၁၅ Benefits of insulation and sealing ducts

SMACNA-HVAC Ductwork Seal Classes

(၁) **Seal Class A:** 2–5 percent total system leakage (all transverse joints, longitudinal seams, and duct penetrations).

(၂) **Seal Class B:** 3–10 percent total system leakage (all transverse joints and longitudinal seams).

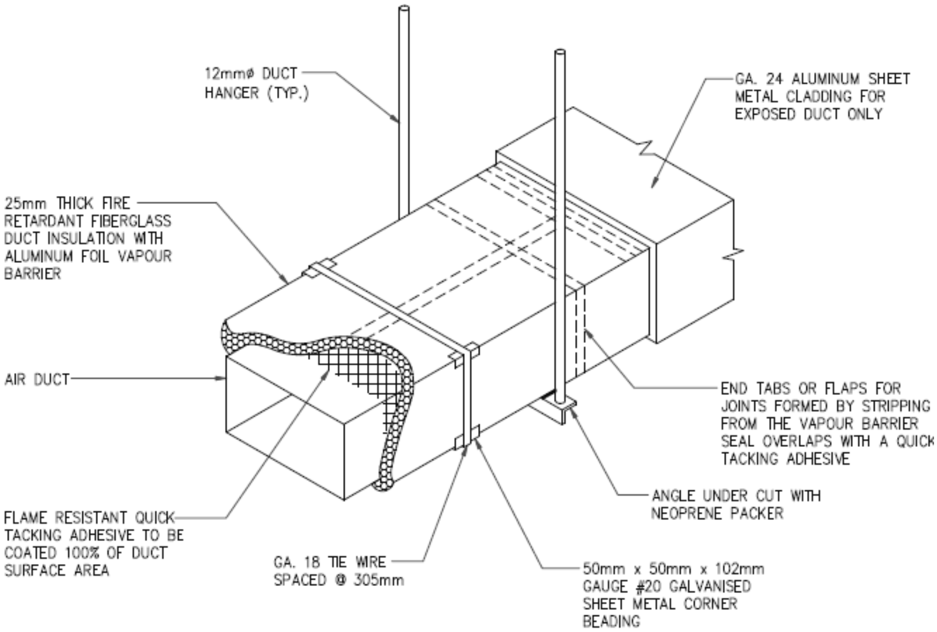
(၃) **Seal Class C:** 5–20 percent total system leakage (all transverse joints).

(၄) **Unsealed:** 10–40 percent total system leakage.

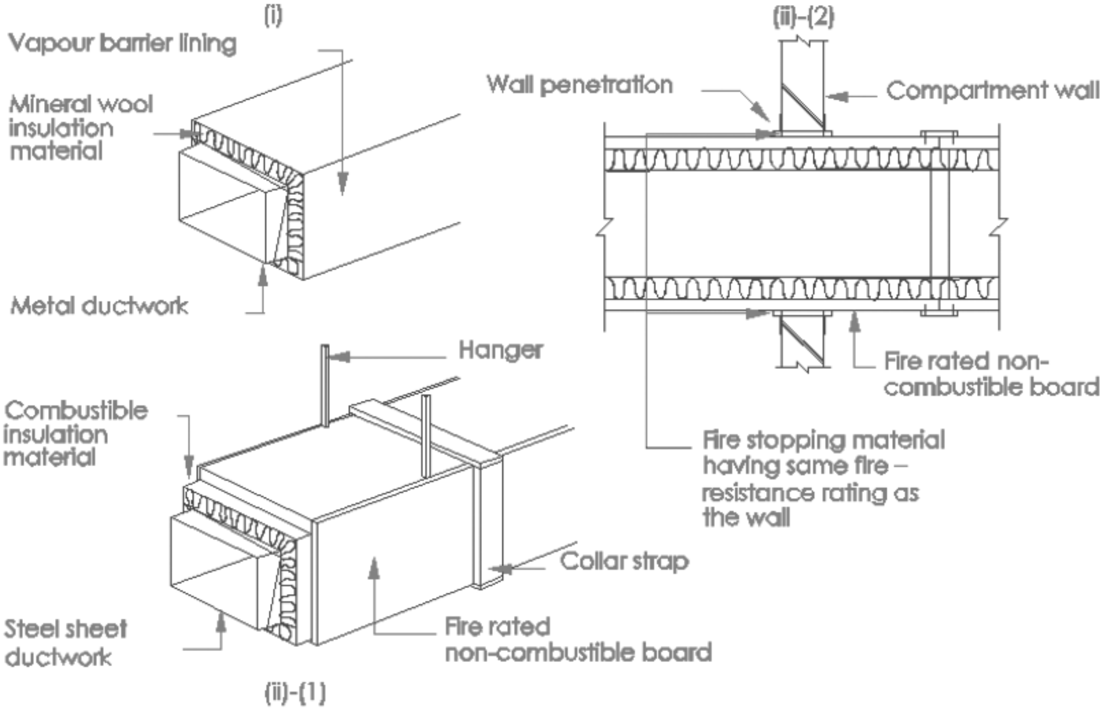
(၅) SMACNA recommended seal classes.

Air conditioning အတွက် အသုံးပြုသည့် duct များကို "AC duct" ဟု ခေါ်လေ့ရှိသည်။ Mechanical Ventilation အတွက် အသုံးပြုသည့် duct ကို "MV duct" ဟု ခေါ်လေ့ရှိသည်။ Air conditioning duct များကို insulate လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Mechanical ventilation duct များကို insulate ပြုလုပ်ရန် မလိုအပ်ပါ။ Duct ၏ အပြင်ဘက်တွင် ကာရံထားသော external insulation ရှိသလို duct ၏ အတွင်းဘက်မှ ကာရံထားသော internal insulation လည်းရှိသည်။

Air conditioning duct နှင့် mechanical ventilation duct တို့၏ ခြားနားချက်သည် insulation ဖြစ်သည်။ Air conditioning duct သည် အပူစီးကူးခြင်း(heat transfer)ကို ကာကွယ်ရန်အတွက် အပူလျှောက်ကူးမှုနှုန်း(internal insulation) သို့မဟုတ် external insulation ပြုလုပ်ထားရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၅-၁၆ Duct တစ်ခု တည်ဆောက် တပ်ဆင်ထားပုံ



ပုံ ၅-၁၇ Fire rated duct တစ်ခု တည်ဆောက် တပ်ဆင်ထားပုံ

၅.၃.၃ Duct အပြင်ဘက်၌ Insulation ပြုလုပ်ထားခြင်း (External Insulation)

Fiber glass သို့မဟုတ် mineral wool material အမျိုးအစားများကို external insulation (vapor barrier)အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်သည်။ မည်သည့်အမျိုးအစားကို သုံးသည် ဖြစ်ပါစေ insulation ၏ အပူလျှောက်ကူးမှုနှုန်း(thermal conductivity)သည် 0.0332 W/m^2 K ထက် မပိုစေရ။

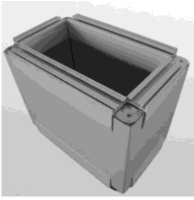
> အပူလျှောက်ကူးမှုနှုန်း(thermal conductivity)ကောင်းလေ အပူစီးကူးခြင်းကို ကာကွယ်နိုင်စွမ်း (insulation)နည်းလေ ဖြစ်သည်။

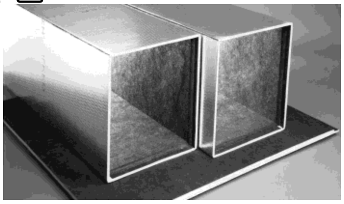
ပျမ်းမျှအပူချိန်(mean temperature) 24°C အတွက် လိုအပ်သော insulation အထူ(thickness)သည် တစ်လက်မ (25mm) ဖြစ်ရမည်။ သိပ်သည်းဆ(density) သည် 32 kg/m^3 ဖြစ်ရမည်။ အဆောက်အဦ အတွင်းရှိ air con နေရာရှိ supply duct ၊ return duct နှင့် exhaust duct များ အတွက်ဖြစ်သည်။ Air con မပေးထားသည့် နေရာ(non air conditioning area)တွင် တပ်ဆင်မည့် duct များဖြစ်ပါက insulation အထူသည် supply air အတွက် နှစ်လက်မ(50mm) ဖြစ်ပြီး return နှင့် exhaust air များအတွက် တစ်လက်မ(25mm) ဖြစ်သည်။ Air con မပေးထားသည့် နေရာ(non air conditioning area)၏ အပူချိန်သည် air con ပေးထားသည့် နေရာ(air conditioning area)၏ အပူချိန်ထက်ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် duct အတွင်းနှင့် အပြင်၏ အပူချိန်ကွာခြားချက် ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် ပိုထူသည့် insulation ဖြင့်ကာရံထားရန် လိုအပ်သည်။

၅.၃.၄ Duct အတွင်း၌ Insulation ပြုလုပ်ထားခြင်း (Internal Insulation)

Internal insulation ကို ဆူညံသံ(noise level) နည်းသွားစေရန်နှင့် အပူစီးဆင်းမှု(vapor barrier) ကို တားဆီးခုခံရန် ရည်ရွယ်ချက် နှစ်မျိုးဖြင့် အသုံးပြုသည်။ များသောအားဖြင့် main duct များတွင် တပ်ဆင် သည်။

သိပ်သည်းဆ(density) 140 kg/m^3 ရှိသည့် rockwool material အမျိုးအစားကို အသုံးပြုသည်။ Main duct ၏ အစမှ (၅)မီတာ အကွာအထိ internal insulation ဖြင့် ကာရံ ထားလေ့ရှိသည်။ Duct အတွင်း၌ ရှိနေသောကြောင့် rockwool အစများ မပျံ့လွင့်စေရန် အချင်း(0.46mm)ရှိ အပေါက်များပါသည့်(perforated) အလျူမီနီယံအပြား (aluminum sheet)ဖြင့် ဖုံးအုပ်ထားရမည်။ အလျူမီနီယံအပြား(aluminum sheet)ပေါ်ရှိ အပေါက်များ (perforation holes) များ၏ မျက်နှာပြင်အကျယ်သည် စုစုပေါင်း မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(total surface) ၏ ၃၀% မှ ၄၀% အထိ ဖြစ်ရမည်။





ပုံ ၅-၁၈(က) Internnal insulation

ပုံ ၅-၁၈(ခ) External insulation

Duct များ တည်ဆောက်နည်း(construction)၊ အမျိုးအစား(type) ၊ အတိုင်းအတာ(dimension) စသည် တို့ကို အသေးစိတ် သိလိုပါက SMACNA guide line များကို လေ့လာဖတ်ရှုရန် လိုအပ်သည်။ SMACNA ဆိုသည်မှာ Sheet Metal and Air Conditioning Contractor's National Association Inc (USA) ၏ အတိုကောက် ဖြစ်သည်။

Duct and Plenum Insulation (Reference: Singapore Standard SS 553:2009)

Minimum duct insulation R-values for cooling only supply ducts and return ducts

Duct Location	Duct location R-value (m^2 K/W)
Exterior	1.06
Ventilated attic	1.41
Un-vented attic above insulated ceiling	1.77
Un-vented attic with roof insulation	1.06
Unconditioned space	1.06
Buried	1.06

၅.၃.၅ Access Doors

Equipment များ ၊ duct ၏ အတွင်းပိုင်း နေရာများ ၊ damper များ နှင့် fire damper များ ကို စစ်ဆေးရန် နှင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းရန် အတွက် သတ်မှတ်ထားသောနေရာများတွင် "**Access Door**" များ ထားရှိရန် လိုအပ်သည်။ Access door များကို နှစ်ထပ်(နှစ်လွှာ) ပြုလုပ်ရမည်ဖြစ်ပြီး ဂဟေဆော်သည့်နည်း(welding method) ကို အသုံးပြုရမည် ဖြစ်သည်။ Access door အတွင်းဘက်နှင့် duct ၏ အတွင်းဘက်တွင် အမျိုးအစား တူသည့် insulation material ကို အသုံးပြုရမည်။ 1.00mm အထူဖြင့် ပြုလုပ်ရမည်။

Access door ပတ်ပတ်လည်တွင် 12mm အထူရှိသည့် neoprene rubber gasket လိုင်နာခံထား ရမည်။ Duct ၏ မီးဒဏ်ခံနိုင်အား(fire rating) နှင့် access door များ ၏ မီးဒဏ်ခံနိုင်အား(fire rating)တို့ တူညီ ရမည်။ Access door များကို ပိတ်(lock)ရန်အတွက် မျောက်လက်(latch)ကို heavy duty brass ဖြင့် ပြုလုပ်ကြပြီး သွပ်ရည် (galvanized) သို့မဟုတ် ခရိုမီယမ်(chromium) အရည် စိမ်ကြသည်။

ပုံ ၅-၁၉ Oval duct access door

ပုံ ၅-၂၀ Access door နှင့် access door frame

Access door ၏ အရွယ်အစားများကို duct အရွယ်အစား(size) အပေါ်တွင် မူတည်၍ ပြုလုပ်လေ့ရှိကြသည်။

Duct အရွယ်အစား (size)	လိုအပ်သော access door အရွယ်အစား
အရှည်ဆုံးအနား 1200mm ထက် မပိုသည့် duct	300mm x 400mm
အရှည်ဆုံးအနား 1200mm ထက် ပိုသည့် duct	450mm x 450mm
Automatic damper သို့မဟုတ် fire damper အတွက်	450mm x 600mm

၅.၃.၆ Duct Test Holes

Duct အတွင်းရှိ လေအလျင်(velocity) နှင့် ဖိအား(pressure)ကို တိုင်းရန်အတွက် "**Duct Test Hole**" များ ထားရှိရမည်။ "Duct Test Hole" ထားရှိရမည့် နေရာ(location)ကို ပုံ(as-built dawing)တွင် ဖော်ပြ ရမည်။ အပေါက်အရွယ်အစား(hole diameter)သည် တစ်လက်မ(25mm)ဖြစ်ပြီး top screw braged အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ 40mm x 5mm bar ပေါ်တွင် braged လုပ်ထားသည်။ Bar နှင့် sheet metal ကို rivet ဖြင့် ချိတ်ဆွဲထားသည်။

ပုံ ၅-၂၁ Duct test holes

ပုံ ၅-၂၂ Duct test hole မှ တစ်ဆင့် air flow တိုင်းယူပုံ

၅.၃.၇ Duct fittings

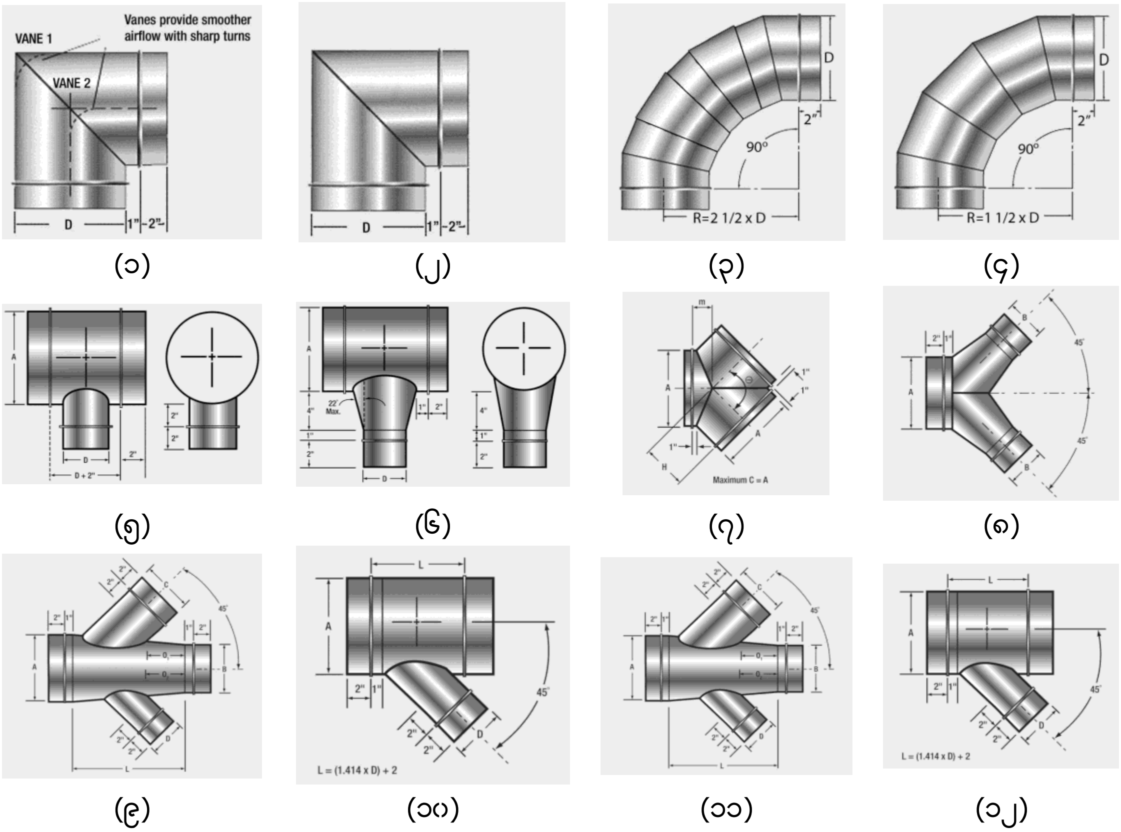
ဖြောင့်တန်းနေသည့်(straight) duct များမှ လွဲလျှင် ကျန် duct အစိတ်အပိုင်းများကို duct fitting များ အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ အောက်ပါတို့သည် duct fitting များ ဖြစ်ကြသည်။

(၁) Elbows
(၂) Converging or diverging tees and wyes
(၃) Entrances and exits
(၄) Enlargements and contractions
(၅) Means to reduce dynamic losses
(၆) Turning angle, splitter vanes

(Source: ASHRAE Handbook Fundamentals 2001)

ASHRAE duct fitting database နှင့် fitting loss coefficients duct fitting အမျိုးမျိုး တည်ဆောက်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Fitting Types Elbows Mitered – vanes
(၂) Mitered – no vanes
(၃) Fitting Types Elbows Gored – long radius
(၄) Fitting Types Elbows Gored – Standard
(၅) Fitting Types Divided Flow Straight Tee
(၆) Fitting Types Divided Flow Conical Tee
(၇) Fitting Types Divided Flow Y-Branch
(၈) Reducing Y-Branch
(၉) Divided Flow Laterals
(၁၀) Divided Flow Laterals
(၁၁) Duct fitting -Branch
(၁၂) Duct fitting -Branch



ပုံ ၅-၂၃ Duct fitting အမျိုးမျိုး

၅.၄ Duct Support နှင့် Hanger

Maximum ductwork hanger spacing

SMACNA minimum requirements	
(1)	Horizontal: 8 to 10 feet maximum.
(2)	Vertical: One- or two-story intervals-12 to 24 feet.

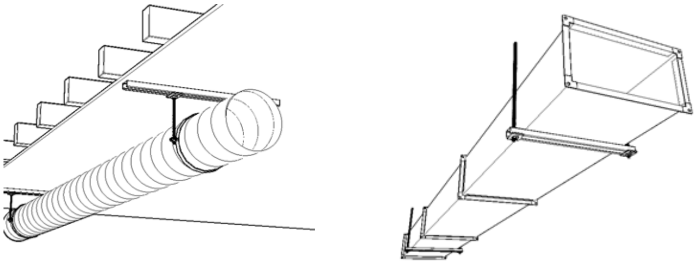
အလျားလိုက်တပ်ဆင်ထားသည့်(horizontal) duct များကို သံမဏိ(steel)ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသော hanger rod များဖြင့် ချိတ်ဆွဲရမည်။ Hanger rod အားလုံးတွင် lock nut ကို အသုံးပြုရမည်။

Cross-Sectional Perimeter of Duct	**Maximum Spacing Between Hanger (Hanger တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အကြား အကွာအဝေး)**
1.5 m ထက်ငယ်သည့် duct	2.4 m
1.6 m မှ 2.5m အထိ	1.8 m
2.5 m ထက်ကြီးသည့် duct	1.2 m

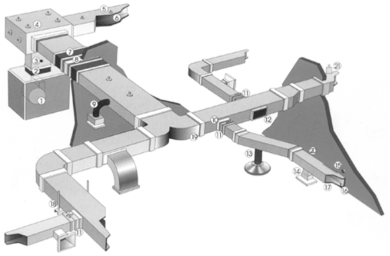
Ductwork Support

Ductwork အမျိုးအစား (Type)	**Maximum Hanger Spacing (Feet)**
Horizontal Ducts Less than 4 Square Feet	8
Horizontal Ducts 4 to 10 Square Feet	6
Horizontal Ducts Greater than 10 Square Feet	4
Vertical Round Ducts	12
Vertical Rectangular Ducts	10

ဒေါင်လိုက်တပ်ဆင်ထားသည့်(vertical) duct များအတွက် continuous length တိုင်းတွင် support များ ထည့်ပေးရမည်။



ပုံ ၅-၂၄ Duct hanger



ပုံ ၅-၂၅ Duct support

First cost ဆိုသည်မှာ တပ်ဆင်ရန်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်(installation cost)ကို ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အစဦး ကုန်ကျစရိတ် ဟုလည်း ခေါ်ဆိုနိုင်သည်။ Operating cost ဆိုသည်မှာ အသုံးပြုနေသမျှ ကာလပတ်လုံး၊ မောင်းနေသမျှ ကာလပတ်လုံး ကုန်ကျမည့်စရိတ်ကို ဆိုလိုသည်။ Duct system ၏ အစဦးကုန်ကျစရိတ်(first cost)နှင့် လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ်(operating cost) တို့သည် အောက်ပါ အချက်များ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(က) Duct အတွင်းရှိ အေးသည့် လေ(cool air)သည် duct မှ အပူ(heat)များကို စုပ်ယူခြင်း၊ duct အတွင်းရှိ ပူသည့်လေ(hot air)မှ အပူများဆုံးရှုံးခြင်း(heat loss)

(ခ) Aspect ratio of the duct

(ဂ) လေများ duct အတွင်းမျက်နှာပြင် နှင့် ပွတ်တိုက်မှုနှုန်း(friction rate) နှင့်

(ဃ) Fitting အမျိုးအစား(type) တို့ ဖြစ်သည်။

၅.၅ Duct Properties

၅.၅.၁ Duct Heat Gain သို့မဟုတ် Duct Heat Loss

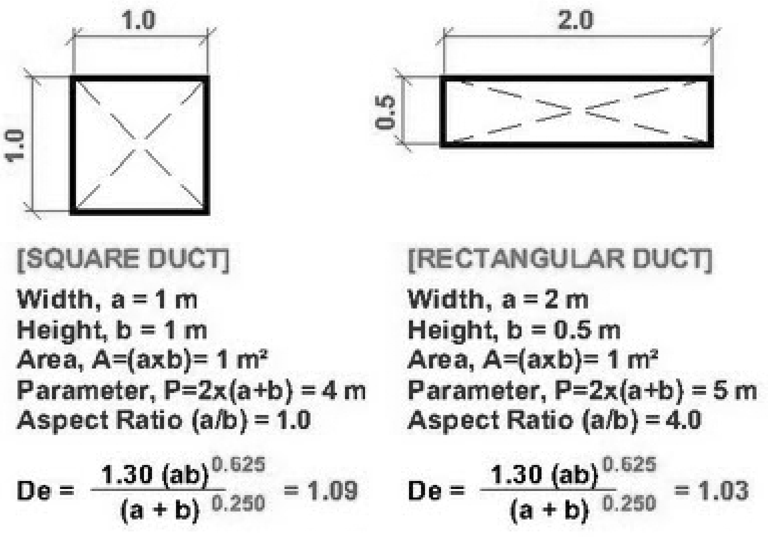
Air con duct များသည် အလွန်ရှည်လျားလွန်းလျှင် သော်လည်းကောင်း၊ air con မဟုတ်သည့် နေရာများကို ဖြတ်ကျော်သွားလျှင် သော်လည်းကောင်း၊ အပူစုပ်ယူမှု(duct heat gain) နှင့် အပူဆုံးရှုံးမှု(duct heat loss)ကို ထည့်သွင်း တွက်ချက်ရန် လိုအပ်သည်။ Supply air ၏ အပူချိန်(temperature)သည် (cooled air သည် duct အပြင်ဘက်မှ အပူ(heat)များကို စုပ်ယူလိုက်သောကြောင့်) duct တစ်လျှောက်သွားနေစဉ် လေသည် အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။ ထို့ကြောင့် လုံလောက်သော အအေးဓာတ်(cooling)ပမာဏ အပို (allowance)ဆောင်းထားရန် လိုအပ်သည်။ ထိုပြဿနာကို အပူချိန်ပိုနိမ့်သည့် supply air သို့မဟုတ် ပိုများသည့် လေပမာဏ(air quantity) ပေးခြင်းဖြင့် ဖြေရှင်းနိုင်သည်။

Duct နှစ်ခုသည် တူညီသော ပမာဏရှိသည့်လေကို သယ်ဆောင်လျှင် duct aspect ratio များသည့် duct သည် duct aspect ratio နည်းသည့် duct ထက် အပူစုပ်ယူမှု(heat gain) ပိုများသည်။ လေစီးနှုန်း(air flow rate)နည်းပြီး လေအလျင်(velocity)နည်းနည်းဖြင့် စီးသွားလျှင် လေသည် အပူစုပ်ယူမှု(heat gain) သို့မဟုတ် အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss)ပိုများစေသည်။

လေအလျင်(velocity) နည်းသောကြောင့် လေသည် duct အတွင်း၌ လေများ ကြာရှည်စွာ နေရကာ အပူများကို စုပ်ယူရန် အချိန်ပိုရသည်။ Duct insulation ကောင်းလေ အပူစုပ်ယူမှု (duct heat gain) သို့မဟုတ် အပူဆုံးရှုံးမှု(duct heat loss) နည်းလေ ဖြစ်သည်။

U value 0.12 ရှိသည့် insulation ကို အသုံးပြုလျှင် အပူစုပ်ယူမှု(duct heat gain) ၉၀% ကျဆင်းသွားသည်။

၅.၅.၂ Aspect Ratio



ပုံ ၅-၂၆ Aspect Ratio 1.0 နှင့် Aspect Ratio 4.0 ရှိသော duct နှစ်မျိုးကို နှိုင်းယှဉ်ထားပုံ

Aspect ratio ဆိုသည်မှာ duct ၏ ရှည်သောအနား(long side)ကို တိုသောအနား(short side)ဖြင့် စားထားသော အချိုးဖြစ်သည်။ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်သည့် အဆင့်တွင် သင့်လျော်သည့် aspect ratio ကို ရွေးချယ်ခြင်းသည် အရေးကြီးသော ကိစ္စတစ်ခု ဖြစ်သည်။ Aspect Ratio များခြင်းကြောင့် တပ်ဆင်မှု ကုန်ကျစရိတ်(installation cost)အပြင် မောင်းနှင်ရန် ကုန်ကျစရိတ်(operation cost)ပါ ပိုများ လာလိမ့်မည်။

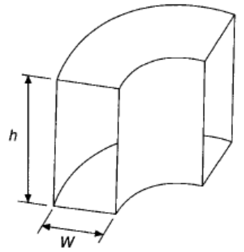
Duct work ၏ အစဦးကုန်ကျစရိတ်(first cost)ဟုခေါ်သည့် တပ်ဆင်ရန် ကုန်ကျစရိတ်(installation cost)သည် အသုံးပြုရသည့် ပစ္စည်း(material)ပမာဏ ၊ တပ်ဆင်ရသည့် လုပ်အားခ နှင့် အချိန်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Duct class မြင့်လာလေ ကုန်ကျစရိတ် ပိုများလေ ဖြစ်သည်။ Duct ဧရိယာ(area) နှင့် capacity တူညီလျှင် duct system ၏ ဖိအား(total pressure)များလေ duct class မြင့်လေ ဖြစ်သည်။ Duct အရွယ်အစား (size) ကြီးလေ duct class မြင့်လာလေ ဖြစ်သည်။

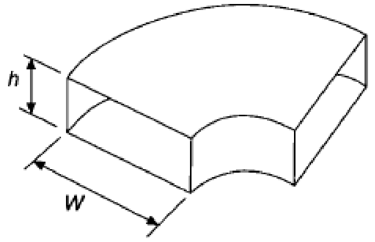
Duct Class	Max; Size of Duct (inch)	Semi – Perimeter
1	6 - 17 1/2"	10 - 23
2	12 - 24	24 – 46
3	26 - 40	32 - 46
4	24 - 88	48 - 94
5	48 - 90	96 - 176
6	90 - 144	96 - 238

အရွယ်အစားတူ ၊ စွမ်းဆောင်ရည်(capacity)တူသော duct နှစ်မျိုးတွင် class မြင့်သည့် duct တွင် ပိုထူသည့် သံပြား(gate of metal sheet)ကို သုံးရန် လိုအပ်သည်။ Material ၏ အလေးချိန်လည်း ပိုများလိမ့်မည်။ ပိုကောင်းသည့် insulation အမျိုးအစား သို့မဟုတ် ပိုထူသည့် insulation အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

ထို့ကြောင့် duct ဒီဇိုင်းပြုလုပ်သူများ နှင့် consultant များ အနေဖြင့် dust class နိမ့်နိုင်သမျှ နိမ့်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်း၊ အနည်းဆုံးသော "**Aspect Ratio**" ကို သုံးခြင်းဖြင့် ကုန်ကျစရိတ် သက်သာစေနိုင်သည်။ "Aspect Ratio" နည်းခြင်းကြောင့် ပွတ်တိုက်မှု(friction loss)နည်းသည်။ ထို့အပြင် ကုန်ကျ စရိတ်လည်း သက်သာသည်။



ပုံ ၅-၂၇ Small Aspect Ratio



ပုံ ၅-၂၈ Large Aspect Ratio

၅.၅.၃ ဆူညံသံများကို ထိန်းချုပ်ခြင်း (Sound Control)

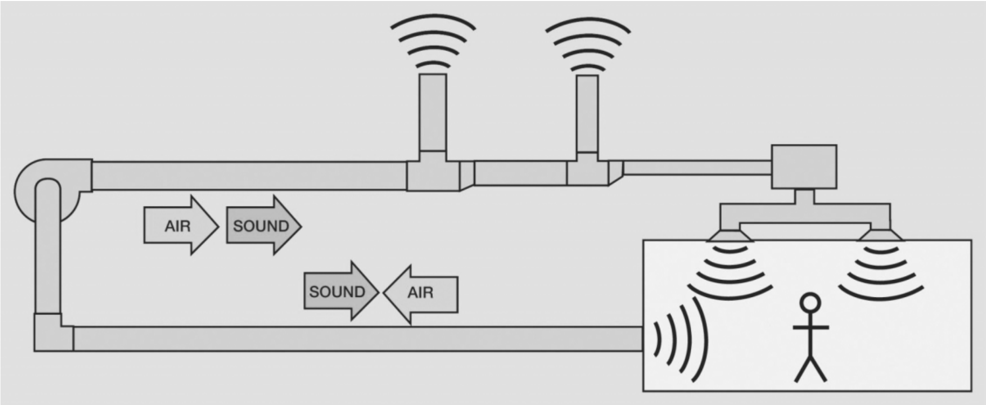
(၁) အခန်း သို့မဟုတ် အသုံးပြုပုံကို လိုက်၍ သင့်လျော်သည့်၊ လက်ခံနိုင်သည့် ဆူညံသံ(acceptable noise criteria (NC)) ကို သတ်မှတ်ပါ။

(၂) ဖြစ်ပေါ်လာမည့် ဆူညံသံ(sound source)၏ spectrum ကို ခန့်မှန်းပါ။

(၃) တစ်နေရာချင်းစီမှ ထွက်ပေါ်လာမည့် ဆူညံစုစုပေါင်း(resultant sound level criteria)ကို တွက်ပါ။

(၄) လက်ခံနိုင်သည့် ဆူညံသံ(acceptable noise criteria) နှင့် resultant sound level တို့ကို နှိုင်းယှဉ်ပါ။

(၅) သင့်လျော်သော ဆူညံသံ ထိန်းချုပ်နိုင်သည့် ကိရိယာ(noise control product)များကို အသုံးပြု၍ အလိုရှိသည့် NC level သို့ ရောက်အောင် ပြုလုပ်ပါ။



ပုံ ၅-၂၉ Duct system acoustics

Design guidelines for HVAC system noise in unoccupied spaces

အသုံးပြုသူများ အခန်းအတွင်း၌ မရှိချိန်တွင် ဖြစ်ပေါ်နေသည့် လက်ခံနိုင်သည့် ဆူညံသံများကို ဖော်ပြထားသည်။

အခန်းအမျိုးအစား (Room Types)	**RC / NC**
Private Residences	25-35
Hotels/Motels	
Individual rooms or suites	25-35
Meeting/banquet rooms	25-35
Corridors, lobbies	35-45
Service/support areas	35-45
Office Buildings	
Executive and private offices	25-35
Conference rooms	25-35
Teleconference rooms	< 25
Open-plan offices	< 40
- With sound masking	< 35
Corridors and lobbies	40-45
Hospitals and Clinics Private rooms	25-35
Wards	30-40
Operating rooms	25-35
Corridors and public areas	30-45
Performing Arts Spaces	c
Drama theaters	25
Music teaching studios	25
Music practice rooms	30-35
Schools	
Classrooms	25-30
Large lecture rooms	25-30

Large lecture rooms, without speech amplification	25
အခန်းအမျိုးအစား (Room Types)	**RC / NC**
Laboratories (with Fume Hoods)	
Testing/research, minimal speech communication	45-55
Research, extensive telephone use, speech communication	40-50
Group teaching	35-45
Church, Mosque, Synagogue	
General assembly	25-35
With critical music programs c	
Libraries	30-40
Courtrooms	
Un-amplified speech	25-35
Amplified speech 30-40	30-40
Indoor Stadiums, Gymnasiums	
Gymnasiums and natatorium	40-50
Large seating-capacity spaces with speech amplification 45-55	45-55

၅.၅.၄ လေယိုစိမ့်မှု (Duct Leakage)

လေယိုစိမ့်ခြင်း(leakage) ပတ်သက်၍ ကိုးကားနိုင်သည့် စံချိန်စံညွှန်းများမှာ ANSI ၊ SMACNA ၊ ASHRAE standard တို့ ဖြစ်သည်။

လေယိုစိမ့်ခြင်း၏ အကျိုးဆက်များ (Impact of Leakage)

လေယိုစိမ့်ခြင်း(leakage)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည့် စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှုများ နှင့် ကုန်ကျစရိတ်များကို အောက်တွင် ဇယားဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

Energy Cost Example

Cost/year = [CFM x TP] / [8,520 x Eft] x Hours/Year x $/kwh

Leakage (%)	CFM (Cu ft/min)	RPM (rev/min)	SP (in wg)	VP (in wg)	TP (in wg)	BHP (hp)	Oper/yr (5/year)	Extra Oper/yr (5/year)	Increased Oper/yr WO
0	20,000	530	1.50	0.39	1.89	6.68	5,600	-	-
5	21,000	557	1.65	0.43	2.08	7.73	6,481	881	15.7
10	22,000	583	1.82	0.47	2.29	8.89	7,452	1,852	33.3
15	23,000	610	1.98	0.52	2.50	10.16	8,515	2,915	52.1
20	24,000	636	2.16	0.56	2.72	11.54	9,675	4,075	73.0
30	26,000	689	2.54	0.66	3.20	14.68	12,301	6,701	120.0

အောက်ပါ အချက်များကို အခြေခံ၍ တွက်ယူထားသည်။

Electric rate $0.15/kWh	=	0.15
52 weeks/year x 6 days/week x 24 hr/day	=	7,488 hr
Fan/motor Efficiency	=	89
Initial velocity	=	2,501

Annual Operational Costs

$$\frac{Cost}{Year} = \left(\frac{Q_{fan}\ x\ FTP}{8520\ x\ Efficiency}\right) x\ \frac{Hours}{Year}\ x\ \frac{\$}{kWh}$$

Cost/Year	=	system first year operating cost ($)
Q_{fan}	=	system volume flow rate (CFM)
FTP	=	system total operating pressure (in wg)
Hours/Year	=	number of hours the system operates in one year $/kwh = cost of energy
Efficiency	=	fan/motor drive combined efficiency
8,520	=	conversion factor to kWh (kilowatt hours)

လက်ခံနိုင်သည့် လေယိုစိမ့်နှုန်း (Suggested Leakage Levels)

Leakage Levels Test Pressure (in wg)	SMACNA Class 3 (CFM/100 sq ft)	Leakage (%)
0-1	3.0	2
1-2	4.6	2
2-3	6.0	1
3-4	7.4	1
4-6	9.6	0.5
6-10	13.5	0.5

၅.၅.၅ SMACNA Ductwork Testing

(၁) -4" water gauge ထက်နည်းလျှင် pressure rating ၏ တစ်ဆခွဲနှင့် စမ်းသပ်မှု(test) ပြုလုပ်ရမည်။ (1.5 X pressure rating)

(၂) -3" water gauge မှ +3" water gauge အတွင်း ductwork test လုပ်လေ့ မရှိပါ။

(၃) +4" water gauge ထက်များလျှင် pressure rating ၏ တစ်ဆခွဲနှင့် စမ်းသပ်မှု(test) ပြုလုပ်ရမည်။ (1.5 X Pressure Rating)

(၄) ASHRAE Standard 90.1-2001 and 2004 အရ static pressures +3" water gauge ထက် ပိုမြင့်သည့် duct system ၏ ၂၅%ကို စက်မှုလုပ်ငန်းများက လက်ခံသည့်နည်း (industry-accepted procedures) ဖြင့် စစ်ဆေးရန် လိုသည်။

(၅) 2003 IMC and 2006 IMC reference SMACNA HVAC manual for ductwork testing အရ static pressure +3" water gauge ထက် ပိုမြင့်သည့် duct system ၏ ၂၅% ကို စက်မှုလုပ်ငန်းများက လက်ခံသည့်နည်း (industry-accepted procedures) ဖြင့် စစ်ဆေးရန် လိုသည်။

၅.၆ Duct အရွယ်အစား ရွေးချယ်နည်း(Sizing) အမျိုးမျိုး

စီးပွားရေးလုပ်ငန်းများအတွက် အသုံးပြုသော အဆောက်အဦများနှင့် စက်မှုလုပ်ငန်းများတွင် အသုံးပြုသော air duct system ကို ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရာတွင် အောက်ပါ အချက်အလက်များကို အခြေခံ၍ တွက်ချက်ကြသည်။

(၁) တပ်ဆင်ရန်အတွက် နေရာ လုံလောက်မှုရှိမရှိ (space availability)
(၂) လေပျံ့နှံ့စေရမည့် နေရာ (space air diffusion)
(၃) အသံ ဆူညံမှု (noise levels)
(၄) Duct မှ လေယိုစိမ့်မှု (duct leakage)
(၅) လေများ duct အတွင်းမှ စီးဆင်းသွားခြင်းကြောင့် အပူတိုးလာမှု(duct heat gain) သို့မဟုတ် အပူဆုံးရှုံးမှု (duct heat loss)
(၇) လေဖြန့်ဖြူးမှု ညီညာစေရန် (air balancing)
(၈) မီးလောင်ခဲ့သော် မီးခိုးများကို ထိန်းချုပ်ရန် နည်းလမ်းများ ကြိုတင်ပြင်ဆင်ထားမှု (fire and smoke control)
(၉) ဆောက်လုပ်ရန် အစဦးကုန်ကျစရိတ် (initial investment cost) နှင့်
(၁၀) လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ်(system operating cost) တို့ဖြစ်သည်။

Duct ဒီဇိုင်းကို မှားယွင်းစွာ တွက်ချက်မိပါက ဆောက်လုပ်ရန် ကုန်ကျစရိတ် အလွန်များ လိမ့်မည် သို့မဟုတ် လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ် အလွန် များလိမ့်မည်။ လေပျံ့နှံ့မှု(air distribution) မကောင်းမွန် မညီညာပါက ကျန်းမာရေး ထိခိုက်နိုင်သည်။ ပူလွန်းအေးလွန်းခြင်း(discomfort) ဖြစ်ပေါ်နိုင် သည်။ Sound attenuator ဒီဇိုင်းလုပ်ပုံ မမှန်ကန်မှု နှင့် မတပ်ဆင်ထားမှုတို့ကြောင့် အလွန်ဆူညံသော အသံများ ထွက်ပေါ်လာနိုင်သည်။ လေဖြန့်ဖြူးမှု(air distribution) ညီညာရန် ခက်ခဲလိမ့်မည်။

Duct များ တည်ဆောက်ထားပုံ(construction) မမှန်ကန်မှုကြောင့် လေယိုစိမ့်မှုများ(leakage) ဖြစ်ပေါ်ကာ လေထွက်ပေါက်(terminal)များဖြစ်သော air diffuser များတွင် လိုအပ်သော လေပမာဏ အလုံအလောက် မရရှိနိုင်တော့ပေ။ သင့်လျော်သော duct insulation မရှိသောကြောင့်လည်း အပူတိုးလာမှု(heat gain) သို့မဟုတ် အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss) ဖြစ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် system ဒီဇိုင်း ၏ frictional loss နှင့် dynamic resistance တို့ကို ရှင်းလင်းစွာ နားလည်ပြီး မှန်ကန်စွာ တွက်ချက်နိုင်ရန် လိုအပ်သည်။

Ductwork Sizes

(၁) 4" X 4" ထက် ပိုသေးငယ်သည့် လေးထောင့်ပုံသဏ္ဍာန်(rectangular) duct အရွယ်အစား (size) လုံးဝ မပြုလုပ်သင့်ပါ။
(၂) 8" X 4" သည် လက်ခံနိုင်သည့် အငယ်ဆုံး အရွယ်အစား(smallest recommended size) ဖြစ်သည်။
(၃) ပုံမှန်အားဖြင့် ပြုလုပ်လေ့ရှိသော လေးထောင့်ပုံသဏ္ဍာန်(rectangular) duct အရွယ်အစားများသည် 24″ X 12″ ၊ 10″ X 6″ ၊ 72″ X 36″ ၊ 48″ X 12″ တို့ဖြစ်သည်။ (စုံဂဏန်း(evern number)ဖြင့် ဆုံးသော duct အရွယ်အစား များကို အသုံးများသည်။)
(၄) 4:1 သည် သင့်လျော်သည့် အမြင့်ဆုံး(maximum recommended) aspect ratio ဖြစ်သည်။
(၅) အချင်း သုံးလက်မ(3") ရှိသော အသေးဆုံး အဝိုင်းပုံသဏ္ဍာန် (smallest round size) duct ရရှိနိုင်သည်။

၅.၆.၁ Duct အရွယ်အစား(Sizing) တွက်နည်းများ

အောက်ပါ နည်းတစ်မျိုးမျိုးကို အသုံးပြု၍ duct များ၏ အရွယ်အစား(size)ကို တွက်ချက်နိုင်သည်။

(က) Pressurized Method

(ခ) Equal Friction Sizing Method (Constant Pressure Loss Method)

(ဂ) Static Regain Method

(ဃ) Total Pressure Method

(င) Velocity Reduction Method နှင့်

(စ) Constant Velocity Method တို့ ဖြစ်သည်။

သို့သော် အောက်ပါနည်း သုံးမျိုးသည် conventional duct design method များ ဖြစ်ကြပြီး အသုံးများသော duct ဒီဇိုင်းလုပ်နည်းများ ဖြစ်ကြသည်။

(၁) Velocity Reduction Method

(၂) Equal Friction Method နှင့်

(၃) Static Regain Method တို့ ဖြစ်သည်။

(က) Pressurized Method

တစ်ခါတစ်ရံ duct များအတွက် လိုအပ်သော နေရာအကျယ် အလုံအလောက် ရရှိရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် ရသည့်နေရာ၌သာ အသင့်လျော်ဆုံး duct အရွယ်ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ကြရသည်။ ထိုကဲ့သို့ နေရာ အခက်အခဲရှိသည့် အခြေအနေမျိုးတွင် ရသည့်နေရာ၌ ဖြစ်နိုင်သည့် duct အရွယ်အစား(size)ကို ရွေးချယ်ကြသည်။

(ခ) Equal Friction Sizing Method (Constant Pressure Loss Method)

Equal friction နည်း(method)ကို ရိုးရှင်းလွယ်ကူမှု နှင့် အတိမ်းအစောင်းခံမှု(flexibility) တို့ကြောင့် အလွန် အသုံးများသည်။ Duct တစ်လျှောက်လုံးတွင် ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss) တစ်ညီတည်းဖြစ်အောင် duct များကို အရွယ်အစား ရွေးချယ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

System တစ်ခုလုံး၌ duct အရှည် တစ်မီတာတိုင်းအတွက် ပုံသေ 1 Pascal (1Pa/m)နှုန်း ဖိအားဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်အောင် duct များ ၏ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်းကို "Equal Friction Method" ဟု ခေါ်သည်။ Supply နှင့် extract duct system များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ရာတွင် "Equal Friction Method" ကို အသုံးပြုသည်။

ASHRAE ၏ စံချိန်စံညွှန်းများအရ တစ်ယူနစ် duct အလျားတွင် အများဆုံး နှင့် အနည်းဆုံး ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(high and low limits for pressure loss per unit length)ကို လည်းကောင်း၊ အများဆုံး နှင့် အနည်းဆုံး လေအလျင်(velocity)ကို လည်းကောင်း၊ ထည့်သွင်းတွက်ချက်ရမည်။ သို့မဟုတ် မိမိလက်ခံနိုင်သည့် တစ်ယူနစ် duct အလျားတွင် ဖြစ်ပေါ်မည့် ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss per unit length)ကို ထည့်သွင်း တွက်ချက် နိုင်သည်။

"Equal Friction Method" တွက်နည်း အဆင့်ဆင့်ကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

(က) ပထမဦးစွာ friction loss per unit length ကို အရင် သတ်မှတ်ရသည်။ ဥပမာ duct အရှည် တစ်မီတာတိုင်းအတွက် ပုံသေ 1 Pascal(1Pa/m)နှုန်း ဖိအားဆုံးရှုံးမှုကို လက်ခံနိုင်သည်။

(ခ) ထိုသတ်မှတ်ထားသော friction loss (1 Pa/m)နှင့် လေစီးနှုန်း(air flow rate)ကို အခြေခံ၍ duct များ ၏ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ကြသည်။ Friction loss chart မှ duct အရွယ်အစား(size) ကို ရှာနိုင်သည်။

(ဂ) ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss) အများဆုံးဖြစ်မည့် အပိုင်း(section)တစ်လျှောက်လုံး၏ friction loss ကို တွက်ယူသည်။ အရှည်ဆုံးအပိုင်း(duct section)၊ elbow များ နှင့် fitting များ ၏ friction loss ကိုပါ ထည့်သွင်း တွက်ချက်ရသည်။

(ဃ) နေရာအခက်အခဲများကြောင့် duct အရွယ်အစား(size) ပြောင်းလဲရန် လိုအပ်ပါက သတ်မှတ် ထားသည့် friction loss coefficient အတိုင်း duct အရွယ်အစား(size)ကို ပြန်လည် ပြင်ဆင် နိုင်သည်။ System တစ်ခုလုံး၏ စုစုပေါင်း ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(total pressure loss) ပြောင်းလဲသွားလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

သို့သော် "Equal Friction"နည်း ၏ အားနည်းချက်သည် လေဖြန့်ဖြူးမှု ညီညာအောင်(air balancing) လုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။

(ဂ) Static Regain Sizing Method

"Static Regain Method" သည် ပို၍ ရှုပ်ထွေးခက်ခဲစွာ တွက်ချက်ရသည့်နည်း ဖြစ်သည့်အပြင် အလွန် အချိန်ကုန်သော တွက်ချက်နည်းမျိုး ဖြစ်သည်။ ထိုနည်းဖြင့် တွက်ချက်ထားသော duct များကို ဆောက်လုပ်ရန် အတွက်(equal friction method နှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင်) ပစ္စည်း(material)များစွာ အသုံးပြုရသည်။

"Static Regain Method"တွင် terminal တိုင်း နှင့် branch duct section တိုင်းအတွက် ဖိအား ဆုံးရှုံးမှု(pressure loss) တူညီအောင် duct အရွယ်အစားများကို ရွေးချယ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပထမဆုံး branch duct section ၏ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss) သည် နောက်ဆုံး branch duct section ၏ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss) နှင့် တူညီကြသည်။

ရှည်သည့် duct အပိုင်း(section) နှင့် တိုသည့် duct အပိုင်း(section) တို့၏ ဖိအားဆုံးရှုံးမှုများ (pressure losses) တူညီအောင် ပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ရှည်သော duct section ၏ duct အရွယ်အစား(size)သည် တိုသော duct အပိုင်း(section) ၏ duct အရွယ်အစား(size)ထက် ပိုကြီးအောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် တူညီသော ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ဖြစ်စေရန် အတွက် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် "Static Regain Method" ကို တစ်ခါတည်းနှင့် အပြီးတွက်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ထပ်ကာ ထပ်ကာ ပြန်တွက်ရန် လိုအပ်သော iteration process မျိုး ဖြစ်သည်။

(ဃ) Total Pressure Sizing Method

Total pressure sizing method သည် static regain method မှ ခွဲထွက်လာသော တွက်နည်း တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။

(င) Velocity Reduction Sizing Method

Velocity reduction နည်းသည် duct အတွင်းရှိ လေအလျင်(air velocity)ကို လိုသလို ဖြစ်အောင်ထိန်း၍ တွက်ရသော နည်းဖြစ်သည်။ အလျင်(velocity) များခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ဆူညံသံ (noise)ကို ကာကွယ်တားဆီးရန် အတွက်ဖြစ်သည်။ Duct အရွယ်အစားကို မရွေးချယ်မီ ကြိုတင်၍ လက်ခံနိုင်သည့် လေအလျင်(acceptable velocity)ကို သတ်မှတ်ရန်လိုသည်။ သတ်မှတ်ထားသော လေအလျင် (velocity)မှ duct ဧရိယာကို တွက်ယူပြီး၊ ထိုမှတစ်ဆင့် duct အရွယ်အစား(size)ကို တွက်ယူသည်။ အဝိုင်း ပုံသဏ္ဍာန်(round) duct သို့မဟုတ် လေးထောင့်ပုံသဏ္ဍာန်(rectangular) duct အရွယ်အစား (size)ရပြီး မှသာ ဖိအားဆုံးရှုံးမှုများ(pressure losses)ကို ပြန်တွက်ယူရသည်။

ဤနည်းသည် အလွန်ဆူညံသည့် အသံများ(high noise level)ကို လက်မခံနိုင်သော ရုပ်ရှင်ရုံများ၊ စာကြည့်တိုက်များ၊ စာဖတ်ခန်းများ၊ တရားထိုင်ခန်းများ နှင့် အရေးကြီးသော အစည်းဝေးခန်းများအတွက် အလွန် သင့်လျော်သည်။ လေအလျင်(velocity) မည်မျှများလျှင် ဆူညံသံများ(noise level) မည်မျှမြင့်မားသည်ကို သိရန် ASHRAE စာအုပ်များ ၊ SMACNA မှ "HVAC Duct Construction Standards"ကို ကိုးကားနိုင်သည်။

(စ) Constant Velocity Sizing Method

Constant velocity method သည် duct များ အားလုံးအတွက် သတ်မှတ်ထားသည့် သို့မဟုတ် တင်ဒါ(tender)၌ သတ်မှတ်(specified)ထားသည့် လေအလျင်(velocity)ကို အခြေခံ၍ duct အရွယ်အစား များကို တွက်ချက်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ရရှိသည့် duct အရွယ်အစား(size)မှ တစ်ဆင့် ဖိအားဆုံးရှုံးမှုများ(pressure losses)ကို တွက်ယူ နိုင်သည်။

၅.၆.၂ ပွတ်တိုက်မှုကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(Friction Losses in Duct)

Friction loss သည် fluid viscosity နှင့် မတူညီသော လေအလျင်(velocity)ဖြင့် စီးနေသော မော်လီကျူးလေးများ တစ်ခုနှင့် တစ်ခုအကြားတွင် momentum များ အပြန်အလှန် လက်ဆင့်ကမ်းမှုများကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ Friction loss သည် duct တစ်လျှောက်လုံးတွင် ဖြစ်ပေါ်သည်။

Equal friction method သည် system တစ်ခုလုံးအတွက် တူညီသော loss per unit length ကို အသုံးပြုသည်။

ပွတ်တိုက်မှုကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(friction loss)ပမာဏသည် အောက်ပါ အချက်အလက်များ ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(၁) Duct အရွယ်အစား(size) ကြီးလျှင်၊ လေအလျင်(velocity) နည်းပြီး၊ friction loss နည်းသည်။

(၂) Duct ၏ အတွင်းမျက်နှာပြင် ကြမ်း(interior surface roughness)လျှင် friction loss များသည်။

(၃) လေစီးဆင်းမှုနှုန်း (air flow rate) များလျှင် friction loss များသည်။

(၄) Duct အရှည် (length) များလျှင် friction loss များသည်။

၅.၆.၃ Head and Pressure

Head နှင့် pressure ကို အပြန်အလှန် အဆင်ပြေသလို သုံးနှုန်းပြောဆိုလေ့ ရှိကြသည်။ Head ဆိုသည်မှာ fluid တစ်မျိုးမျိုး စီးဆင်းမှုကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော ထို fluid ၏ column အမြင့်ပင် ဖြစ်သည်။ ("Head" is the height of a fluid column supported by fluid flow.) Pressure ဆိုသည်မှာ ယူနစ်ဧရိယာ တစ်နေရာအပေါ်တွင် သက်ရောက်နေသော အားပမာဏ ဖြစ်သည်။ စီးဆင်းနေသည့် fluid (flowing fluid) ကို တိုင်းမည့်အစား ထို fluid ၏ ဒေါင်လိုက်အမြင့်(head)ကို တိုင်းတာခြင်းသည် ပို၍ လွယ်ကူသည်။ ထို့ကြောင့် အရည်များ (liquid) များအတွက် "Head" ဆိုလျှင် ဒေါင်လိုက်အမြင့်(column liquid) ဖြစ်သည်။

ဥပမာ - pump များအတွက် (၅)မီတာ Head ဆိုလျှင် 5 meter of water column (WC) ဖြစ်သည်။

သို့သော် လေ သို့မဟုတ် ဓာတ်ငွေ့တစ်မျိုးမျိုးကို တိုင်းရန်အတွက် အရည်(liquid)တစ်မျိုးမျိုး ၏ column မှ တစ်ဆင့် တိုင်းယူရသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် လေ သို့မဟုတ် ဓာတ်ငွေ့တစ်မျိုးမျိုး တိုက်ရိုက် တိုင်းယူရန် မဖြစ်နိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ဥပမာ လေဖိအား(air pressure)ကို ရေ၏ ကော်လံအမြင့် သို့မဟုတ် မာကျူရီ အရည်၏ ကော်လံအမြင့်ဖြင့် ဖော်ပြ ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။

Air pressure 1 Pound per Square Inch (PSI) = 51.71 millimeter of mercury (mmHg) လေပေါင် တစ်ပေါင် ဖိအားသည် 51.71 mm of mercury (mmHg) ၏ ကော်လံအမြင့်နှင့် ညီမျှသည်။

$$\boldsymbol{Total\ Pressure\ =\ Static\ Pressure\ +\ Velocity\ Pressure}$$

Darcy-Weisbach Equation သည် fluid များ pipe သို့မဟုတ် duct အတွင်းတွင် ဖြတ်သန်းစီးဆင်း သွားသည့်အခါ ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ပမာဏကို တွက်ချက်ရန် အသုံးပြုသည်။ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure drop) သည် fluid များ၏ ပွတ်တိုက်မှုများ(friction)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ Darcy-Weisbach Equation ကို fully developed flow များအတွက်သာ အသုံးပြုရန် ဖြစ်သည်။

Darcy and Colebrook Equations

Duct သို့မဟုတ် ပိုက်(pipe) အတွင်း၌ fluid များ ဖြတ်သန်း စီးဆင်းသွားသည့်အခါ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ဖိအားဆုံးရှုံးမှု (pressure drop) ပမာဏကို တွက်ချက်ရန်

$$\boldsymbol{\Delta P_f = \frac{1000\, f\, L}{D_h} \cdot \frac{\rho\, V^2}{2}}$$

$\boldsymbol{\Delta P_f = friction\ losses\ in\ terms\ of\ total\ pressure\ (Pa)}$

$\boldsymbol{f = friction\ factor\ (dimensionless)}$

$L = duct\ length\ (m)$

$D_h = hydraulic\ diameter\ (m)$

$V = velocity\ (m/s)$

$\rho = density\ (kg/m^3)$

အထက်ပါ ပုံသေနည်းတွင် friction loss ကို ရရှိရန်အတွက် friction factor ၏ တန်ဖိုးကို ရရှိရန် လိုအပ်သည်။

(က) Fluid များသည် laminar flow ပုံစံဖြင့် စီးဆင်းနေသည့် အခါ Reynolds နံပါတ်သည် (၂၀၀၀) ထက် မကျော်ပေ။ (Reynolds numbers less than 2000)။ Friction factor သည် Reynolds number တစ်မျိုးတည်း အပေါ်တွင်သာ မူတည်သည်။

(ခ) Fluid များသည် turbulent flow ပုံစံဖြင့် စီးဆင်းနေသည့် အခါ friction factor သည် Reynolds နံပါတ် (Reynolds number)၊ အတွင်းမျက်နှာပြင် ချောမှု၊ ကြမ်းမှု (duct surface roughness) နှင့် joint များ ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Friction factor ၏ တန်ဖိုးကို တွက်ရန်

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\,log\left(\frac{\varepsilon}{3.7\,D_h} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$$

$\varepsilon = material\ absolute\ roughness\ factor(mm)$

$Re = Reynolds\ number$

အထက်ပါ ပုံသေနည်းသည် friction factor ကို ရရှိရန်အတွက် ရေးနော့နံပါတ် (Reynolds number)၊ အတွင်းမျက်နှာပြင် ချောမှု၊ ကြမ်းမှု(duct surface roughness) နှင့် hydraulic diameter တို့ကို သိရန် လိုအပ်သည်။

အဝိုင်းပုံသဏ္ဍာန်မဟုတ်သည့်(non circular) duct များ တွင် laminar flow များကြောင့် လေအလျင် မညီမညာခြင်း(inconsistencies)များ ဖြစ်ပေါ်လာခြင်း၊ non circular duct များ တွင် laminar flow များ ဖြစ်ပေါ်လာသည့်အခါ တိကျသောအဖြေ မရရှိနိုင်သောကြောင့် hydraulic diameter ကို ထည့်သွင်း တွက်ချက်ရန် လိုအပ်သည်။

$Reynolds\ number(Re)$ တွက်ရန်

$$Re = \frac{D_h\ V}{1000\,v}$$

$$v = kinematic\ viscosity\ (m/s)$$

လေအတွက် $Reynolds\ number(Re)$ တွက်ရန်

$$Re = 66.4\,D_h\,V$$

Hydraulic Diameter(D) ကို Reynolds Number(dimensionless) တွက်ရာတွင် အသုံးပြုသည်။ Duct အတွင်း၌ စီးနေသည့် လေအမျိုးအစား(turbulent or laminar)ကို ဆုံးဖြတ်ရန်အတွက် Reynolds Number တန်ဖိုးကို သိရန် လိုအပ်သည်။

Reynolds Number သည် (၂၃၀၀) ထက်နည်းလျှင် "**Laminar flow**" အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ (Laminar if Re < 2300)

Reynolds Number သည် (၂၃၀၀) နှင့် (၄၀၀၀) အတွင်းဖြစ်လျှင် "**Transient flow**" အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ (Transient for 2300 < Re < 4000)

Reynolds Number သည် (၄၀၀၀) ထက်များလျှင် **"Turbulent flow"** အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ (Turbulent if Re > 4000)

အဝိုင်းပုံသဏ္ဍာန်မဟုတ်သည့် (Noncircular) Duct

$$D_h = \frac{4A}{P}$$

$D_h = hydraulic\ diameter\ (mm)$
$A = Duct\ Area\ (mm^2)$
$P = perimeter\ of\ cross\ section\ (mm)$

အထက်ပါ ပုံသေနည်းအတိုင်း hydraulic diameter ကို တွက်ချက်နိုင်သည်။

> လက်တွေ့ စမ်းသပ်ချက်များအရ hydraulic diameter တူညီသော အမျိုးမျိုးသော round ၊ square ၊ နှင့် rectangular duct များ သည် တူညီသော flow resistance (at equal mean velocities) များကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။

Rectangular Duct

Rectangular duct ကို စီးနှုန်း(flow) တူ၊ ခုခံအား(resistance)တူ၊ အရှည်တူ သည် round duct တန်းဖိုးအဖြစ် ပြောင်းရန်

$$D_e = \frac{1.30\ (ab)^{0.625}}{(a+b)^{0.250}}$$

$D_e = circular\ equivalent\ of\ rectangular\ duct\ (mm)$
$a = Length\ of\ one\ side\ of\ the\ duct\ (mm)$
$b = Length\ of\ adjacent\ side\ of\ the\ duct\ (mm)$

Flat Oval Duct

$$D_e = \frac{1.55\ A\ R^{0.625}}{P^{0.250}}$$

$$AR = \left(\pi \frac{a^2}{4}\right) + a(A-a)$$

$$P = \pi a + 2(A-a)$$

A = major axis of flat oval duct (mm)
a = minor axis of flat oval duct (mm)
P = perimeter of flat oval duct (mm)

Friction factor ၏ တန်ဖိုးသည် ရေးနော့နံပါတ်(Reynolds number) အတွင်းမျက်နှာပြင် ချောမှု၊ ကြမ်းမှု(duct surface roughness) နှင့် hydraulic diameter တို့ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ထိုအချက်အလက်များကို အသုံးပြု ဂဏန်းတွက်စက်ဖြင့် တွက်ချက်ခြင်းသည် အလွန် အလုပ်ရှုပ်သော ကိစ္စဖြစ်သည်။ ပုံသေနည်းကို အသုံးပြုမည့်အစား ဂရပ်(graph)မှ ဖတ်ယူခြင်းသည် ပိုမိုလွယ်ကူသည်။

၅.၆.၄ Friction Chart မှ ဖိအားကျဆင်းမှု(Pressure Drop) တွက်ယူနည်း

ASHRAE မှ friction chart သည်

(က) Friction losses (Pa/ m)
(ခ) Air Quantity (Liter per Second)
(ဂ) Velocity (m/s)
(ဃ) Round duct diameter(mm) တို့ဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည်။

(၁) ဂရပ်တွင် **Friction losses (Pa/m)** ကို အလျားလိုက်မျဉ်းများ(horizontal lines)ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ 0.1 Pa/m မှ 100 Pa/m အထိရှိသော်လည်း အသုံးပြုရန် အတွက် သင့်လျော်သည့် နေရာမှာ 0.7 Pa/m မှ 5 Pa/m အတွင်းသာ ဖြစ်သည်။ duct အရှည် တစ်မီတာ တိုင်းတွက် ဖြစ်ပေါ်လာသော friction loss ၏ တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။

(၂) **Air Quantity (Liter per Second)** ကို ဒေါင်လိုက်မျဉ်းများ(vertical lines)ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ 20 L/s မှ 200,000 L/s အထိရှိသည်။

(၃) **Velocity (m/s)** ကို ဘယ်ဘက်သို့ စောင်းနေသော ကန့်လန့်ဖြတ် မျဉ်းများဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ Duct အတွင်းတွင် ဖြတ်စီးသွားသော လေ၏ အလျင် ဖြစ်သည်။

(၄) **Round Duct Diameter(mm)** ကို ညာဘက်သို့ စောင်းနေသော ကန့်လန့်ဖြတ် မျဉ်းများဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ ဂရပ်တွင် ပါဝင်သော အမျိုးအစား လိုင်းလေးမျိုးအနက်မှ သိထားသည့် နှစ်မျိုးကို အသုံးပြု၍ ကျန်သည့် နှစ်မျိုးကို ရရှိနိုင်သည်။

တွက်နည်း ဥပမာ

25,000 CHM ရှိသော AHU တစ်လုံးမှ အဝိုင်းပုံစံရှိသော (round duct) main duct ၏ အရွယ်အစားကို ရှာပါ။ (maximum friction losses ကို 1 Pa/m ကို အခြေခံ၍ တွက်ချက်ပါ။) ထို round duct သည် မီတာ(၂၀၀) အရှည် ရှိသည်ဆိုလျှင် total friction losses မည်မျှ ဖြစ်မည်နည်း။

ဂရပ်မှ ဖတ်ယူပါက ပိုမိုလွယ်ကူသည်။ ပုစ္ဆာတွင်ပေးထားသော လေထုထည်(air quantity)သည် 25,000 CHM ဖြစ်သည်။ ဂရပ်တွင် ဖော်ပြထားသော လေအရည်အသွေး(air quantity)သည် Liter per Second ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် 25,000 CHM ကို Liter per Second အဖြစ်ပြောင်းရန် လိုအပ်သည်။

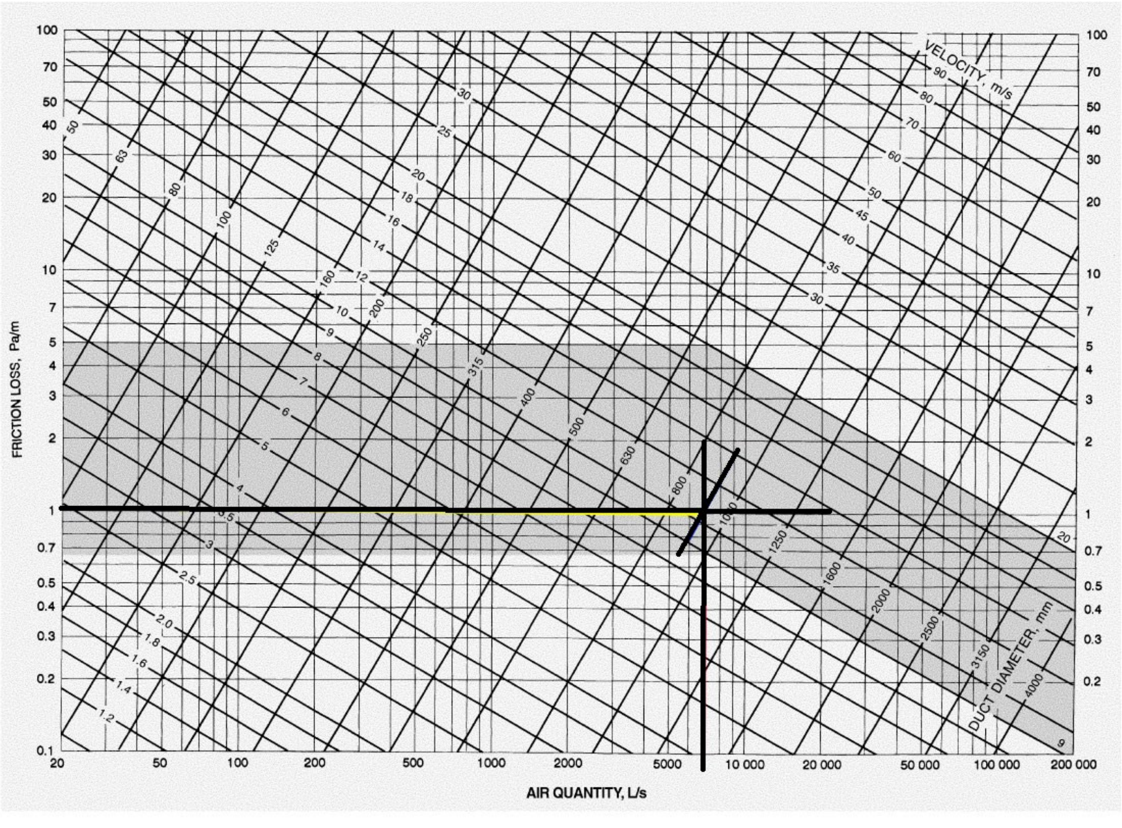


Fig. 9 Friction Chart for Round Duct (ρ = 1.20 kg/m^3 and ε = 0.09 mm)

ပုံ ၅-၃၀ ASHRAE friction chart

25,000 CHM x 1000 Liter per meter cube = 25,000,000 Liter per hour/ 3600 = 6944 L/s နှင့် Maximum Friction losses ကို 1 Pa/m အသုံးပြုလျှင် ဂရပ်ပေါ်တွင် ဆုံမှတ်(intersection point)တစ်ခု ရရှိသည်။

ဒေါင်လိုက်မျဉ်း တန်ဖိုးများ မှ 6944 L/s နေရာတွင် လိုင်းတစ်လိုင်းကို ဆွဲပါ။ အလျားလိုက် မျဉ်းတန်ဖိုးမှ 1 Pa/m နေရာတွင် လိုင်းတစ်လိုင်း ကိုဆွဲပါ။ ထိုအခါ ဆုံမှတ်(intersection point)တစ်ခု ရမည်။

ထိုဆုံမှတ်ရှိသည့် duct diameter လိုင်း(ညာဘက်သို့ စောင်းသော ကန့်လန့်ဖြတ်မျဉ်း)မှ တန်ဖိုးကို ဖတ်ပါ။ တန်းဖိုးသည် (၉၃၀)ခန့် ဖြစ်သည်။ (၉၃၀)မီလီမီတာ အချင်းရှိသော duct သည် ဈေးကွက်တွင် မရှိသောကြောင့် 950mm diameter အဝိုင်းပုံသဏ္ဍာန်(round) duct ကို ရွေးချယ်ရမည်။ အလျင်(velocity) သည် 10.2 m/s ခန့်ဖြစ်သည်။ ထို duct အမျိုးအစား နှင့် အသုံးပြုမည့် နေရာကို ကြည့်၍ ASHRAE recommend duct velocity နှင့် နှိုင်းယှဉ် စစ်ဆေးကြည့်ရမည်။ ဤလေအလျင်(duct velocity) 10.2 m/s သည် recommend duct velocity ထက် အလွန်များသည်ဆိုလျှင် 950mm ထက် ပိုကြီးသော duct ကို သုံးရန် စဉ်းစားသင့်သည်။

အသုံးများသော velocity limit များကို အောက်တွင် ဇယားဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

Type of Duct	Comfort Systems		Industrial Systems		High Speed Systems	
	m/s	FPM	m/s		m/s	FPM
Main ducts	4 - 7	780 - 1380	8 - 12	1575 - 2360	10 - 18	1670 - 3540
Main branch ducts	3 - 5	590 - 985	5 - 8	985 - 1575	6 - 12	1180 - 2360
Branch ducts	1 - 3	200 - 590	3 - 5	590 - 985	5 - 8	985 - 1575

လေဝင်ပေါက်များ(outlets) နှင့် လေထွက်ပေါက်များ(inlets) တို့၌ လေအလျင်(velocity) အလွန်များပါက လက်မခံနိုင်သော ဆူညံသံများ(unacceptable noise) ဖြစ်စေနိုင်သည်။

တွက်နည်း ဥပမာ

လေစီးနှုန်း(air flow rate) 18,000 CMH ရှိသော လေးထောင့်ပုံသဏ္ဍာန် (rectangular duct) 450mm x 1300mm ၏ ပွတ်တိုက်မှုကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(frictioin losses - Pa/m) ကို ရှာပါ။

Air Flow Rate 18,000 CMH ကို Liter per Second ဖွဲ့ပါ။

Air Flow Rate 18,000 CMH = 5,000 L/s

$$\mathbf{D_e} = \frac{\mathbf{1.30\ (ab)^{0.625}}}{\mathbf{(a+b)^{0.250}}}$$

D_e = circular equivalent of rectangular duct (mm)
a = Length of one side of the duct (mm)
b = Length of adjacent side of the duct (mm)

Rectangular duct 450mm x 1300mm ၏ circular equivalent of rectangular duct for equal length သည် 808mm ဖြစ်သည်။ 800 ကျော်ရုံမျှ သာဖြစ်သည်။

လေထုထည်(air quantity) 5,000 L/s နှင့် 800mm round duct diamenter ကို အသုံးပြု၍ ဂရပ်မှ ဖတ်လျှင် ပွတ်တိုက်မှုကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(friction losses - Pa/m)သည် 1.1 Pa/m ခန့် ဖြစ်သည်။

Friction Loss Estimate

1.5 X System Length (ft./100) X Friction Rate (in.W.G./100 ft.).

၅.၆.၅ Calculation for Duct Static Pressure Loss by Formula

Duct ၏ static pressure loss ကို တွက်ရာတွင်သုံးထားသော ပုံသေနည်း (formula)များကို ရှင်းပြထားသည်။

အဆင့်(၁) Ref: 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI), Chapter 34, Equation No:11

$$Velocity = \frac{0.001\ Q}{A} \qquad A = \frac{3.14\ x\ D_e^2}{4}$$

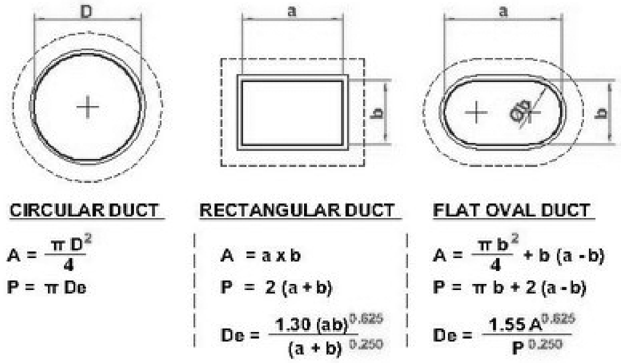
Where De = Circular Equivalent of Rectangular duct for equal length

Q = Air flow rate (L/sec)

ပထမဆုံး ပုံသေနည်းသည် 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI), Chapter 34, Equation No:11 အရ လေစီးနှုန်း(air flow rate) နှင့် round duct cross section area ကို ပေး၍ velocity (V) ကို တွက်ယူသော ASHRAE ပုံသေနည်းဖြစ်သည်။ လေစီးနှုန်း(air flow rate)ကို Liter per Second ဖြင့် ဖော်ပြသောကြောင့် 0.001 နှင့်မြှောက်ထားသည်ကို တွေ့ရမည်။

$$\boldsymbol{Air\ flow\ rate\ =\ Round\ Duct\ Cross\ Section\ Area\ x\ Velocity}$$

$\boldsymbol{A = (3.14\ x\ D_e^2)/4}$ သည် round duct cross section area ကို round duct diameter မှ တွက်ယူခြင်း ဖြစ်သည်။ Rectangular duct ဖြစ်ပါက အောက်ပါ ပုံသေနည်း(formula)ကို အသုံးပြု၍ circular equivalent diameter ဖြစ်အောင် ပြောင်းထားခြင်းဖြစ်သည်။



အဆင့်(၂)

$$\boldsymbol{D_e} = \frac{\boldsymbol{1.30\ (ab)^{0.625}}}{\boldsymbol{(a+b)^{0.250}}}$$

$D_e = circular\ equivalent\ of\ rectangular\ duct\ (mm)$
$a = Length\ of\ one\ side\ of\ the\ duct\ (mm)$
$b = Length\ of\ adjacent\ side\ of\ the\ duct\ (mm)$

Ref: 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI), Chapter 34, Equation No:25

အဆင့်(၃)

အောက်ပါ အလျင်(velocity)မှ velocity pressure ကို ပြောင်းသော ပုံသေနည်း(formula) ဖြစ်သည်။

Ref: 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI), Chapter 34, Equation No:09

$$\boldsymbol{Pv = 0.602\ x\ V^2}$$

Rv = Velocity Pressure (Pa)

V = Fluid mean Velocity (m/s)

အဆင့်(၄) Hydraulic Diameter (mm)

Ref: 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI), Chapter 34, Equation No: 24

$$\boldsymbol{D_h} = \frac{\boldsymbol{2\ (ab)}}{\boldsymbol{(a+b)}}$$

အဆင့်(၅) For Absolute Roughness Factor

Ref: 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI), Chapter 34, Table No: 01

မိမိ တွက်မည့် duct နှင့် သက်ဆိုင်သည့် absolute roughness factor ကို 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI), Chapter 34, Table No: 01 မှ ဖတ်ယူနိုင်သည်။

အဆင့်(၆) Reynolds number

$$\boldsymbol{Re = 66.4\ D_h\ V}$$

Ref: 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI), Chapter 34, Equation No:23

Re = Reynolds number

Dh = Hydraulic Diameter (mm)

V = Velocity (m/s)

အဆင့်(၇) Pressure Drop

Ref: 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI), Chapter 34, Equation No:21

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\,log\left(\frac{\varepsilon}{3.7\,D_h} + \frac{2.51}{Re\,\sqrt{f}}\right) \qquad f = 0.11\left(\frac{\varepsilon}{D_e} + \frac{68}{Re}\right)^{0.25}$$

$$\varepsilon = material\ absolute\ roughness\ factor(mm)$$

$$Re = Reynolds\ number$$

အဆင့်(၈) $if\ f > 0.018$ or $f = 0.018$

Ref: 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI), Chapter 34, Equation No:19

$$\Delta P_f = \frac{1000\,f\,L}{D_h}\cdot\frac{\rho\,V^2}{2}$$

ρ = 1.204 kg/m2 (for air)

Dh = Hydraulic Diameter, mm

V = Velocity (m/s)

If $f < 0.018$

$$\Delta P_f = \frac{1000\,(0.85f\ + 0.0028)}{D_h}\cdot\frac{\rho\,V^2}{2}$$

အဆင့်(၉)

For ducting,

$$Total\ Pressure\ = Duct\ Pressure\ Loss\ per\ meter\ x\ Length$$

For fittings,

$$Total\ Pressure\ = Velocity\ Pressure\ x\ Loss\ Coefficients$$

နမူနာတွက်ပြထားသော excel file ကိုအောက်ပါ internet address တွင် download လုပ်ယူနိုင်ပါသည်။
http://www.acmv.org/lecture/file/Duct_Static_Loss_calculation.xls

Ductwork Sizing Criteria Table (Ductwork Size Criteria)

System Type	Maximum Friction Rate in.W.G./100 ft.	Minimum Velocity ft./min.	Maximum Velocity ft./min.	Comments/Reasons
General Air Handling Systems				
Low Pressure Ducts	0.10 (0.15)	----	1,500–1,800	When CFM > 6,000 velocity governs;when CFM < 6,000 friction rate governs; applicable for supply, return, exhaust, and outside air systems
Medium Pressure Ducts	0.20 (0.25)	----	2,000–2,500	When CFM > 6,000 velocity governs; when CFM < 6,000 friction rate governs; applicable for supply systems only

High Pressure Ducts	0.40 (0.45)	----	2,500–3,500	When CFM > 5,000 velocity governs; when CFM < 5,000 friction rate governs; applicable for supply systems only
Transfer Air Ducts	0.03–0.05	----	1,000	When CFM > 3,200 velocity governs; when CFM < 3,200 friction rate governs
Outside Air Shafts	0.05–0.10	----	1,000	When CFM > 1,200 velocity governs; when CFM < 1,200 friction rate governs
Gravity Relief Air Shafts	0.03–0.05	----	1,000	When CFM > 3,200 velocity governs; when CFM < 3,200 friction rate governs
General Exhaust and Special Exhaust Systems				
General Exhaust Ducts	0.10 (0.15)	----	1,500–1,800	When CFM > 6,000 velocity governs; When CFM < 6,000 friction rate governs
Toilet Exhaust Ducts	0.10 (0.15)	----	1,500–1,800	When CFM > 6,000 velocity governs; When CFM < 6,000 friction rate governs
Kitchen Hood Exhaust Ducts	----	1,500	2,200	2003 IMC: 1,500 FPM min.; 2006 IMC: 500 FPM min.; NFPA 96-2004: 500 FPM min.
Dishwasher Exhaust Ducts	0.10 (0.15)	1,500	2,200	
Acid, Ammonia, and Solvent Mains	0.50 (0.60)	1,000	3,000	Mains and risers 1,500–3,000 FPM; Branches and lateral 1,000–2,000 FPM
Acid, Ammonia, and Solvent Stacks	----	3,000	4,000	
Silane Ducts	----	250	----	Velocity across the neck of the cylinder or cabinet window or access port
Louvers				
Intake	----	----	500	Maximum velocity through free area; assuming 50% free area—max. velocity 250 FPM through gross louver area
Exhaust or Relief	----	----	700	Maximum velocity through free area; assuming 50% free area—max. velocity 350 FPM through gross louver area

Notes: (1) Maximum aspect ratio 4:1; unless space constraints dictate greater aspect ratios.

(2) Duct velocities should not exceed 1,500 FPM or noise will result.

၅.၇ Duct ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ခြင်း (Duct Design)

၅.၇.၁ Design လုပ်ရန်အတွက် လိုအပ်သော အချက်အလက်များ (information)

- အလုပ်အပ်သူ၏ လိုအပ်ချက်များ (client requirements)
- သယ်ဆောင်ရမည့် လေအခြေအနေ(supply air condition)
- နေရာအကျယ် လုံလောက်မှု(space availability)
- ကုန်ကျစရိတ် (installation cost)
- လေ နှင့် duct အတွင်း မျက်နှာပြင် ပွတ်တိုက်မှု (air friction loss)
- Duct system configuration အမျိုးအစား (type) သို့မဟုတ် duct layout
- အသံဆူညံမှု(noise level)
- လေနှင့် duct အကြား အပူစီးကူးခြင်း နှင့် လေယိုစိမ့်ခြင်း(duct heat transfer and airflow leakage)
- လေထုအခြေအနေ(ambient conditions)
- Duct ပြုလုပ်ရန် ပစ္စည်း(material)များ
- Duct insulation
- Duct system layout
- ဒေသဆိုင်ရာ နှင့် နိုင်ငံတကာ စံချိန်စံညွှန်း လိုအပ်ချက်(codes and standards requirements)

Key design inputs	Design outputs
• Design volume flow rate (m^3/s)	• Schematic of ductwork layout & associated plant
• Limiting duct pressure loss (Pa/m)	• Schedule of duct sizes and lengths, and fittings
• Limiting flow velocity (m/s)	

Duct များကို ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ရာတွင် အောက်ပါ ယေဘုယျ စည်းကမ်းများကို လိုက်နာရန် လိုအပ်သည်။

(၁) လေများကို ရောက်လိုသည့်နေရာသို့ တိုက်ရိုက် (အခြားအခန်းများသို့ ကွေ့ပတ်သွားခြင်း မရှိဘဲ) ရောက်အောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် နေရာ၊ လျှပ်စစ်စွမ်းအား နှင့် ပစ္စည်း(duct material)များ သက်သာစေနိုင်သည်။

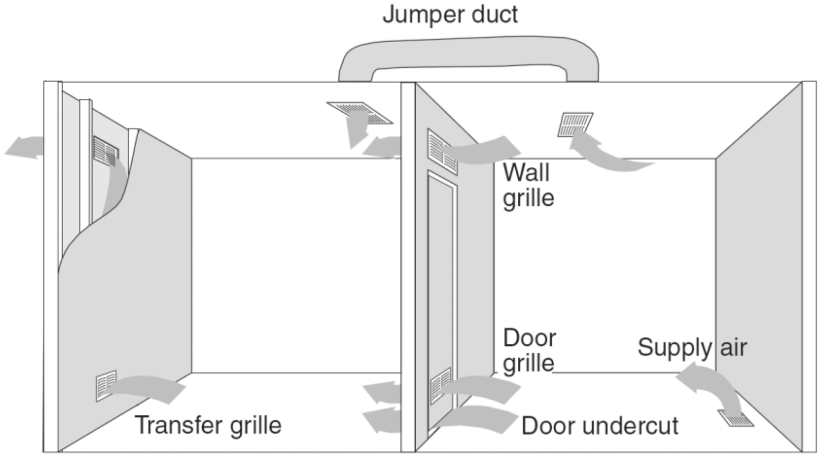
(၂) တတ်နိုင်သမျှ duct များကို တဖြောင့်တည်း ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်သင့်သည်။ ရုတ်တရက် ကွေးခြင်း (sudden changes in directions)မျိုး မဖြစ်အောင် ရှောင်ကြဉ်သင့်သည်။ နေရာအခက်အခဲကြောင့် မလွှဲမရှောင်သာ တပ်ဆင်ရပါက ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure loss)နည်းအောင် turning vane များကို အသုံးပြုသင့်သည်။

(၃) Duct များ ကျဉ်းရာမှ တဖြည်းဖြည်း ကျယ်သွားအောင်သာ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်သင့်သည်။ ထောင့်(angle of divergence)သည် 20° ထက် မပိုစေရ။

(၄) Aspect ratio သည် (၁)မှ (၄) အတွင်းသာ ဖြစ်ရမည်။ ဖြစ်နိုင်လျှင် Aspect Ratio (၁)ဖြစ်သည့် duct များကို ရွေးချယ်သင့်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် စတုရန်းပုံသဏ္ဌာန် duct များ နှင့် အဝိုင်းပုံသဏ္ဌာန် duct များကို အသုံးပြုသင့်သည်။ Aspect Ratio (၄)ထက်ကျော်သည့် duct များကို လုံးဝ အသုံးမပြုသင့်ပါ။

(၅) Duct များ တုန်ခါခြင်း(vibration)နှင့် ဆူညံသံ(noise)နည်းစေရန် သတ်မှတ်ထားသော လေအလျင်(air velocity) တန်ဖိုးများအတိုင်း duct အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း(sizing) ပြုလုပ်သင့်သည်။

(၆) ပွတ်တိုက်မှု(frictional loss)နည်းရန်အတွက် မျက်နှာပြင်ချောမွတ်သည့် ပစ္စည်းများ(duct material)များကို ဦးစားပေး အသုံးပြုသင့်သည်။



ပုံ ၅-၃၁ Transfer duct နှင့် အခန်းနံရံများကို လေများ သယ်ဆောင်ရန်အတွက် အသုံးပြုထားပုံ

Duct ဒီဇိုင်းတစ်ခု၏ အဓိက အချက်များမှာ

(က) Dimensional Stability ဖြစ်ရန်

Duct ၏ ပုံသဏ္ဍာန်(shape)၊ ခံနိုင်အား(strength) နှင့် ပုံပျက်ယွင်းခြင်း(deformation) စသည်တို့သည် dimensional stability နှင့် သက်ဆိုင်သော အချက်များ ဖြစ်သည်။

(ခ) လေယိုစိမ့်မှုများကို ထိန်းချုပ်ခြင်း (Leakage Control)

Positive pressure duct တွင် လေယိုစိမ့်ခြင်း(leakage)ကြောင့် လေဆုံးရှုံးခြင်း(air loss) ဖြစ်နိုင်သည်။ လေမလုံလောက်သည့် ပြဿနာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Negative presure duct တွင် လေယိုစိမ့်ခြင်း (leakage)ကြောင့် ပြင်ပမှ မလိုလားအပ်သည့် အမှိုက်များ၊ ဖုန်များ၊ အမှုန်များ၊ ဗက်တီးရီးယား ပိုးမွှားများ ဝင်ရောက်လာခြင်း စသည့် leakage control နှင့် သက်ဆိုင်သော ပြဿနာများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

(ဂ) အသံဆူညံခြင်း(Noise)

Duct များမှ ဆူညံသံများ စတင်ဖြစ်ပေါ်လာခြင်း(noise generation)၊ ဆူညံသံများ ပျံ့နှံ့ခြင်း(noise transmission) စသည်တို့သည် ဆူညံသံ(noise) နှင့် သက်ဆိုင်သော အချက်များ ဖြစ်သည်။

(ဃ) တပ်ဆင်အသုံးပြုမည့်နေရာ(Exposure)

ရာသီဥတုပြောင်းလဲခြင်း(weather)၊ အပူချိန် အလွန်နိမ့်ခြင်း မြင့်ခြင်း၊ ပင်လယ်နားနီးခြင်း တို့ကြောင့် duct များ သံချေးတက်လွယ်ခြင်း (corrosive atmosphere ဖြစ်ပေါ်ခြင်း)၊ ဇီဝပိုးမွှားများ အန္တရာယ်(biological contamination)၊ မြေအောက်(underground သို့မဟုတ် basement)၌ တပ်ဆင်ခြင်း၊ အဆောက်အဦ ပြင်ပ(outdoor)၌ တပ်ဆင်ခြင်း စသည်တို့သည် exposure နှင့် သက်ဆိုင်သော အချက်များ ဖြစ်သည်။

(င) Duct Support

Duct support အကွာအဝေးများ ၊ အမျိုးအစားများ ၊ alignment များ ၊ တပ်ဆင်သည့်နေရာ (position) စသည်တို့သည် duct support နှင့် သက်ဆိုင်သော အချက်များ ဖြစ်သည်။

(စ) Thermal Conductivity

Duct ၏ နံရံများကို ဖြတ်၍ ပြင်ပမှ အပူသည် duct အတွင်းရှိ လေသို့ အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer)ကြောင့် အပူတိုးလာခြင်း(heat gain) သို့မဟုတ် အပူဆုံးရှုံး(heat loss)ခြင်း ၊ duct များတွင် ရေသီးခြင်း(condensation) စသည်တို့သည် အပူလျှောက်ကူးခြင်း(thermal conductivity) နှင့် သက်ဆိုင်သော အချက်များ ဖြစ်သည်။

Duct များ ပြုလုပ်ရန်အတွက် အလွန်အဆင့်မြင့်သော နည်းပညာ မလိုအပ်ပါ။ သို့သော် စီးပွားရေး အရ တွက်ခြေကိုက်မှု ဖြစ်ရန်အတွက် အတွေ့အကြုံ(expericence)၊ နည်းပညာပိုင်းဆိုင်ရာ ဗဟုသုတ(technical knowledge) နှင့် အလေ့အကျင့်ကောင်းများ(good practices) ရှိရန် လိုအပ်သည်။

Duct များကို အလုပ်ရုံ(workshop)တွင် ပြုလုပ်(fabricate)နိုင်သလို တပ်ဆင်မည့်နေရာ(site)၌လည်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Drawing များတွင် ဖော်ပြထားသည့် duct အရွယ်အစား အတိုင်းအတာ(dimension)များ အားလုံးသည် internal dimension ကိုသာ ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် တပ်ဆင်ရမည့် duct အရွယ်အစား(size)သည် ပုံ(drawing)ပေါ်ရှိ အတိုင်းအတာ(dimemsion)ထက် ပိုကြီးလေ့ရှိသည်ကို သတိပြုရန် လိုသည်။

၅.၇.၂ Duct Design Criteria

(၁) Life-cycle cost(LCC) ကို အခြေခံ၍ duct အရွယ်အစား(size)ရွေးချယ်ရန်၊ ရရှိနိုင်သည့် နေရာတွင် သင့်လျော်သည့် duct အရွယ်အစား(size) ရွေးချယ်ရန်။

(၂) Damper များကို အသုံးပြု၍ လေဖြန့်ဖြူးမှု ညီညာအောင် ပြုလုပ်မည့်အစား duct လမ်းကြောင်း နှင့် duct အရွယ်အစား(size)ကို configuration အမျိုးမျိုးဖြင့် ဖိအားညီအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် ထိရောက်သော လေဖြန့်ဖြူးမှု ညီညာခြင်း ရရှိနိုင်သည်။
အသံဆူညံမှု(sound level)ကို ဆန်းစစ်ရန် လိုသည်။ VAV box အဝင်(inlet)တွင် လိုအပ်သည်ထက် ပိုများသည့် ဖိအား(excess pressure) သက်ရောက်နေခြင်းမျိုး မဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ရန် လိုသည်။ လိုအပ်ပါက sound attenuation ထည့်ပေးရန် လိုသည်။

(၃) အရေးကြီးသည့် လမ်းကြောင်း(critical path) သို့မဟုတ် duct အရွယ်အစား ရွေးချယ်ရန် အတွက် သတ်မှတ်ထားသော လမ်းကြောင်း(critical path)ရှိ duct fitting များ နှင့် equipment များ၏ ဖိအား ကျဆင်းမှု(local loss coefficients)ကို အနည်းဆုံးဖြစ်အောင် ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ရမည်။ ထိုသို့ ဖိအားကျဆင်းမှု နည်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် အခြားသော နေရာများအတွက် အပိုဖိအား(surplus pressure) ရရှိနိုင်သည်။

(၄) Supply air ၏ လေစီးနှုန်း(volume flow rate)ကို duct heat gain အပေါ်တွင် အခြေခံ၍ သတ်မှတ်သင့်သည်။ VAV system များတွင် စီးနှုန်း(volume flow rate)ကို သတ်မှတ်ရာတွင် diversity factors ကို ထည့်သွင်း တွက်ချက် သင့်သည်။ Fan အထွက်ဖိအား(discharge pressure) နှင့် critical path ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု ကိုက်ညီရန် အရေးကြီးသည်။

၅.၇.၃ Design Procedure

Air duct system တစ်ခုကို ဒီဇိုင်း စတင် မပြုလုပ်ခင်

- သယ်ဆောင်ရမည့် လေပမာဏ(supply volume flow rate)ကို ပထမဦးစွာ တွက်ရန် လိုအပ်သည်။
- လေများ ညီညီညာညာ ပျံ့နှံ့စေရန်(space air diffusion) အတွက် လေထွက်ပေါက်များ(supply outlets) နှင့် လေစုပ်ပေါက်များ(return inlets)ကို စနစ်တကျ နေရာချရန် လိုအပ်သည်။
- နွေရာသီ အတွက် cold air စီးနှုန်း (volume flow rate)သည် ဆောင်းရာသီအတွက် warm air စီးနှုန်း (volume flow rate)ထက် ပိုများလေ့ရှိသည်။

ရှုပ်ထွေးခက်ခဲသည့် air duct system ၏ duct design များ နှင့် အရွယ်အစား(sizing)ရွေးချယ်ခြင်းကို software များဖြင့် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Computer-aided duct design များကြောင့် တိကျသည့် တွက်ချက်မှု (precise calculation)များနှင့် အကောင်းဆုံး အရွယ်အစား(optimum sizing) ရွေးချယ်မှုများ ရရှိနိုင်သည်။ ရိုးရှင်းပြီး သေးငယ်သည့် air duct system များ၏ duct design များ နှင့် အရွယ်အစားများကို စာရွက်ပေါ်တွင် တွက်ယူ ပို၍ လျင်မြန်လွယ်ကူသည်။

Design Procedure

(၁) Verify local codes & material availability
(၂) Preliminary duct layout
(၃) Divide into consecutive duct sections
(၄) Minimize local loss coefficients of duct fittings
(၅) Select duct sizing methods
(၆) Critical total pressure loss of tentative critical path
(၇) Size branch ducts & balance total pressure at junctions
(၈) Adjust supply flow rates according to duct heat gain
(၉) Resize duct sections, recalculate & balance parallel paths
(၁၀) Check sound level & add necessary attenuation

အောက်တွင် အထက်ပါ design procedure အချက် (၁၀)ချက်ကို အသေးစိတ် ရှင်းပြထားသည်။

(၁) ဒီဇိုင်းစတင်မပြုလုပ်မီ၊ အလုပ်အပ်သူ၏လိုအပ်ချက်များ(client requirement)၊ တင်ဒါ လိုအပ်ချက်များ (tender specification)၊ ဒေသဆိုင်ရာ စံချိန်စံညွှန်း(local codes) နှင့် ရရှိနိုင်သည့် ပစ္စည်း(material availability) တို့ကို လေ့လာပါ။

(၂) ပထမဦးစွာ duct layout အကြမ်း(preliminary)ကို ရေးဆွဲပါ။ လေထွက်ပေါက်များ(supply outlets) နှင့် လေဝင်ပေါက်များ(return inlets)ကို fan နှင့် main ducts ၊ branch takeoffs မှ တစ်ဆင့် ဆက်ပါ။ Air duct ၏ ပုံသဏ္ဍာန်(duct)ကို ရွေးချယ်ပါ။ ရရှိသည့် နေရာအကျယ်(space available)ကို သတ်မှတ်ပါ။

(၃) Duct layout ကို အပိုင်း(duct sections) များဖြစ်အောင် ခွဲထုတ်ပါ။ အခွဲများ(nodes or junctions) ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည်။ Duct segment များစွာ ထွက်ပေါ်လာ လိမ့်မည်။ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) အများဆုံးသောလမ်းကြောင်းကို "**Critical Path**" ဟုခေါ်သည်။ တစ်ခါတစ်ရံ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်နေစဉ် critical path သည် ပြောင်းလဲ နေတတ်သည်။

(၄) Critical path တစ်လျှောက်ရှိ duct fitting များ၏ local loss coefficient ကို တတ်နိုင်သမျှ နည်းအောင် ပြုလုပ်ပါ။

(၅) Air duct system ၏ characteristics များကို အခြေခံ၍ duct အရွယ်အစားရွေးချယ်နည်းများ(sizing methods)ကို ရွေးချယ်ပါ။ Duct system ၏ space available ၊ noise ၊ energy use နှင့် initial cost တို့ကို အခြေခံ၍ maximum design air velocity ကို သတ်မှတ်ပါ။ Critical path တစ်လျှောက်ရှိ duct section များ အားလုံး၏ duct အရွယ်အစား တွက်ပါ။

(၆) Critical path ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(total pressure loss)ကို တွက်ပါ။ Air duct system တစ်ခုလုံး၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(total pressure loss)ကို တွက်ပါ။

(၇) Branch duct များ၏ အရွယ်အစားကို တွက်ပါ။ Junction များ ၊ duct fitting များ ၊ component များ ၏ အရွယ်အစားများကို လိုသလို ပြောင်းလဲ၍ total pressure loss ကို နည်းနိုင်သမျှ နည်းအောင် ပြန်တွက်ပါ။

(၈) Supply volume flow rate ကို supply outlet တစ်ခုစီ၏ duct heat gain များအတွင်း ပြန်ညှိ (adjusted) ယူပါ။

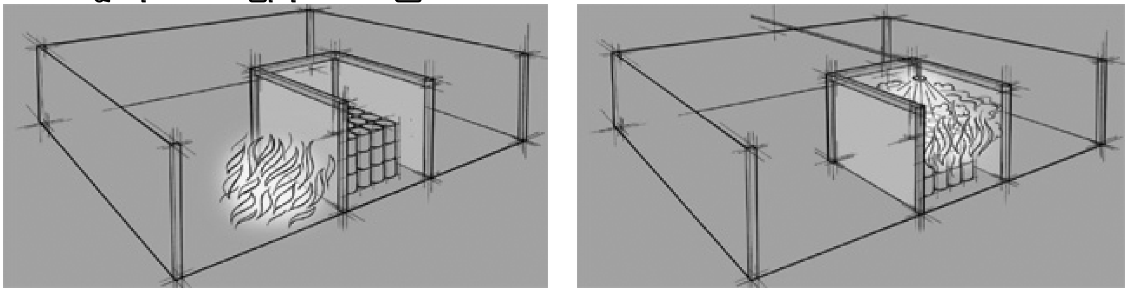
(၉) လိုအပ်လျှင် duct section များ၏ အရွယ်အစားကို ပြန်တွက်(resizes)ပါ။ Total pressure loss ကို ပြန်တွက်ပါ။

(၁၀) Duct section (paths)များ အားလုံး၏ လေသံ(airborne sound level) နှင့် ဆူညံသံ(noise)များကို တွက်ပါ။ လိုအပ်လျှင် sound attenuator များ တပ်ဆင်ပါ။

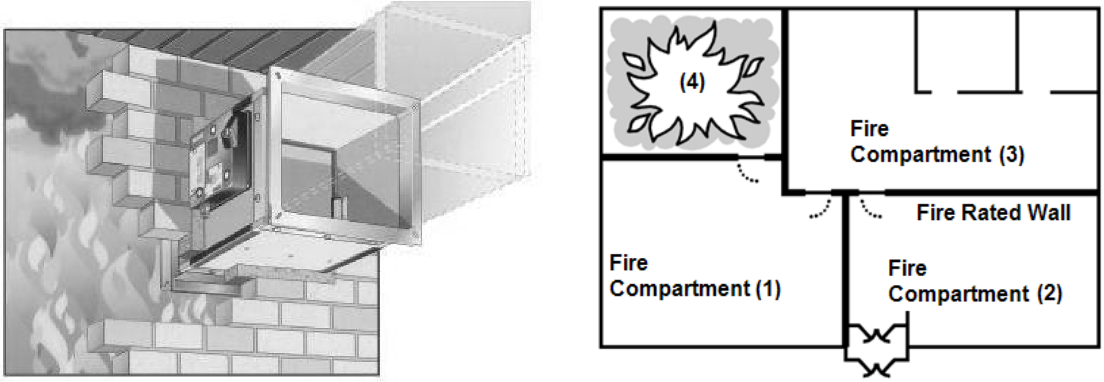
၅.၈ Fire Damper

၅.၈.၁ Fire Compartment

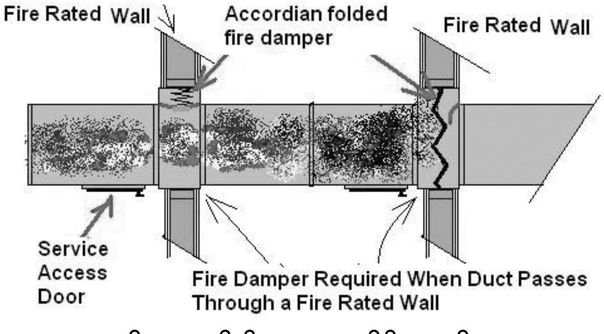
Fire compartment ဆိုသည်မှ မီးမကူးအောင် ကန့်သတ် ပိုင်းခြားထားသည့် ဇုန်(zone)ကိုဆိုလိုသည်။ Fire compartment တစ်ခုအတွင်း၌ မီးစတင်လောင်ကျွမ်းပါက တခြား fire compartment များသို့ မီးကူးစက် မလောင်ကျွမ်းနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။



ပုံ ၅-၃၂ Fire compartment (မီးမကူးအောင် ကန့်သတ် ပိုင်းခြားထားသည့် ဇုန်)



ပုံ ၅-၃၃ Fire rated partitions contain fire damage to the compartment of fire origin.



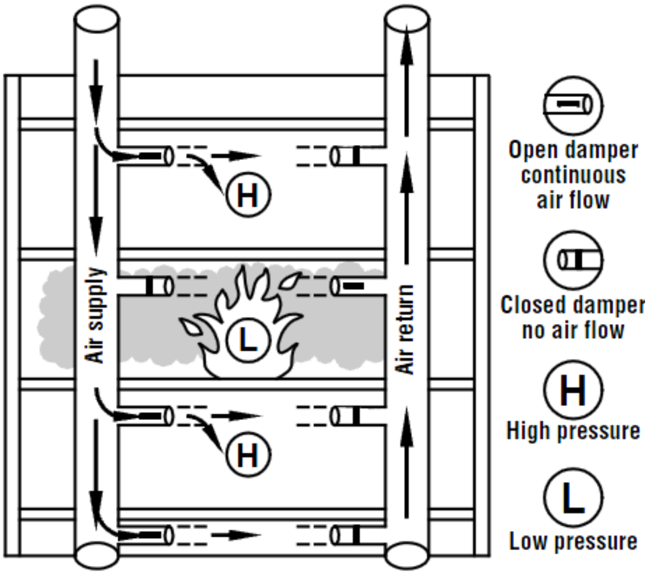
ပုံ ၅-၃၄ မီးတောက်များ duct တစ်လျှောက် စီးကူးမသွားနိုင်အောင် fire damper က ဟန့်တားထားပုံ

Duct အတွင်း၌ မီးတောက်များ ဖြတ်သန်း မသွားနိုင်အောင် fire damper များ တပ်ဆင်ထားသည်။ Duct အတွင်း မီးတောက်များ ဖြတ်သန်းသွားပါက fire damper အတွင်းရှိ ခဲဖြင့်ပြုလုပ်ထားသည် fusible link သည် မီး၏ အပူရှိန်ကြောင့် အရည်ပျော်သွားကာ blade များကျလာပြီး fire damper ကို ပိတ်သွားစေကာ မီးများကို တခြားအခန်းဆီသို့ မရောက်အောင် တားဆီးပေးသည်။

အလျားလိုက် တပ်ဆင်ထားသော (horizontal) duct နှင့် ဒေါင်လိုက် တပ်ဆင်ထားသော (vertical)

duct ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရှိသောကြောင့် horizontal fire damper (floor mounted) နှင့် vertical fire damper (duct or wall mounted)ဟူ၍ လည်း နှစ်မျိုး နှစ်စား ကွဲပြားသည်။

အလျားလိုက် တပ်ဆင်ထားသော (horizontal) duct တွင် vertical fire damper ကိုသာ တပ်ဆင်နိုင်သည်။ Fire damper များ၏ မီးဒဏ်ခံနိုင်ခြင်းအဆင့်(fire resisting rating)သည် duct ဖြတ်သွားသည့် အခန်း၏ နံရံများ(wall)နှင့် ကြမ်းခင်းများ(compartment floor)၏ မီးဒဏ်ခံနိုင်ခြင်းအဆင့်(fire resisting rating)ထက် မနိမ့်စေရ။

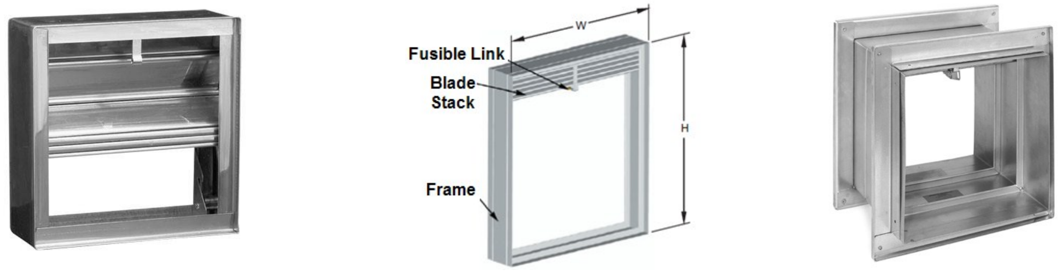


ပုံ ၅-၃၅ Fire damper များက မီးမပြန့်ပွားအောင် တားဆီးပေးပုံ

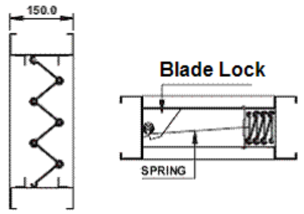
"Code of Practice for Fire Precautions in Buildings" တွင် ပါရှိသော စည်းမျဉ်းများနှင့် ကိုက်ညီ ရမည်။

Wall Mounted Fire Damper and Floor Mounted Fire Damper

Floor mounted fire damper များကို အလျားလိုက် ကြမ်းပြင်ပေါ်တွင် တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် blade များသည် ကမ္ဘာမြေဆွဲအားကြောင့် အလိုလျောက် ကျဆင်းလာရန် မဖြစ်နိုင်ပါ။ ထို့ကြောင့် blade များကို တွန်းပေးရန် အတွက် စပရိန်(spring) တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

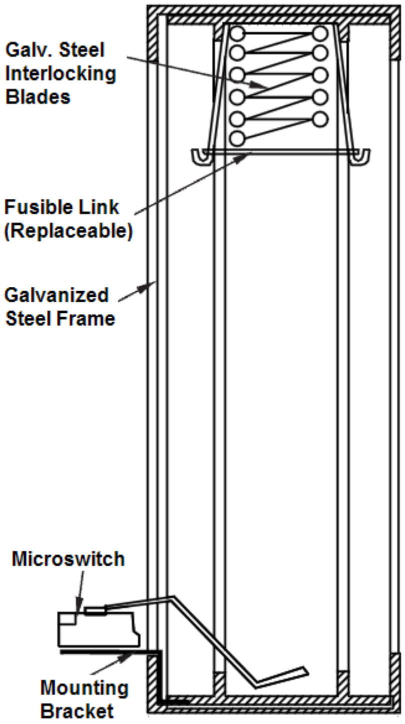


ပုံ ၅-၃၆ Horizontal fire damper Multiple Blade ၊ Wall mount or In line Duct Curtain Type



ပုံ ၅-၃၇ Vertical and Horizontal Floor mounted fire damper Fusible Links

၅.၈.၂ Fire Damper တည်ဆောက်ထားပုံ



ပုံ ၅-၃၈

Fire damper များတွင် သတ္တုဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့်ဘောင် (galvanized steel frame)၊ blade များ နှင့် ခဲဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် fusible link တို့ ပါဝင်သည်။ Fusible link သည် ခဲသတ္တုဖြင့် ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် အပူချိန်(165°F) တွင် အရည်ပျော်သွားပြီး ဘလိတ်(blade)များကျလာကာ damper တစ်ခုလုံး ပိတ်သွားလိမ့်မည်။ Static damper နှင့် dynamic damper ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရှိသည်။

Fire Rating

Fire rating ဆိုသည်မှာ မီးဒဏ် ခံနိုင်အားကို ဆိုလိုသည်။ နာရီဖြင့်ဖော်ပြသည်။ Fire rating 1 hr ဆိုသည်မှာ တစ်နာရီကြာ မီးဒဏ်ခံနိုင်သည် ဟုဆိုလိုသည်။

Access Door: Fire damper များကို စစ်ဆေးရန်၊ အလုပ်လုပ်မလုပ် စမ်းသပ်ရန် အတွက် ထားရှိရမည့်အပေါက်ကို access door ဟုခေါ်သည်။

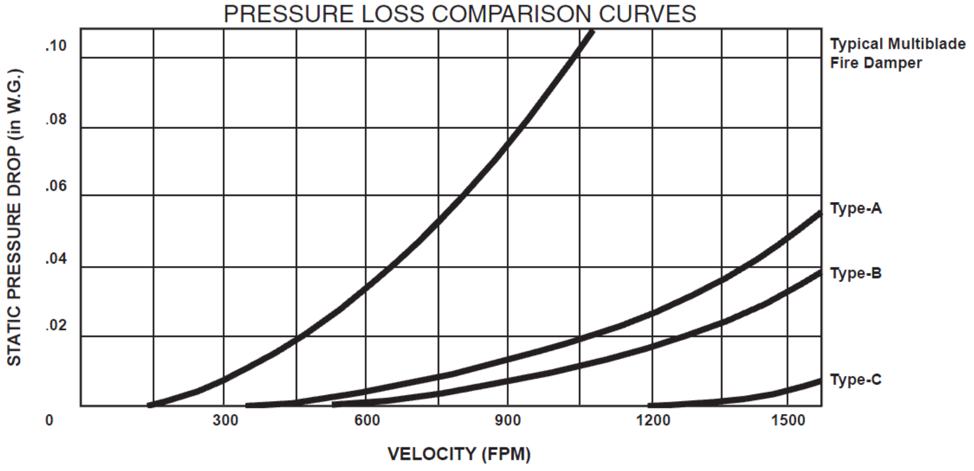
Fire Damper Installation

Fire damper များကို fire-rated wall များ ၊ fire-rated floor များ နှင့် fire-rated partition များတွင် တပ်ဆင်ကြသည်။

၅.၈.၃ Standard Fire Damper သို့မဟုတ် Static Fire Damper

Standard fire damper သို့မဟုတ် static fire damper များကို "**Fire Mode**" တွင် လေစီးဆင်းခြင်း မရှိသည့် duct များတွင်သာ တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။

၅.၈.၄ Fire damper များကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ဖြစ်ပေါ်ခြင်း



ပုံ ၅-၃၉ Fire damper များကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ဖြစ်ပေါ်ခြင်း

Dynamic Fire Damper

Dynamic fire damper များကို fire mode တွင် လေစီးဆင်းနေသည့် duct များတွင် တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ Dynamic fire damper များသည် တိုက်နေသည့်လေ(moving air)ကို ခုခံထားနိုင်ရန် လိုသည်။

ထို့ကြောင့် static fire damper များထက် ပို၍ ခိုင်ခံ့အောင် တည်ဆောက်ထားရန် လိုသည်။

(၁) **Type-A fire damper**

Type-A fire damper များကို လွယ်ကူစွာ တပ်ဆင်နိုင်သည်။ ဖိအားနည်းသည့် low-pressure part of duct systems (up to 2" w.c.) များတွင် တပ်ဆင်နိုင်သည်။

(၂) **Type-B fire damper**

Type-B fire damper များသည် Type-A fire damper များထက် ဧရိယာ(free area) ပိုများသောကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)နည်းသည်။

(၃) **Type-C fire damper (100% free area)**

100% free area အလိုရှိသည့်အခါတွင် Type-C fire damper များကို အသုံးပြုကြသည်။

Medium-to-high air velocities (3,000 FPM) သို့မဟုတ် duct static pressure 3" W.C ထက် ပိုများသည့် အခါတွင် Type-C fire damper များကို အသုံးပြုကြသည်။

၅.၉ Control Dampers

လေထုထည်(air volume) နှင့် လေစီးနှုန်း(air flow) တို့ကို လိုသလို ထိန်းယူရန်အတွက် Volume Control Damper (VCD) များကို အသုံးပြုသည်။ Volume damper ဟုလည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။ Volume Control Damper (VCD) များကို နှစ်မျိုး ခွဲခြားထားသည်။ လက်ဖြင့် အဖွင့်၊အပိတ်ပြုလုပ်သည့် (manual damper) သို့မဟုတ် balancing damper နှင့် မော်တာဖြင့်မောင်းသည့်(motor operated) damper များ ဖြစ်ကြသည်။

Damper Characteristics

(၁) **Opposed blade** များကို balancing လုပ်ခြင်း၊ mixing လုပ်ခြင်း၊ modulating လုပ်ခြင်း နှင့် 2-position control application များ တို့တွင် အသုံးပြုသည်။

(၂) **Parallel blade:** Two-position applications (open/closed).

(၃) ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure loss)သည် လုံးဝ ပွင့်နေသည့် (full open @ 2000 FPM) အချိန်တွင် 0.15" W.G ထက် ပိုမများစေရ။

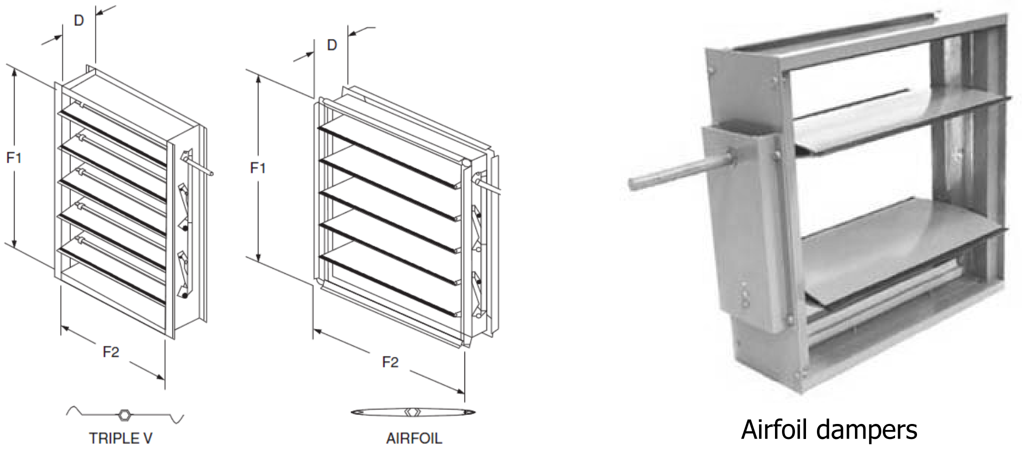
(၄) Damper များ၏ အရွယ်အစား(size)ကို ရွေးချယ်သည့်အခါ လေစီးနှုန်း(flow rate) သည် 1,200 – 1,500 CFM/sq.ft ထက်ပို မများစေရ။

Damper များကို လေလမ်းကြောင်းပြောင်းသွားစေရန် နှင့် လေစီးနှုန်း(air flow)ပမာဏ အနည်း၊ အများကို လိုသလို ထိန်းယူ(control)နိုင်ရန်အတွက် အသုံးပြုကြခြင်း ဖြစ်သည်။ Damper များကို အဝိုင်း (round)၊ လေးထောင့်(rectangular) နှင့် ဘဲဥပုံ(oval) စသဖြင့် duct ၏ ပုံစံကို လိုက်၍ ပုံသဏ္ဍာန်အမျိုးမျိုး ပြုလုပ် ကြသည်။ အဝိုင်းပုံသဏ္ဍာန်(round) damper နှင့် ဘဲဥပုံသဏ္ဍာန်(oval) damper များကို အပြား တစ်ခုတည်း (single blade)ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ လေးထောင့်(rectangular) damper များကို blade ငယ်များဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ Blade များသည် (၆)လက်မ သို့မဟုတ် (၈)လက်မခန့် အပြားများ ဖြစ်ကြပြီး တစ်ခုနှင့် တစ်ခုကို မောင်းတံ(linkage)ဖြင့် အတွဲလိုက်ဖြစ်အောင် ချိတ်ဆက်ထားသည်။

HVAC လုပ်ငန်းအတွက် damper များကို များသောအားဖြင့် galvanized steel သို့မဟုတ် extruded aluminum စသည့် သတ္တုများဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ ပြင်ပ လေဝင်ပေါက်(outdoor air intake)၌ တပ်ဆင် ထားမည့် damper များကို အလျူမီနီယံ(aluminum)သတ္တုဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ အလျူမီနီယံ(aluminum)

သတ္တုသည် သံချေးတက်ခြင်းကို ကာကွယ်နိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ သံချေးတက်ခြင်း ဖြစ်နိုင်သည့် နေရာများနှင့် စက်မှုလုပ်ငန်းများ (industrial facilities) တွင် စတီး(stainless steel)ကို အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။

ဘောင်(frame) နှင့် blade များ တွန့်ခြင်း၊ လိမ်ခြင်း မဖြစ်စေရန် ကြံ့ခိုင်ခံ့အောင် ပြုလုပ် ထားရန် လိုသည်။ Damper ဝင်ရိုး(shaft)တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် ဘယ်ရင်(bearing)များသည် အမြဲတမ်း ချောဆီရှိနေမည့် အမျိုးအစားမျိုး ဖြစ်ရန် လိုသည်။ ပွတ်တိုက်မှု(friction)ကို လျော့နည်းစေသည့် အမျိုးအစား ဖြစ်စေသင့်သည်။



ပုံ ၅-၄၀ Figure 3-28 Triple V and Airfoil dampers

> ရေများကို လိုသလို ထိန်းယူ(control)နိုင်ရန် အတွက် ဘား(valve)များကို အသုံးပြုကြသည်။ လေများကို လိုသလို ထိန်းယူ(control)နိုင်ရန် အတွက် damper များကို အသုံးပြုသည်။ Valve နှင့် damper နှစ်ခုလုံး အတွက် ဒီဇိုင်းလုပ်ပုံ နှင့် ရွေးချယ်ပုံ ရွေးချယ်နည်း(selection principle)တို့မှာ တူညီကြသည်။ Damper များကိုလည်း valve များကဲ့သို့ပင် တည်ငြိမ်ပြီး(stable) လိုချင်သည့် accurate control ရရန်အတွက် ဂရုတစိုက် ရွေးချယ်သင့်သည်။

Damper blade များကို ပုံစံ အမျိုးမျိုး ပြုလုပ်ကြသည်။

(၁) Flat, one-piece (single metal sheet) blade

(၂) Single skin blade with a triple-v-groove shape နှင့်

(၃) Double- skin air foil-shaped blade တို့ ဖြစ်သည်။

ပုံ(၅-၄၀) Triple V နှင့် airfoil blade နှစ်မျိုးကို ပြင်ပမှ မောင်းတံ(external linkage)ဖြင့် ချိတ်ဆက်ထားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Damper ဧရိယာသည် F1 (အမြင့်) နှင့် F2 (အလျား) တို့ မြှောက်လဒ် ဖြစ်သည်။ ဘောင်အထူ သို့မဟုတ် ဘောင်အနက် (frame depth) သည် D ဖြစ်သည်။ Blade width နှင့် frame depth တို့ တူညီရမည်။ အပြားပုံသဏ္ဍာန်(flat) blade တစ်ခုတည်းသာ ပါသော(single blade) damper များကို အဝိုင်းပုံသဏ္ဍာန်(round) duct နှင့် ဘဲဥပုံသဏ္ဍာန်(oval) duct များတွင် တပ်ဆင်ရန်အတွက် ပြုလုပ်ကြသည်။ ဤ damper blade ပုံစံ နှစ်မျိုးကို လေးထောင့်ပုံသဏ္ဍာန်(rectangular) damper များတွင် အသုံးပြုသည်။

> Air foil ပုံသဏ္ဍာန် damper သည် ဈေးအကြီးဆုံးဖြစ်သည်။ Air foil ပုံစံ ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် လေများ blade ကို ဖြတ်သွားသည့်အခါ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) နှင့် ဆူညံသံကို လျော့နည်းစေသည်။

Triple V groove blade ကို လေအလျင်(velocity) 2000 FPM အထိ အသုံးပြုနိုင်သည်။ သို့သော် 1500 FPM ထက်များပါက ဆူညံသံများ စတင်ဖြစ်ပေါ် လေ့ရှိသည်။ Blade များကို ထပ်နေအောင်(overlap) နှင့် interlock ဖြစ်နေအောင် ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် တင်းကြပ်စွာ ပိတ်(tight closure)ထားနိုင်သည်။

Blade ၏ အစွန်း(edge)များ၌ compressible sealing strip ကို ကပ်ထားသောကြောင့် လေယိုစိမ့်ခြင်း (leakage)ကို လျော့နည်းစေသည်။ ထို sealing strip များကို ဈေးပေါသည့် ရာဘာ(rubber foam)ဖြင့် ပြုလုပ်နိုင်သကဲ့သို့ ဈေးကြီးသည့် စီလီကွန်(silicon rubber) သို့မဟုတ် ဗွီနိုင်း(extruded vinyl)ဖြင့်လည်း ပြုလုပ်ကြသည်။ Silicon rubber များသည် ကြာရှည်ခံသည်။

Seal များ တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် damper များ၏ လုံးဝပွင့်နေသည့် အခြေအနေ(fully open) နှင့် လုံးဝ ပိတ်နေသည့် အခြေအနေ(fully closed) တို့တွင် ရှိသော စွမ်းဆောင်ရည်(performance)များ ကွာခြားကြသည်။ ဘောင်(frame)၏ တစ်ဘက်တစ်ချက်တွင် blade များနှင့် တစ်တန်းတည်း ရှိနေသည့် နေရာတွင် seal ထည့်ထားခြင်းကြောင့် လေယိုစိမ့်ခြင်း(leakage) လျော့နည်းစေသည်။ Damper တစ်ခု၏ ပုံမှန် လေယိုစိမ့်ခြင်း (standard leakage)သည် 50 CFM per square foot at 1 inch pressure ဖြစ်သည်။

တစ်လက်မ ဖိအား(249 Pa)အောက်တွင် damper ဧရိယာ တစ်စတုရန်းပေ ရှိလျှင် 50 CFM နှုန်း လေယိုစိမ့်သည်။ Air foil blade များကို သုံးထားသည့် low leakage damper အမျိုးအစားသည် လေးလက်မ ဖိအား(996 Pascal) အောက်တွင် damper ဧရိယာ တစ်စတုရန်းပေ ရှိလျှင် 10 CFM နှုန်းသာ လေယိုစိမ့်သည်။

HVAC system များတွင် အသုံးပြုထားသည့် shut off damper များသည် လေယိုစိမ့်မှုနည်းသည့်(low leakage) damper အမျိုးအစားဖြစ်သည်။ တစ်လက်မဖိအား(249 Pascal)အောက်တွင် damper ဧရိယာ တစ်စတုရန်းပေရှိလျှင် 2 CFM နှုန်း လေယိုစိမ့်သည်။ (2 CFM per square foot at 1 inch wg)။ လေယိုစိမ့်ခြင်း (leakage)ကြောင့် မလိုလားအပ်သည့် ဆိုးကျိုးများ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။

လေယိုစိမ့်ခြင်း(leakage)ကြောင့် စွမ်းအင်ဖြုန်းတီးမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။ ကုန်ကျစရိတ် ပိုများသည်။ Damper တစ်ခု၏ အနည်းဆုံး လက်ခံနိုင်သည့်နှုန်း(minimum leakage)များကို ANSI/ ASHRAE/ IESNA Standard 90.1-2004 တို့တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Ultra-low leak damper နှုန်းမှာ 4 CFM/ft^2 ဖြစ်သည်။ Low leak damper နှုန်းမှာ 10 CFM/ft^2 ဖြစ်သည်။ Cooling load အလွန်များသည့် system များအတွင် ultra-low leak damper များကို တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။

Blade များ ပြိုင်တူပွင့်ရန်၊ ပိတ်ရန်အတွက် မောင်းတံ(linkage)ဖြင့် ချိတ်ဆက်ထားသည်။ မောင်းတံ (linkage)ကို နေရာ နှစ်နေရာတွင် တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ ပုံ(၅-၄၀)တွင် ဖော်ပြထားသည့် blade ပုံစံမျိုး တိုက်ရိုက် ချိတ်ဆက်ပြီး လေထဲတွင်ပေါ်နေသည့် မောင်းတံ(linkage) အမျိုးအစား ပါရှိသည့် damper များသည် ဈေးနည်းသည်။ မောင်းတံ(linkage)များကို လေနှင့် မထိတွေ့စေဘဲ (မပေါ်အောင်မြုပ်ထားသည့်) အမျိုးအစားများသည် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ပိုနည်းပြီး၊ သံချေးတက်ခြင်း(corrosion)ကိုလည်း လျော့နည်းစေသည်။

ပိုအားကောင်းသည့် ပုံစံမျိုးဖြင့် ချိတ်ဆက်ထားခြင်းကြောင့် damper ပိတ်နေသည့်အချိန်၌ ပို၍ တင်းကြပ်စွာ seal ဖြစ်စေသည်။ အထူးသဖြင့် damper များ သက်တမ်းကြာမြင့်သည့်အခါ ပိုတင်းကြပ်စွာ လုံအောင်ပိတ်နိုင်စွမ်း(seal) ကျဆင်းလာသည်။ Blade များ ကွေးညွှတ်သွားသည့်အခါ တင်းကြပ်စွာ ပိတ်နိုင်စွမ်း မရှိတော့ပေ။ Damper များကို ရတ်တရက် ဖွင့်ပေးခြင်း၊ ပိတ်ပေးခြင်း တို့ကို ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance) အနေဖြင့် ပုံမှန် ပြုလုပ်ပေးသင့်သည်။

Damper နှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုမည့် actuator များကို damper အသစ်အခြေအနေအတွက် သာမက damper ဟောင်းပြီး အိုမင်းသွားမည့်အချိန် အတွက်ပါ စဉ်းစား၍ အနည်းငယ်ပိုကြီးအောင်(oversized) ပြုလုပ်

သင့်သည်။ Actuator ၏ တွန်းအားကို damper အသစ် အခြေအနေအတွက်သာ လုံလောက်ရုံ ရွေးချယ်ထားလျှင် သက်တမ်း ကြာသွားသည့်အခါ actuator သည် damper ကို ပွင့်အောင် ဖွင့်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

Damper နှင့် actuator များ ကြာရှည် အသုံးပြုနိုင်ရန်အတွက် damper များနှင့် မောင်းတံ(linkage) များကို ပုံမှန် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းပေးရန် လိုအပ်သည်။ တစ်ခါတစ်ရံမှသာ ပိတ်လေ့ ဖွင့်လေ့ ရှိသည့် damper များကို လေးလ တစ်ကြိမ်၊ ခြောက်လ တစ်ကြိမ် ပုံမှန် စစ်ဆေးမှုများ ပြုလုပ်သင့်သည်။

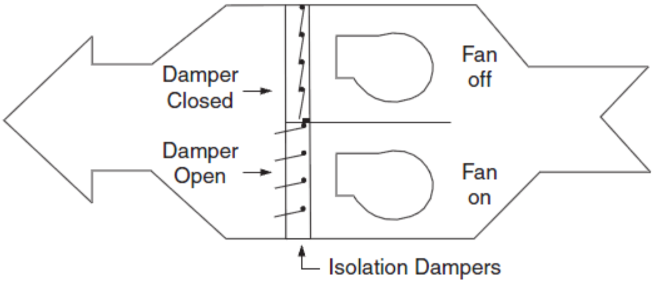
Blade များစွာပါသည့် damper ကို multiple blade damper ဟုခေါ်သည်။ Multiple blade damper များ၌ blade များသည် parallel blade နှင့် opposed blade ဟူ၍ ပုံစံ နှစ်မျိုး ရှိနိုင်သည်။ ပုံ(၅-၄၇) နှင့် ပုံ(၅-၄၈) တွင် ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Parallel blade operation ဆိုသည်မှာ blade များ တစ်ဘက်တည်းသို့(same direction) တစ်ညီတစ်ညာတည်း ပြိုင်တူ ပွင့်ခြင်း၊ ပိတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

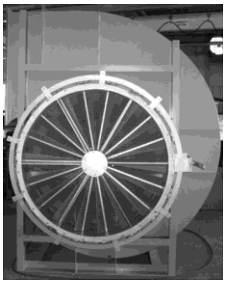
(၂) Opposed blade operation ဆိုသည်မှာ တစ်ခုကျော် blade များ တစ်ဘက်သို့ လည်နေချိန်တွင် ကျန်တစ်ခုကျော် blade များ အခြားတစ်ဘက်သို့ လည်နေခြင်းဖြင့် ပိတ်ခြင်း၊ ပွင့်ခြင်းကို ဖြစ်စေသည်။

ထို damper နှစ်မျိုးတွင် မတူညီသော လုပ်ဆောင်ချက်များ(operating characteristic) ရှိကြသည်။ Blade တစ်ခုတည်းသာရှိသည့် (single blade) damper ၏ လုပ်ဆောင်ချက်များ(operating characteristic) သည် parallel နှင့် opposed blade damper တို့ နှစ်ခုအကြားတွင် ဖြစ်သည်။

Actuator များကို damper operator သို့မဟုတ် damper motor ဟုလည်းခေါ်သည်။ လုံးဝ ပွင့်နေသည့် အခြေအနေ(fully open)တွင် လေ၏တွန်းအား အများဆုံးဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် damper actuator သည် လုံလောက်အောင် ကြီးမားသည့် စွမ်းအား(power) ရှိမှသာ damper ကို ကောင်းစွာ ပိတ်နိုင်လိမ့်မည်။



ပုံ ၅-၄၁ Fans in Parallel



ပုံ ၅-၄၂ Centrifugal Fan with Inlet Vane damper

Modulating damper များသည် လိုအပ်သည့် small increment များအတိုင်း ချောမွေ့စွာ ရွေ့လျားစေရန်(ပိတ်ခြင်း၊ ပွင့်ခြင်း) damper actuator ကောင်းစွာ modulate လုပ်ပေးနိုင်ရမည်။ Lower leakage damper များသည် seal များ ပါရှိခြင်းကြောင့် ပွတ်တိုက်မှု(friction) ပိုများသည်။ ထိုပိုများသည့် ပွတ်တိုက်မှု (friction)ကို ကျော်လွှားရန်အတွက် ပိုကြီးမားသည့် damper motor (damper actuator) တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် opposed blade damper များနှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် parallel blade damper များတွင် ပိုကြီးမားသည် actuator တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။

Actuator ထုတ်လုပ်သူများသည် damper ပိတ်ရန်၊ ဖွင့်ရန်အတွက် လိုအပ်သော အား(torque)ကို inch-pound ဖြင့် ဖော်ပြသည်။ ပွတ်တိုက်မှု(friction) နှင့် လေဖိအားကို ကျော်လွှန်ရန် actuator များ၌ ရှိသည့်ရှိထိုက်သည့် (minimum torque) ကိုလည်း ဖော်ပြပေးရသည်။ ယေဘုယျ စည်းကမ်းချက်မှာ damper နှင့် actuator များကို Normally Open operation(NO) ပုံစံမျိုးဖြင့် ပြုလုပ်(set up) ထားလေ့ရှိသည်။ အကယ်၍

power မရှိတော့သည့် အခါ သို့မဟုတ် ပျက်(fail)သွားသည့်အခါ damper သည် ပွင့်လျှက်သား ကျန်ခဲ့ပြီး လေများ အဆက်မပြတ် စီးဆင်း(flow) နေလိမ့်မည်။

Coil များတွင် ရေခဲခြင်း(freezing) မဖြစ်စေရန်၊ hazardous waste များ မဝင်ရောက်စေရန် နှင့် system ကို isolation လုပ်ရန် စသည့် အချက်များကို အခြေခံ၍ damper သည် Normally Open(NO) သို့မဟုတ် Normally Close(NC) ဖြစ်ရမည်ကို ဆုံးဖြတ်ကြသည်။

Damper အမျိုးအစား(type) ရွေးချယ်ခြင်း နှင့် damper အရွယ်အစား(size)ရွေးချယ်ခြင်းကို အခြေခံ၍ damper အသုံးပြုပုံ (application) သုံးမျိုး ရှိသည်။

(က) Two position only

လုံးဝပွင့်နေသည့် အခြေအနေနှင့် လုံးဝပိတ်နေသည့်အခြေအနေ(fully open/fully closed) position နှစ်မျိုး အတွက်သာ ဖြစ်သောကြောင့် "**Two Position**" ဟုခေါ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Fan များ isolation လုပ်ရန် နှင့် ပြင်ပလေဝင်ပေါက်(out door air intake)များ ပိတ်(shut-off)ရန် အတွက် အသုံးပြုသည်။

(ခ) Capacity control duty

အလိုရှိသည့် capacity ရအောင် damper များဖြင့် control လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ VAV discharge damper များနှင့် air balancing damper အဖြစ် အသုံးပြုသည်။

(ဂ) Mixing duty

လေနှစ်မျိုး ရောနှောသွားရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ Economizer damper များ အဖြစ် အသုံးပြုသည်။

၅.၉.၁ (က) Two Position Duty

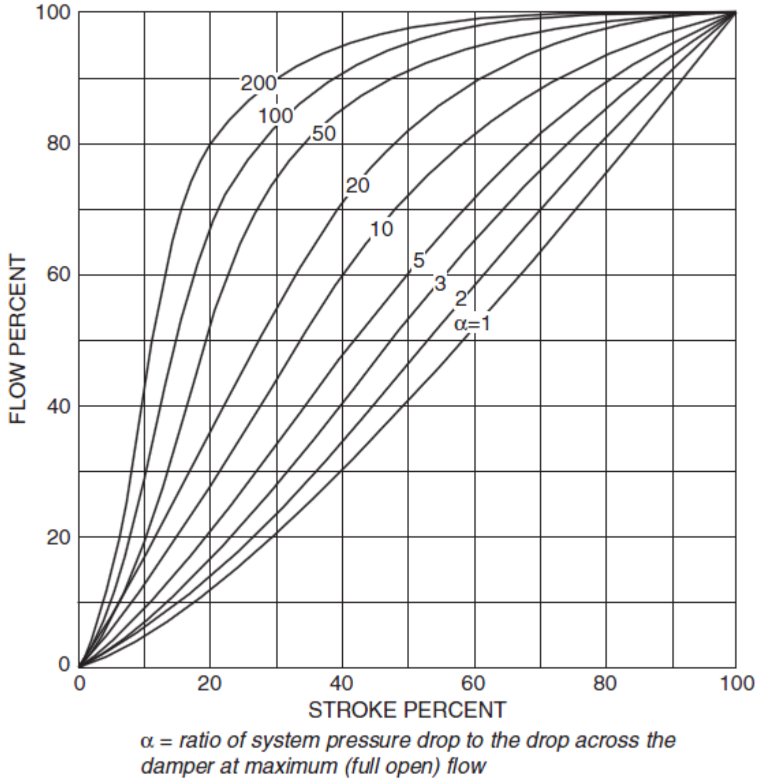
Fan ပိတ်လိုက်သည့် အချိန်၌ တခြားနေရာမှ လေများဝင်လာခြင်း သို့မဟုတ် duct အတွင်းမှ လေများထွက်သွားခြင်းတို့ကို ကာကွယ်ရန် အတွက် အသုံးပြုသည်။ Outdoor air intake ၊ fan intake နှင့် discharge များတွင် တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။ Fan မောင်းနေသည့် အချိန်၌ damper ပွင့်နေပြီး၊ fan ရပ်နားနေခိုက် damper ပိတ်နေမည်ဖြစ်သောကြောင့် အပွင့်နှင့် အပိတ် ပုံစံ(position) နှစ်မျိုးသာ ဖြစ်နိုင်သည်။ ပြင်ပမှ တိုက်လေဖိအား(wind pressure) နှင့် stack effect တို့ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် infiltration ဖြစ်ခြင်းကို ကာကွယ်ရန် နှင့် လျော့နည်းစေရန် အတွက် fan ရပ်နေသည့် အချိန်၌ ပြင်ပလေဝင်ပေါက်(out door air intake)ရှိ damper ကို ပိတ်နေအောင် supply air fan နှင့် interlock လုပ်ထားရမည်။ ထို့ကြောင့် coil များပေါ်တွင် ရေခဲခြင်း(freezing) မှ ကာကွယ်နိုင်သည်။

ဆောင်းရာသီတွင် အပူဆုံးရှုံးခြင်း(heat loss) ဖြစ်မှု လျော့နည်းအောင် လုပ်နိုင်ခြင်းကြောင့် စွမ်းအင် အတွက် ကုန်ကျစရိတ် (heating energy cost)သက်သာသည်။

ထိုကဲ့သို့မျိုး damper များကို actuator(motor) ဖြင့်မောင်းသော motorized damper များ သို့မဟုတ် ကမ္ဘာမြေဆွဲအားကို အသုံးပြုထားသည့် gravity damper များ အဖြစ်တွေ့နိုင်သည်။ Gravity damper များကို Back Draft Damper(BDD) သို့မဟုတ် Barometric Damper သို့မဟုတ် Non Return Damper(NRD) များဟု အမျိုးမျိုး ခေါ်ဝေါ်ကြသည်။ ကမ္ဘာမြေဆွဲအားကို အသုံးပြုသည့်(gravity) damper များတွင် actuator (motor) တပ်ဆင်ထားခြင်း မရှိသောကြောင့် motorized damper များကဲ့သို့ တင်းကြပ်စွာ ပိတ်နေခြင်း(tight seal) မဖြစ်နိုင်ပါ။

Gravity damper များသည် လေဦးတည်ရာ တစ်ဘက်တည်းကိုသာ စီးဆင်းနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ အသွား(supply)ဘက်သာ စီးခွင့်ပြုပြီး အပြန်(return)ဘက်သို့ ပြန်မစီးနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားခြင်းကြောင့် "**Non Return Damper**"ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

Exhaust fan တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် back draft damper သည် fan ရပ်ထားချိန်၌ ပြင်ပမှလေများ အဆောက်အဦ အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ခြင်းကို ကာကွယ်ပေးသော်လည်း fan မောင်းနေချိန်တွင် exhaust air များ fan discharge point မှ ထွက်နိုင်အောင် ဖွင့်ပေးထားသည်။



ပုံ ၅-၄၃ Installed Characteristic Curves of Parallel blade dampers

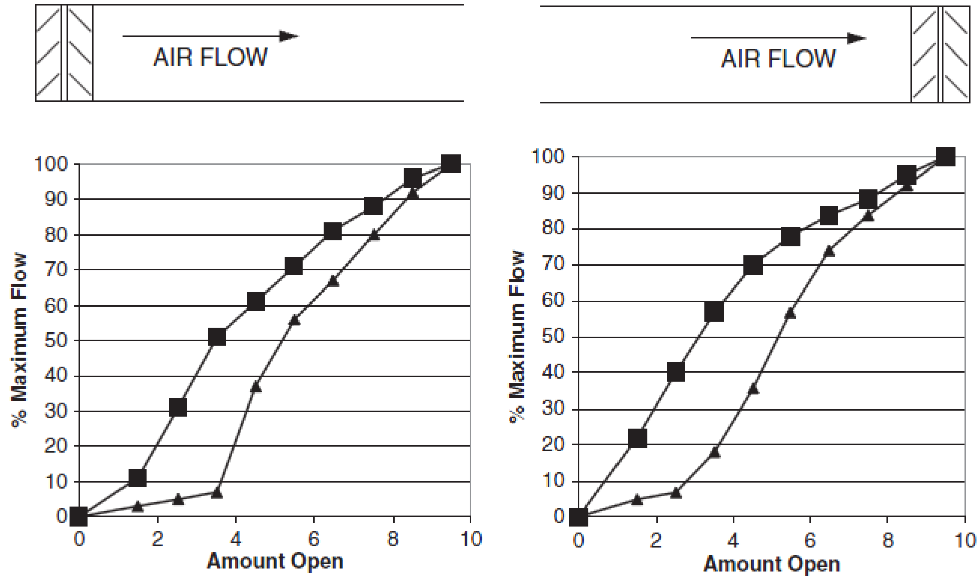
ဆောင်းရာသီ၌ အလွန်မြင့်မားသည့် အဆောက်အဦများတွင် stack effect ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော လေဖိအား(air pressure)သည် damper ကို ပွင့်စေနိုင်လောက်အောင် တွန်းအားများသည်။ ထိုအခါ အဆောက်အဦ အတွင်းရှိ လေများသည် exhaust system မှ တစ်ဆင့် အပြင်သို့ ထွက်သွားပြီး၊ နိမ့်သည့် အထပ်များ အတွင်းသို့ ပြင်ပလေများ make up air အဖြစ် အစားထိုး ဝင်ရောက်လာသည်။ ထိုကဲ့သို့ မဖြစ်စေရန် အတွက် ကမ္ဘာမြေဆွဲအားကို အသုံးပြုသည့်(gravity) damper များအစား motorized damper ကို သုံးရန် ပိုမို သင့်လျော်သည်။

တစ်ခါတစ်ရံ gravity damper များသည် motorized damper များထက် ပိုမိုသင့်လျော်သည်။ ဥပမာ ပုံ (၅-၄၁)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း fan နှစ်လုံးကို အပြိုင်ပုံစံ(operating in parallel)ဖြင့် မောင်းလိုသည့်အခါ damper များကို ကန့်သတ်ပိုင်းခြား(isolate)ရန် အတွက် တပ်ဆင်ထားသည်။ ထို့ကြောင့် မည်သည့် fan ကိုမဆို ကြိုက်သလို မောင်းနိုင်သည်။

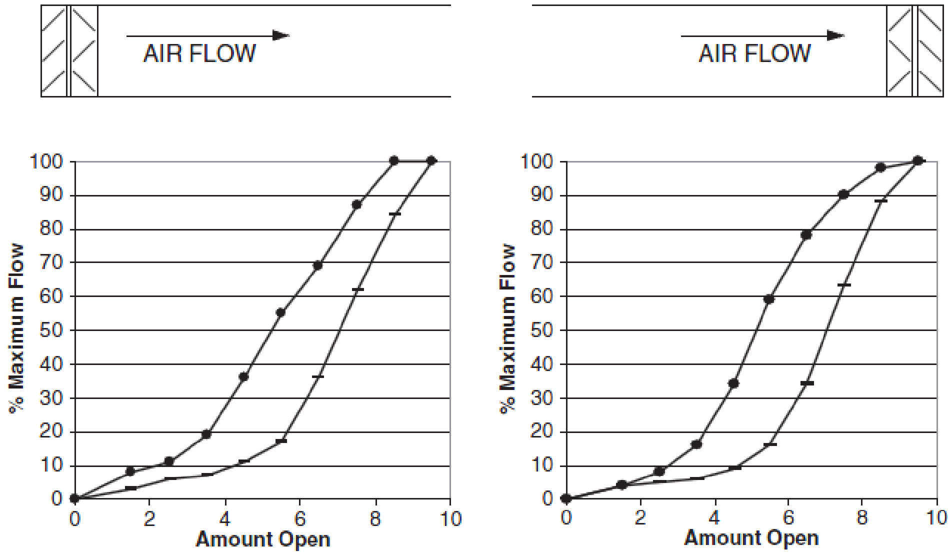
Variable Air Volume(VAV) application ၌ low load အခြေအနေတွင် fan တစ်လုံးသာ မောင်းပြီး high load တွင် fan နှစ်လုံးကို ပြိုင်တူ မောင်းနိုင်သည်။ ထိုအခြေအနေမျိုးတွင် shut-off damper မတပ်ဆင်ထားလျှင် မောင်းနေသည့် fan မှ လေများ ရပ်ထားသည့် fan အတွင်းသို့ ပြန်လည် ဝင်ရောက်နိုင်သည်။ Parallel pumping system များတွင် check valve များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည့် သဘောမျိုး ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ motorized damper ကို အသုံးပြုမည်ဆိုပါက မည်သည့် အချိန်တွင် damper ပိတ်ရမည်၊ ဖွင့်ရမည် ဆိုသည့် ပြဿနာကို ရင်ဆိုင်ရလိမ့်မည်။

Fan မမောင်းခင် damper ကို ဖွင့်လျှင် တခြားမောင်းနေသည့် fan မှ လေများ ရပ်နေသည့် fan အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ကာ ပြောင်းပြန်စီးခြင်း(back flow)ဖြစ်ပေါ်စေပြီး short circuit ဖြစ်လိမ့်မည်။

ထိုလေများကြောင့် fan ၏ wheel သည် နောက်ပြန် လည်နေလိမ့်မည်။ ပြောင်းပြန်လည်နေသည့် fan ကို စတင် မောင်းလိုက်သည့်အခါ အလိုရှိသည့် direction ဘက်သို့ လည်စေရန် ပို၍အားကောင်းသည့် (starting torque) လိုအပ်သောကြောင့် မော်တာဝန်ပိခြင်း(motor over load) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။



ပုံ ၅-၄၄ Two Parallel blade Triple V dampers From Different Manufacturers



ပုံ ၅-၄၅ Two Opposed blade Triple V dampers From Different Manufacturers

Fan ကို အရင် စတင်မောင်းပြီးမှ damper ကို ဖွင့်လျှင် fan plenum အတွင်း၌ ဖိအား (pressure)များ အလွန်မြင့်မားလာကာ ထိခိုက်ပျက်စီးနိုင်သည်။ ထိုကဲ့သို့သော application အတွက် gravity back draft damper သည် ပို၍ သင့်လျော်သည်။ Fan မောင်းလိုက်သည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် ဖိအား (pressure) တဖြည်းဖြည်း များလာကာ gravity damper ကို အလိုအလျောက် တစ်ဖြည်းဖြည်းခြင်း ပွင့်သွား စေလိမ့်မည်။ Back draft damper ကို fan discharge အနီးတွင် အမြဲတပ်ဆင်ထား လေ့ရှိသည်။ Fan discharge နေရာ၌

လေအလျင်(velocity) ပိုများသောကြောင့် back draft damper များကို heavy duty damper အမျိုးအစား အဖြစ် ပြုလုပ်သင့်သည်။

Two position အတွက် အသုံးပြုရာတွင် parallel blade damper ကို အသုံးပြုသည်ဖြစ်စေ၊ opposed blade damper ကို အသုံးပြုသည်ဖြစ်စေ ကွာခြားချက် မရှိပေ။ တစ်နည်းအားဖြင့် two position အတွက် မည်သည့် damper ကို မဆို အသုံးပြုနိုင်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် လုံးဝပွင့်နေသည့် အခြေအနေ(fully open)နှင့် လုံးဝပိတ်နေသည့် အခြေအနေ(fully close position) တို့တွင် damper နှစ်မျိုးလုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) တူညီကြသည်။

Parallel blade damper များကို ဈေးသက်သာသောကြောင့် ပို၍ အသုံးများသည်။ Damper တစ်ခု တည်းကသာ ဈေးသက်သာသော်လည်း damper နှင့် actuator နှစ်ခုပေါင်းထားသည့် အခါ ဈေးသက်သာ ဖို့ရန် မသေချာပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အရွယ်အစားတူလျှင် parallel damper ၏ actuator သည် opposed blade damper ၏ actuator ထက် ပို၍ အရွယ်အစားကြီးရန်(ပိုအားကောင်းရန်)လိုသည်။ ထို့ကြောင့် HVAC designer များသည် two position application များအတွက် ပစ္စည်းရောင်းသူ(vendor)နှင့် ကန်ထရိုက်တာ (contractor) များကိုသာ ဈေးသက်သာသည့် အမျိုးအစားကို ရွေးချယ်ခွင့်ပေးထားသည်။

Two position damper အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်းသည် သိပ်အရေးမကြီးပါ။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် two position damper များသည် ပိတ်ရန် ဖွင့်ရန်သာ လိုအပ်ပြီး modulate လုပ်ရန် မလိုအပ်ပေ။

Two position damper များသည် အရွယ်အစား(size) ပိုကြီးလေ၊ လေယိုစိမ့်မှု(leakage) ပိုများလေဖြစ်ပြီး ဈေးပိုကြီးလေ ဖြစ်သည်။ သို့သော် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) နည်းသောကြောင့် စွမ်းအင်(energy) သုံးစွဲမှုလည်း နည်းလေသည်။

Shut off damper များကို တပ်ဆင်မည့်နေရာရှိ duct အရွယ်အစားအတိုင်း ရွယ်တူ(same size) ဖြစ်အောင် ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။

၅.၉၂ (ခ) Capacity Control Duty

Air system မှ လေများ အညီအမျှ ဖြစ်စေရန် သို့မဟုတ် လေဖြန့်ဖြူးမှု ညီမျှစေရန် အတွက် capacity control damper များကို အသုံးပြုသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ terminal တိုင်းတွင် လိုအပ်သည့်လေစီးနှုန်း(air flow)ရရှိရန် duct တစ်ခုတည်းဖြင့် ပြုလုပ်၍ မရနိုင်ပေ။ Volume Control Damper(VCD) သို့မဟုတ် balancing damper များကို branch duct နှင့် selection များတွင်ထည့်၍ diffuser နှင့် grille တိုင်း၌ လိုအပ်သော ဒီဇိုင်း လေစီးနှုန်း(design air flow)ရရန် ဖိအား(pressure)ကို ထိန်းညှိပေး(adjust) ရသည်။ Volume control damper များသည် static damper များဖြစ်ကြသည်။ Static damper ဆိုသည်မှာ actuator မပါဝင်ဘဲ တစ်ခါချိန်ထားရုံဖြင့် လေစီးနှုန်း(air flow) အမြဲတမ်း ညီမျှနေမည့် အမျိုးအစားဖြစ်သည်။ Volume control damper အမျိုးအစားနှင့် အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်းသည် သိပ်အရေးမကြီးပေ။

ပိုနေသည့်လေများကို လျှော့ချရုံသာဖြစ်ပြီး လုံးဝပွင့်နေသည့် အခြေအနေ(fully open position)ခန့် တွင် လိုအပ်သလောက် ပိတ်ထား(throttle)ခြင်းဖြစ်သည်။ Volume control damper များသည် single blade အမျိုးအစား နှင့် single skin damper အမျိုးအစားများသာ ဖြစ်ကြပြီး တပ်ဆင်သည့်နေရာရှိ duct အရွယ် အတိုင်းသာ အရွယ်တူ ပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။

ထို damper များကို ဈေးသက်သာအောင် ပြုလုပ်ကြသောကြောင့် တစ်ခါတစ်ရံ အသံ ဆူညံလေ့ ရှိသည်။ Outlet နေရာမှ ဝေးနိုင်သမျှ အဝေးဆုံးနေရာတွင် တပ်ဆင်ထားသင့်သည်။

VAV system ရှိ fan များ၏ capacity ကို control လုပ်ရန် damper များကို အသုံးပြုသည်။ Damper ပုံစံ(style)နှစ်မျိုးမှာ inlet guide vane နှင့် discharge damper တို့ဖြစ်သည်။

ပုံ(၅-၄၂)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း inlet guide vane ကို fan ၏ အဝ(inlet)တွင် damper အဖြစ် တပ်ဆင်ထားပုံ ဖြစ်သည်။ Fan ၏ အဝိုင်းသဏ္ဍာန် အဝ(inlet)တွင် တပ်ဆင်ရန် ဖြစ်သောကြောင့် damper blade များသည် pic-shaped ဖြစ်ပြီး တစ်ဘက်တည်းသို့ အားလုံး တစ်ပြိုင်နက် လည်နိုင်သည်။

Damper ၏ အကျိုးသက်ရောက်မှုမှာ ဝင်လာသည့်လေ(entering air)ကို ကြို၍ လှည့်ထားပေးခြင်း (pre-rotational spin) ဖြစ်သည်။ Damper တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် ဝင်လာသည့်လေသည် fan ၏ wheel လည်သည့်ဘက်သို့ ဦးတည်သွားစေသည်။ ဝင်လာသည့် လေ၏ direction နှင့် fan ၏ wheel direction တို့ တူညီသွားသောကြောင့် မော်တာသည် အလုပ်များများလုပ်ရန် မလိုအပ်တော့ပေ။ Air volume ကို လျော့ချလိုသည့်အခါ၌ inlet guide vane ကို ပိတ်၍ unload လုပ်နိုင်သောကြောင့် fan ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) လျော့သွားချသည်။ လက်တွေ့တွင် inlet guide vane သည် စွမ်းအားပြည့်(maximum capacity) မှ ၃၀% အထိ လျော့ကျအောင် လေစီးနှုန်း(air flow) နှင့် ဖိအား(pressure)ကို လျော့ချနိုင်သည်။

Discharge damper များသည် paralle pump များတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် check valve များနှင့် တူညီကြသည်။ Discharge damper များသည် ပိုနေသည့် fan မှ ထုတ်ပေးရမည့် ဖိအား(fan pressure)ကို လျော့ချနိုင်သောကြောင့် VAV box များ ကောင်းမွန် အဆင်ပြေစွာ အလုပ်လုပ်နိုင်သည်။ ပို၍ stable ဖြစ်သည့် ပုံစံမျိုးဖြင့် လေစီးနှုန်း(air flow) ကို control လုပ်နိုင်သည်။

Discharge damper များကြောင့် fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)သည် ပြောင်းလဲ မသွားပေ။ Discharge damper များ throttling လုပ် သည့်အခါ စွမ်းအင် ဆုံးရှုံးခြင်းနှင့် အသံဆူညံခြင်းတို့ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သောကြောင့် ယခုအခါ VAV system များတွင် discharge damper များကို အသုံးမပြုကြတော့ပေ။

Damper performance များသည် အောက်ပါ အချက်များပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(၁) Manufacturer

(၂) Damper relative size နှင့်

(၃) Damper situation တို့ ဖြစ်သည်။

(၁) Manufacturer

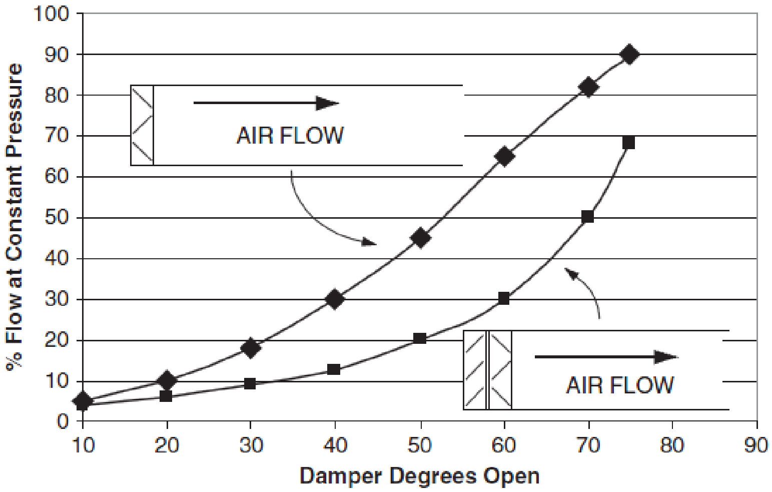
Damper ထုတ်လုပ်သူများ၏ ဒီဇိုင်း(design)၊ ပြုလုပ်သည့်ပစ္စည်း(material)၊ မောင်းတံ (linkage) နှင့် blade seal များ မတူညီခြင်းကြောင့် damper များ၏ လုပ်ဆောင်နိုင်မှု(performance) များ ကွဲပြားရသည်။

(၂) Damper Relative Size

Damper ၏ အရွယ်အစား(size) နှင့် duct ၏ အရွယ်အစား(size) သို့မဟုတ် wall opening ၏ အရွယ်အစား မတူညီခြင်းကြောင့် damper များ၏ လုပ်ဆောင်နိုင်မှု(performance)များ ကွဲပြား ရသည်။ ဥပမာ damper ၏ အရွယ်အစားနှင့် duct ၏ အရွယ်အစား တူညီခြင်းကြောင့် duct ထဲမှ လေသည် damper အတွင်းသို့ တန်းဝင်သွားသည်။ အလွန်ကျယ်သည့် wall opening နေရာတွင် သေးငယ်သည့် damper တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် လေများသည် damper ငယ် အတွင်းသို့ ဖြောင့်တန်းစွာ မဝင်ရောက်နိုင်ဘဲ မတူညီသည့် flow characteristic များ ဖြစ်ပေါ်ကာ damper လုပ်ဆောင်နိုင်မှု(performance)များ ကွဲပြားရသည်။

(၃) Damper Situation

Duct ၏ လမ်းကြောင်း ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် damper မဝင်ခင် လေ၏ direction နှင့် damper အထွက်မှ လေသွားလမ်းကြောင်း(direction) ပြောင်းလဲသောကြောင့် damper ၏ စွမ်းဆောင်ရည် (performance) ကွဲပြားရသည်။



ပုံ ၅-၄၆ Effect of Inlet Louver on an Opposed blade damper Characteristic

ပုံ(၅-၄၆)တွင် opposed blade damper ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို ဖော်ပြထားသည်။ Capacity control (throttling) application တွင် damper လုံးဝ ပိတ်နေသည့် အခြေအနေ(position)နှင့် နီးလာလေ pressure drop across the damper များလာလေ ဖြစ်သည်။

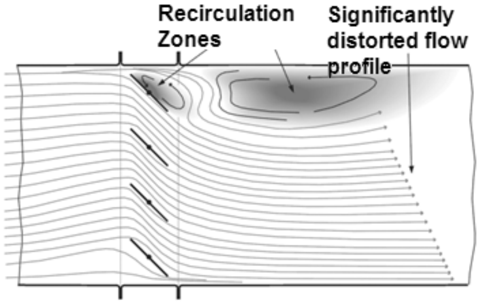
Damper throttling လုပ်ခြင်းကြောင့် လေစီးနှုန်း(air flow rate) နည်းလာကာ duct system ရှိ အခြားသော အစိတ်အပိုင်းများ၏ ပွတ်တိုက်မှုကြောင့် ဖြစ်သောဖိအားဆုံးရှုံးမှု(frictional losses) ကျဆင်းလာသည်။ ပွတ်တိုက်မှုကြောင့်ဖြစ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(frictional losses)သည် လေစီးနှုန်း(air flow rate) ၏ နှစ်ထပ်ကိန်းနှင့် ညီမျှသည်။ Fan ၏ ဖိအား(pressure)သည် volume flow rate နည်းသည့်အခါ fan curve အတိုင်း တက်လာလိမ့်မည်။ Hydronic system များတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် two way valve များ ပြုမူပုံ နှင့် ခပ်ဆင်ဆင် တူညီသည်။

Throttling application များတွင် parallel blade damper ကို အသုံးပြုသည့်အခါ linear characteristic မျိုးတွေ့ရလေ့ရှိသော်လည်း damper အဝင်နှင့်အထွက် အကြား ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop)သည် system တစ်ခုလုံး၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(total pressure drop)၏ ၂၀% ခန့် ဖြစ်သည်။

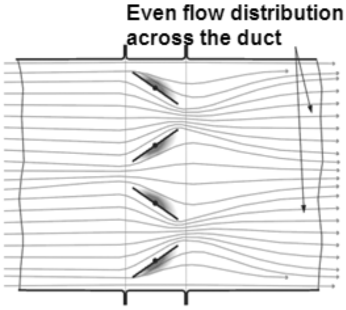
Opposed blade damper ကို throttling application တွင် အသုံးပြုသည့်အခါ linear characteristic မျိုးဖြစ်ပြီး pressure drop across the damper သည် total system pressure drop ၏ ၅% ခန့် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် opposed blade damper များသည် down steam တွင် turbulance ဖြစ်စေမှု နည်းပါးသောကြောင့် throttling application တွင် အလွန်အသုံးများရခြင်း ဖြစ်သည်။

ထိုအချက်ကို ပုံ(၅-၄၉)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Parallel blade damper သည် လေစီးကြောင်း ဦးတည်ရာ(air steam direction)ကို စောင်းသွား(deflect the air steam)စေသည်။ ထို့ကြောင့် down steam ၌ ပို၍ turbulance ဖြစ်ပေါ်စေသည်။

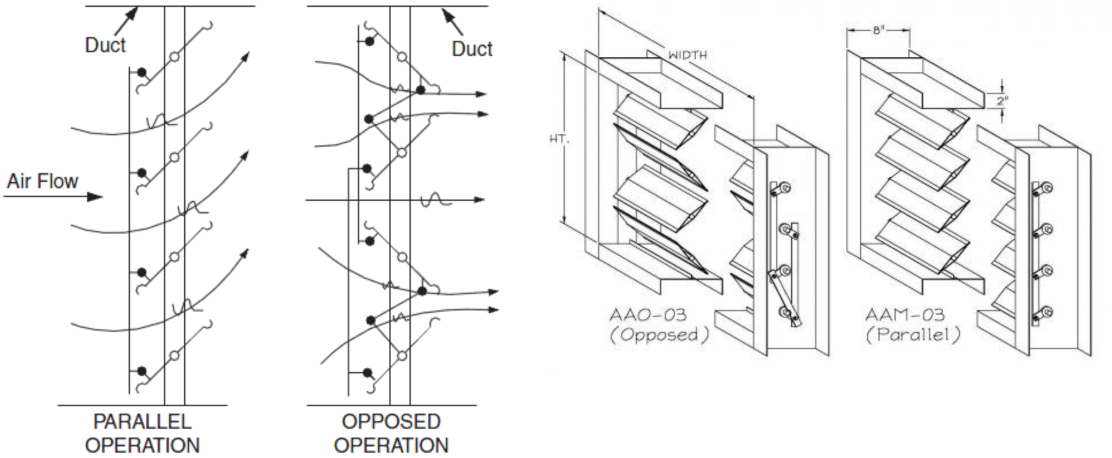
အကယ်၍ လေစီးကြောင်းအောက်ဘက်(down stream) အနီးတွင် elbow ကဲ့သို့သော duct fitting ရှိနေပါက asymmetric enter velocity ကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) သည် မှတ်ထားသည်ထက် ပိုများလိမ့်မည်။ အကယ်၍ လေစီးကြောင်း အောက်ဘက်(down stream) အနီးတွင် diffuser ရှိနေပါက ဆူညံသံ အလွန်မြင့်မားပြီး လေထွက်ပုံ(outlet throw pattern)လည်း ပုံပြောင်းသွား လိမ့်မည်။



ပုံ ၅-၄၇ Air flow through parallel



ပုံ ၅-၄၈ Air flow opposed dampers



ပုံ ၅-၄၉ Flow Pattern through opppsed dampers and parallel damper

ထို့ကြောင့် လေထွက်ပေါက်(air outlet)ကို ထုတ်လုပ်သူများက diffuser ၏ neck သို့မဟုတ် diffuser အနီးနား တွင် opposed blade damper များကိုသာ တပ်ဆင်ရန် ပေးထားခြင်းဖြစ်သည်။

Throttling လုပ်ရန် နေရာများတွင် အသုံးပြုမည့် damper များ၏ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ပုံသည် hydronic system များတွင် control valve များ၏ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ပုံနှင့် တူညီသည်။ Controllability ကောင်းရန် နှင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) မများစေရန် အစွန်းနှစ်ဘက်ကို ရှောင်၍ မျှတအောင် ရွေးချယ်သင့်သည်။ Damper အရွယ်အစား(size) ကြီးလျှင် controllability မကောင်းပေ။ သို့သော် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) နည်းသည်။ Damper အရွယ်အစား(size)သေးလျှင် controllability ကောင်းသည်။ သို့သော် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) များသည်။

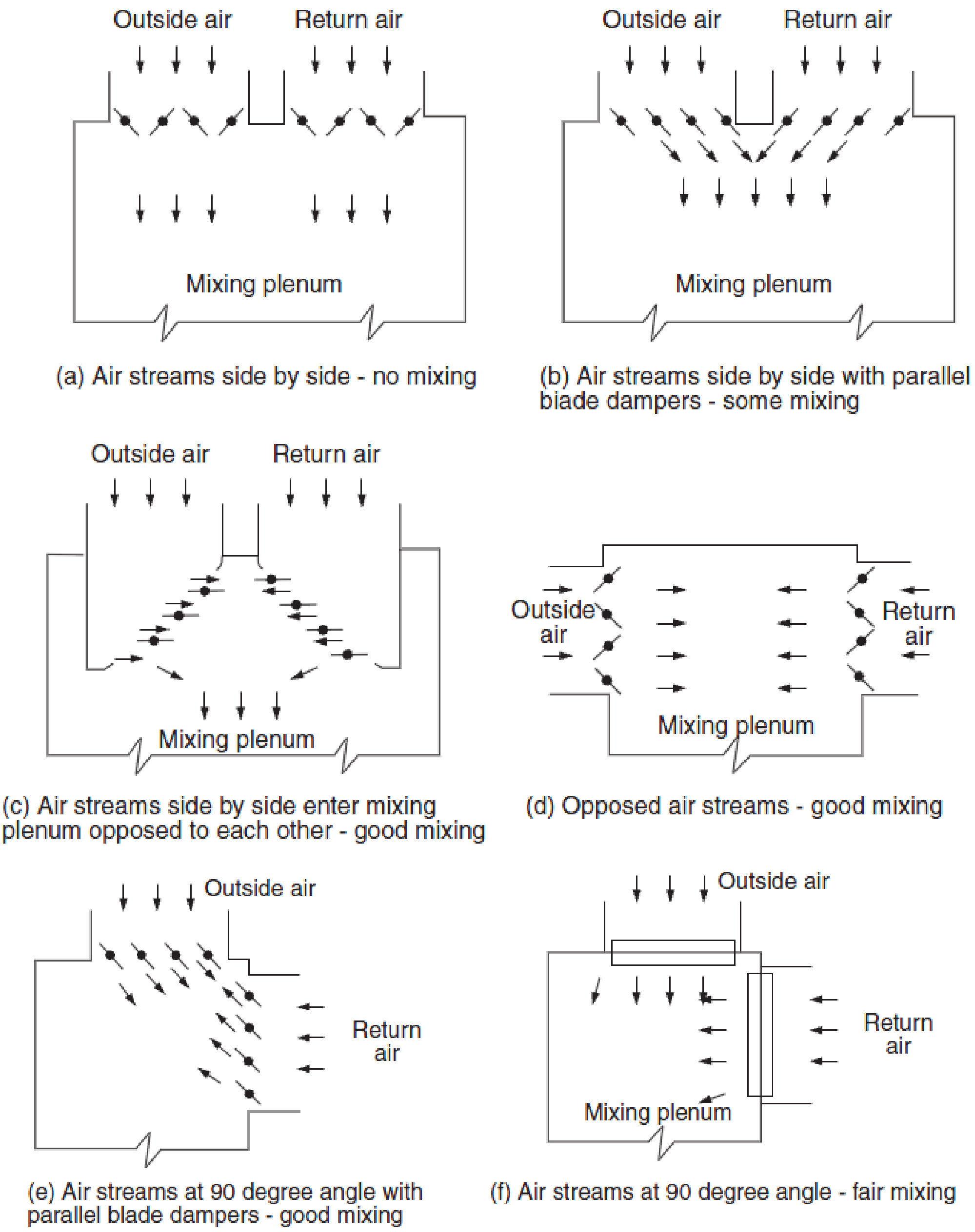
၅.၉.၃ (ဂ) Mixing duty

အမျိုးမတူသည့် လေစီးကြောင်း(air steam) နှစ်မျိုးကို ရောနှောရန် damper ကို အသုံးပြုကြသည်။ ပြင်ပလေ(out door air) နှင့် return air တို့ကို ရောနှောခြင်း(mixing) ဖြစ်သည်။ မှားယွင်းသည့် အယူအဆတစ်ခုမှာ opposed blade damper များသည် throttling လုပ်ရာတွင် အလွန်သင့်လျော်သောကြောင့် ရောနှောခြင်း(mixing)လုပ်ရန် အလွန် သင့်လျော်လိမ့်မည်ဟု ယူဆကြခြင်း ဖြစ်သည်။

များသောအားဖြင့် mixing application တွင် parallel blade damper များကို အသုံးပြုရန် အလွန်သင့်လျော်သည်။ Mixing လုပ်ရာတွင် throttling ကဲ့သို့ တိကျသော control ဖြစ်ရန် မလိုဘဲ၊ air stream နှစ်မျိုးကို ရောနှောစေရုံမျှသာ ဖြစ်သည်။

Parallel blade damper များကြောင့် လေစီးကြောင်း(air steam)များ ယိုင်(deflect)သွားခြင်းကြောင့် throttling လုပ်ရန်အတွက် မကောင်းသော်လည်း mixing လုပ်ရန်အတွက် အလွန်ကောင်းသည့် အချက်ဖြစ်သည်။ ပုံ (၅-၄၉) တွင် parallel blade damper ကြောင့် air stream နှစ်ခုသည် စောင်း(deflect)သွားကာ mixing ဖြစ်စေဖို့ အလွန် အထောက်အကူ ဖြစ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

Opposed blade damper ကြောင့် လေစီးကြောင်း(air steam)နှစ်ခုတို့ mix ဖြစ်ရန်ခက်ခဲပုံကို ပုံ(၅-၅၁) တွင် ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၅-၅၁ Various Mixing Box Arrangements

လေစီးကြောင်း(air steam) နှစ်ခု သေချာစွာ မရောနှောသောကြောင့် stratification ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။ "Stratification" ဆိုသည်မှာ လေစီးကြောင်း(air steam) နှစ်ခု မရောနှောဘဲ ရေနှင့် ဆီကဲ့သို့ သီးခြားစွာ ရှိနေခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ Duct အတွင်းတွင် stratification ဖြစ်သည့်အခါ ပြင်ပလေအပူချိန် (outdoor air

temperature) ရှိသည့် လေများက တစ်ဘက်တွင်ရှိနေပြီး return air temperature ရှိသည့် လေများက တစ်ဘက်တွင် ရှိနေလိမ့်မည်။ Stratification ဖြစ်နေခြင်းကြောင့် လေ၏ အပူချိန်ကို တိုင်းယူသည့် အခါတွင် မမှန်ကန်ခြင်း၊ မတိကျခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Ventilation system effectiveness လည်း လျော့နည်းသွားနိုင်သည်။ Damper နှင့်သက်ဆိုင်သည့် အချက်များကို damper schedule ဟုခေါ်သည်။

(၁) Damper identification tag
(၂) Location
(၃) Damper type
(၄) Damper size & quantity
(၅) Duct size
(၆) Arrangement
(၇) Blade type
(၈) Velocity pressure drop
(၉) Fail position
(၁၀) Actuator identification tag
(၁၁) Actuator type & quantity
(၁၂) Mounting

၅.၁၀ Air Distribution Devices

Diffuser များ၊ register များ သို့မဟုတ် grille များ စသည့် လေထွက်ပေါက်များသည် air distribution device များ ဖြစ်ကြသည်။

Primary Air

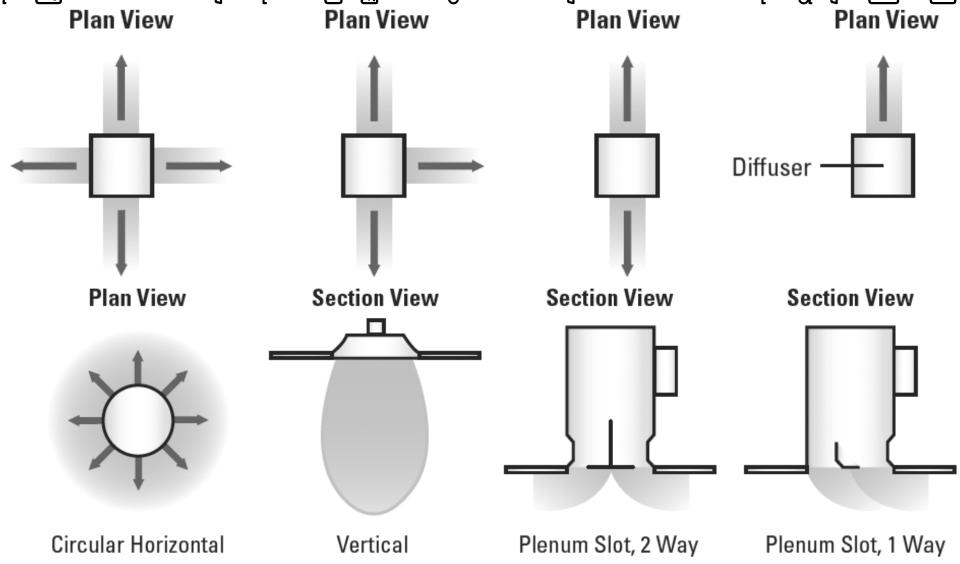
Primary air ဆိုသည်မှာ လေထွက်ပေါက်(supply outlet)မှ အားဖြင့် ပန်းထွက်နေသည့် လေများကို ဆိုလိုသည်။ လေပန်းအားကြောင့် အခန်းအတွင်းရှိ လေများကို ရွေ့လျားစေသည်။

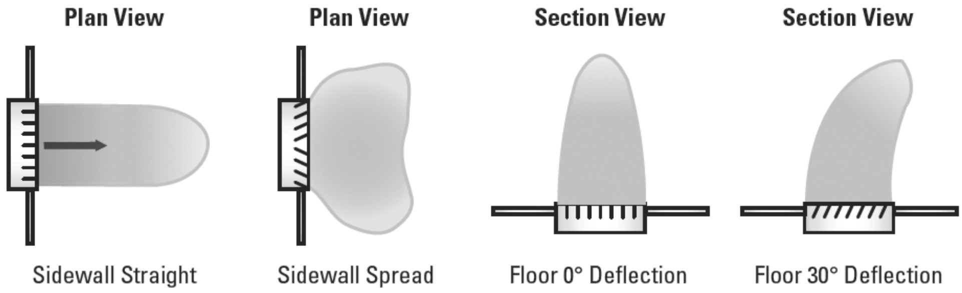
Total Air

Total air ဆိုသည်မှာ primary air နှင့် entrained room air တို့ ရောနှော ပေါင်းစပ်ထားသည့် လေကို ဆိုလိုသည်။ Cooling လုပ်သည့်အခါတွင် လေထွက်ပေါက်(supply outlet)မှ အေးသည့်လေများ ထွက်လာသည်။ အခန်းအတွင်းရှိ လေ၏ အပူချိန်သည် အနည်းငယ် နွေးသည်။ ထိုအခါ အပူချိန်ခြားနားချက် (temperature difference)ကြောင့် buoyant effects ဖြစ်ပေါ်လာပြီး အေးသည့်လေများကို အောက်သို့ ကျဆင်းစေပြီး နွေးသည့်လေများကို အထက်သို့ တက်စေသည်။

၅.၁၀.၁ Air Pattern အမျိုးမျိုး

အလိုရှိသည့် air pattern များကို အခြေခံ၍ လေထွက်ပေါက်များ(air outlets) ကို ရွေးချယ်ကြသည်။





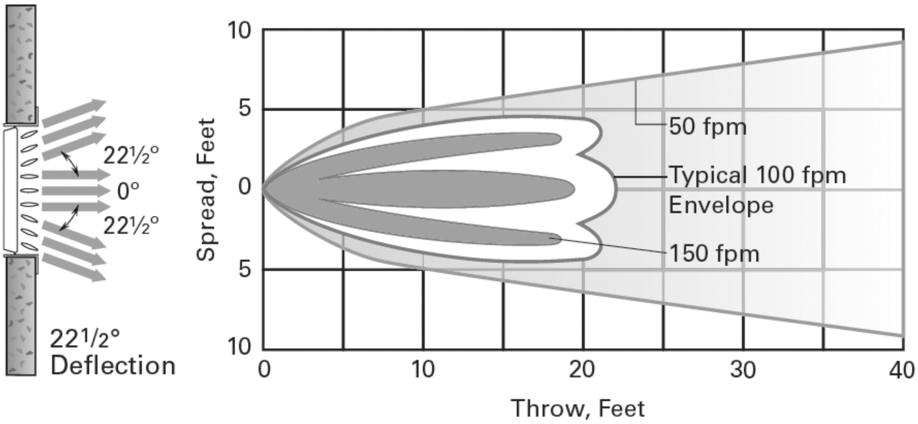
ပုံ ၅-၅၂ လေထွက်ပုံ(air pattern) အမျိုးမျိုးကို ဖော်ပြထားပုံ

Throw

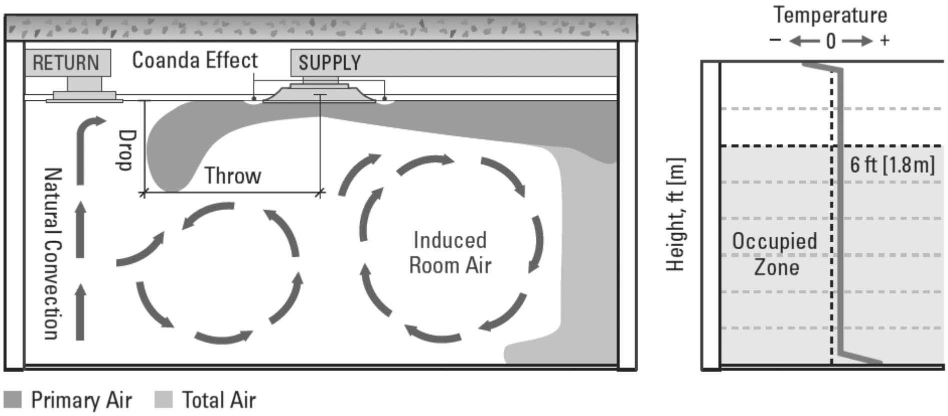
Throw ဆိုသည်မှာ လေထွက်ပေါက်မျက်နှာပြင်(outlet face)မှ သတ်မှတ်ထားသည့် လေအလျင်(specified velocity) အထိ ရောက်နိုင်သည့် အကွာအဝေးကို ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေထွက်ပေါက်(air outlet)မှ ပန်းထွက်နိုင်သည့် အကွာအဝေး(distance from outlet face)ကို ဆိုလိုသည်။

သတ်မှတ်ထားသည့် လေအလျင်(specified velocity) သည် 150 [0.75 m/s] ၊ 100 [0.50 m/s] သို့မဟုတ် 50 fpm [0.25 m/s] ဖြစ်ကြသည်။ လေအလျင်(specified velocity)များကို terminal velocity ဟုလည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။

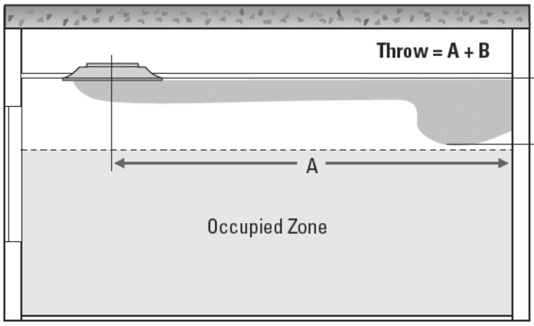
Throw သည် mass flow နှင့် outlet velocity နှစ်မျိုး အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လိုအပ်သည့် throw ရရှိရန် အတွက် mass flow နှင့် outlet velocity တို့ကို ပြောင်းလဲပေးနိုင်သည်။



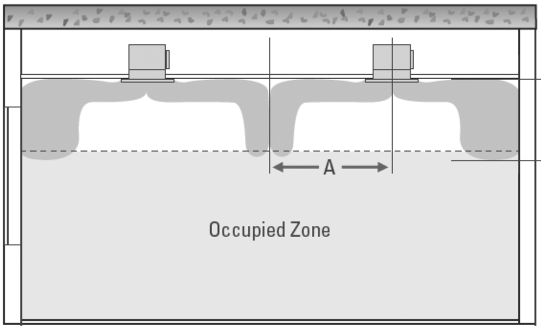
ပုံ ၅-၅၃ Spread vs. Throw ကို ဘေးမှမြင်ရပုံ (sideview) နှင့် အပေါ်မှကြည့်လျှင်မြင်ရပုံ (Plan view)



ပုံ ၅-၅၄ Space air diffusion with overhead cooling



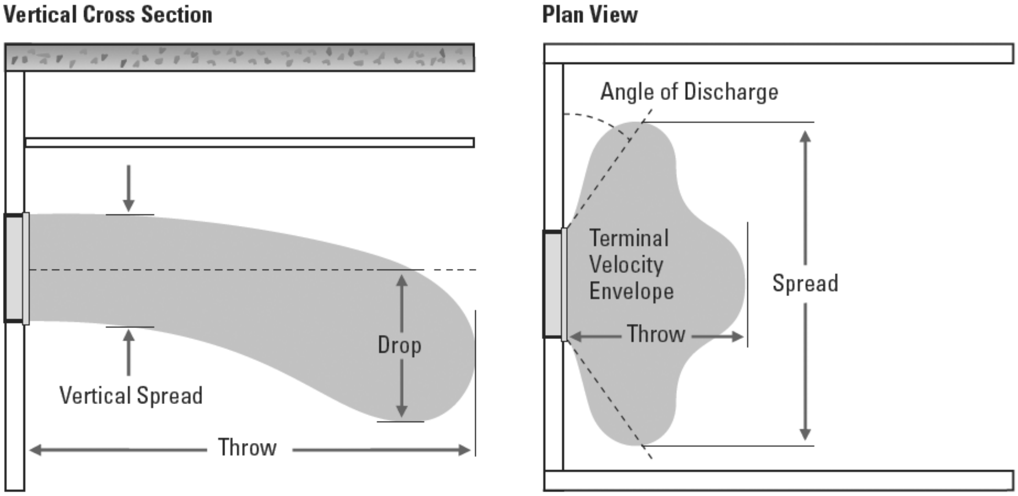
ပုံ ၅-၅၅ Outlet တစ်ခု၏ throw ဖြစ်ပုံကို ဖော်ပြထားပုံ



ပုံ ၅-၅၆ Air patterns နှစ်ခုကြောင့် boundaries ဖြစ်ပေါ်လာပုံ

Drop

ပုံ(၅-၅၆)တွင် အေးသည့်လေ(cool air)သည် အောက်သို့ဆင်းသွားပုံ(drop)ကို ဖော်ပြထားသည်။ Total air package နှင့် surrounding primary room air တို့၏ လေသိပ်သည်းဆကွာခြားချက်(density differences)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် buoyancy effect နှင့် entrainment of room air တို့ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် လေစီးကြောင်း(air stream)၏ ဒေါင်လိုက် အကွာအဝေး(vertical spread) ဖြစ်သည်။ Drop သည် total air ၏ mass flow အပေါ်တွင် မူတည်သောကြောင့် လေသိပ်သည်းဆ(density)သည် အလွန်အရေးကြီးသည်။ Mass flow ကို လျှော့ချခြင်းဖြင့် drop အကွာအဝေးကို လျှော့နည်း စေနိုင်သည်။



ပုံ ၅-၅၇ Drop (left) ဘေးမှကြည့်လျှင်မြင်ရပုံ နှင့် spread (right) အပေါ်မှကြည့်လျှင်မြင်ရပုံ

Spread

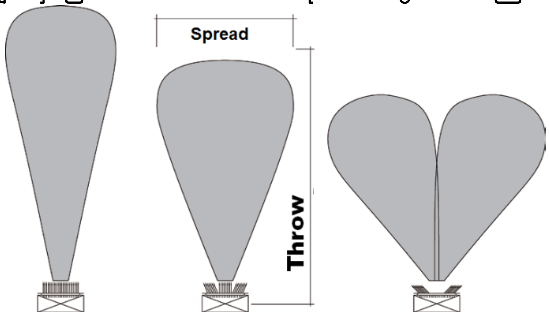
လေထွက်ပေါက်(outlet) တစ်ခု၏ spread ဆိုသည်မှာ ဒေါင်လိုက်(vertical plane)နှင့် အလျားလိုက် (horizontal plane) ဖြစ်ပေါ်သည့် air stream ၏ ဖြာထွက်မှု(divergence of the air stream) ဖြစ်သည်။ Spread သည် လေထွက်ပေါက်(outlet)၏ ပုံသဏ္ဍာန်(geometry)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Surface Effect

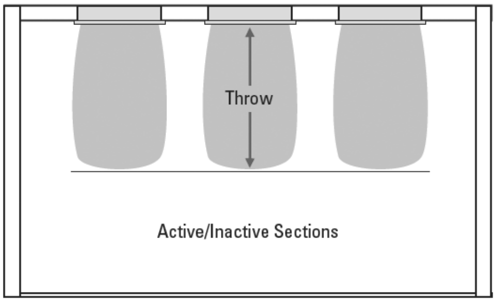
လေထွက်ပေါက်(outlet) အနီးရှိ မျက်နှာကြက် မျက်နှာပြင်(ceiling surface)ကို အသုံးချ၍ drop အကွာအဝေးကို လျှော့ချနိုင်သည်။ လေအလျင်(supply air velocity) မြင့်မားသည့်အခါ ရွေ့လျားနေသည့်လေ (moving air mass) နှင့် လေထွက်ပေါက်(outlet) အနီးရှိ မျက်နှာကြက် အကြားနေရာတွင် ဖိအားနည်းရပ်ဝန်း (negative or low pressure area) ဖြစ်ပေါ်သည်။

Occupied Zone

ကြမ်းပြင်မှ အထက်(၆)ပေ(6 ft [1.8 m])အထိ အမြင့်ကို "**Occupied Zone**" ဟုသတ်မှတ်သည်။ ဖိအားနည်းရပ်ဝန်း(negative or low pressure area)ကြောင့် ရွေ့နေသည့်လေ(moving air) ကို မျက်နှာကြက်မျက်နှာပြင်(ceiling surface)သို့ တက်သွားစေသည်။ ထိုကဲ့သို့ဖြစ်ခြင်းကို "**Coanda effect**" ဟုခေါ်သည်။



ပုံ ၅-၅၈ Spread and Throw



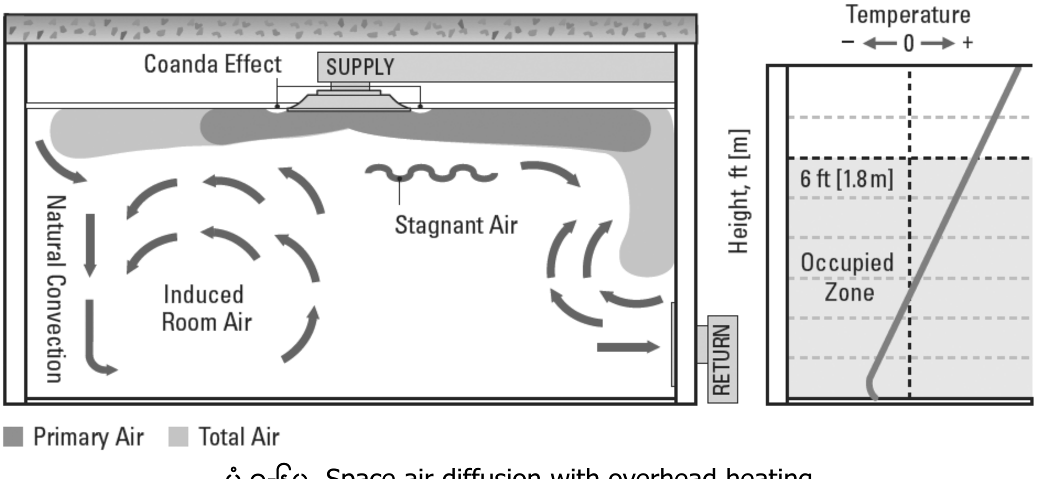
ပုံ ၅-၅၉ Active and inactive sections

ဖိအားကျဆင်းမှု(Pressure Drop)

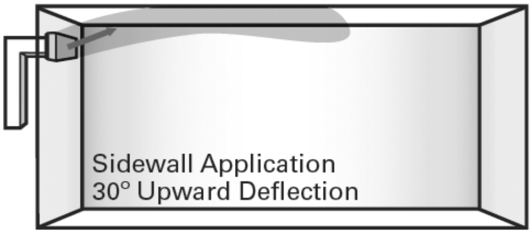
လေထွက်ပေါက်(air outlet)တိုင်းတွင် ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)ဖြစ်ပေါ်သည်။ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု (pressure loss) ပမာဏသည် လေထွက်ပေါက်(air outlet)၏ model ၊ size နှင့် geometry of the air outlet အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)ကို in. w.g. သို့မဟုတ် Pa ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

လေစီးနှုန်း(air flow)များလေ လေထွက်ပေါက်(air outlet)၏ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)များလေဖြစ်သည်။

လေထွက်ပေါက်၌ ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(air outlet pressure loss)ကို system pressure တွက်သည့် အခါတွင် ထည့်တွက်ရန် လိုသည်။

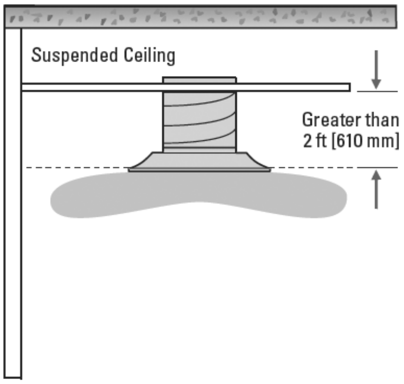


ပုံ ၅-၆၀ Space air diffusion with overhead heating

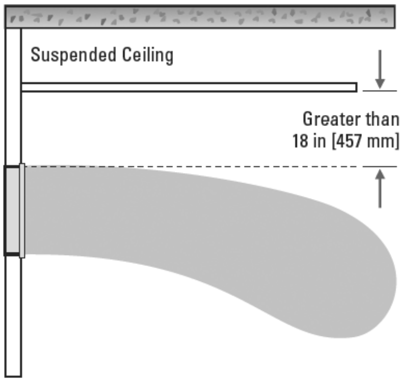


ပုံ ၅-၆၁ Upward deflection

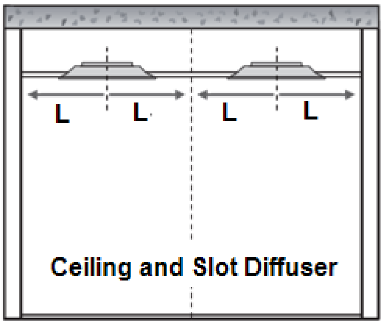
ပုံ ၅-၆၂ Sidewall application

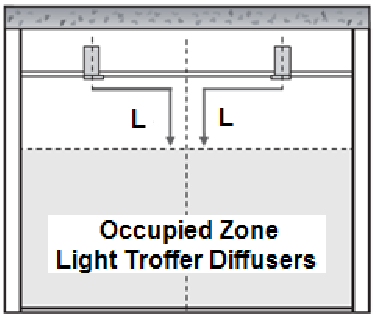


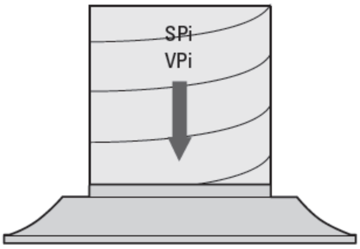
ပုံ ၅-၆၃ Ceiling diffuser free space mounting



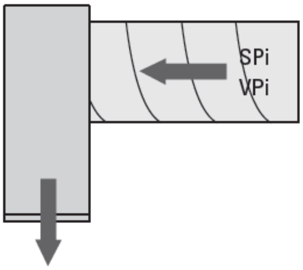
ပုံ ၅-၆၄ Sidewall outlet free space mounting







ပုံ ၅-၆၅ Ceiling diffuser



ပုံ ၅-၆၆ Slot diffuser

၅.၁၀.၂ Air Diffuser အမျိုးမျိုး

ပြည့်စုံကောင်းမွန်သည့် air con system တစ်ခုဖြစ်ရန် သင့်လျော် မှန်ကန်သည့် လေထွက်ပေါက်(air outlet)များ ရွေးချယ်ခြင်းသည် အရေးကြီးသည်။

(က) Grilles and Registers

Louver များဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် လေထွက်ပေါက်(air outlet) နှင့် လေဝင်ပေါက်(intake)များ အားလုံးကို grille ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ စတုရန်းသဏ္ဍာန်(square) သို့မဟုတ် ထောင့်မှန်စတုဂံ သဏ္ဍာန် (rectangular) ဖြစ်သည်။ Face size နှင့် Neck size ဟူ၍ အရွယ်အစား နှစ်မျိုးဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ လိုသလို လှည့်နိုင်သည့် (adjustable) louvers များနှင့် အသေတပ်ထားသည့်(stationary) louvers ဟူ၍ နှစ်မျိုး ကွဲပြားသည်။ Single deflection အမျိုးအစား grille များသည် တစ်ဘက်တည်းသာ စောင်းပေးနိုင်သည်။ Double deflection အမျိုးအစား grille များသည် horizontal နှင့် vertical နှစ်ဘက်စလုံး လေထွက်အောင် စောင်းပေးနိုင်သည်။

Grille များမှ လေထွက်နှုန်းကို ထိန်းချုပ်ရန်အတွက် Volume Control Damper (VCD)ဖြင့် တွဲ၍ တပ်ဆင် ထားလျှင် "**Register**" ဟု၍ ခေါ်လေ့ရှိသည်။

(ခ) Linear Bar Grille

နေရာနှင့်လိုက်လျောညီထွေ ဖြစ်အောင် တပ်ဆင်ရန်အတွက် ရှည်လျားသည့် grille များကို linear bar grille ဟု ခေါ်ဆိုသည်။

(ဂ) Linear Slot Diffuser

Linear Slot Diffuser များသည် အလွန် ရှည်လျားသည့် လေထွက်ပေါက်(air outlet) ဖြစ်ကြသည်။ Slot တစ်ခု၏ လေထွက်ရန် နေရာအကျယ်သည် ငါးမူး(½ in. [13 mm])၊ သုံးမတ်(¾ in. [19 mm]) နှင့် တစ်လက်မ(1 inch [25 mm]) စသည်တို့ ရနိုင်သည်။ Slot အရေအတွက် (၂)ခုမှ (၁၀)ခုအထိ ရနိုင်သည်။ Linear slot diffuser များကို မျက်နှာကြက်(ceiling)တွင် တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။

Round ceiling diffuser

Square ceiling diffuser

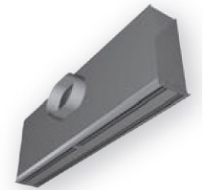
Louvered face diffuser

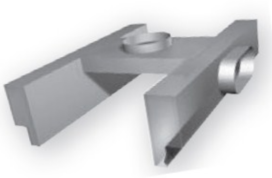
Round plaque diffuser

Square plaque diffuser

Perforated ceiling diffuser

Round Twist Diffuser


Plenum slot diffuser

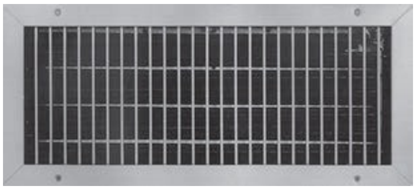

Light troffer diffuser

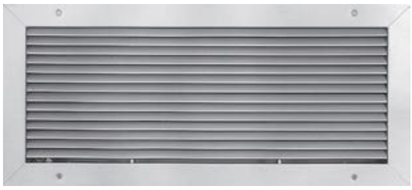
ပုံ ၅-၆၈ Diffuser အမျိုးမျိုးကို ဖော်ပြထားပုံ

ပုံ ၅-၆၉Linear bar grille[6mm] spacing

ပုံ ၅-၇၀ Return grille

ပုံ ၅-၇၁ Linear slot diffuser


ပုံ ၅-၇၂ Double deflection supply grille


ပုံ ၅-၇၃ Return grille

Industrial Ventilation

Industrial supply grille

Drum louver

Nozzle

Industrial return grille

Security grille

ပုံ ၅-၇၄

Slot diffuser များ နှင့် light troffer diffuser များသည် လေပမာဏနည်း(low air volumes)သည့် အခြေအနေတွင် throws အသင့်အတင့်ရနိုင်သောကြောင့် VAV applications များတွင် အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။

၅.၁၀.၃ Diffuser အမျိုးမျိုးတို့၏ Characteristic Length

Characteristic length for various diffuser types	
Diffuser Type	**Characteristic Length, L**
High Sidewall Grille	Distance to wall perpendicular to jet
Circular Ceiling	Diffuser Distance to closest wall or intersecting air jet
Sill Grille	Length of room in the direction of the jet flow
Ceiling Slot Diffuser	Distance to wall or midplane between outlets
Light Troffer Diffusers	Distance to midplane between outlets, plus distance from ceiling to top of occupied zone
Perforated, Louvered Ceiling Diffusers	Distance to wall or midplane between outlets

၅.၁၀.၄ လေထွက်ပေါက်(Air Outlet)မှ ဖြစ်ပေါ်သည့် ဆူညံသံ(Noise Level)

လေထွက်ပေါက်(air outlet)မှ ဖြစ်ပေါ်သည့် ဆူညံသံ(noise level) ကို Noise Criteria (NC)ဖြင့် သတ်မှတ်သည်။ Noise Criteria (NC) သည် sound pressure တန်ဖိုးပေါ်တွင် မူတည်သည်။

လေထွက်ပေါက်(air outlet)မှ ဖြစ်ပေါ်သည့် ဆူညံသံ(noise level)သည် လေထွက်ပေါက်(air outlet) မှ ထွက်သည့် လေအလျင်(velocity)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေထွက်ပေါက်(air outlet)များကို ရွေးချယ်သည့် အခါ ASHRAE recommended NC level value များကို မှီငြမ်း ကိုးကားသင့်သည်။

Diffuser မှ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ဆူညံသံများကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။

24 in. x 24 in. module [610 mm x 610 mm], 380 cfm [180 L/s], 700 fpm [3.6 m/s] neck velocity

	Diffuser Type	**NC Level**		**Diffuser Type**	**NC Level**
(၁)	Square Cone	17	(၅)	Perforated Curved Vane	28
(၂)	Square Plaque	18	(၆)	Louvered Face	31
(၃)	Round Cone	22	(၇)	Perforated Face Deflector	33
(၄)	Modular Core	26	(၈)	Perforated Neck Deflector	37

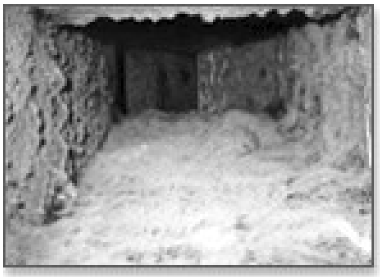
၅.၁၀.၅ Plenum Slot Diffuser မှ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ဆူညံသံများကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြခြင်း

1 in. slot, 4 ft [1.2 m], 270 cfm [127 L/s], 8 in. [203 mm] neck, 800 fpm [4.1 m/s] neck velocity

	Diffuser Type	NC Level		Diffuser Type	NC Level
(၁)	Linear Slot	31	(၃)	Linear Ice Tong	39
(၂)	Linear Fixed Curved	36	(၄)	Linear Wiper Blade	46

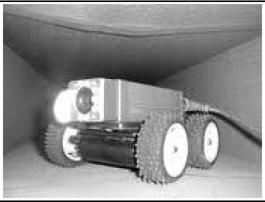
၅.၁၁ Duct Cleaning

Duct များအတွင်း၌ အမှုန်၊ အမှိုက်များ ကျန်ရစ်မနေအောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ရမည်။ နှစ်ပေါင်းကြာမြင့်စွာ အသုံးပြုခဲ့သောကြောင့် duct များအတွင်း၌ အမှုန် ၊ အမှိုက်များ စုဝေးနေခဲ့သော် သန့်ရှင်းရေး(duct cleaning) လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။



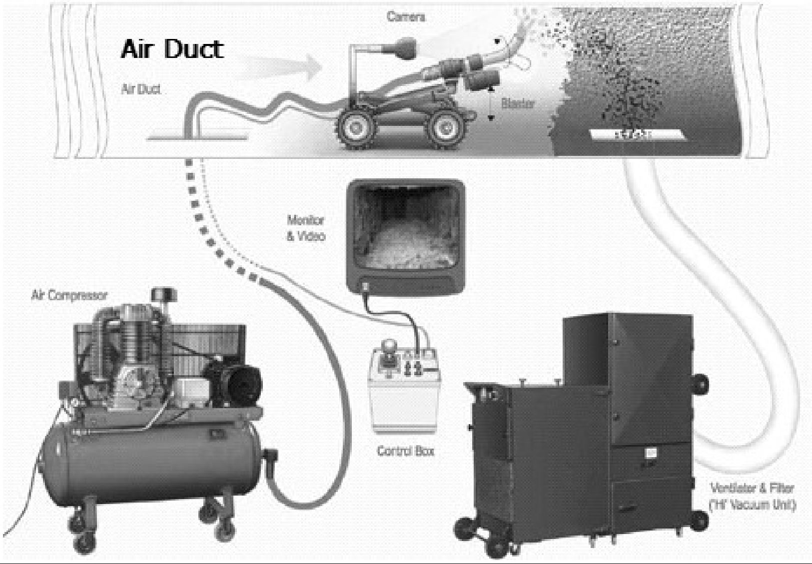
ပုံ ၅-၇၅ Duct များအတွင်း၌ အမှုန်၊ အမှိုက်များ စုဝေး နေပုံ

Robotic Duct Cleaning



ပုံ ၅-၇၆ Robotic Duct Cleaning

ပုံ ၅-၇၇ Duct cleaning လုပ်ပြီးပုံ



ပုံ ၅-၇၈ Robotic Duct Cleaning

-End-

Chapter - 6 Fans and Blowers

ခေတ်မီ အဆောက်အဦများတွင် နေထိုင်ကြသည့် လူများ၏ကျန်းမာရေးသည် ထိုအဆောက်အဦများ၏ လေဝင်လေထွက်(ventilation)ကောင်းခြင်း၊ လေအရည်အသွေး(quality)၊ အပူချိန်(temperature) နှင့် လေများ ရွေ့လျားခြင်း(air movement) တို့အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အဆောက်အဦ အတွင်း condensation ဖြစ်ပေါ်ခြင်းကြောင့် မှို(mold)များ နှင့် ဗက်တီးရီးယားများ ပေါက်ဖွား လာကာ နေထိုင်သူများ၏ ကျန်းမာရေးကို ထိခိုက်စေနိုင်သည်။ လေသန့်ရှင်းလတ်ဆတ်မှု(air freshness)သည် အနံ့ဆိုးများဖယ်ထုတ်နိုင်မှု၊ ညစ်ညမ်းသည့် လေများ ဖယ်ထုတ်နိုင်မှု နှင့် လိုအပ်သည်ထက် ပိုများနေသည့် ရေငွေ့များ(excessive moisture) ဖယ်ထုတ်နိုင်မှု အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

လုံလောက်သည့် လေပမာဏ ရရှိရန်အတွက် fan များ၏ အရွယ်အစားကို မှန်ကန်စွာ ရွေးချယ်ခြင်း၊ duct များကို စနစ်တကျ တပ်ဆင်ခြင်း၊ control system များ ကောင်းစွာ ပုံမှန်အလုပ် လုပ်စေခြင်း၊ system တစ်ခုလုံး ပုံမှန် လည်ပတ်နေခြင်း စသည့် အချက်များ ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

၆.၁ Total Pressure ၊ Static Pressure and Velocity Pressure

Fan တစ်လုံးသည် ဒလက်များလည်နေသည့် ကိရိယာ(rotating device) တစ်ခုဖြစ်ပြီး ဖိအား ကွာခြားချက်(pressure difference)ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ ထိုဖိအားကွာခြားချက်ကြောင့် လေကို ရွေ့လျား စေသည်။ လေကို တစ်နေရာမှ အခြားတစ်နေရာသို့ ရောက်သွားအောင် ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည့် air moving device များကို "**Fan**" သို့မဟုတ် "**Blower**" ဟုခေါ်သည်။
Fan နှင့်သက်ဆိုင်သည့် ဖိအား(pressure) သုံးမျိုးရှိသည်။

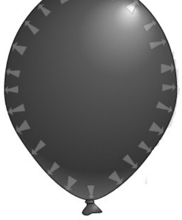
(၁) Static Pressure

(၂) Velocity Pressure နှင့်

(၃) Total Pressure တို့ ဖြစ်သည်။

$$\boldsymbol{Total\,pressure = Static\,pressure + Velocity\,pressure}$$

Velocity pressure နှင့် static pressure ပေါင်းလျှင် total pressure ရသည်။ Static pressure ကို fan များ ရွေးချယ်ရာတွင် အသုံးပြုသည်။ Total pressure ကို velocity pressure ရရန်(ရှာရန်) အတွက် အသုံးပြုသည်။ Velocity pressure ကို လေစီးနှုန်း(air flow rate) နှင့် duct အတွင်းရှိ လေအလျင်(velocity) တို့ကို ခန့်မှန်းရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ ထို ဖိအား(pressure)များသည် $\boldsymbol{TP = VP + SP}$ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဆက်သွယ် နေကြသည်။ ဖိအား(pressure)၏ IP ယူနစ်သည် inches of Water Gauge(in WG) သို့မဟုတ် inch of water column (in WG) ဖြစ်သည်။ ဖိအား(pressure) ၏ SI ယူနစ် သည် Pascal (Pa) ဖြစ်သည်။



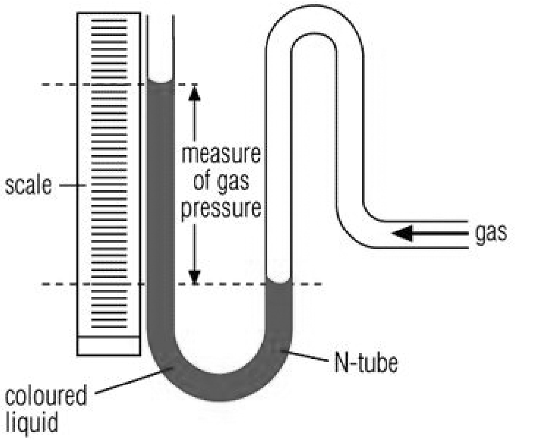
Static Pressure

Static ဆိုသည်မှာ "ရွေ့လျားနေခြင်းမရှိ" သောလေကို ဆိုလိုသည်။ Static pressure ကို နားလည်ရန် ဘောလုံးအတွင်း၌ရှိသော လေ၏ ဖိအားဖြင့် ဥပမာပေးနိုင်သည်။ လေများ ရွေ့လျားသွားရန်အတွက် ခုခံထားသောအား(resistance to flow)ဖြစ်သည်။ နေရာ အားလုံးအတွက် သက်ရောက်နေသော static pressure ၏ ဖိအားပမာဏ တူညီကြသည်။ (equal in all direction)။ Static pressure သည် Positive pressure လည်းဖြစ်နိုင်သည်။ Negative pressure လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။

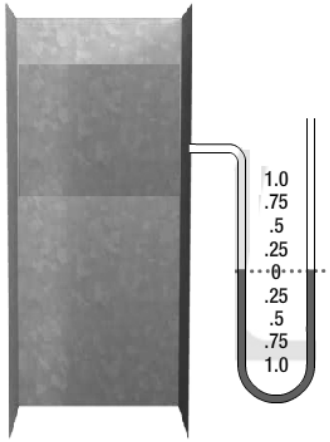
Manometer ကို အသုံးပြု၍ static pressure ကို တိုင်းယူနိုင်သည်။ ပုံ၆-၃(က)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း U tube တွင် ရေဖြည့်ပြီး အဝတစ်ဖက်ကို air steam နှင့် ထောင့်မှန်ကျအောင် ထားပါ။ ကျန်တစ်ဘက်ကို အနီးရှိ လေထုဖိအား (atmospheric pressure)နှင့် ထိအောင်ဖွင့်ထားပါ။ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ဒေါင်လိုက်အမြင့် (vertical

difference)သည် static pressure ပင် ဖြစ်သည်။ ဒေါင်လိုက်အမြင့်(vertical difference)ကို inches of Water Gauge(in WG) ဖြင့် တိုင်းယူခြင်း ဖြစ်သည်။

ပုံ၃-၆(ခ)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း ဖိအား(total pressure)ကို တိုင်းယူရန်အတွက် အဝတစ်ဖက်ကို လေလာရာ ဘက်သို့မျက်နှာမူ(facing into the air flow)ထားပါ။ Duct အတွင်းရှိ ဖိအား(pressure) နှင့် ရွေ့လျားနေသည့်လေ(moving air)တို့ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော စုစုပေါင်းဖိအား(total pressure)သည် static pressure ထက် များလေ့ရှိသည်။

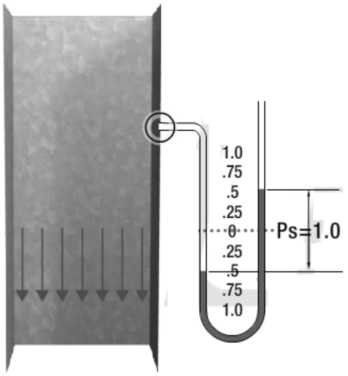


ပုံ ၆-၁ Manometer

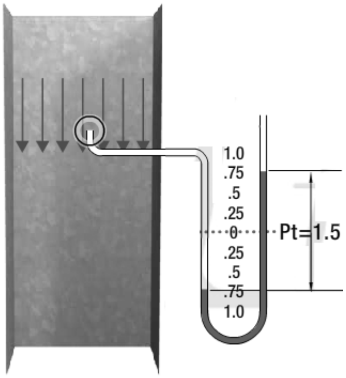


ပုံ ၆-၂ No Air flow

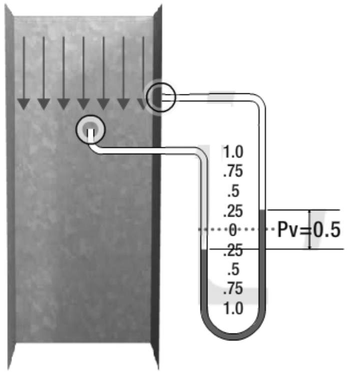
Pitot tube ကိုအသုံးပြု၍ velocity pressure ကိုတိုင်းယူနိုင်သည်။



ပုံ ၆-၃ (က) Static pressure



ပုံ ၆-၃ (ခ) Total pressure



ပုံ ၆-၃ (ဂ) Velocity pressure

ပုံ၆-၃(ဂ) Pitot tube တွင် ထိပ်ဝနှစ်ဘက် ရှိသည့်အနက် အဝတစ်ဖက်ကို total pressure တိုင်းသည့် အတိုင်း လေစီးရာလမ်းကြောင်း(air flow direction) ကို မျက်နှာမူပြီးထားပါ ကျန်အဝတစ်ဖက်ကို static pressure တိုင်းယူသည့်အတိုင်း လေစီးကြောင်း(air steam) နှင့် ထောင့်မှန်ကျအောင် ထားပါ။ ဒေါင်လိုက် အမြင့်(vertical difference)သည် total pressure တန်ဖိုး ထဲမှ static pressure တန်ဖိုးကို နှုတ်ထားသည့် velocity pressure ၏ တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။

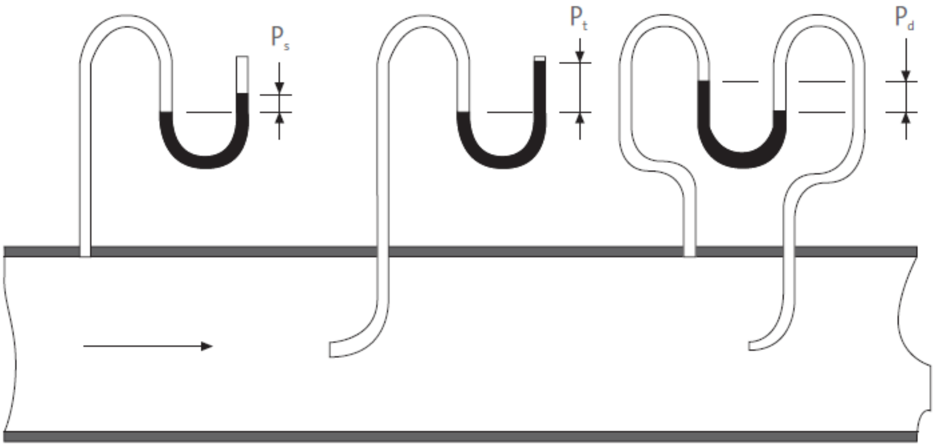
Velocity pressure သည် duct အတွင်းရှိ လေအလျင်(velocity)ပမာဏနှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။ အောက်ပါ ပုံသေနည်းကို အသုံးပြု၍ velocity(FPM) မှ velocity pressure(in WG)ကိုတွက်ယူနိုင်သည်။ ကိန်းသေတန်ဖိုး (constant value) 4005 သည် standard air density အတွက်သာ ဖြစ်သည်။

$$\boldsymbol{Velocity\ Pressure(inches\ of\ water\ gauge)} = \left(\frac{\boldsymbol{V(feet\ per\ minute)}}{\mathbf{4005}}\right)^{\mathbf{2}}$$

> Velocity (fpm) ကို 4005 ဖြင့်စား၍ နှစ်ထပ်ကိန်းတင်လျှင် "Velocity Pressure" (in of wg)တန်ဖိုးကို ရသည်။ Standard air အခြေအနေ အတွက်သာ မှန်သည်။

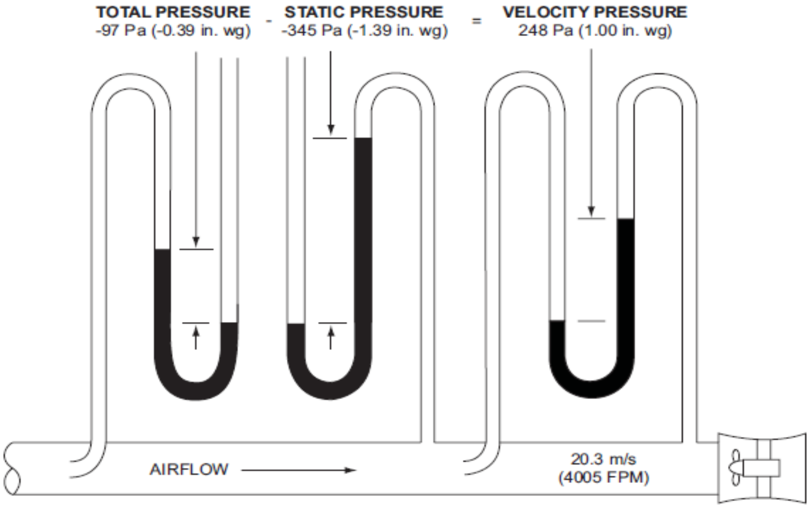
Velocity pressure ကိုတိုင်းပြီး duct အတွင်းရှိ လေအလျင်(velocity)ကို အထက်ပါ ပုံသေနည်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။ Duct အတွင်း ၌ လေအလျင်(velocity)သည် နေရာကို လိုက်၍ ကွဲပြားကြသည်။

၆.၂ Positive Pressure Duct and Negative Pressure Duct



ပုံ ၆-၄   Static Pressure   Total Pressure   Velocity Pressure

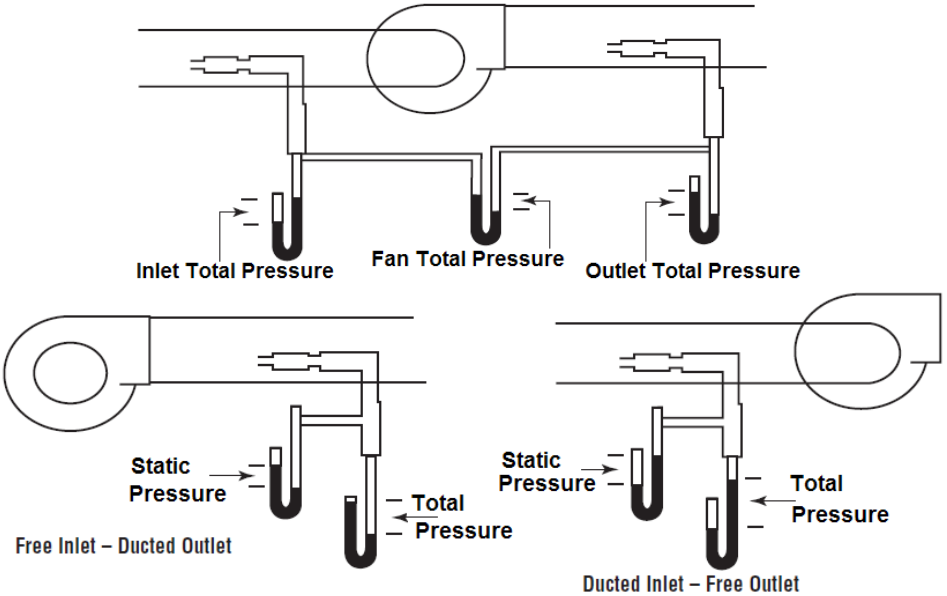
အထက်ပါပုံတွင် ဖော်ပြထားသော duct အတွင်း၌ "Positive Pressure" ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် "Static Pressure" သည် "Positive Pressure" ဖြစ်သည်။ Static Pressure ၊ Total Pressure နှင့် Dynamic Pressure တို့ကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၆-၅ Duct အတွင်း၌ negative static pressure နှင့် negative total pressure ဖြစ်ပေါ်ပုံ

အထက်ပုံ(၆-၅)တွင် duct အတွင်း၌ "Negative Pressure" ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် static pressure သည် negative pressure ဖြစ်သည်။ Static Pressure ၊ Total Pressure နှင့် Velocity Pressure တို့ကို ဖော်ပြထားသည်။ Negative pressure duct ဖြစ်သည်။

Negative pressure duct ဖြစ်စေ၊ positive pressure duct ဖြစ်စေ၊ velocity pressure သည် မည်သည့် အခါမျှ အနုတ်တန်ဖိုး(negative value)မဖြစ်နိုင်ပေ။ အမြဲ အပေါင်းတန်ဖိုးသာ ဖြစ်လိမ့်မည်။

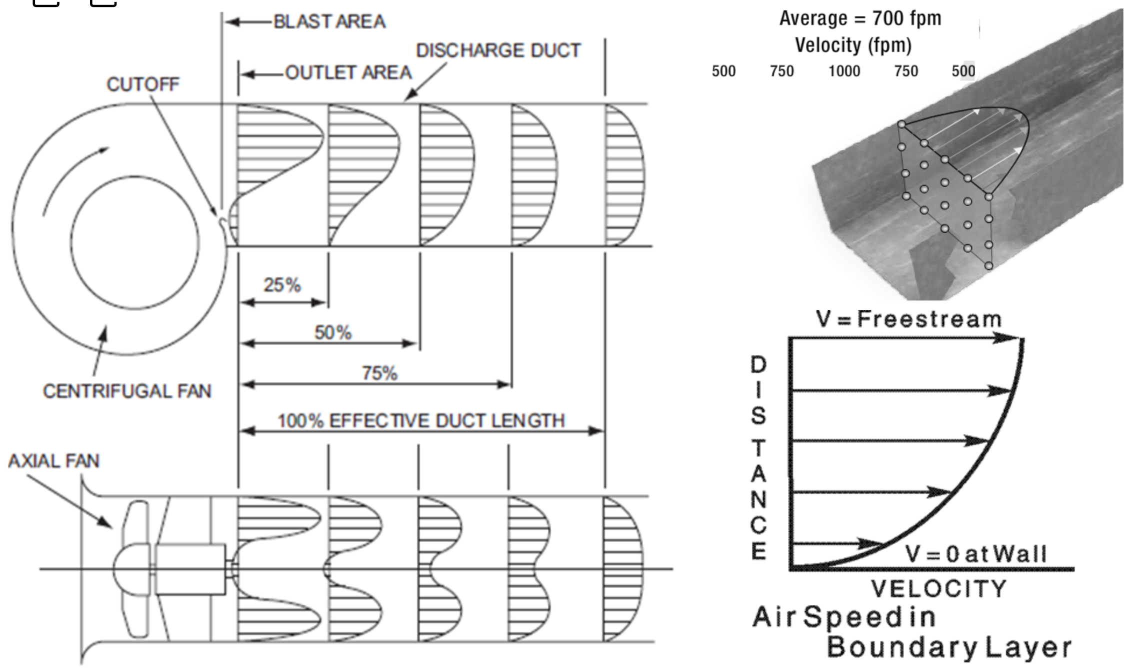


ပုံ ၆-၆ Total pressure ၊ Static pressure နှင့် Velocity pressure တိုင်းယူပုံ

၆.၃ Duct အတွင်းရှိ လေ၏ Velocity Profile

မြစ်အတွင်း၌ ရေများစီးဆင်းနေသည့် ဥပမာဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။ မြစ်အလယ်တွင် ရေစီးပိုသန်၍ (velocity ပိုများ၍) မြစ်ကမ်းဘေး၌ ရေစီးအားနည်း(velocity နည်း)သည်။ ထို့ကြောင့် duct အတွင်းရှိ velocity ကိုတိုင်းယူသည့်အခါတွင် နေရာများများတိုင်း၍ ပျမ်းမျှ(average) တန်ဖိုးကို တွက်ယူရန် လိုအပ်သည်။

ပုံ(၆-၇)သည် axial fan နှင့် centrifugal fan တို့၌ velocity profile ဖြစ်ပေါ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ 100 % effective duct length သည် duct အရွယ်အစား(diameter)နှင့် လေအလျင်(air velocity) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။



ပုံ ၆-၇ Duct အတွင်း၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် velocity profile

(၁) Fan outlet velocity သည် 2,500 fpm ထက်နည်းလျှင်

$$100\ percent\ effective\ duct\ length\ =\ 2.5\ x\ Duct\ diameter$$

(၂) Fan outlet velocity သည် 2,500 fpm ထက်များလျှင် 100 % effective duct length သည်

$$100\ percent\ effective\ duct\ length\ = \frac{fpm}{1000}\ x\ Duct\ diameter$$

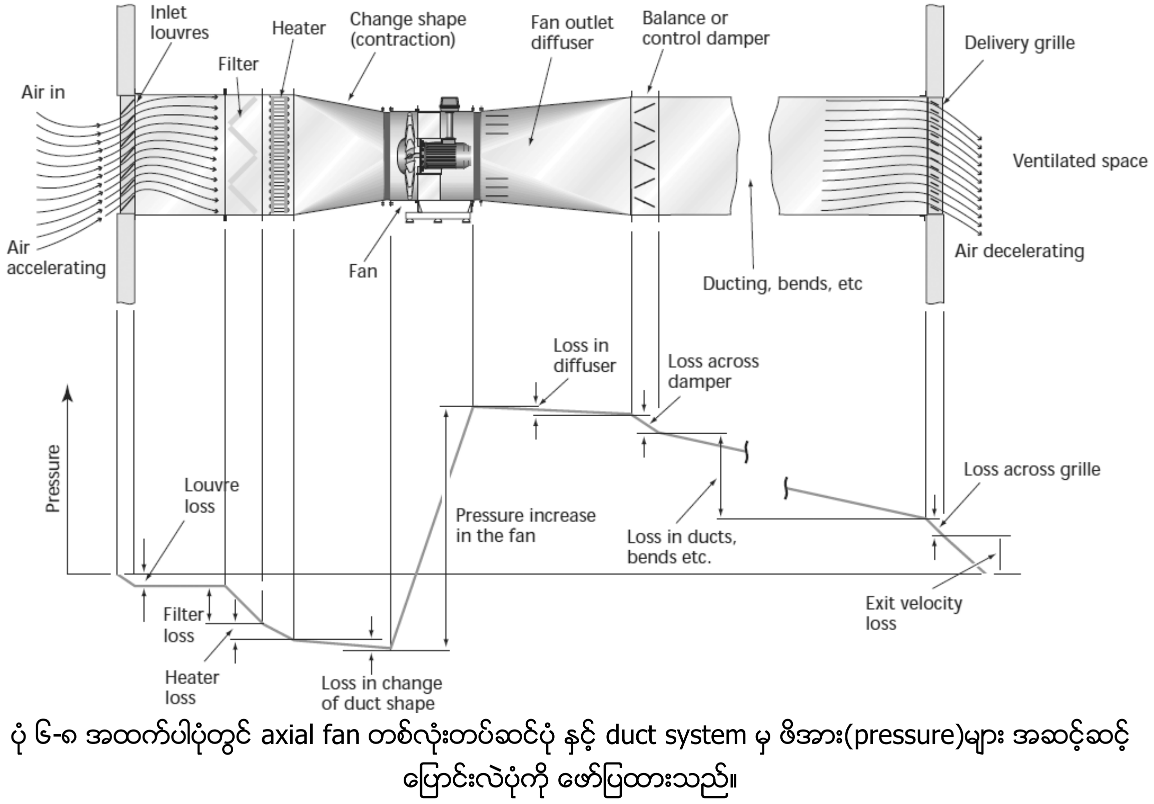
Duct သည် လေးထောင့်ပုံကျွန်(rectangular) ဖြစ်လျှင် "Duct Hydraulic Diameter" (D) ကို တွက်ရန် ပုံသေနည်း

$$D = \frac{2wh}{w + h}$$

h သည် duct height ဖြစ်သည်။ w သည် duct width ဖြစ်သည်။

Centrifugal fan နှင့် axial fan တို့ ၏ velocity profile သည် 100% effective duct lengths နေရာသို့ရောက်မှသာ ပုံမှန် velocity profile ပုံသဏ္ဍာန်သို့ရောက်သည်။

ထို့ကြောင့် fan ၏ outlet 100% effective duct length မရောက်ခင်အတွင်း velocity တိုင်းယူပါက ရရှိသည့် တန်ဖိုးသည် စိတ်မချရပေ။ မမှန်ကန်နိုင်ပေ။



ပုံ ၆-၈ အထက်ပါပုံတွင် axial fan တစ်လုံးတပ်ဆင်ပုံ နှင့် duct system မှ ဖိအား(pressure)များ အဆင့်ဆင့် ပြောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

၆.၄ Fan နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ဝေါဟာရများ

National Association of Fan Manufacturers (NAFM) မှ သတ်မှတ်ထားသော fan နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အသုံးအနှုန်းများ-

Volume Fan ၏ outlet မှ ထွက်လာမည့် လေထုထည် Cubic Feet per Minute(CFM) သို့မဟုတ် Cubic Meter per Hour(CMH)ဖြစ်သည်။

Total Pressure Fan ၏ အဝင်ဖိအား(inlet pressure) နှင့် အထွက်ဖိအား(fan outlet pressure) တို့ ခြားနားချက်။

Velocity Pressure ထွက်နေသည့်လေ၏ average velocity နှင့်ညီမျှသော ဖိအား(pressure) တန်ဖိုးဖြစ်သည်။ Fan outlet ၌ လေများထွက်နေချိန်တွင် average velocity ဖြစ်ပေါ်စေသော pressure ဖြစ်သည်။

Static Pressure Fan ၏ total pressure မှ velocity pressure ကို နှုတ်၍ရသော ဖိအား(pressure) ဖြစ်သည်။

Power output Fan မှ လေသို့ ပေးနိုင်သည့် စွမ်းအင်ဖြစ်သည်။ လေထုထည်(air volume)နှင့် fan total pressure တို့ကို Horse Power(HP) သို့မဟုတ် kilowatt(kW) ဖြင့် ဖော်ပြထားသည့် စွမ်းအင် ဖြစ်သည်။

Power input Fan ၏ ဝင်ရိုး(shaft)ကို မောင်းရန်အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအင်ဖြစ်ပြီး Horse Power (HP) သို့မဟုတ် kilowatt(kW) ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

Mechanical efficiency Fan ၏ power output ကို power input ဖြင့် စားထားသော အချိုးဖြစ်သည်။

Static efficiency Fan ၏ mechanical efficiency ဖြစ်ပြီး static pressure နှင့် total pressure အချိုးဖြင့် မြှောက်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

Fan-outlet area Fan outlet ၏ ဧရိယာ ဖြစ်သည်။

Fan-inlet area Inlet collar ၏ ဧရိယာ ဖြစ်သည်။

၆.၅ Fan Equations

လေသိပ်သည်းဆ(Standard air density) တန်ဖိုးသည် 0.075 lb/ft^3(I-P ယူနစ်)၊ 1.201 kg/m^3(metric ယူနစ်)၊ 1.201 kg/m^3 (SI ယူနစ်)ဖြစ်သည်။

$$Total\ Pressure(TP) = Static\ Pressure(SP) + Velocity\ Pressure(VP)$$

TP = Total Pressure(standard conditions) ATP = Actual Total Pressure

SP = Static Pressure(standard conditions) ASP = Actual Static Pressure

VP = Velocity Pressure(standard conditions) AVP = Actual Velocity Pressure

ဖိအား(pressure) များ၏ ယူနစ် သည် inch of Water Gauge(WG) ဖြစ်သည်။

Fan များသည် standard air condition မဟုတ်သည့် အခြေအနေများတွင် မောင်းသည့်(operate) အခါ

$ATP = ASP + AVP$ ညီမျှခြင်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

$$Total\ Pressure\ (TP) = Actual\ Total\ Pressure\ (ATP)\ x\ \frac{1}{Density\ Ratio}$$

$$Density\ Ratio = \frac{Acutal\ Density}{Standard\ Condition\ Density}$$

$$Static\ Pressure(SP) = Actual\ Static\ Pressure\ (ASP) x\ \frac{1}{Density\ Ratio}$$

SI ယူနစ် ပုံသေနည်း

$$Fan\ Impeller\ Power\ (kW) = \frac{flow\ rate\ \left(\frac{m^3}{s}\right)\ x\ Pressure\ developed\ (\frac{N}{m^2}\ or\ Pa)}{1000\ x\ efficiency}$$

IP ယူနစ် ပုံသေနည်း

$$Fan\ Impeller\ Power\ (BHP)\ = \frac{flow\ rate\ (CFM\ )\ x\ Pressure\ developed\ (in.water)}{6346\ x\ efficiency}$$

ACFM = Actual ft^3/min   and   BHP = Break Horse Power

$$Break\ Horse\ Power(BHP) = \frac{Actual\ Total\ Pressure\ (ATP)\ \text{x}\ \text{Actual CFM}}{6346\ \text{x}\ \text{TOTAL Efficiency}}$$

$$Efficiency\ \ TOTAL\ = \frac{Actual\ Total\ Pressure\ (ATP)\ \text{x}\ \text{Actual CFM}}{6346\ \text{x}\ \text{BHP}}$$

$$Efficiency\ \ STATIC\ = \frac{Actual\ Static\ Pressure\ (ASP)\ \text{x}\ \text{Actual CFM}}{6346\ \text{x}\ \text{BHP}}$$

6346 သည် ကိန်းသေ(constant)တန်ဖိုး တစ်ခုဖြစ်သည်။

Pressure နှင့် Horse Power တို့သည် တူညီသည့် (standard density ဖြစ်စေ သို့မဟုတ် actual density ဖြစ်စေ) density condition မှ ရယူရန်ဖြစ်သည်။

$$Velocity\ (FPM) = \frac{\text{Actual CFM}(\text{ft}^3/\text{min})}{\text{Net Free Area}(\text{ft}^2)}$$

NFA သည် "Net Free Area of the fan" ကို ဆိုလိုသည်။

$$Velocity\ Pressure\ for\ Standard\ Air = \left(\frac{V}{4005}\right)^2$$

အထက်ပါ velocity pressure ပုံသေနည်းသည် standard air အတွက် ဖြစ်သည်။ Velocity(FPM)ကို 4005 ဖြင့်စား၍ နှစ်ထပ်ကိန်းတင်လျှင် velocity pressure(in WG)တန်ဖိုးကို ရသည်။ ယူနစ်သည် inch of water column သို့မဟုတ် inch wg ဖြစ်သည်။ Fan ကို standard air မဟုတ်သည့် အခြေအနေတွင် မောင်းလျှင် အောက်ပါ ပုံသေနည်းကို အသုံးပြုရမည်။

$$Actual\ Velocity\ Pressure(in.WG)\ = \left(\frac{V}{4005}\right)^2\ x\ \left(\frac{Air\ \text{density at the fan}}{Standard\ \text{air density}(0.075\ \text{lb/ft3})}\right)$$

၆.၅.၁ Fan Pressure and Velocity Relationship

Bernoulli's equation ကိုအသုံးပြု၍ လေစီးကြောင်း(air stream) ၏ ဖိအား(pressure) နှင့် လေအလျင်(velocity) ဆက်စပ်မှု (relationship)ကို ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$P1 = Inlet\ pressure \qquad P2 = Outlet\ pressure$$
$$V1 = Inlet\ Velocity \qquad V2 = Outlet\ Velocity$$

$$\frac{P1 - P2}{\rho_{air}} = \frac{(V_2)^2 - (V_1)^2}{2g}$$

Initial velocity သည် 0 ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့်

$$\frac{P1 - P2}{\rho_{air}} = \frac{(V_2)^2}{2g}$$

$$\Delta P = \rho_{air}\ x\ \left(\frac{(V_2)^2}{2g}\right)$$

Pressure သည်

$$\rho_{air} = 0.075\frac{lb}{ft^3}(Density\ of\ Air\ at\ Sea\ Level - IP\ unit)$$

$$g = 32.17\ \frac{ft}{Sec^2}(Gravitational\ Constant - IP\ unit)$$

$$\Delta P = 0.075\frac{lb}{ft^3}\ x\left(\frac{(V_2)^2}{2\ x\ 32.17\ \frac{ft}{Sec^2}}\right)$$

အပူချိန်၌ 40°F ရှိသော ရေ၏သိပ်သည်းဆ(density)သည် 62.4 lb/ft^3 ဖြစ်သည်။ Water column 1 ft သည် 62.4 lb/ft^2 နှင့် ညီမျှသည်။ 62.4 lb/ft^3 = 62.4 lb/ft^2 per foot height of water.
ပေမှ လက်မသို့ ပြောင်းရန် (၁၂)ဖြင့် စားလျှင်

$$62.4\frac{lb}{ft^3}\ per\ foot\ height\ ft\ wg\ \ x\left(\frac{1\ ft.wg}{12\ in.wg}\right) = 5.2\frac{lb}{ft^2}\ per\ in.wg$$

Water column တစ်လက်မ ဖိအားသည် $5.2\frac{lb}{ft^2}$ pressure နှင့် ညီမျှသည်။
Velocity pressure သို့မဟုတ် pressure drop ကို ရရန် ပုံသေနည်းတွင် အစားထိုးလျှင်

$$\Delta P = \frac{\frac{0.075\ lb/ft^3}{\left(\frac{5.2\ lb/ft^2}{in.wg}\right)}.V^2}{2(32.17\ ft/sec^2)\frac{3600\ sec^2}{min^2}} = \left(\frac{V}{4005}\right)^2$$

Velocity pressure သည် ရွေ့လျားနေသည့်လေ(moving air)၏ dynamic velocity pressure component ဖြစ်သည်။

အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။ (sea level, standard air condition 0.075 lb/ft^3)။ Fan သည် standard air အခြေအနေတွင် မောင်းလျှင် အောက်ပါ ပုံသေနည်းကို အသုံးပြု နိုင်သည်။

$$\Delta P_v = \left(\frac{V}{4005}\right)^2$$

၆.၅.၂ Fan Efficiency

Fan ၏ static efficiency သို့မဟုတ် mechanical efficiency ကို တွက်ရသည့် ရည်ရွယ်ချက်မှာ ထို fan ကို အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည် သို့မဟုတ် မသင့်လျော်သည်ကို ဆုံးဖြတ်ရန် နှင့် အလွန်ညံ့ဖျင်းသည့် စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ရှိသည့် fan များကို မရွေးချယ်မိစေရန် ဖြစ်သည်။ လိုအပ်သည့် လေစီးနှုန်း(air flow) နှင့် ဖိအား(pressure)ကို ရရန်အတွက် စွမ်းအင်(energy)သုံးစွဲမှု နည်းနိုင်သမျှ နည်းအောင် ပြုလုပ်ရမည်။

Fan mechanical efficiency မှာ

$$Efficiency = \frac{CFM\ x\ Pressure}{Power} = \frac{\left(\frac{ft^3}{min}\right)\cdot\left(\frac{lb}{ft^2}\right)}{\left(\frac{ft.lb}{min}\right)} = Dimensionless$$

1 inch WG သည် ဖိအား 5.2 lb/ft^2 နှင့် ညီမျှသည်။ မော်တာစွမ်းအား(motor power)ကို Horse Power(HP) ဖြင့်သာ ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ ft .lb/ min ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ မရှိပေ။ (1 hp = 33,000 ft .lb/min) ညီမျှခြင်းကို inch WG နှင့် HP တို့ဖြင့် ဖော်ပြရန်အတွက် inch WG နှင့် HP တို့ ၏ သက်ဆိုင်သည့် ပမာဏများကို အထက်ပါ ညီမျှခြင်းတွင် အသီးသီး အစားသွင်းလျှင်

$$Efficiency = \frac{\left(\frac{ft^3}{min}\right)\cdot\left(\frac{5.2\ lb/ft^2}{in.Wg}\right)}{33{,}000\frac{\left(\frac{ft.lb}{min}\right)}{HP}} = Dimensionless$$

Fan static efficiency မှာ

$$Static\ Efficiency = \frac{CFM\ (feet\ per\ minute)\ x\ Static\ Pressure(in\ wg)}{6346\ x\ Break\ Horse\ Power}$$

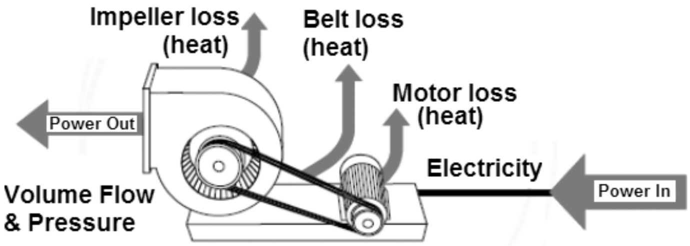
Static efficiency သည် static pressure ကို ထည့်တွက်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

ပုံ(၆-၉)သည် ပန်ကာကြိုး(belt)ဖြင့် မောင်းသော fan ၏ ဆုံးရှုံးမှု(loss)များကို ဖော်ပြထားသောပုံ ဖြစ်သည်။ ပန်ကာကြိုး (belt) ဖြင့် မောင်းသော fan တွင် ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် ဆုံးရှုံးမှု(loss) သုံးမျိုးမှာ

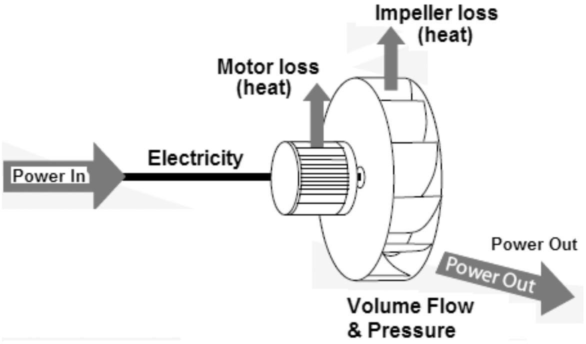
(၁) Impeller loss (heat)

(၂) Belt loss (heat) နှင့်

(၃) Motor loss (heat) တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၆-၉ ပန်ကာကြိုးဖြင့်မောင်းသော(belt driven) fan တစ်လုံးပုံ



ပုံ ၆-၁၀ Direct driven fan

Direct driven fan ၌ ဖြစ်ပေါ်သော ဆုံးရှုံးမှု (loss)များကို ဖော်ပြထားသောပုံ ဖြစ်သည်။ Direct driven fan တွင် ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် ဆုံးရှုံးမှု (loss) နှစ်မျိုးမှာ

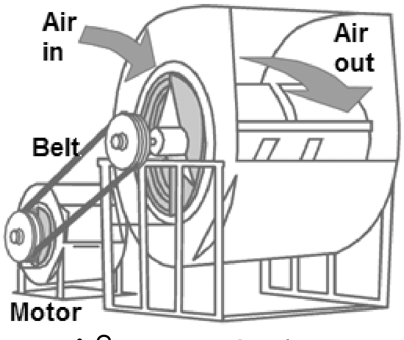
(၁) Impeller loss (heat) နှင့်

(၂) Motor loss (heat)တို့ ဖြစ်သည်။

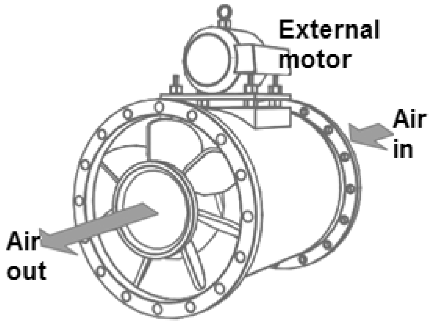
အထက်ပါပုံများတွင် ပြထားသည့်အတိုင်း direct drive ကို အသုံးပြု၍ စလစ်ဖြစ်မှု(slippage) သို့မဟုတ် ပန်ကာကြိုးကြောင့် ဖြစ်သောဆုံးရှုံးမှု(belt loss)တို့ကို ဖယ်ရှားနိုင်သည်။

၆.၆ Fan အမျိုးအစားများ

"Centrifugal Fan" နှင့် "Axial Fan" များကို ACMV လုပ်ငန်းများတွင် အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။



ပုံ ၆-၁၁ Centrifugal Fan



ပုံ ၆-၁၂ Axial Fan

၆.၆.၁ Fan နှင့် Blower တို့၏ ခြားနားချက်

Fan နှင့် blower တို့၏ ခြားနားချက်သည် "**Pressure Ratio**" ဖြစ်သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် blower သည် fan ထက်ပို၍ "Pressure Ratio" ပိုများသည်။ American Society of Mechanical Engineers (ASME)မှ သတ်မှတ် ပေးထားသည့် specific ratio ၏ အဓိပ္ပာယ်သည် အထွက်ဖိအား(discharge pressure)ကို အဝင်ဖိအား(suction pressure) နှင့် စားထားသည့်အချိုး ဖြစ်သည်။ ထို specific ratio ကို fan နှင့် blower ခွဲခြားရန် အတွက် အသုံးပြုသည်။

Equipment	Pressure Ratio	Pressure rise (mm Hg)
Fans	Upto 1.1	1136 mm
Blowers	1.1 to 1.2	1136-2066 mm
Compressors	more than 1.20	

အထွက်ဖိအား(discharge pressure)သည် အဝင်ဖိအား(suction pressure)နှင့်ညီလျှင် သို့မဟုတ် ထက်နည်းလျှင် "Fan" ဟု သတ်မှတ်နိုင်ပြီး အထွက်ဖိအား(discharge pressure)သည် အဝင်ဖိအား(suction pressure) များလျှင် "Blower" ဟု ခေါ်ဆိုနိုင်သည်။ Suction pressure သည် "Positive Pressure" လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ "Negative Pressure" လည်းဖြစ်နိုင်သည်။

၆.၆.၂ Fan Rating နှင့် အဆင့်အတန်း(Class)

Centrifugal fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ဇယား နှင့် performance curve များသည် standard air flow rate (SCFM)ကို အခြေခံ၍ ပြုစုထားကြသည်။

Fan ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturer)၏ သတ်မှတ်ချက်အရ ပင်လယ်ရေမျက်နှာပြင်(sea level)၌ ရှိသော လေထုဖိအား(barometric pressure) 29.92 inches of mercury(101.325 kPa) နှင့် အပူချိန် (temperature) 70°F(21°C)တွင် ရှိသော လေကို "Standard Air" အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ ထို standard air condition ၌ ရှိသော သန့်ရှင်း၍ ခြောက်သွေ့သည့် လေ၏သိပ်သည်းဆ(density)သည် 0.075 lb/ft^3 (1.2 kg/m^3)ဖြစ်သည်။

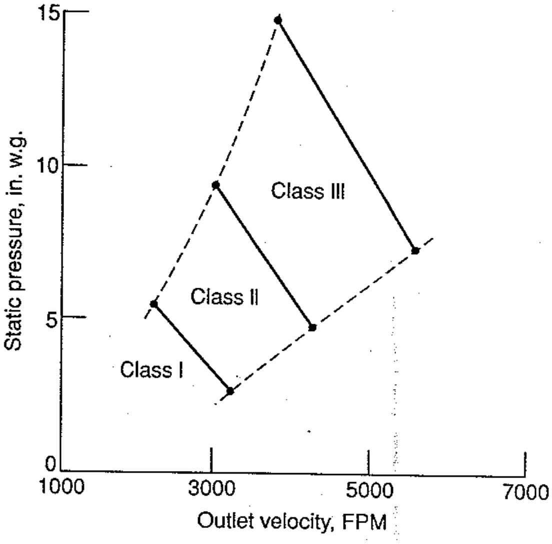
Fan ထုတ်လုပ်သူများ(fan manufacturer)ပေးသည့် centrifugal fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည် (performance) သည် standard air အခြေအနေ(condition) အတွက်သာ ဖြစ်သည်။ Fan မောင်းသည့် နေရာသည် standard အခြေအနေမှ အလွန် ကွာခြားနေလျှင် air density correction factor အသုံးပြု၍ အမှန်တကယ်ရှိမည့် စွမ်းဆောင်ရည် (performance)ကို တွက်ယူရသည်။

ဉပမာ အပူချိန် 200°F(93°C)လေသည် 70°F(21°C)တွင် ရှိသော လေအလေးချိန်(weight)၏ ၈၀% သာရှိသည်။ ထိုအခြေအနေတွင် centrifugal fan သည် ဖိအား(pressure)နိမ့်နိမ့်ကိုသာ ပေးနိုင်ပြီး စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု(power consumption)လည်း နည်းလိမ့်မည်။ လေအပူချိန် 200°F (93°C)တွင် အမှန်တကယ် လိုအပ်သော ဖိအား (pressure)ကို ရရန် air density correction factor 1.25(1.0/0.8)ကို အသုံးပြုရမည်။ လေအပူချိန် 200°F(93°C)တွင် သုံးစွဲမည့် စွမ်းအင်(power)ကို ရရန် 70°F(21 °C) အခြေအနေရှိ စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု(power consumption)ကို air density correction factor 1.25 (1.0/0.8) ဖြင့် စားရမည်။

Fan အဆင့်အတန်းများ (Fan Classes)

Fan ၏ total pressure သည် 3 3/4 လက်မ(water column)ထက်နည်းလျှင် "Class I" ဟု သတ်မှတ် သည်။ Fan ၏ total pressure သည် 3 3/4 လက်မ(water column)မှ 6 3/4 လက်မ(water column)အတွင်း ဖြစ်လျှင် "Class II" ဟု သတ်မှတ်သည်။

အောက်ပါ ဇယားသည် Air Movement and Control Association International (AMCA) standard မှ centrifugal fan များအတွက် ဖိအား(pressure)ကို အခြေခံ၍ သတ်မှတ်သော fan အဆင့်အတန်း (fan class)များ ဖြစ်သည်။ Centrifugal fanများ တည်ဆောက်ထားပုံ အဆင့်အတန်း(class of construction) ကို အောက်တွင် ဇယားဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၆-၁၃ Class of fan construction

Class of Construction for Centrifugal Fan

Class	Maximum Total Pressure
I	3 ¾ in. wg - standard
II	6 ¾ in. wg - standard
III	12 ¾ in. wg - standard
IV	More than - 12 ¾ in. wg - recommended

Total pressure များလာလေ fan တည်ဆောက်ထားပုံ အဆင့်အတန်း(fan class of construction) မြင့်လာလေ ဖြစ်ပြီး ပို၍ ဈေးများလိမ့်မည်။

၆.၆.၃ Overloading Fan and Non Overloading Fan

Fan များကို "Overloading Type" နှင့် "Non Overloading Type" ဟူ၍ အမျိုးအစား နှစ်မျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။ Backward curved blade centrifugal fan အမျိုးအစားသည် "Non Overloading" အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ Forward curved နှင့် radial blade centrifugal fan များသည် "Overloading" အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ Axial flow fan များသည် "Non Overloading" သို့မဟုတ် "Overloading" အမျိုးအစား အဖြစ် နှစ်မျိုးလုံး ရှိနိုင်သည်။

Non-overloading	Overloading
Backward curved blade centrifugal fan	Forward curved
	Radial blade centrifugal fans
Axial flow fans	Axial flow fans

Air Moving Device များနှင့် ပတ်သက်လျှင် "*The AMCA standard Test Code for Air Moving Device*" မှီငြမ်း ကိုးကားနိုင်သည်။

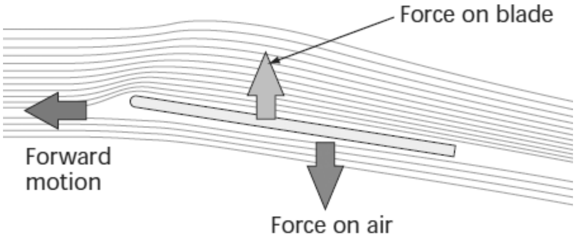
Power characteristic တွင် "Non Overloading" နှင့် "Overloading" ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ "Non Overloading" ဆိုသည်မှာ absorbed power သည် အမြင့်ဆုံးတန်ဖိုး(maximum value)သို့ ရောက်ပြီးသည့်နောက် လေစီးနှုန်း(air flow)များလာလေ စွမ်းအင်(power)နည်းသွားလေ ဖြစ်သည်။ Overloading characteristic တွင် လေစီးနှုန်း(volume flow rate) များလာသည်နှင့်အမျှ စွမ်းအား (power)လည်း လိုက်များလာသည်။ Power characteristic သည် impeller အမျိုးအစား (type) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

၆.၇ Axial Fan များ

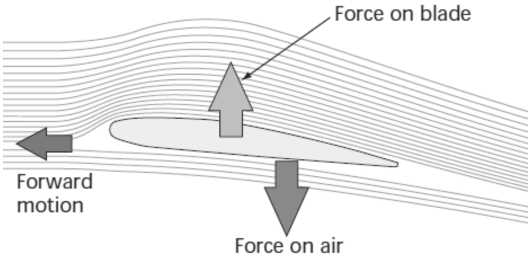
၆.၇.၁ Axial Fan များ အလုပ်လုပ်ပုံ(Principle of Operation)

လေထဲတွင် အပြားတစ်ပြားကို ခပ်စောင်းစောင်းထား၍ တွန်းလိုက်သည့်အခါတွင် လေပေါ်တွင် အားသက်ရောက်ခြင်း(force on air) ဖြစ်ပေါ်သည်။။ ထို့အတူ အပြားပေါ်တွင်လည်း လေမှတန်ပြန် သက်ရောက်သည့်အား(reaction force)ဖြစ်ပေါ်သည်။ ပန်ကာဒလက်များ(blades) အပေါ်တွင် သက်ရောက် သည့် upward lift force သည် downward air flow ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ Axial fan မှ လည်နေသည့် ပန်ကာဒလက်များ (rotating blades)သည် aerodynamic lift ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ Blade lift force ဖြင့် လေစီးကြောင်း (air steam)ကို ယိုင်သွား(deflect)အောင် ပြုလုပ်နိုင်သောကြောင့် ဖိအားမြင့်ပြီး velocity များသည့် လေများ ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

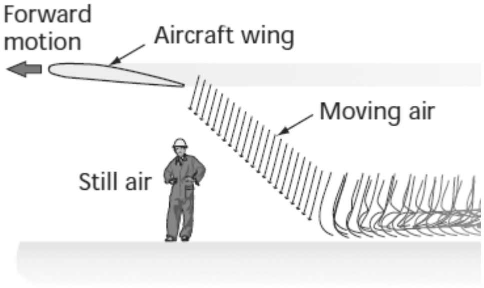
Axial Fan - များ၌ လေထွက်ရာ(discharge)လမ်းကြောင်း နှင့် လေဝင်ရာလမ်းကြောင်း တို့သည် လည်နေသည့် ဝင်ရိုးနှင့် အပြိုင်(parallel) ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေစီးကြောင်း(air flow)သည် impeller ကို ဝင်ရိုးအတိုင်း (axial direction) ဖြတ်သွားသောကြောင့် "Axial Fan" ဟု သတ်မှတ်သည်။



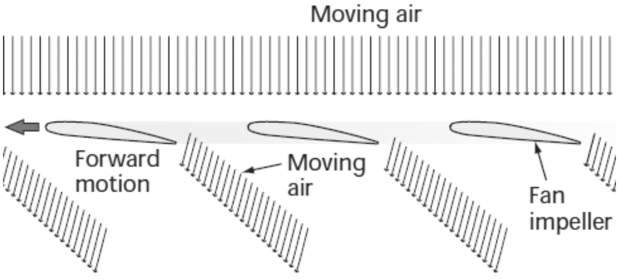
ပုံ ၆-၁၄ Forces on a flat plate in a moving airstream



ပုံ ၆-၁၅ Forces on an aerofoil in a moving airstream



ပုံ ၆-၁၆ Downwash from aircraft wing



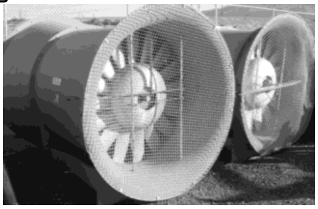
ပုံ ၆-၁၇ Air movement for basic axial fan

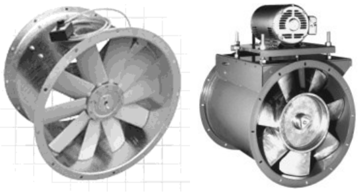
Axial fan များကို လေထုထည်များများ(high volume) နှင့် ဖိအားနိမ့်နိမ့်(low pressure)ရရန် လိုအပ်သည့် အခါများတွင် အများဆုံး အသုံးပြုသည်။

Hub ပေါ်တွင် ပန်ကာဒလက်(blade)များကို တပ်ဆင်ထားသည်။ Hub နှင့် blade များ တွဲလျက်ကို "**Impeller**"ဟုခေါ်သည်။ Axial fan အမျိုးအစားများကို wheel ၏ ပန်ကာဒလက်(blade) ပုံသဏ္ဍာန်အပေါ်

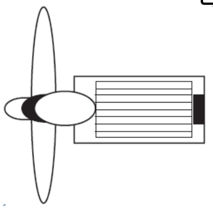
အခြေခံ၍ propeller (disc)၊ tube axial နှင့် vane axial ဟူ၍ ခွဲခြားသတ်မှတ်ကြသည်။ လေများများရရန် လိုအပ်သည့် လုပ်ငန်းများ(large air volume applications) အတွက် axial flow fan များကို အသုံးပြုကြသည်။ သို့သော် မောင်းသည့်အခါ ဆူညံသံမြင့်မား(higher noise level) လေ့ရှိသည်။

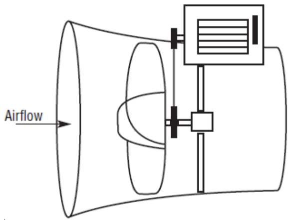
ပုံ ၆-၁၈ Propeller fans


ပုံ ၆-၁၉ Tube axial fan

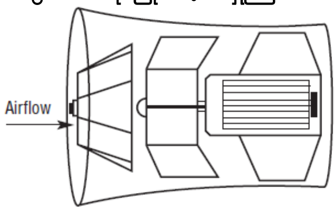

ပုံ ၆-၂၀ Vane axial fan

ထို့ကြောင့် comfort application များထက် industrial air conditioning and ventilation များအတွက် axial fan များကို ပို၍ အသုံးပြုကြသည်။ Axial fan များ မောင်းသည့်အခါ ဆူညံသံမြင့်မား(higher noise level) သောကြောင့် comfort air conditioning application များတွင် အသုံးပြုလေ့ မရှိကြပေ။

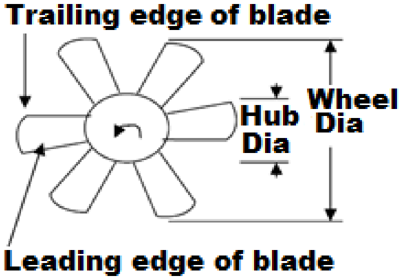

ပုံ ၆-၂၁ Propeller fan



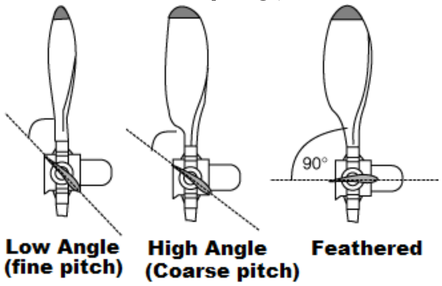
ပုံ ၆-၂၂ Propeller fan



ပုံ ၆-၂၃ Vane axial fan



ပုံ ၆-၂၄ Hub and Blade

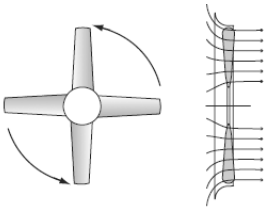


ပုံ ၆-၂၅ Pitch Angle

Axial fan ၏ ဝင်ရိုးသည် "**Axial of Rotation**" ဖြစ်သည်။ ပန်ကာဒလက်များသွားရာ လမ်းကြောင်းကို "Plane of Rotation"ဟု ခေါ်သည်။ ပန်ကာဒလက်၏ထောင့်(blade angle)ကို "**Pitch Angle**" ဟုလည်း ခေါ်သည်။

၆.၇.၂ Axial Fan Impeller Design

(က) Propeller Fan

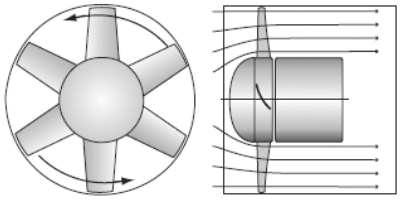


Propeller fan ကို ဖိအားနိမ့်သည့် လုပ်ငန်းများ(low pressure applications) တွင် အသုံးပြုကြသည်။ Efficiency နိမ့်သည်။ Propeller impeller များကို အကုန်အကျနည်းစွာဖြင့် ပြုလုပ် တည်ဆောက်နိုင်သည်။ Small hub တွင် ပန်ကာဒလက်များ(blades) တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။

မော်တာမှ စက်မှုစွမ်းအား (mechanical power)သည် လေ(fluid) ထဲသို့ velocity pressure အဖြစ် စွမ်းအင် ကူးပြောင်းသွားခြင်း(energy transfer) ဖြစ်သည်။ ဖိအားနိမ့်နိမ့်(low pressure)နှင့် လေထုထည် များများ(high air volume air)ရရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ Duct များနှင့် တွဲ၍ တပ်ဆင်ထားလေ့မရှိ။ နံရံများကို ဖောက်၍ တပ်ဆင် ထားလေ့ရှိသည်။

(ခ) Tube Axial

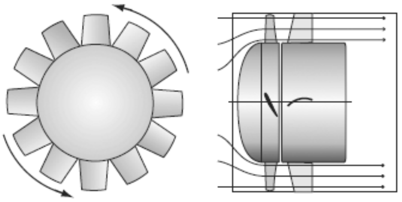
Tube axial fan သည် propeller impeller ဒီဇိုင်းများ ထက်စာလျှင်ပို၍ efficiency ကောင်းသည်။ အသုံးများသည့် static pressure range ကိုလည်း ထုတ်ပေးနိုင်စွမ်း ရှိသည်။ Hub တွင် ပန်ကာဒလက်(blade) (၄)ခု မှ (၈)ခု အထိ တပ်ဆင်ထားလေ့ ရှိသည်။



Hub ၏ အရွယ်သည် ပန်ကာဒလက်များ (blade)၏ အချင်း တစ်ဝက်ကျော်အထိ ရှိနိုင်သည်။ ပန်ကာဒလက်များ(blade)သည် airfoil ပုံစံမျိုးလည်း ရှိနိုင်သည်။ ပန်ကာဒလက်များ(blade)အထူ သည် တစ်ညီတည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ (single thickness cross section) ။ HVAC နှင့် ACMV လုပ်ငန်းများတွင် tube axial fan ကို အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။

လေစီးနှုန်း နည်းခြင်း၊ များခြင်း အလွန်တိကျရန် မလိုသည့် ဖိအားနိမ့်နိမ့်(low pressure)နှင့် ဖိအားအသင့်အတင့်(medium pressure) လုပ်ငန်းများအတွက် အသုံးပြုသည်။ အခြောက်ခံရုံများ(drying ovens)၊ ဆေးမှုတ်ရုံများ(paint spray booths) နှင့် fume စုပ်ထုတ်သည့် system များ စသော စက်မှု လုပ်ငန်းများတွင် အသုံးပြုကြသည်။

(ဂ) Vane Axial



Vane Axial များသည် ဖိအားအသင့်အတင့်(medium pressure) နှင့် ဖိအားမြင့်မြင့်(high pressure)ကို အကောင်းဆုံး efficiency ဖြင့် ထုတ်ပေးနိုင်စွမ်း ရှိသည်။ Airfoil ပုံစံ ပန်ကာဒလက်များ (blade) သုံးထားသည့် vane axial ၏ efficiency သည် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ ဖိအား(pressure)အနိမ့်အမြင့် အားလုံး အတွက် အသုံးပြု နိုင်သည်။ Down stream ၌ air distribution ကောင်းသည်။

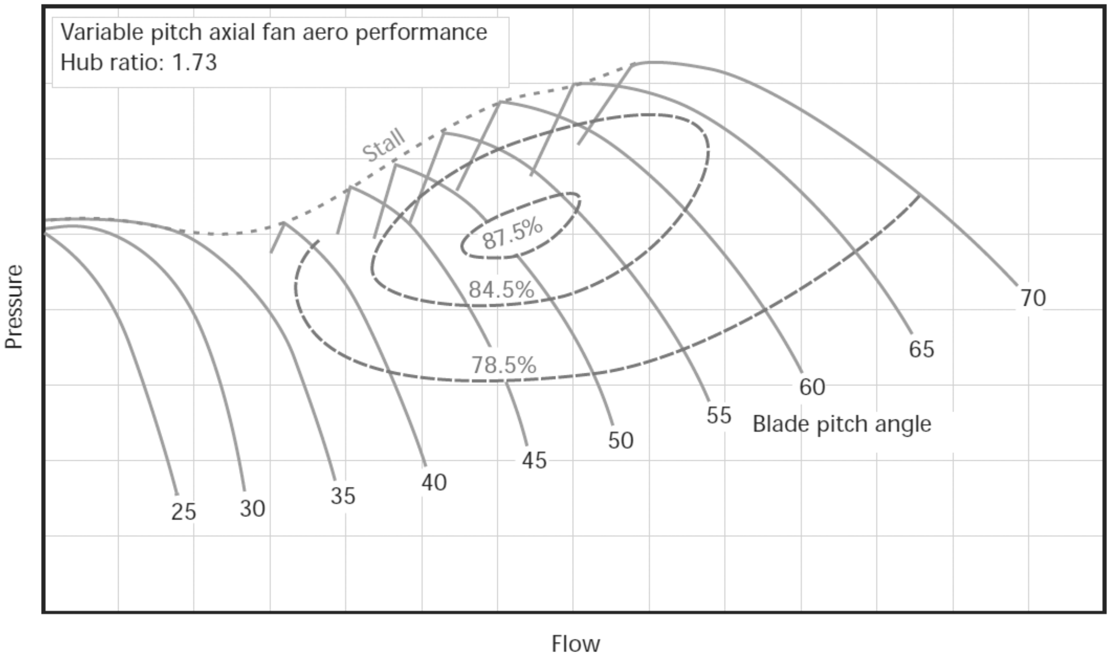
HVAC နှင့် ACMV လုပ်ငန်းများတွင် vane axial fan ကို အများဆုံး အသုံးပြုသည်။ တခြားသော fan အမျိုးအစားများထက်စာလျှင် အလွန်သေးငယ်သည်။ လေထွက်နှုန်း(capacity) တူသော centrifugal fan နှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် အရွယ်အစား အလွန်သေးငယ်သည်။

၆.၇.၃ Axial Fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(Performance)

Axial fan များသည် လေထုထည်(volume)များများ နှင့် ဖိအား အသင့်အတင့်(medium pressure) လိုအပ်သည့် system များအတွက် သင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။ Efficiency ကောင်းကောင်း ရနိုင်သည်။
ပုံ(၆-၂၆)သည် variable pitch ဖြင့် မောင်းသည့် axial fan ၏ performance characteristic ဖြစ်သည်။ Variable pitch များတပ်ဆင်ထားသော axial fan တစ်လုံးကို ဖော်ပြထားသည်။

Blade pitch angle များလေ လေစီးနှုန်း(air flow) များလေ ဖြစ်သည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption) များလိမ့်မည်။

Axial fanများ၌ aerodynamic stall ဖြစ်နိုင်သည်။ Stall ဆိုသည်မှာ အမြင့်ဆုံးဖိအား(peak pressure) အထိတက်ပြီး ရုတ်တရက် ချက်ချင်း ဖိအား(pressure) ကျဆင်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။ ပန်ကာဒလက်များ စောင်းထားသည့်ထောင့်(blade angle) အားလုံးနီးပါးတွင် ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ အချိန် ကြာမြင့်စွာ stall ဖြစ်ပေါ် နေလျှင် ပန်ကာဒလက်များ(blades) တုန်ခါလာပြီး ပျက်စီးခြင်း(fatigue failure) ဖြစ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် axial fan များကိုရွေးချယ်သည့်အခါ stall condition အနီးအနားတွင် မောင်းခြင်း(operation)ကို သတိကြီးစွာဖြင့် ရှောင်ရှားလေ့ရှိသည်။

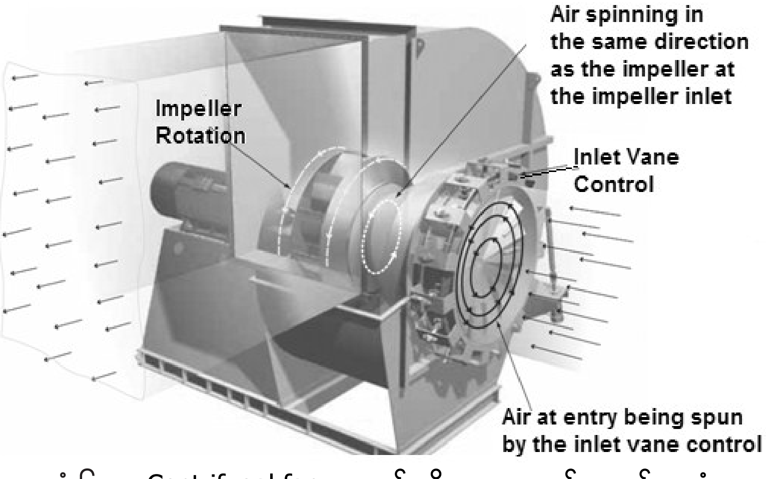


ပုံ ၆-၂၆ Efficiency contour ဖြင့် peak efficiency ရနိုင်သည့် operating conditioning ကို ဖော်ပြထားပုံ

၆.၈ Centrifugal Fan များ

Axial fan များသည် aerodynamic lift ဖြင့် လေများကို ဖိအား(pressure)များအောင် ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Centrifugal fan များသည် လေများကို ဆွဲမွှေ့ပြီး ဗဟိုခွာအား(centrifugal force) ဖြစ်စေကာ ဖိအား(pressure) များအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် centrifugal fan များသည် axial fan များ ထက် ပို၍ ဖိအား (pressure) များအောင် ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည်။

Centrifugal impeller များသည် လေများကို အရှိန်ရအောင် ပြုလုပ်ပေးကာ(accelerating the air) စက်မှုစွမ်းအင်(mechanical energy)များကို လေစီးကြောင်း(air steam)ထဲသို့ ထည့်ပေးသည်။ Air flow သည် impeller ကို radial direction အတိုင်း ဖြတ်သွားလျှင် centrifugal fan သို့မဟုတ် blower ဟု သတ်မှတ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေထွက်ရာ(discharge)လမ်းကြောင်းသည် လည်နေသည့် ဝင်ရိုး(shaft) နှင့် ထောင့်မှန် (perpendicular) ဖြစ်သည်။ (၉၀) ဒီဂရီ ထောင့်ချိုးဖြစ်နေသည်။



ပုံ ၆-၂၇ Centrifugal fan အတွင်းသို့ လေများ ဝင်ရောက်လာပုံ

၆.၈.၁ Centrifugal Fan များ အလုပ်လုပ်ပုံ(Principle of Operation)

ပုံ ၆-၂၈ Centrifugal fan impeller အလုပ်လုပ်ပုံ

Centrifugal fan ၏ impeller အတွင်းသို့ လေများသည် ဝင်ရိုး(shaft)အတိုင်း ဝင်လာပြီး impeller ကို ဖြတ်ကာ radial direction အတိုင်း (၉၀)ဒီဂရီထောင့် ချိုး၍ ထွက်သွားသည်။ ထိုလေများသည် impeller ကို ဖြတ်ပြီးနောက် volute casing အတွင်း၌ စုဝေးနေပြီး၊ ဝင်လာသည့် လေလမ်းကြောင်းမှ (၉၀)ဒီဂရီထောင့် ချိုးကာ ထွက်သွားသည်။

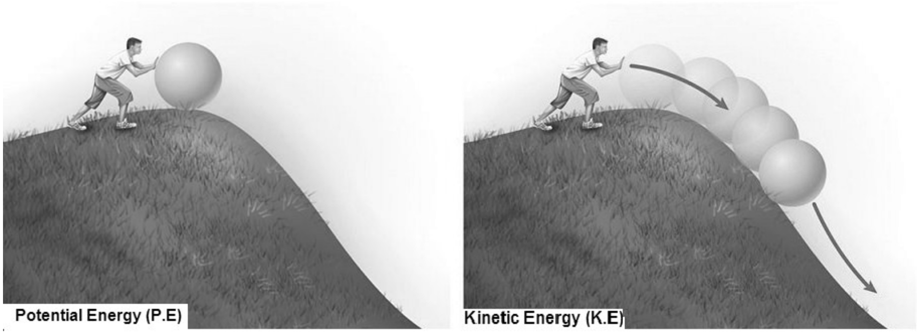
Impeller များ လည်နေသောကြောင့် ပန်ကာဒလက်(blade) တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အကြား၌ ရှိနေသော လေများ အပေါ်၌ centrifugal force သက်ရောက်ခြင်း ခံရကာ လေများအပြင်သို့ ထွက်သွားရန် တွန်းထုတ်ခြင်း ခံရသည်။ ထိုအခါ ပန်ကာဒလက်(blade)အကြားမှ လေများသည် အရှိန်ပြင်းပြင်းဖြင့် impeller အပြင်သို့ ထွက်သွားသည်။ Impeller လည်နေသမျှ ကာလပတ်လုံး ထိုကဲ့သို့ လေများ အမြဲမပြတ် စီးဆင်း(continuous flow) နေလိမ့်မည်။ Centrifugal fan ၏ impeller ထဲတွင် လေဖိအား(pressure)မြင့်တက်လာပုံကို အဆင့် သုံးဆင့်ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

အဆင့်(၁) လေများသည် centrifugal effect ကြောင့် radial direction အတိုင်း တွန်းထုတ်ခြင်း ခံရသည်။

Impeller ၏ အရွယ်အစား(diameter)ကြီးလေ၊ လေအပေါ်တွင် သက်ရောက်သည့် centrifugal force များလေ ဖြစ်သည်။ Central force များလေ pressure gradient ပိုများလာလေ ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ပန်ကာဒလက်များအကြားနေရာ(blade passage)အတွင်း၌ radius များလာသည်နှင့်အမျှ static pressure လည်း လိုက်များလာလိမ့်မည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် impeller အရွယ်အစား(diameter)ကြီးလေ static pressure များ လာလေဖြစ်သည်။

အဆင့်(၂) ပုံမှန်အားဖြင့် ပန်ကာဒလက်(blade) တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အကြား(blade passage)ရှိ ထွက်ပေါက်ဧရိယာ (outlet area)သည် ဝင်ပေါက်ဧရိယာ(inlet area)ထက် ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် ပန်ကာဒလက်များ အကြား နေရာ(blade passage)သည် diffuser ကဲ့သို့ ပြုမူဆောင်ရွက်ပေးသည်။ ထို့ကြောင့် လေစီးနှုန်း(air flow) ၏ relative velocity သည် အထွက်(outlet)ဘက်သို့ ရောက်သွားသည့်အခါ ဧရိယာ(outlet area) ကျယ်ပြန့်လာ သောကြောင့် လေအလျင်(velocity) နေးသွားသည်။ လေအလျင်(velocity) နေးသွားသောကြောင့် static pressure ပိုများ လာသည်။

အဆင့်(၃) လည်နေသည့် impeller များပေါ်၌ ရှိသော ပန်ကာဒလက်(blade)သည် ရွေ့လျားနေကာ rotational momentum ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ Tangential directional အတိုင်းသွားနေသည့် velocity ပိုများလာသည်။ လေများသည် impeller ကိုဖြတ်ကာ radial direction အတိုင်း ရွေ့လျားနေသောကြောင့် flow ၏ absolute ပမာဏ ပိုများလာသည်။ Impeller အထွက်(outlet)၌ အမြင့်ဆုံး(maximum)absolute velocity ဖြစ်ပေါ်သည်။ လေ၏ absolute velocity များလာခြင်းကြောင့် Kinetic Energy(K.E) ပိုများလာသည်။ Impeller အဝင်နှင့် အထွက်အကြား(across the impeller)ရှိ dynamic pressure လည်း ပိုများလာသည်။



ပုံ ၆-၂၉ Potential Energy(P.E) and Kinetic Energy(K.E)

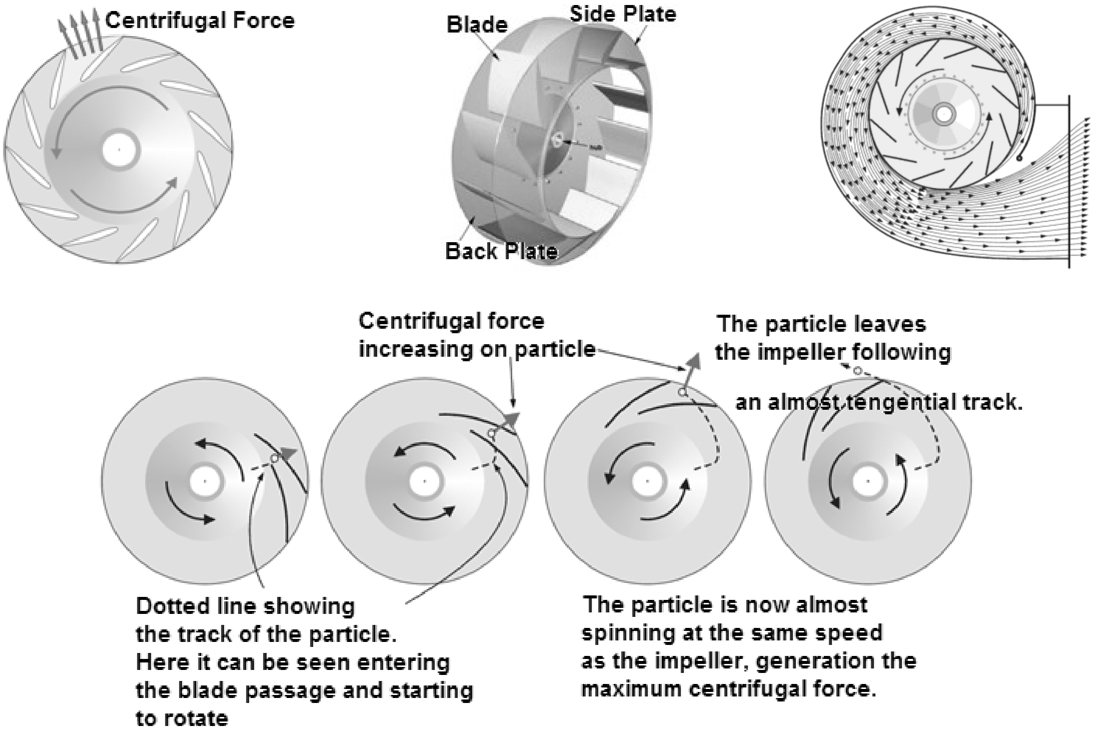
Casing သို့မဟုတ် Housing

Casing တပ်ဆင်ထားရခြင်း၏ ရည်ရွယ်ချက်သည် impeller မှထွက်လာသည့် လေများကို စုဆောင်းရန် နှင့် လေများကို အသုံးဝင်မည့်ဘက်(useful direction)သို့ ရောက်အောင် လမ်းကြောင်းပြောင်းပေးရန် အတွက် ဖြစ်သည်။ ထို့အပြင် impeller မှ ထွက်လာသည့် လေများ၏ dynamic pressure အများစုကို အသုံးဝင်မည့် (useful) static pressure အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲပေးသည်။

$$P_{dynammic} = \frac{1}{2}\,\rho\, v^2 \qquad \rho = density$$

$$P_{dynammic} = Dynamic\ Pressure \qquad v = velocity$$

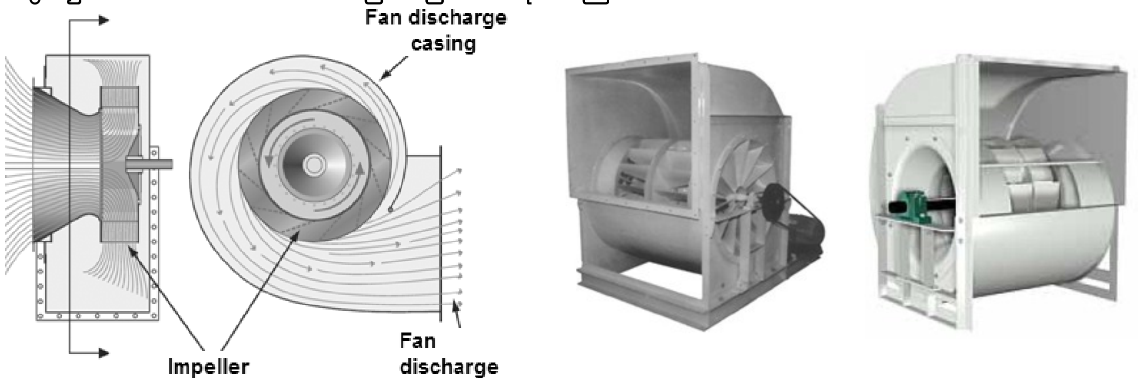
Centrifugal fan များ၏ casing သည် volute ပုံသဏ္ဍာန်ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် impeller မှ ထွက်လာသည့် လေများကို diffusion ဖြစ်စေသည်။ Volute ၏ cross sectional area သည် တဖြည်းဖြည်း များလာသောကြောင့် လေများလည်း တစ်ဖြည်းဖြည်း နှေးလာသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေအလျင်(velocity) နည်းလာသည်။ လေအလျင်(velocity)သည် dynamic pressure နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။



ပုံ ၆-၃၀ Blower wheel နှင့် လေသွားလမ်းကြောင်း

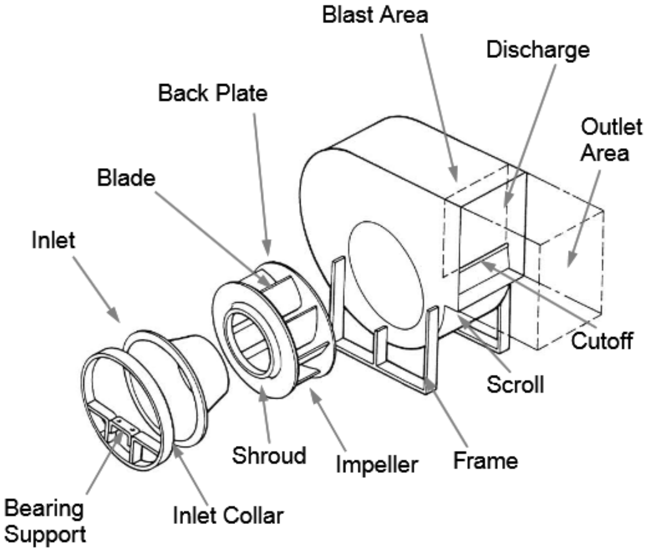
လေပေါ်တွင် မည်သည့် work done မျှ မဖြစ်ပေါ်(no work is done on the air)သောကြောင့် ဖိအား စုစုပေါင်း(total pressure)သည် ပြောင်းလဲလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ Friction နှင့် recirculation ကြောင့်သာ ဆုံးရှုံးမှု(loss) အနည်းငယ်သာဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် dynamic pressure နည်းသွားရသည့် အကြောင်းမှာ static pressure အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲ သွားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

သာမန် centrifugal fan တစ်လုံး၏ static pressure 45% သည် impeller ကို ဖြတ်သောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာရခြင်းဖြစ်ပြီး ကျန် ၅၅% သည် casing အတွင်း၌ dynamic pressure မှ static pressure အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်သည်။ Impeller မှထွက်လာသည့် dynamic pressure (K.E) ၏ ၉၀% ခန့်ကို casing အတွင်း၌ static pressure (P.E) အဖြစ် ပြောင်းပေးနိုင်သည်။

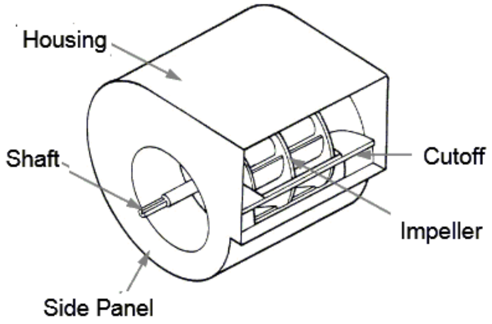


ပုံ ၆-၃၁ Centrifugal fan casing များ

Centrifugal fan များသည် ဝင်လာသည့်လေကြောင်းကို (၉၀)ဒီဂရီ ထောင့်ချိုးကာ ထွက်သွားစေသည်။ ထို့ကြောင့် ဝင်လေနှင့် ထွက်လေသည် ဦးတည်ရာ လမ်းကြောင်း မတူကြပေ။ Centrifugal fan များ၏ အားသာချက်များမှာ ဆူညံသံ အလွန်နည်းခြင်းဖြစ်သည်။ ယုံကြည်စိတ်ချမှု(reliability) မြင့်မားသည်။ ဒီဇိုင်း အခြေအနေမှာ ကျော်လွန်၍လည်း မောင်းနိုင်သည်။



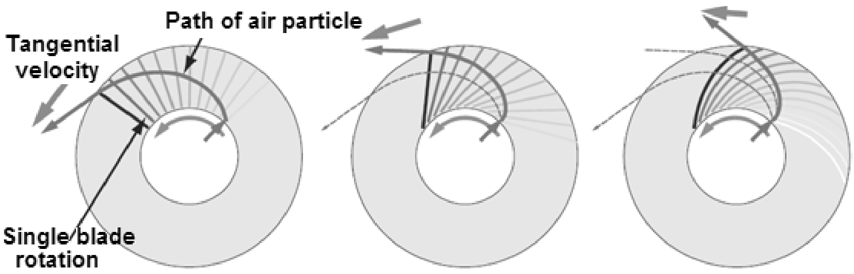
ပုံ ၆-၃၂ Backward curved centrifugal fans



ပုံ ၆-၃၃ Double inlet centrifugal fans

Radial blade impeller များသည် အရွယ်အစား(size)နှင့် မြန်နှုန်း(speed)တူလျှင် တခြားသော ပန်ကာဒလက်(blade) အမျိုးအစားများထက် tangent အတိုင်းဖြစ်သော အလျင်(tangential velocity) ပိုများသည်။ သီအိုရီအရ အရွယ်တူ၊ မြန်နှုန်း(speed) တူလျှင် radial blade များသည် လေထဲသို့ စွမ်းအင်(energy)

များများ ပိုထည့်ပေးနိုင်ပြီး ဖိအား (pressure)များများ ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ သို့သော် လက်တွေ့တွင် radial blade များသည် ထိုကဲ့သို့ မဖြစ်လာပါ။



ပုံ ၆-၁၄ (a) Radial blade (b) Backward inclined blade (c) Backward curved blade

အထက်ပါ ပုံသည် centrifugal fan တစ်လုံး၏ impeller အတွင်းသို့ လေ(air particle)များ ဝင်ရောက်ရာ လမ်းကြောင်းကို ဖော်ပြထားသောပုံ ဖြစ်သည်။ လေများသည် impeller အတွင်းသို့ radial direction အတိုင်း ဝင်လာပြီး ပန်ကာဒလက်(blade) များနှင့် ထိသည့်အခါ ရုတ်တရက် ချက်ချင်း လမ်းကြောင်း ပြောင်းသွားသည်။ ရုတ်တရက် လေလမ်းကြောင်း ပြောင်းရန် အလွန်ခက်ခဲသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade)များ၏ အစွန်းကို ဝင်ဆောင့်သကဲ့သို့ ဖြစ်စေသည်။ ထို့ကြောင့် လေများ impeller အတွင်းသို့ ချောမွေ့စွာ ဝင်ရောက် နိုင်ရန် နှင့် ရုတ်တရက် လမ်းကြောင်းပြောင်းခြင်း မဖြစ်စေရန် ပန်ကာဒလက်(blade)များ၏ အစွန်းကို ကွေးပေး ထားရသည်။

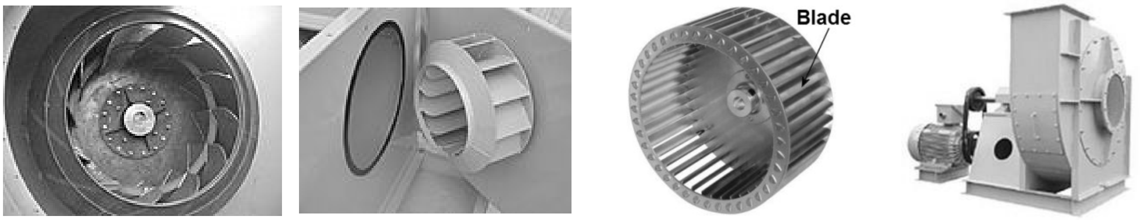
ထိုထက်ပိုပြီး စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကောင်းစေရန် ပန်ကာဒလက်(blade)အစွန်း သာမက ပန်ကာဒလက်(blade) တစ်လုံးကိုလည်း ကွေးပေးထားနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် backward inclined blade များသည် efficiency အကောင်းဆုံးဖြစ်ပြီး၊ radial blade များသည် efficiency အညံ့ဆုံးဖြစ်သည်။ Casing များသည် impeller မှထွက်လာသည့် လေ၌ရှိသော Kinetic Energy(K.E)များကို Potential Energy(P.E) အဖြစ်သို့ ပြောင်းပေးသောကြောင့် အရေးကြီးသည့် အစိတ်အပိုင်း တစ်ခုဖြစ်သည်။

> Centrifugal fan များ၌ ရှိသော ပန်ကာဒလက်(blade) အမျိုးအစားတူညီလျှင် fan curve များ၏ ပုံသဏ္ဍာန်လည်း တူညီကြသည်။

Centrifugal fan များ stall ဖြစ်နိုင်ခြေရှိသော်လည်း axial fan များလောက် မဆိုးဝါးပေ။ Centrifugal fan များ stall ဖြစ်သည့်အခါ သင့်တင့်သည့် ဖိအား(pressure) နှင့် လေထုထည်(volume)ကို ထုတ်ပေး နိုင်သည်။ Centrifugal fan များသည် impeller ပုံသဏ္ဍာန်များကြောင့် stall ဖြစ်ခြင်းကို သက်သာစေသည်။

Fan ၏ လေထွက်နှုန်း(volume flow rate)ကို နည်းများစွာဖြင့် ထိန်းချုပ်(control)နိုင်သည်။ မြန်နှုန်းပုံသေ(fixed speed)ဖြင့် လည်နေသည့် fanများတွင် Inlet Guide Vane(IGV)တပ်ဆင်၍ လေထွက်နှုန်း (volume flow)ကို လိုသလို ထိန်းချုပ်(control) နိုင်သည်။ Inlet guide vain ကို လှည့်၍ အဝကို ကျဉ်းအောင်၊ ကျယ်အောင်ပြုလုပ်ပြီး ဝင်လာသည့်လေများကို impeller လည်နေသည့် ဦးတည်ရာ(direction)အတိုင်း ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ကာ efficiency ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

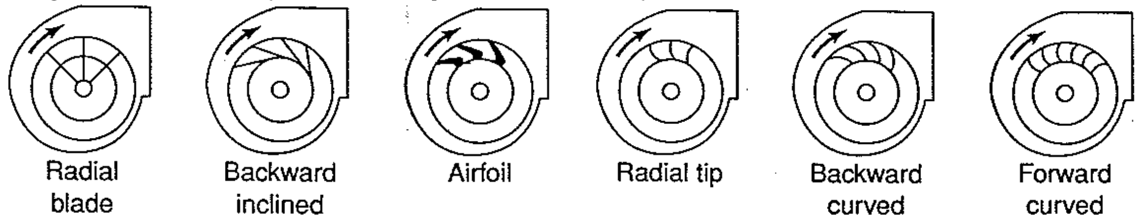
Centrifugal fan များ၏ ထူးခြား ကောင်းမွန်ချက်များမှာ အသံဆူညံမှုနည်းခြင်း(quiet)နှင့် ဖိအား မြင့်သည့် လုပ်ငန်းများ(high pressure application)တွင် efficient ဖြစ်ခြင်း တို့ဖြစ်သည်။ Air Handling Unit(AHU) နှင့် Fan Coil Unit(FCU) အားလုံးနီးပါး တွင် centrifugal fan သို့မဟုတ် blower များကို အသုံးပြုကြသည်။



ပုံ ၆-၃၅ Impeller and Blade

အထက်ပါပုံများသည် backward inclined centrifugal fan တစ်လုံး၏ wheel နှင့် ပန်ကာဒလက်(blade) ပုံများဖြစ်ကြသည်။

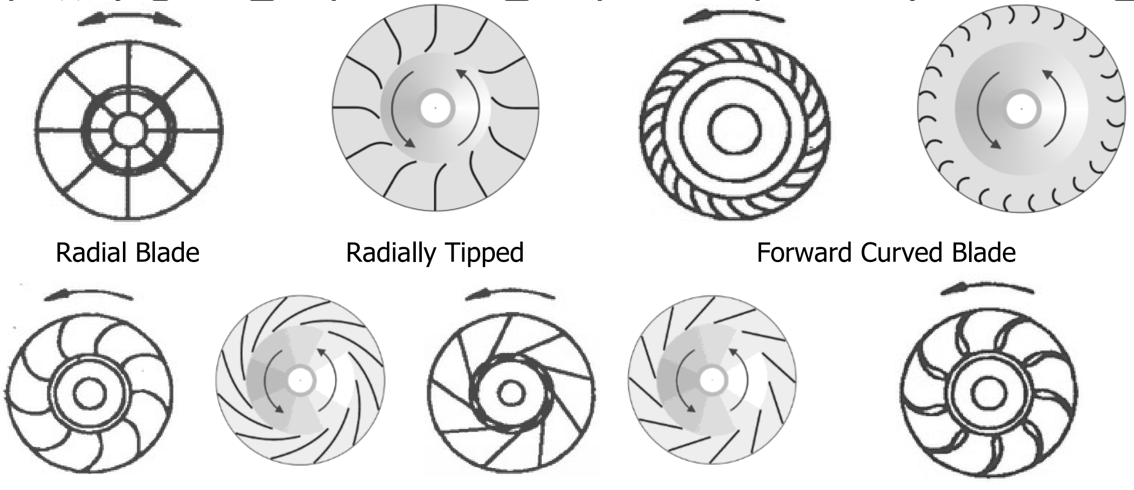
၆.၈.၂ Centrifugal Fan များ၏ Impeller နှင့် Blade Design များ



ပုံ ၆-၃၆ ဒလက်(blade) အမျိုးမျိုး

ဖိအား မြင့်မြင့်(high pressure)လိုအပ်သည့်အခါနှင့် ရှည်လျားသည့် duct များ တပ်ဆင်ထားသည့် အခါမျိုးတွင် centrifugal fan များကို အသုံးပြုကြသည်။ Centrifugal fan အမျိုးအစားကို impeller ရှိ ပန်ကာဒလက်(blade)၏ ပုံသဏ္ဍာန်ကို အခြေခံ၍ radial(straight)၊ forward blade ၊ backward blade နှင့် aerofoil ဟူ၍ အဓိက အားဖြင့် ခွဲခြားသတ်မှတ်ကြသည်။ Impeller လည်သည့် ရှေ့ဘက်(forward)သို့ စောင်းထား (inclined)၊ ကွေးထား (curved)သောကြောင့် "Forward Inclined/Curved Blade" ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

Centrifugal fan သို့မဟုတ် blower အတွင်း၌ရှိသည့် ဒလက်(blade)များ ပါသည့်ဘီး(wheel)ကို "**Impeller**" ဟုခေါ်သည်။ Impeller အပေါ်တွင် စိုက်ထားသည့် ဒလက်များကို "**Blade**" ဟုခေါ်သည်။ Side plate blade များနှင့် back plate များ တို့ဖြင့် impeller တစ်ခုဖြစ်အောင် တည်ဆောက်ထားသည်။
ပုံ(၆-၃၃)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း impeller သည် hub မှတစ်ဆင့် ဝင်ရိုး(shaft)ပေါ်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။



ပုံ ၆-၃၇ Backward Curved Blade Backward inclined blade Backward curved aerofoil

Centrifugal fan များ၏ impeller များ နှင့် ပန်ကာဒလက်ဒီဇိုင်း(blade design)များကို အောက်ပါ အတိုင်း အသေးစိတ် ခွဲခြားနိုင်သည်။

Radial(straight)	Radial	အတည့်(straight)အတိုင်းရှိသည့် ပန်ကာဒလက်(blade)
	Radial Tip	အတည့်(straight)အတိုင်းရှိသည့် ပန်ကာဒလက်(blade) ဖြစ်သည်။ သို့သော် ထိပ်ဖျား(tip)ကို ကွေးထားသည်။
Forward Blade	Forward Inclined	ရှေ့ဘက်(forward)သို့ စောင်းထား(inclined)သည်။
	Forward curved	ရှေ့ဘက်(forward)သို့ ကွေးထား(curved)သည်။
	Forward curved aerofoil	Aerofoil ပုံစံပြုလုပ်ပြီး အရှေ့ဘက်သို့ ကွေးထား (curved)သည်။ (အသုံးနည်းသည်။)
Backward Blade	Backward Inclined	နောက်ဘက်(backward)သို့ စောင်းထား(inclined)သည်။
	Backward curved	နောက်ဘက်(backward)သို့ ကွေးထား(curved)သည်။
	Backward curved aerofoil	Aerofoil ပုံစံပြုလုပ်ပြီး နောက်ဘက်(Backward)သို့ ကွေးထား (curved)သည်။
Aerofoil		Aerofoil ပုံစံ ပြုလုပ်ထားသည်။

(က) Radial Blade များ

Radial blade impeller များသည် အရှင်းလင်းဆုံးသော ဒီဇိုင်းဖြစ်ပြီး၊ efficiency အနည်းဆုံးဖြစ်သည်။ Radial blade များ၏ ခံနိုင်ရည်(mechanical strength)သည် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ အလွယ်တကူ ပြုပြင်နိုင်သည်။ Radial impeller ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် မြန်နှုန်း အသင့်အတင့်(medium speed)သာ ရနိုင်သည်။ Radial blade နှင့် modified radial blade ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရှိသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade) (၆)ခု မှ (၁၆)ခုအထိ ရှိတတ်ကြသည်။ စက်ရုံများ(industrial plants)တွင် ပစ္စည်းများ သယ်ပို့ရန်(material handling application)အတွက် အသုံးပြုကြသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ impeller ကို special material ဖြင့် ဖုံးအုပ်(coating)ထားလေ့ရှိသည်။ စက်မှုလုပ်ငန်း(industrial)များတွင် လိုအပ်သော ဖိအားမြင့်မြင့် (high pressure)ကို ထုတ်ပေးနိုင်စွမ်း ရှိသည်။

ပန်ကာဒလက်(blade)များ၏ အစွန်း(leading edge)သည် အကွေးပုံသဏ္ဌာန်(curve)ဖြစ်အောင် မလုပ်ထားသောကြောင့် လေများ အဆင်ပြေချောမွေ့စွာ ဝင်ရောက်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

Back plate သို့မဟုတ် paddle type blade များသည် spider hub ၌ စိုက်ထားသကဲ့သို့ တပ်ဆင်ထားသည်။ Centrifugal fan များတွင် radial blade fan များသည် efficiency အညံ့ဆုံးဖြစ်သည်။ Efficiency ၅၀% မှ ၆၀% သာ ရနိုင်သည်။ သို့သော် high peak pressure ကို ရနိုင်သည်။ Overloading power characteristic ဖြစ်သည်။

Impeller အရွယ်အစား(diameter)တူပြီး မြန်နှုန်း(running speed)တူသည့် centrifugal fan အမျိုးအစားအားလုံးတွင် radial tipped impeller fan များသည် အမြင့်ဆုံး ဖိအား(total pressure)ကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Efficiency ညံ့သည်။ ထို့ကြောင့် လေစီးနှုန်း(volume flow rate)နည်းသည်။ လေစီးနှုန်း (volume flow) တစ်ဝက်ထက်နည်းပါက ဖိအား (pressure)ကျဆင်းသွားသည်။ Stall characteristic သည် steady ဖြစ်သည်။ အသင့်အတင့်သာ ဖြစ်သည်။

Radial Tipped Blade

Radial blade များကို impeller လည်သည့်ဘက်(direction)သို့ backward ဖြစ်အောင် ကွေးထားခြင်း (reclined)ဖြစ်သည်။ Overloading ဖြစ်နိုင်သည့် fan အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ အမြင့်ဆုံး(peak) efficiencyသည် forward curved fan efficiency နှင့် backward blade fan efficiency အကြားတွင် ရရှိနိုင်သည်။

Radial tipped blade သည် အများဆုံး(maximum) blade tip absolute velocity ကို ဖြစ်စေသည်။ Radial impeller များသည် angular momentum ပမာဏ အများဆုံးကို ဖြစ်စေသည်။ Radial blade passage အတွင်း၌ turbulence flow ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် သိပ် efficient မဖြစ်ပေ။ Radial tipped blade များ၏ အစွန်း(leading edge)ကို forward curve ဖြစ်အောင်ကွေးထားခြင်းဖြင့် ပန်ကာဒလက်များ အကြားနေရာ (blade passage) အတွင်းသို့ လေများ ချောမွေ့စွာ ဝင်ရောက်လာကာ turbulence flow ဖြစ်ပေါ်မှုကို လျော့ချနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် efficiency အနည်းငယ် ပိုကောင်းလာသည်။

(ခ) Forward Blade များ

Forward curved blade impeller ၏ ဆိုသည်မှာ forward curved blade များတပ်ထားသည့် impeller ဖြစ်သည်။ Forward curved blade impeller efficiency သည် airfoil နှင့် backward curved blade impeller ၏ efficiency ထက် နည်းသည်။ အလေးချိန်ပေါ့ပါး(lightweight construction)သောကြောင့် ဈေးသက်သာသည်။ ပန်ကာ ဒလက်(blade)များ (၂၄)ခု မှ (၆၄)ခု အထိ ရှိတတ်သည်။ ဖောက်မနက်သည့် ပန်ကာဒလက်များ(shallow blades) ဖြစ်သည်။

လေသည် impeller အတွင်းမှ tip speed ထက် များသည့် အလျင်(velocity)ဖြင့် ထွက်သွားသည်။ လေထွက်နှုန်း(capacity)တူသည့် centrifugal fan များအနက် forward impeller ကိုသုံးလျှင် အရွယ်အစား အငယ်ဆုံး ဖြစ်သည်။ အိမ်သုံး(domestic) furnace များ packaged air conditioning များနှင့် roof top unit များတွင် forward impeller ကို အသုံးပြုကြသည်။

ပန်ကာဒလက်(blade)များကို impeller လည်သည့် ဦးတည်ရာ(direction)အတိုင်း အရှေ့ဘက်သို့ (forward)ကွေးထားခြင်း သို့မဟုတ် စောင်းထားခြင်း(inclined) ဖြစ်သည်။ Overloading power characteristic ဖြစ်သည်။ သတ်မှတ်ထားသော လေစီးနှုန်း(air flow)ထက် ပိုများအောင် မောင်းပါက သေချာပေါက် overload ဖြစ်နိုင်သည်။ သေးငယ်သည့် forward curved impeller သည် တူညီသော duty သို့မဟုတ် load ရရန်အတွက် လေထုထည်(air volume)များများကို ပေးနိုင်စွမ်းရှိသည်။ အများဆုံးရရှိနိုင်သည့်(peak) efficiency သည် ၇၀% ဖြစ်ပြီး backward bladed fan efficiency ထက် ညံ့သည်။

Forward Curved Blade Impeller

တခြားသော ပန်ကာဒလက်(blade)များဖြင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် absolute velocity (blade tip) အများဆုံး ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် လေထုထည်(air volume)များများကို တွန်းပေးနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ပန်ကာဒလက်(blade)များ အားလုံးနှင့်ယှဉ်လျှင် အရွယ်အစား အသေးငယ်ဆုံး ဖြစ်လေ့ရှိသည်။ နေရာ ကျဉ်းကျဉ်းသာ ရှိသည့် အခါများတွင် forward curved blade ကို ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။ အရွယ်အစားငယ်သော်လည်း ပန်ကာဒလက်(blade) အရေအတွက် များစွာပါသောကြောင့် ထုတ်လုပ်ရန် ခက်ခဲပြီး ဈေးကြီးသည်။

လေအလျင်များခြင်း(high velocity)ကြောင့် ပန်ကာဒလက်(blade)များတွင် ပွတ်တိုက်မှု(friction) များသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade)တို့၏ ထောင့်(angle)ကြီးကြီးဖြင့် ကွေ့ရသောကြောင့် turbulence ဖြစ်ပေါ်မှု ပိုများသည်။ Turbulence ဖြစ်ခြင်းကြောင့် ပန်ကာဒလက်များအကြား နေရာ(blade passage)တွင် စွမ်းအင် လေလွင့်မှု(energy dissipate) ပိုများသည်။ Impeller ပေါ်တွင် ပန်ကာဒလက်(blade)များစွာ ပါရှိသောကြောင့် ပန်ကာဒလက်(blade)များ တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အကြားနေရာ အလွန်ကျဉ်းသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade)များ တစ်ခုနှင့် တစ်ခု အလွန်နီးကပ်စွာ တည်ရှိကြသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade) မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် fluid shear stress ပိုများသည်။ ဒလက်မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ဖြစ်ပေါ်သော ပွတ်တိုက်မှု(skin friction) ပိုများသည်။ Efficiency ညံ့ဖျင်းခြင်း၊ ဈေးကြီးခြင်း(ထုတ်လုပ်မှုစရိတ်များခြင်း)နှင့် ခံနိုင်ရည်(mechanical strength) အားနည်းခြင်း တို့ကြောင့် အလွန် အသုံးနည်းသည်။

ဒလက်ထိပ်ဖျားအလျင်(tip velocity)များများဖြင့် မောင်းနိုင်သောကြောင့် လေစီးနှုန်း(volume flow rate)များများ ရနိုင်သည်။ Fan curve ၏ ညာဘက်တွင် အထစ်(dip)ဖြစ်နေသည့် နေရာကျယ်ပြန့်သောကြောင့် stall characteristic အလွန် ဆိုးသည်။ Stall ဖြစ်သည့် နေရာကို ရှောင်၍ မောင်းသင့်သည်။

(ဂ) Backward Blade

ပန်ကာဒလက်(blade) (၉)ခုမှ (၁၆)ခု အထိရှိသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade)များကို impeller လည်သည့် ဦးတည်ရာ(direction)၏ ဆန့်ကျင်ဘက်အတိုင်း စောင်းထား(inclined)သည်။ Inclined blade များသည် အဖြောင့် ပုံဏ္ဍာန်(flat) သို့မဟုတ် အကွေးပုံဏ္ဍာန်(curved) plate များ ဖြစ်ကြသည်။ Overload မဖြစ်နိုင်သည့်(non-overloading) fan မျိုး ဖြစ်သည်။ High efficiency ကို ပေးနိုင်သည်။ Plate blade များသည် 80% efficiency ကို ပေးနိုင်ပြီး aerofoil blade များ၏ efficiency သည် 90% ကျော်သည်။

Backward inclined impeller များ ၏ efficiency ကောင်းရခြင်းမှာ ပန်ကာဒလက်များ အကြားနေရာ (blade passage)သည် လည်နေသည့် diffuser ကဲ့သို့ ဖြစ်နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Backward inclined blade များသည် radial blade ထက် ပို၍ ရှည်လျားသောကြောင့် လေများကို တဖြည်းဖြည်းခြင်း(gradually)သာ diffuse လုပ်ကြသည်။ ထို့ကြောင့် လေစီးနှုန်း(air flow) ပို၍ ညီညာ(uniform)သည်။ ပန်ကာဒလက်များ အကြားနေရာ(blade passage) အားလုံးတွင် လေစီးနှုန်း(air flow) တူညီကြသည်။ ထို့ကြောင့် ပို၍ efficient ဖြစ်သည်။ Backward curved သို့မဟုတ် aerofoil blade များသည် backward inclined blade ထက်ပို၍ ရှည်လျားသောကြောင့် efficiency ပိုကောင်းသည်။

Backward Inclined Blade

Backward inclined plate impeller သည် radial blade များနှင့် စာလျှင် (impeller diameter နှင့် running speed တူလျှင်) နိမ့်သည့်(low) peak pressure ကိုသာ ပေးနိုင်သည်။ သို့သော် လေထုထည်များများ (high volume)ကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Stall characteristic သည် radial tipped impeller များနှင့်တူသည်။ HVAC application များ နှင့် စက်မှုလုပ်ငန်းများ(industrial application)တွင် အသုံးပြုကြသည်။ ပွန်းတီး တိုက်စားတတ်သည့် လုပ်ငန်းများ (erosive duties) များအတွက်လည်း အသုံးပြုနိုင်သည်။

Backward inclined blade ၏ efficiency သည် airfoil impeller မှ ရနိုင်သော efficiency ထက် အနည်းငယ်သာ နည်းသည်။ လေသည် impeller မှ tip speed ထက် နည်းသည့် velocity ဖြင့် ထွက်သွားသည်။ ဇောက်နက်သည့် ပန်ကာဒလက်များ(deep blades) ဖြစ်သည်။ သံချေးတက်သည့် နေရာများ(corrosive environment) နှင့် ပွန်းတီးတိုက်စားတတ်သည့်နေရာများ(erosive environment)တွင် airfoil impeller များကို အသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင်သည့်အခါ backward impeller များကို အသုံးပြုကြသည်။

Backward Curved Blade

Backward curved blade ကို သုံးလျှင် absolute velocity အနည်းဆုံး ရရှိလိမ့်မည်။ Radial tipped blade များသည် streamlined blade passage များဖြစ်သည်။ Radial passage နှင့် စာလျှင် ပို၍ ရှည်လျားသည်။ Diffuser ပုံသဏ္ဍာန်ဖြစ်နေသည်။ လေများကွဲထွက်ခြင်း(separation of air flow)ကို ကာကွယ်နိုင်သောကြောင့် ပို၍ efficient ဖြစ်သည်။ Overload မဖြစ်နိုင်သည့်(non-overloading) fan မျိုး ဖြစ်သည်။

Backward Inclined Aerofoil Blade

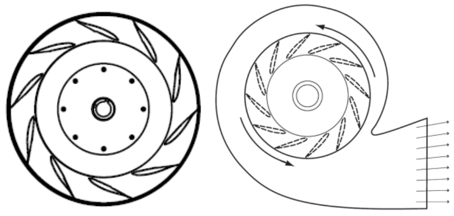
Backward inclined aerofoil ကို ACMV system များတွင် အသုံးများသည်။ Efficiency ကောင်းခြင်းကြောင့် ကြီးမားသည့် စက်မှုလုပ်ငန်း(large scale industrial application)များတွင် စွမ်းအင် ချွေတာရန်(power saving)အတွက် အသုံးပြုကြသည်။ Low ၊ medium နှင့် high pressure system များ အားလုံးအတွက် အသုံးပြုနိုင်သည်။ အချင်း (၄)မီတာရှိသည့် ကြီးမားသည့် fan များကို တွေ့မြင်နိုင်သည်။

ပွန်းတီးတိုက်စားခြင်း(erosive) မဖြစ်နိုင်သည့် စက်မှုလုပ်ငန်းများ(industry application)တွင် အသုံးပြုကြသည်။ Erosive အနည်းငယ်ဖြစ်သည့် လုပ်ငန်းခွင်များတွင် ပန်ကာဒလက်(blade)များကို coating လုပ်၍ သုံးကြသည်။ Blade tip ကို အနည်းငယ် ပိုထူအောင် ပြုလုပ်၍ အသုံးပြုကြသည်။

တခြားသော ဒလက်(blade)များထက်စာလျှင် rotational energy ပမာဏ နည်းသောကြောင့် aerodynamic losses နည်းသည်။ Backward blade များကို aerofoil ပုံသဏ္ဍာန် ပြုလုပ်လျှင် ပို၍ efficiency ကောင်းလာသည်။ လေသည် ပန်ကာဒလက်များ အကြားနေရာ(blade passage)အတွင်းသို့ ချောမွေ့စွာ ဝင်ရောက်သွားသောကြောင့် ပို၍ efficient ဖြစ်သည်။ Aerofoil ပုံသဏ္ဍာန် ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် ပန်ကာဒလက်(blade)များပေါ်တွင် သက်ရောက်သည့် bending stress ကို ခုခံနိုင်အား ပိုများသည်။ ပန်ကာဒလက် (blade) များတွင် stiffener များ ထည့်ပေးခြင်းဖြင့် second moment of area ပိုများလာအောင်ပြုလုပ်နိုင်သည်။

အရွယ်အစား(diameter) နှင့် မြန်နှုန်း(speed)တူလျှင် ဖိအား(pressure) နိမ့်နိမ့်သာပေးနိုင်သည့် impeller များ ဖြစ်သည်။ လေစီးနှုန်း(volume flow rate) များများပေးနိုင်သည်။

> ဒလက်ထိပ်ဖျားအလျင်(tip velocity) များများဖြင့် မောင်းနိုင်လျှင် ထို fan သည် လေစီးနှုန်း(volume flow rate)များများ ထုတ်ပေး နိုင်သည်။ Impeller အရွယ်အစား(diameter)ကြီး အောင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် tip velocity များအောင် ပြုလုပ် နိုင်သည် သို့မဟုတ် မြန်နှုန်း(running speed)ကို မြှင့်ပေးနိုင်သည်။ သို့မဟုတ် နှစ်မျိုးစလုံး လုပ်ပေးနိုင်သည်။ ဒလက်ထိပ်ဖျားအလျင်(tip velocity) များများဖြင့် မောင်းနိုင်ရန် ပန်ကာဒလက်(blade)များကို ခိုင်ခံ့အောင် (strong ဖြစ်အောင်) ပြုလုပ်ထားရန် လိုအပ်သည်။

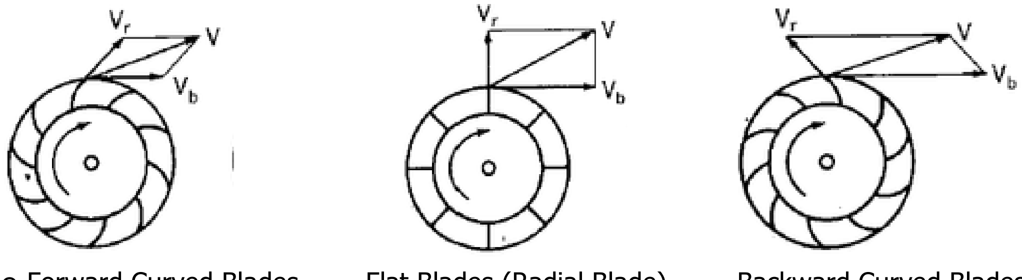


Centrifugal impeller ဒီဇိုင်းများအားလုံးအနက် airfoil သည် အကောင်းဆုံး efficiencyကို ပေးနိုင်သည်။ လေသည် impeller မှ tip speed ထက်နည်းသည့် velocity ဖြင့် ထွက်သွားသည်။ ပန်ကာဒလက် (blade)များသည် (၉)ခု မှ (၁၆)ခု အထိ ရှိတတ်ကြသည်။ ဖောက်နက်သည့် ပန်ကာဒလက် (deep blade) များ ဖြစ်ကြသည်။

Airfoil impeller ကို အသုံးပြုခြင်းဖြင့် centrifugal fan ကို မြန်နှုန်း(speed)မြင့်မြင့်ဖြင့် မောင်းနိုင်သည်။ ကြီးမားသော centrifugal fan များတွင် airfoil impeller ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်ချွေတာမှု(power saving) များအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

၆.၈.၃ Centrifugal Fan ၏ Velocity Triangle

Impeller ကို reference ထား၍ ဖော်ပြထားသည့် လေစီးနှုန်း(air flow)သည် relative velocity ဖြစ်သည်။ Impeller outlet ၌ရှိသော relative velocity ၏ direction သည် blade tip ၏ direction နှင့် တူညီသည်။



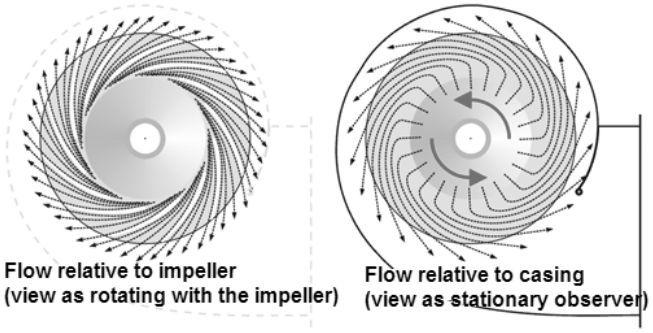
ပုံ ၆-၃၈ Forward Curved Blades Flat Blades (Radial Blade) Backward Curved Blades

V = Absolute velocity of air leaving blade(shown equal for all three blade type)

Vr =Velocity of air leaving blade relative to blade

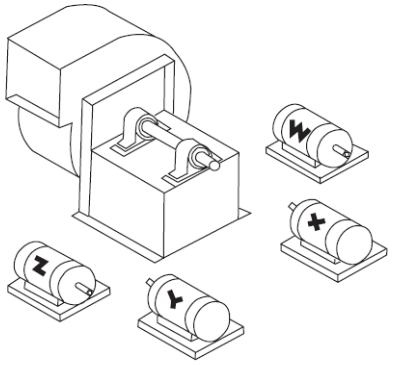
Vb = Velocity of blade tip

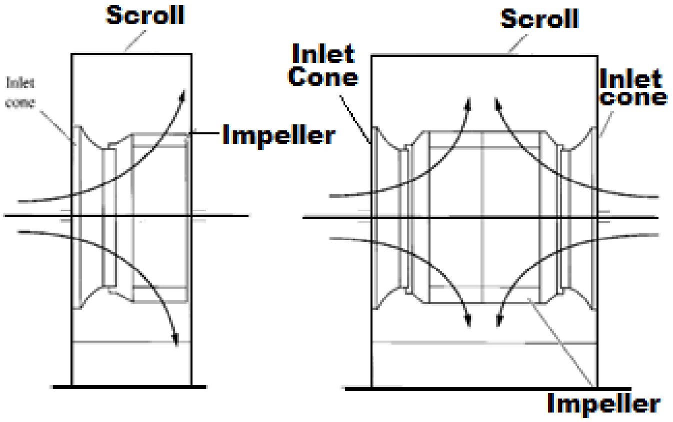
ပန်ကာဒလက်(blade)၏ ထိပ်ဖျား(tip)တွင်ရှိသည့် rotational velocity သည် လေထဲသို့ ထည့်ပေးလိုက်သည့် စွမ်းအင်(energy) ပမာဏကို ဖော်ပြသည်။ Impeller ကို ဖြတ်ပြီးနောက် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် လေစီးနှုန်း (volume flow rate) ပမာဏကို ဖော်ပြသည်။ ဒလက်ထိပ်ဖျား အလျင်(tip velocity) များလေ လေစီးနှုန်း(volume flow)များလေ ဖြစ်ပြီး စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption)လည်း များလိမ့်မည်။



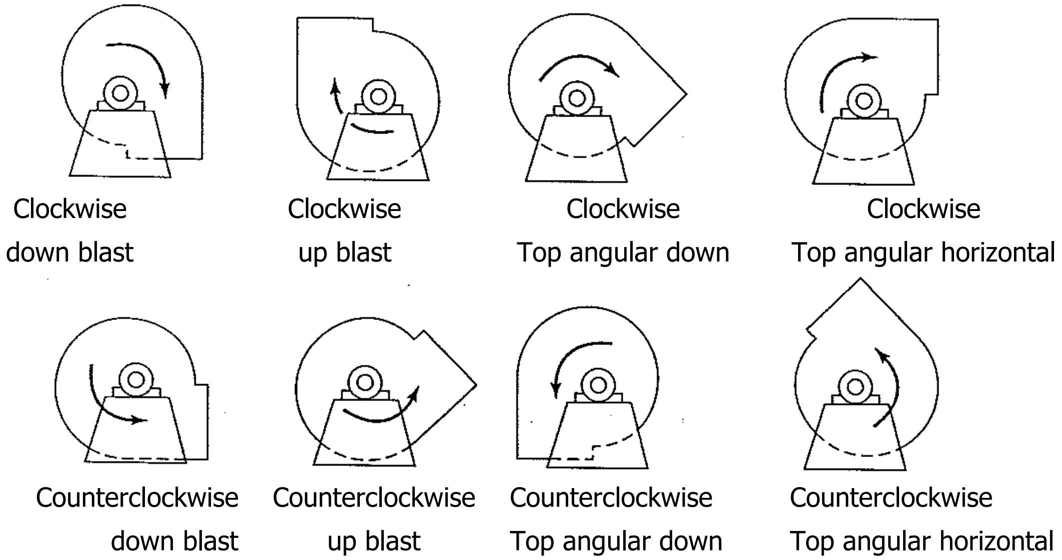
ပုံ ၆-၃၉ Flow relative to impeller and flow relative to casing

၆.၈.၄ Centrifugal Fan Arrangement





ပုံ ၆-၄၀ မော်တာ တပ်ဆင်ရာ နေရာပြပုံ



ပုံ ၆-၄၁ Centrifugal fan arrangement အမျိုးမျိုး

Discharge arrangement များကို ပုံများနှင့်တကွ ဖော်ပြထားသည်။ Clockwise သို့မဟုတ် Counter clockwise စသည့် လည်သည့်ဘက်(rotation direction)ကိုသတ်မှတ်ရန်မော်တာရှိသည့်ဘက်မှ ကြည့်ရသည်။

WHEEL DIAM. 44½" INLET AREA = 21.60 **BACKWARD-CURVED**
TIP SPEED = 11.65 × RPM OUTLET AREA = 20.79 Class I Ratings

CFM	Outlet Veloc.	¼" SP		⅜" SP		½" SP		⅝" SP		¾" SP		⅞" SP		1" SP		1¼" SP		1½" SP		1¾" SP	
	FPM	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
12460	600	189	.61																		
14536	700	200	.76	228	1.04																
16613	800	212	.94	237	1.26	264	1.64														
18691	900	228	1.13	250	1.49	272	1.87	292	2.25												
20766	1000	243	1.39	263	1.76	282	2.18	302	2.57	324	3.08										
22841	1100	259	1.66	278	2.09	296	2.52	315	2.95	332	3.44	351	3.98								
24916	1200	276	1.98	294	2.45	310	2.92	327	3.38	343	3.87	359	4.37	377	4.91						
26991	1300	292	2.34	309	2.84	325	3.35	342	3.85	356	4.36	371	4.88	387	5.44	420	6.66				
29065	1400	309	2.77	325	3.29	342	3.83	356	4.37	370	4.91	384	5.47	398	6.03	426	7.22	459	8.62		
31158	1500	326	3.24	342	3.82	357	4.37	371	4.95	385	5.53	398	6.12	411	6.71	437	7.92	465	9.25	492	10.53
33233	1600	344	3.78	359	4.37	373	4.97	387	5.58	400	6.19	413	6.80	425	7.45	449	8.73	473	10.01	500	11.45
35308	1700	361	4.37	375	5.00	390	5.63	403	6.28	416	6.93	427	7.58	440	8.24	463	9.59	486	10.93	509	12.42
37383	1800	379	5.04	394	5.69	407	6.37	420	7.04	431	7.72	443	8.41	454	9.11	477	10.53	498	11.95	520	13.45
39458	1900	397	5.76	411	6.46	423	7.16	436	7.88	447	8.60	459	9.31	470	10.04	492	11.54	512	13.03	533	14.58
41532	2000	416	6.57	428	7.31	441	8.05	452	8.78	464	9.54	475	10.30	486	11.05	507	12.60	526	14.15	546	15.75

Fan တစ်လုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို ဇယားပုံစံ(tabular form)ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ ရှိသည်။ ဇယားမှ အချက်အလက်များအရ centrifugal fan တည်ဆောက်ထားပုံ(construction)သည် Class I rating ဖြစ်သည်။ Centrifugal fan အမျိုးအစားသည် backward-curved ဖြစ်သည်။ Wheel diameter သည် (၄၄) လက်မခွဲ ဖြစ်သည်။ Tip speed ကို ရရန် 11.65 နှင့် wheel လည်သည့် အပတ်ရေ(RPM)ဖြင့် မြှောက်ယူနိုင်သည်။ တတိယ row နှင့် 1/2" SP column မှ 16613 CFM နှင့် Static Pressure 1/2" ရရှိရန် fan ကို 264 RPM ဖြင့် မောင်းရမည်ဖြစ်ပြီး 1.64 BHP သုံးစွဲလိမ့်မည်။

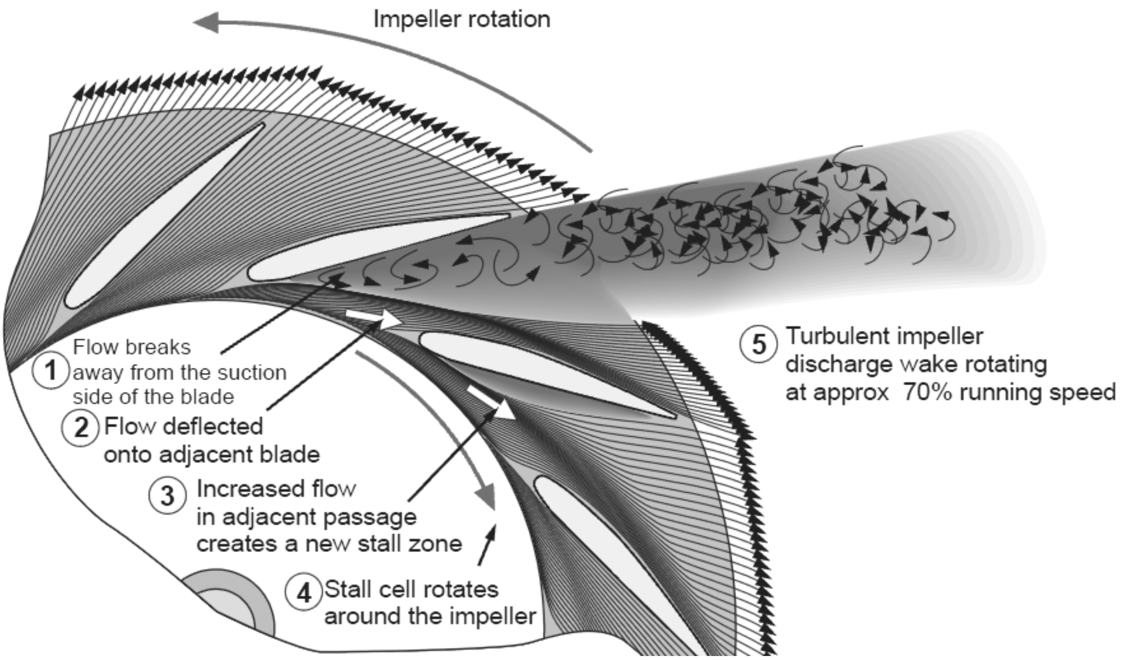
သို့သော် ဂရပ်(graphic)ပုံစံ ဖြင့် ဖော်ပြထားသည့် performance curve ကို အသုံးပြု၍ လေ့လာလျှင် ပို၍ လွယ်ကူသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ curve မရရှိနိုင်သည့်အခါတွင် မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed) တစ်ခုတွင် ရှိသော ဖိအား(pressure)နှင့် စက်စွမ်းအား(horse power)ကို အသုံးပြု၍ လိုအပ်သောperformance curve ကို မိမိဘာသာ ပြုလုပ်ယူနိုင်သည်။ သို့မဟုတ် "Fan Law" ပုံသေနည်းမှ တွက်ယူနိုင်သည်။

၆.၉ Stall ဖြစ်ခြင်း ၊ Stall ဖြစ်သည့်နေရာ (Region) နှင့် Stall ၏ ဝိသေသများ(Characteristics)

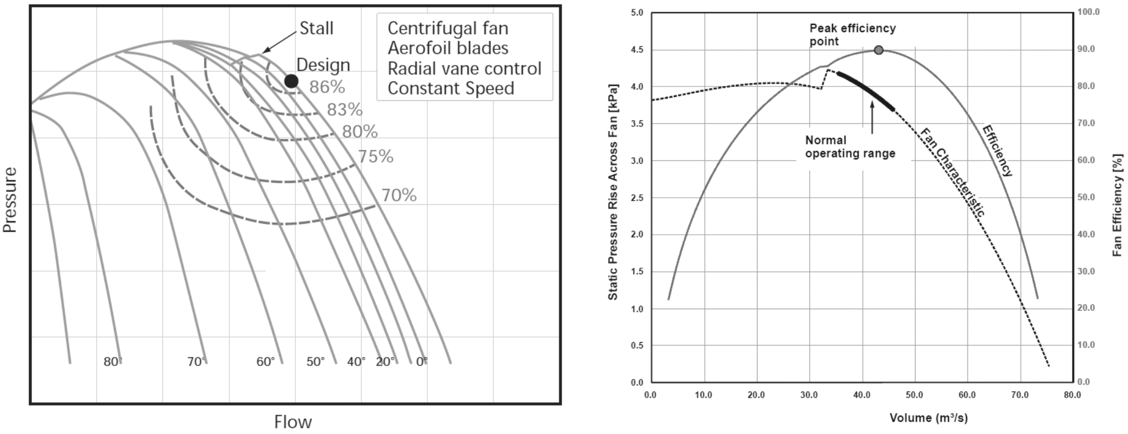
Centrifugal fan curve များတွင် အထစ်ကလေး(dip)ဖြစ်နေသည့် နေရာ ရှိသည်။ ထိုအထစ်ကလေး (dip)၏ နေရာသည် aerodynamic stall ဖြစ်သည့်နေရာ ဖြစ်သည်။ Rotating stall ဟုလည်း ခေါ်သည်။

Fan တစ်လုံး stall ဖြစ်သည့် အခါ၌ ပန်ကာဒလက်(blade)တစ်ခု၌ စတင် ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့နောက် လေစီးနှုန်း(air flow)များလာပြီး ကပ်လျက်ရှိ ပန်ကာဒလက်(blade)တစ်ခုပါ ဆက်၍ stall လိုက် ဖြစ်သည်။ ဤသို့ဖြင့် impeller ရှိ ပန်ကာဒလက်(blade)များအားလုံး stall ဖြစ်သည်။ Centrifugal fan ၏ ဖိအား (pressure) မြင့်တက်ခြင်းသည် aerodynamic left ကြောင့် မဟုတ်သောကြောင့် centrifugal fan ၌ ဖြစ်သည့် stall သည် axial fan ၌ ဖြစ်သည့် stall လောက် မဆိုးဝါးပေ။

Centrifugal fan ၌ stall ဖြစ်သည့်အခါ၌ ဖိအား(pressure)အနည်းငယ်မျှသာ ပြောင်းလဲပြီး လေစီးနှုန်း (volume flow rate) နည်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။ Stall ဖြစ်သည့်အခါ ကြိမ်နှုန်းနိမ့်သည့် ဆူညံသံ (low frequency noise)ပိုများလာပြီး fan casing ၊ duct work နှင့် impeller တို့ကို တုန်ခါစေသည်။ တုန်ခါမှု (vibration)ပိုများပြီး ဖိအား(pressure)လည်းများလာက impeller ၊ duct work စသည် တို့ကို ထိခိုက် ပျက်စီးစေနိုင်သည်။

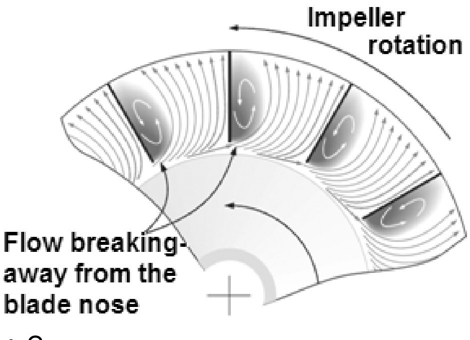


ပုံ ၆-၄၂ Stall ဖြစ်ပေါ်ပုံ



ပုံ ၆-၄၃ Stall ဖြစ်ပေါ်သည့်နေရာ နှင့် အကောင်းဆုံး efficiency ရရှိနိုင်သည့်နေရာ နီးကပ်စွာတည်ရှိပုံ

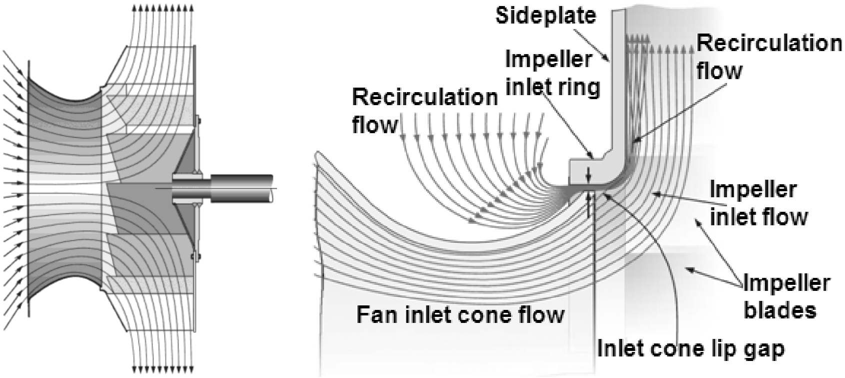
အကောင်းဆုံး efficiency ပေးနိုင်သည့် နေရာသည် stall ဖြစ်သည့်နေရာ အနီး၌ တည်ရှိသည်။ Stall ဖြစ်ပေါ်ခြင်းကြောင့် ဖိအား(pressure) ကျဆင်းသွားခြင်း မရှိသော်လည်း အချိန်ကြာမြင့်စွာ stall ဖြစ်နေခြင်း မျိုးကို ရှောင်ကြဉ်သင့်သည်။



Radial blade fan များ၌ radial flat blade သည် အခိုင်ခံ့ဆုံး ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် လေထဲတွင် အစိုင်အခဲ ကလေးများ (solid particle)များ ပါဝင် လာပါက radial fan သည် ကောင်းစွာ ပုံမှန် ဆက်လက် အလုပ်လုပ်နိုင်သည်။ သို့သော် efficiency နည်းသည်။ Forward curve blade များသည် ခံနိုင်ရည်အား အနည်းဆုံး ဖြစ်သောကြောင့် tip speed နေးနေးဖြင့်သာ မောင်းနိုင်သည်။

ပုံ ၆-၄၄ Flow breaking away form the blade nose

Medium tip speed နှင့် high tip speed တို့ဖြင့် မမောင်းနိုင်ပေ။ Forward curve blade များ အားနည်း (weak)ခြင်း၊ efficiencyနည်းခြင်း တို့ကြောင့် ကြီးမားသည့်စက်မှုလုပ်ငန်း(large scale industrial application) များတွင် အသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ နေရာကျဉ်းကျဉ်း၌ တပ်ဆင်ရသည့် အိမ်သုံး(domestic) heating နှင့် cooling system များတွင် အသုံးပြုကြသည်။



ပုံ ၆-၄၅ Inlet Cone အတွင်း လေများစီးဆင်းပုံ

၆.၁၀ System အတွင်း၌ ဖြစ်ပေါ်သော လေခုခံအား (System Resistance)

Duct အတွင်းမှ လေများ တစ်နေရာမှ အခြားတစ်နေရာသို့ ရောက်ရှိရန်အတွက် လေဖိအား ကွာခြားချက်(differential pressure)ရှိရန် လိုအပ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ပင် duct အတွင်းမှ လေများ တစ်နေရာမှ အခြား တစ်နေရာသို့ ရောက်သွားလျှင် လေဖိအား ကျဆင်းမှု(pressure drop) ဖြစ်ပေါ်သည်။

Point A ၌ ရှိသည့် ဖိအား(pressure)သည် point B ၌ ရှိသည့် ဖိအား(pressure)ထက်များလျှင် (PA > PB) point Aမှ လေများသည် point Bသို့ ရောက်သွားလိမ့်မည်။ Point A မှ လေများ point B သို့ ရောက်သွားပြီးလျှင် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ($P_A - P_B = \Delta P$) ဖြစ်သည်။ ဖိအားဆုံးရှုံးသည်။ ထိုဖိအား ဆုံးရှုံးခြင်းသည် duct နံရံများ နှင့် လေအကြား၌ ဖြစ်ပေါ်လာသော ပွတ်တိုက်မှု(friction)ကြောင့် ဖြစ်သည်။

Duct အကွေး(bend)များ၊ damper များ ၊ duct section များတွင် turbulence flow ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ဖြစ်သည်။ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။ Heater များ၊ လေစစ် (filter) များကို လေများ ဖြတ်သွားသည့်အခါ၌လည်း ဖိအားဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုအကြောင်းများကြောင့် ဖိအား ကျဆင်းမှု(pressure drop)ဖြစ်ခြင်း သို့မဟုတ် ဖိအားဆုံးရှုံးခြင်း(pressure loss)ကို လေခုခံအား(system resistance) ဟုခေါ်သည်။

လေခုခံအား(system resistance)ပြောင်းသွားသောကြောင့် system curve သို့မဟုတ် system resistance curve ပြောင်းသွားလိမ့်မည်။ System resistance curve ပြောင်းသွားသောကြောင့် system နှင့် တွဲ၍ တပ်ဆင်ထားသည့် fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)လည်း လိုက်၍ ပြောင်းလဲသွားလိမ့်မည်။

မည်သည့်အခြေအနေမျှ မပြောင်းလဲလျှင် (system အတွင်းရှိ damper များ၊ အခြားကိရိယာ(device) များ မပြောင်းလဲလျှင်) ထိုအခိုက် လေထုထည်(air volume) နည်းခြင်း၊ များခြင်းသည် system curve တစ်လျှောက်တွင်သာ ဖြစ်ပေါ် နေသည်။ System curve သည်လည်း မပြောင်းလဲပေ။

၆.၁၀.၁ System Resistance Curve ပြောင်းလဲပုံ

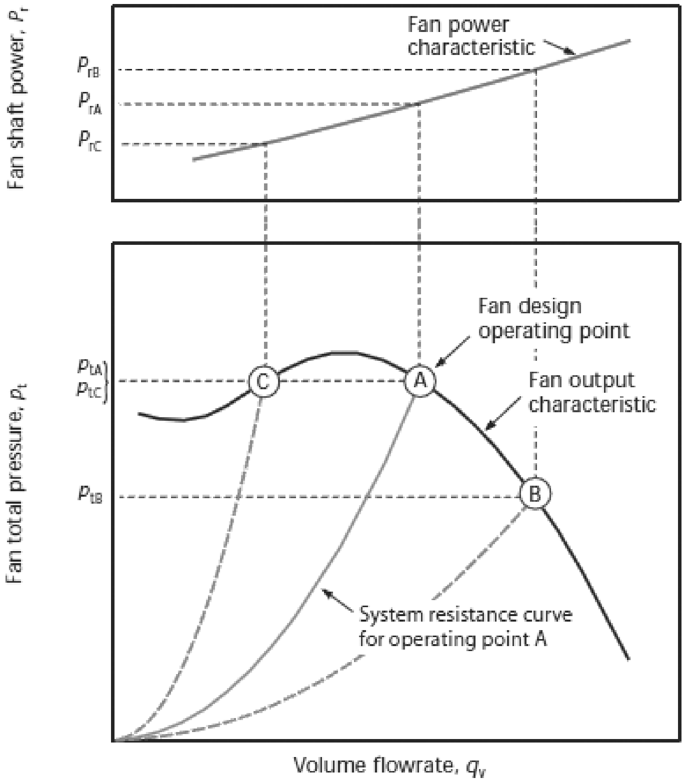
ပုံ(၆-၄၆)တွင်

Point A - သည် fan တစ်လုံးနှင့် တွဲ၍ တပ်ဆင်ထားသည့် duct system တစ်ခု၏ "Design Operating Point" ဖြစ်သည်။

Point B – System (duct) တစ်ခုခုအတွင်းမှ equipment တစ်ခုခုကို ဖြုတ်လိုက်လျှင် လေခုခံအား(system resistance) နည်းသွားသောကြောင့် system curve သည် Y axis ဘက်မှ ဝေးရာသို့ရောက်သွားပြီး Curve အသစ်တစ်ခုကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။

Point C - Damper ပိတ်ခြင်း သို့မဟုတ် လေခုခံအား(system resistance)ကို များအောင် ပြုလုပ်လျှင် system curve သည် Y axis ရှိရာဘက်သို့ ရောက်သွားပြီး curve အသစ်တစ်ခုကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။

ထို့အပြင် system resistance သည် လေသိပ်သည်းဆ(air density) နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။



ပုံ ၆-၄၆ System resistance နှင့် Fan curve

ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)ပမာဏသည် လေစီးနှုန်း(volume flow rate)၏ နှစ်ထပ်ကိန်းနှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။ ထို့ကြောင့် လေထုထည်(air volume) နှစ်ဆပိုများများရလိုလျှင် ဖိအားဆုံးရှုံးမှု (pressure loss)လေးဆ ပိုများလိမ့်မည်။ ထိုအချက်သည် constant air density အတွက်သာ မှန်သည်။

၆.၁၀.၂ Duct System ရှိ Damper များပွင့်ခြင်း ၊ ပိတ်ခြင်းကြောင့် System Curve ပြောင်းလဲပုံ

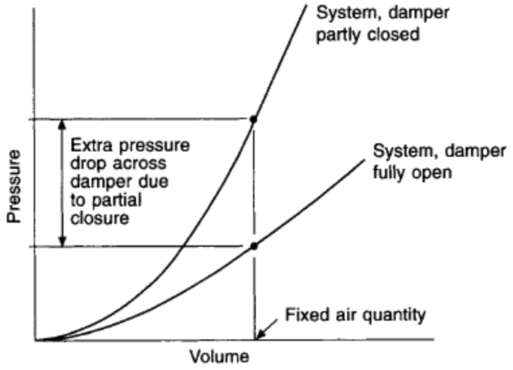
Point P1

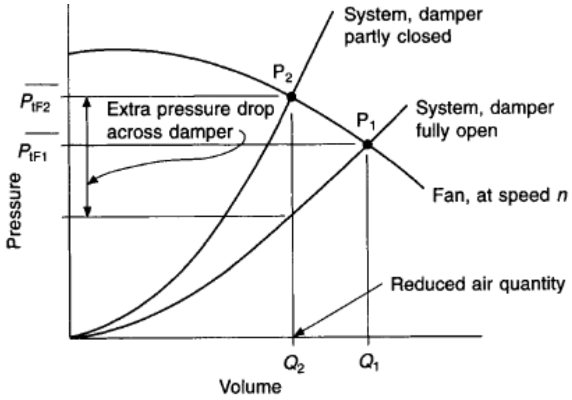
ပုံ(၆-၄၇)တွင် damper များပွင့်ခြင်း ၊ ပိတ်ခြင်းကြောင့် system curve ပြောင်းလဲပုံ (effect of opening and closing system damper)ကို ဖော်ပြထားသည်။ Point P1 သည် damper ပွင့်နေသည့် operating point ဖြစ်သည်။ Damper လုံးဝပွင့်နေသည့်(fully open)အချိန်၌ လေခုခံအား(system resistance) နည်းသည်။

Point P2

Point P2 သည် damper တစ်ဝက်တစ်ပျက် ပွင့်နေသည့်(partially open)အချိန်၌ လေခုခံအား(system resistance) များလာပြီး system resistance curve အသစ်ဖြစ်ပေါ်လာကာ operating point ဖြစ်သည်။

System ၏ ခုခံအား(resistance)များလာလျှင် Y axis နှင့် နီးရာဘက်တွင် system curve အသစ်တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည်။ System ၏ ခုခံအား(resistance) နည်းလာလျှင် Y axis နှင့် ဝေးရာဘက်တွင် system curve အသစ်တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည်။

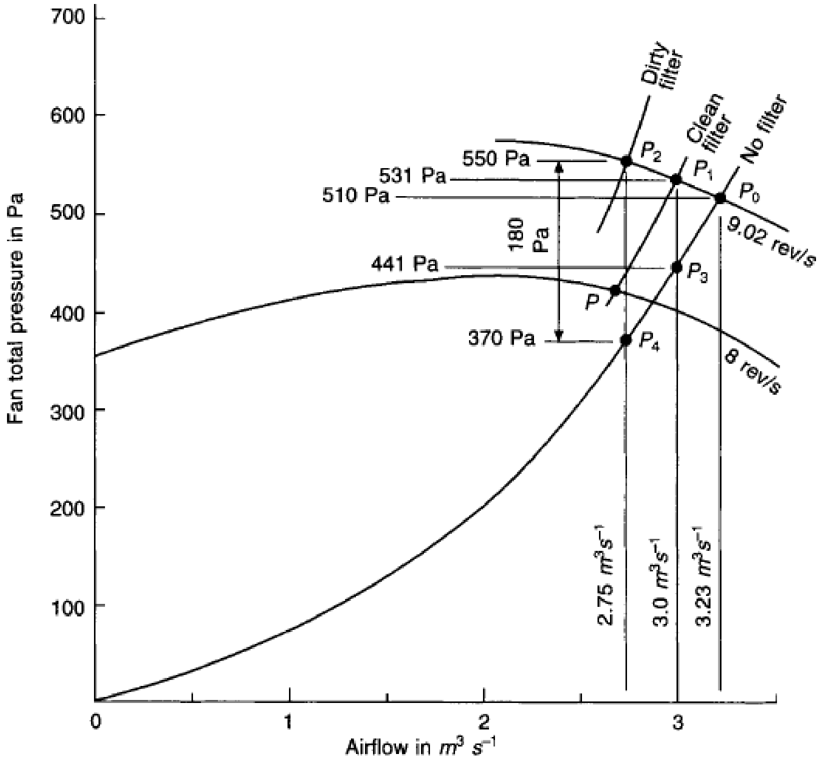




ပုံ ၆-၄၇ Damper fully open and Partially closed

၆.၁၀.၃ လေစစ်(Air Filter)များ ကြောင့် System Curve ပြောင်းလဲပုံ

ပုံ(၆-၄၈)တွင် လေစစ်(air filter) ကြောင့် system curve ပြောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၆-၄၈ လေစစ် (air filter) ညစ်ပေခြင်း(dirty)ကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု ဖြစ်ပေါ်လာပုံ

<u>No Filter Point (P0, P3, P4)</u>

P0 ၊ P3 ၊ P4 လိုင်းသည် လေစစ်(air Filter) မတပ်ဆင်ထားသောကြောင့် သို့မဟုတ် ဖြုတ်ထား သောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်နေသော system curve ဖြစ်သည်။

Operating point သည် system curve နှင့် fan curve တို့ ဖြတ်သွား သောကြောင့် ဖြစ် ပေါ်လာသော intersection point ဖြစ်သည်။ လေစစ်(air filter) မတပ်ဆင်ထားသည့် operating point သည် လေစီးနှုန်း (flow) 3.23 m^3/s နှင့် ဖိအား(total pressure) 510 Pa တို့ ဖြတ်မှတ်(intersection point) ဖြစ်သည်။

Clean Filter တပ်ဆင်ထားသော Operating Point (P နှင့် P1)

P နှင့် P1 လိုင်းသည် လေစစ်အသစ်(clean air filter) တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော system curve ဖြစ်သည်။

Operating point သည် လေစီးနှုန်း(flow) 3.0 m^3/s နှင့် ဖိအား(total pressure) 531 Pa တို့ ဖြတ်မှတ် (intersection point) ဖြစ်သည်။

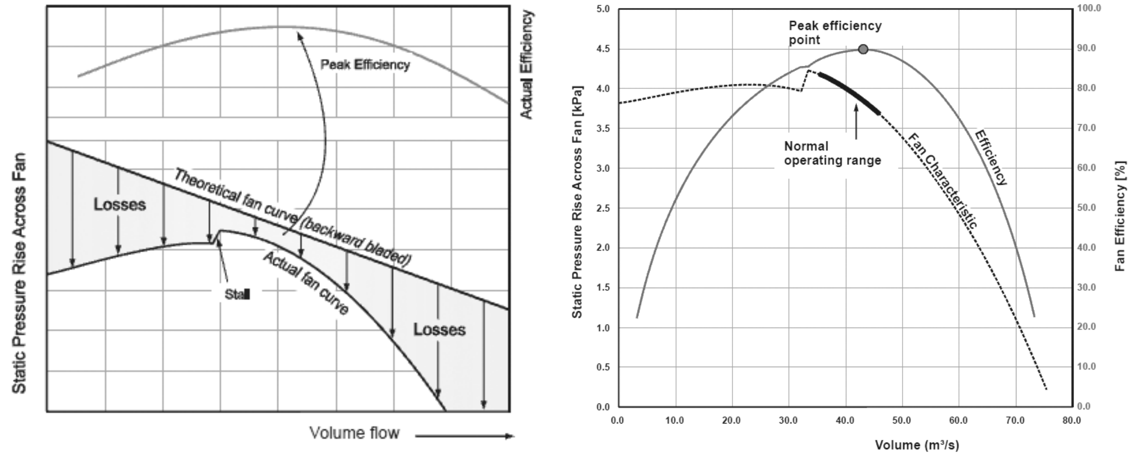
ညစ်ပေသွားသော လေစစ် (Dirty Air Filter)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော Operating Point (P2)

P2 လိုင်းသည် ညစ်ပေသွားသော လေစစ်(dirty air filter)တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော system curve ဖြစ်သည်။ Operating point သည် လေစီးနှုန်း(flow) 2.75 m^3/s နှင့် ဖိအား(total pressure) 550 Pa တို့ ဖြတ်မှတ် (intersection point) ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့် လေစစ်(dirty air)များ ညစ်ပေသွားလျှင် ဖိအားခုခံမှု(pressure resistance) ပိုများလာသည်။ ထို့ကြောင့် လေခုခံအား(system resistance)များသွားကာ fan curve အသစ် ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ အထက်ပါ ဥပမာအရ လေစစ်(air filter)များ ညစ်ပတ်သွားခြင်းကြောင့် system pressure 531 Pa မှ 550 Pa သို့ တက်သွားသည်။ ထို့ကြောင့် လေစီးနှုန်း(air flow)သည် 3.0 m^3/s မှ 2.75 m^3/s သို့ လျော့ကျသွားသည်။ ထိုလျော့သွားသည့် လေစီးနှုန်း(air flow rate)ကို ပြန်ရရန်အတွက် fan သည် ပို၍ အလုပ်ပိုလုပ်သောကြောင့် စွမ်းအင် ပိုလိုအပ်သည်။

ထို့ကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) လျော့နည်းစေရန်အတွက် လေစစ်(air filter) များ သန့်ရှင်းနေရန် လိုအပ်သည်။

၆.၁၁ Fan Performance Curve သို့မဟုတ် Pressure - Volume Curve



ပုံ ၆-၄၇ Theoretical fan curve and actual fan curve

ပုံ(၆-၄၇)သည် backward blade centrifugal fan တစ်လုံး၏ theoretical fan curve ဖြစ်သည်။ Centrifugal fan တစ်လုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို ဖိအား(pressure) နှင့် လေစီးနှုန်း (volume flow rate)တို့ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် "Pressure-Volume Curve"ဟု ခေါ်သည်။ Fan တစ်လုံး၏ ဖိအား

(pressure)နှင့် လေစီးနှုန်း(volume flow rate)တို့ ဆက်သွယ်နေပုံ(relationship)ကို ဖော်ပြထားသည့် curve ကို "**Fan Curve**" ဟု ခေါ်သည်။ "Fan Curve" သို့မဟုတ် "**Pressure – Volume Curve**" သည် fan တစ်လုံး၏ characteristic ကို ဖော်ပြသည်။ Centrifugal fan တစ်လုံး၏ power characteristic သည် လေစီးနှုန်း(volume flow) ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption)လိုက်၍ ပြောင်းလဲ နေသည်။

Fan characteristic curve တွင် X ဝင်ရိုး(X axis)သည် လေစီးနှုန်း(volume flow rate) ဖြစ်ပြီး Y ဝင်ရိုး(Y axis) သည် static pressure ဖြစ်သည်။ SI ယူနစ် အသုံးပြုလျှင် fan curve များ၌ လေစီးနှုန်း(volume flow rate)ကို X ဝင်ရိုး(X axis)၌ CMH ဖြင့် ဖော်ပြသည်။ Pressure development ကို Y ဝင်ရိုး(Y axis)တွင် Pascal (Pa)ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

Fan တစ်လုံး၏ theoretical characteristic သည် မျဉ်းဖြောင့်(straight line) ဖြစ်သည်။ Rotational loss များ၊ frictional loss များ နှင့် incidence တို့ကြောင့် အမှန်တကယ် ရနိုင်သည့် ဖိအား(actual fan pressure) နည်းရခြင်း ဖြစ်သည်။ Incidence သည် impeller inlet တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် fluid နှင့် blade angle ကွာဟချက် သို့မဟုတ် ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။

> ပွတ်တိုက်မှုကြောင့်ဖြစ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(friction loss)သည် ပျမ်းမျှလေအလျင်(mean velocity)၏ နှစ်ထပ်ကိန်း(square)နှင့် ညီမျှသည်။ လေစီးနှုန်း(air flow rate)များလာလေ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု (pressure loss)များလာလေ ဖြစ်သည်။ Peak efficiency ရရှိချိန်၌ fluid angle နှင့် blade angle တို့သည် လုံးဝနီးပါး တူညီသည်။ ထို့ကြောင့် incidence သည် သုည(zero) ဖြစ်သည်။

Fluid angle နှင့် blade angle နှစ်ခုအနက် တစ်ခုခု ပိုများသွားသည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် incidence သည် သုည(zero) မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။ Incidence များလာသည်နှင့်အမျှ ဆုံးရှုံးမှု(loss)လည်း လိုက်များလာလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် peak ၏ ဘယ်ဘက်(left)၌ negative slope ဖြစ်ပေါ်ပြီး ညာဘက်(right)၌ positive slope ဖြစ်ပေါ်သည်။

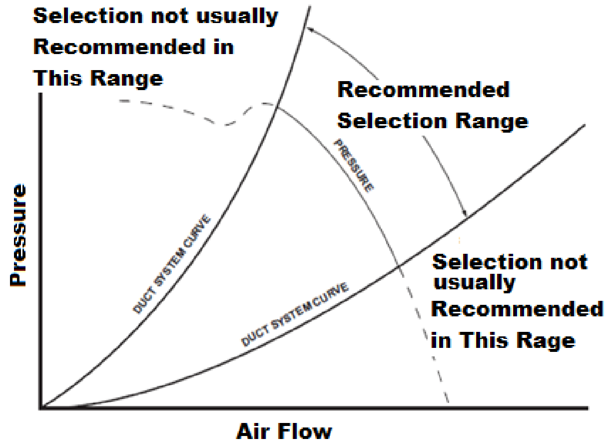
> Fan curve တစ်ခု၌ စွမ်းအင်(power) မပြောင်းလဲသောကြောင့် လေစီးနှုန်း(air flow) များလာသည်နှင့်အမျှ ထို fan က ထုတ်ပေးသည့် ဖိအား(pressure)လည်း နှစ်ထပ်ကိန်း(square)ဖြင့် လိုက်နည်း လိမ့်မည်။ လေစီးနှုန်း(air flow) နည်းလာသည်နှင့်အမျှ ထို fan က ထုတ်ပေးသည့် ဖိအား (pressure)လည်း နှစ်ထပ်ကိန်း(square)ဖြင့် လိုက်များလာလိမ့်မည်။

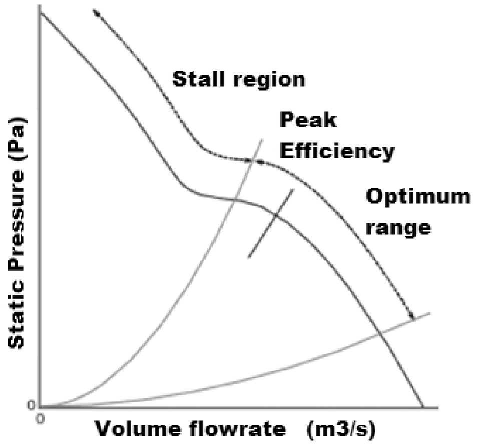
> Duct system curve တစ်ခု၌ လေစီးနှုန်း(air flow) များလာသည်နှင့်အမျှ ထို duct system ၏ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)လည်း နှစ်ထပ်ကိန်း(square)ဖြင့် လိုက်များလာလိမ့်မည်။ Flow နည်းလာသည်နှင့်အမျှ ထို duct system ၏ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)လည်း နှစ်ထပ်ကိန်း(square)ဖြင့် လိုက်နည်းလာလိမ့်မည်။

ထို့ကြောင့် လေစီးနှုန်း(air flow) သို့မဟုတ် ဖိအား(pressure) နည်းလိမ့်မည်၊ များလိမ့်မည်ကို ဆုံးဖြတ်ရန်(analysis)လုပ်ရန်အတွက် မည်သည့် curve ကို အသုံးပြုရမည်ကို သိရန်လိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် fan curve ကို reference လုပ်ရမည် သို့မဟုတ် system curve ကို reference လုပ်ရမည်ကို သဘောပေါက်နားလည်ရန် လိုအပ်သည်။

Fan ထုတ်လုပ်ရောင်းချသူများထံမှ fan curve ကို ရရှိနိုင်သည်။ Fan ကို fan curve ၏ နေရာတိုင်း၌ မောင်းရန် မသင့်လျော်ပါ။ ထို fan curve တစ်လျှောက်တွင် ဘေးအစွန်းနှစ်ဘက်သည် အသုံးပြုရန် မသင့်သော

နေရာဖြစ်သည်။ ဘယ်ဘက်အစွန်းသည် stall region ဖြစ်သည်။ ညာဘက်အစွန်းနေရာသည် efficiency အနည်းဆုံးနေရာဖြစ်သည်။ Fan curve ၏ အလယ် သုံးပုံတစ်ပုံ နေရာသည်သာ မောင်းရန် အသင့်တော်ဆုံး နေရာဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် fan performance curve ကို အပိုင်း သုံးပိုင်းလျှင် အလယ်အပိုင်းသည် မောင်းရန် သင့်လျော်သော နေရာ(region) ဖြစ်သည်။





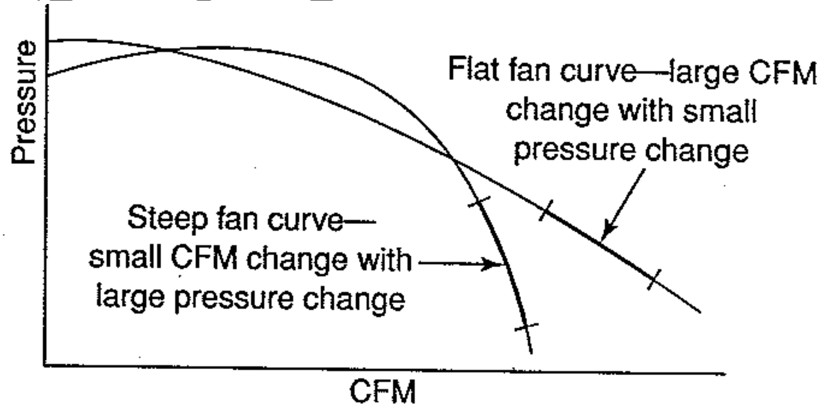
ပုံ ၆-၅၀ Typical centrifugal fan တစ်လုံး၏ recommended performance range ကို ဖော်ပြထားသည်။

Efficiency curve သည် volume flow rate ပြောင်းလဲသည့်အလျောက် fan ၏ efficiency ပြောင်းလဲနေပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Fan များကို peak efficiency တွင် မောင်းရန် ရည်ရွယ်၍ ရွေးချယ်သင့်သည်။ Peak efficiency တွင် သတ်မှတ်ထားသော load သို့မဟုတ် duty ရအောင်မောင်းရန် အတွက် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption) အနည်းဆုံးဖြစ်သည်။ Peak efficiency တွင် မောင်းပါက အသံဆူညံမှု (noise level)လည်း အနည်းဆုံးဖြစ်သည်။ (Efficiency vs noise curve ကို ကြည့်ပါ။)

Flat fan curve နှင့် Steep Fan curve

Flat fan curve များသည် pressure အနည်းငယ် ပြောင်းလဲရုံမျှဖြင့် လေစီးနှုန်း (flow rate)များစွာ ပြောင်းလဲသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေစီးနှုန်း(air flow)များစွာ ပြောင်းသော်လည်း ဖိအား(pressure) အနည်းငယ်သာ ပြောင်းလဲသည်။

Steep fan curve များသည် လေစီးနှုန်း(air flow rate) အနည်းငယ် ပြောင်းလဲရုံမျှဖြင့် ဖိအား (pressure)များစွာ ပြောင်းလဲသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဖိအား(pressure) များစွာ ပြောင်းသော်လည်း လေစီးနှုန်း (air flow rate) အနည်းငယ်သာ ပြောင်းလဲသည်။



ပုံ ၆-၅၁ Steep curve and flat curve

Ducted system များတွင် လေများ တစ်နေရာမှ အခြားတစ်နေရာသို့ ရောက်သွားရန်အတွက် fan သည် စွမ်းအင်(energy)ကို ဖိအား(pressure)အဖြစ် လေထဲသို့ ပို့ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ လေများ ပိုင်ဆိုင်သွားသည့် ဖိအား(pressure)သည် လေများ duct နံရံ(wall)များ တစ်လျှောက်တွင် ဖြစ်ပေါ်လာသော ပွတ်တိုက်မှု(friction) ကြောင့် ပျောက်ပျက်သွားရသည်။ အကွေး(bend)များ ၊ damper များ နှင့် duct section များ အရွယ်အစား (size) ပြောင်းခြင်း တို့ကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ဖြစ်ပေါ်သည်။

၆.၁၂ Fan Law သို့မဟုတ် Law Of Fan Performance

Fan law သည် fan curve အပေါ်ရှိ အမှတ်(point) တစ်နေရာအတွက်သာ တွက်ခြင်းဖြစ်သည်။

> Fan Law အသုံးပြု၍ ပုံသဏ္ဍာန်တူသည့်(geometrically similar) fan များ၏ စွမ်းဆောင်ရည် (performance)ကို ခန့်မှန်းယူ နိုင်သည်။ အတိအကျ မှန်ကန်မှု ရှိခြင်း၊ မရှိခြင်းသည် ထို fan များ၏ မျက်နှာပြင် ချောမွေ့မှု(surface roughness) ၊ လေ သို့မဟုတ် ဓာတ်ငွေ့(gas)များ၏ စေးပျစ်မှု(viscosity) တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Fan Law သည် fan တစ်လုံး၏

(၁) အရွယ်အစား(size)ပြောင်းသွားသည့်အခါ

(၂) မြန်နှုန်း(speed) ပြောင်းသွားသည့်အခါ

(၃) လေသိပ်သည်းဆ(density)ပြောင်းသွားသည့် အခါမျိုးတို့၌ fan ၏ လေထုထည် စီးနှုန်း (volume flow)၊ ဖိအား (pressure) နှင့် စွမ်းအား(power)တို့ မည်ကဲ့သို့ ပြောင်းလဲသွားလိမ့်မည်ကို သိရှိရန် အတွက် တွက်ချက်မှုများ ပြုလုပ်သည့် အခါမျိုးတွင် အသုံးပြုသည်။

Fan ၏ လေထုထည်(volume) ပြောင်းလဲမှုကို တွက်ရန်

$$Q_2 = Q_1 \times \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \text{ or } Q_2 = Q_1 \times \left(\frac{D_2}{D_1}\right)$$

Fan ၏ ဖိအား(pressure) ပြောင်းလဲမှုကို တွက်ရန်

$$Pressure_2 = Pressure_1 \times \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \quad \text{or} \quad Pressure_2 = Pressure_1 \times \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$

$$\text{or } Pressure_2 = Pressure_1 \times \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

Fan ၏ စွမ်းအား(power) ပြောင်းလဲမှုကိုတွက်ရန်

$$Power_2 = Power_1 \times \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \text{ or } Power_2 = Power_1 \times \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 \text{ or } Power_2 = Power_1 \times \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

Fan တစ်လုံး သို့မဟုတ် fan system တစ်ခုသည် operating condition ပြောင်းလဲသည့်အခါ ဖြစ်ပေါ်လာမည့် fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို ခန့်မှန်းရန်အတွက် fan law ကို အသုံးပြုသည်။ လိုအပ်သည့် operating condition ကို ပေးနိုင်မည့် operation point သို့မဟုတ် range ကို fan curve မှ ရနိုင်သည်။ Fan များ မောင်းနေသည့်အခြေအနေ(operating condition)ပြောင်းသွားသည့်အခါ သို့မဟုတ် fan မြန်နှုန်း(speed) ပြောင်းသွားသည့် အခါမျိုးတွင် fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို ခန့်မှန်းရန်အတွက် fan law ကို အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ မည်သည့် fan အမျိုးအစား အတွက်မဆို အသုံးပြုနိုင်သည်။ သို့သော် ပုံသဏ္ဍာန်တူညီသည့် (geometrically similar) fan များ အတွက်သာ အသုံးပြု နိုင်သည်။ မှန်ကန်သည်။

အောက်တွင် fan law ဇယားဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ အသုံးပြုထားသော symbol များမှာ အောက်ပါ အတိုင်း ဖြစ်သည်။

Q – Volume flow rate thru the fan. (CMH သို့မဟုတ် CFM)

N – Rotational speed of the impeller.(rpm)

P – Pressure developed by the fan(either static or total)

Hp – Horsepower input to the fan.(Hp သို့မဟုတ် kW)

D – Fan wheel diameter.

W – Air density

လေသိပ်သည်းဆ(air density)သည် ဖိအား(barometric pressure) နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။ Barometric pressure များလေ လေသိပ်သည်းဆ(air density)များလေ ဖြစ်သည်။ အပူချိန်(absolute temperature) နှင့် ပြောင်းပြန် အချိုးကျ(inversely proporational) သည်။ အပူချိန်(temperature) နိမ့်လေ လေသိပ်သည်းဆ(air density) များလေဖြစ်သည်။

TABLE 5—FAN LAWS

VARIABLE	CONSTANT	NO.	LAW	FORMULA
SPEED	Air Density Fan Size Distribution System	1	Capacity varies as the Speed.	$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$
		2	Pressure varies as the square of the Speed.	$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$
		3	Horsepower varies as the cube of the Speed.	$\frac{Hp_1}{Hp_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$
FAN SIZE	Air Density Tip Speed	4	Capacity and Horsepower vary as the square of the Fan Size.	$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{Hp_1}{Hp_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$
		5	Speed varies inversely as the Fan Size.	$\frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{D_1}$
		6	Pressure remains constant.	$P_1 = P_2$
	Air Density Speed	7	Capacity varies as the cube of the Size.	$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$
		8	Pressure varies as the square of the Size.	$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$
		9	Horsepower varies as the fifth power of the Size.	$\frac{Hp_1}{Hp_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5$
AIR DENSITY	Pressure Fan Size Distribution System	10	Speed, Capacity and Horsepower vary inversely as the square root of Density.	$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{Hp_1}{Hp_2} = \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^{1/2}$
	Capacity Fan Size Distribution System	11	Pressure and Horsepower vary as the Density.	$\frac{P_1}{P_2} = \frac{Hp_1}{Hp_2} = \frac{W_1}{W_2}$
		12	Speed remains constant.	$N_1 = N_2$

အထက်ပါ fan law အရ (air density နှင့် fan အရွယ်အစား(size)ကို မပြောင်းလဲလျှင်)

(၁) Volume flow rate(Q)သည် Rotational speed(N)နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။
Rotational speed(N)များလျှင် Volume flow rate(Q) များသည်။

(၂) Static or total Pressure(P)သည် Rotational speed(N)၏ နှစ်ထပ်(square)နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။
Rotational speed(N)များလျှင် static or total Pressure(P) များသည်။

(၃) Horsepower input to the fan (Hp)သည် Rotational speed(N)၏ သုံးထပ်(cube)နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုး ကျသည်။ Rotational speed(N)များလျှင် Horsepower input to the fan(Hp) များသည်။

ဥပမာ - Laws 1 မှ 3 အထိ

Given: Air quantity - 33,120 CFM Static pressure - 1.5 in wg

Fan speed - 382 RPM Brake horsepower - 10.5

အကယ်၍ fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)သည် 382 RPM မှ 440 RPM သို့ပြောင်းသွားလျှင် လေထွက်နှုန်း(capacity)၊ static pressure နှင့် မြင်းကောင်ရေ(horsepower) တို့ကို ရှာပါ။

အဖြေ-

$$Capacity\ =\ 33{,}120\ x\ (\frac{440}{382})\ =\ 38{,}150\ CFM$$

$$Static\ pressure\ =\ 1.5\ x\ (\frac{440}{382}\ )^2\ \ =\ 2.0\ in.wg$$

$$Horse\ power\ =\ 10.5\ x(\frac{440}{382})^3\ =\ 16.1\ BHP$$

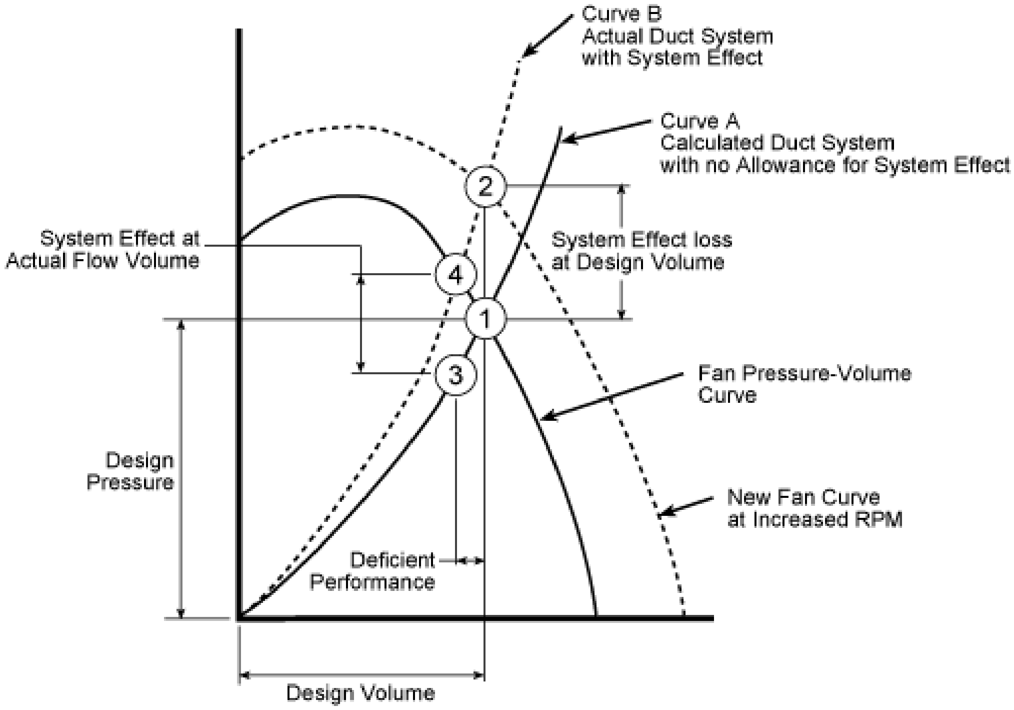
ဥပမာ - အချင်း(diameter) လက်မ(၃၀)ရှိသော fan တစ်လုံးကို ပင်လယ်ရေမျက်နှာပြင်(sea level)တွင် 1,040 RPM ဖြင့် မောင်းသည့်အခါ လေထွက်နှုန်း 10,000 CFM ရရှိပြီး static pressure 2.18 in. wg ဖြစ်ပေါ်သည်။ စွမ်းအင် 5.77 BHP သုံးစွဲသည်။

ထို system ၌ပင် လေထွက်နှုန်း 12,000 CFM ရလိုလျှင် အသစ်ဖြစ်ပေါ်လာမည့် operating parameters များကို ရှာပါ။

$$N_2 =\ N_1\ x\ \frac{Q_2}{Q_1} =\ 1040\ rpm\ x\ \frac{12{,}000\ cfm}{12{,}000\ cfm} = 1248\ rpm$$

$$HP_2 =\ HP_1\ x\ \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3\ = 5.77\ bhp\ x\ \left(\frac{1248\ rpm}{1040\ rpm}\right)^3\ = 9.97\ bhp$$

$$P_2 =\ P_1\ x\ \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2\ = 2.18\ in.wg\ x\ \left(\frac{1248\ rpm}{1040\ rpm}\right)^2\ = 3.14\ in.wg(Static\ Pressure)$$



ပုံ ၆-၅၂ System resistance curve and fan curve

ပုံ(၆-၅၂)တွင် fan curve နှင့် system curve ပေါ်၌ original design point(point 1)ကို ဖော်ပြထားသည်။ လက်တွေ့မောင်းသည့်အခါ actual duct system သည် design သို့မဟုတ် calculated duct system ထက် ပို၍ လေခုခံအား(system resistance) များသည်။ ထိုအခါမျိုး၌ လက်ရှိ fan သည် မျှော်လင့် ထားသည့် လေစီးနှုန်း (volume rate)ကို မပေးနိုင်တော့ပေ။ ထို့ကြောင့် fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို မြှင့်(မြန်) ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို မြှင့်(မြန်) ပေးသောကြောင့် fan curve အသစ် ဖြစ်ပေါ် လာသည်။

Point 1 သည် မူလဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့်အမှတ်(original design point) ဖြစ်သည်။

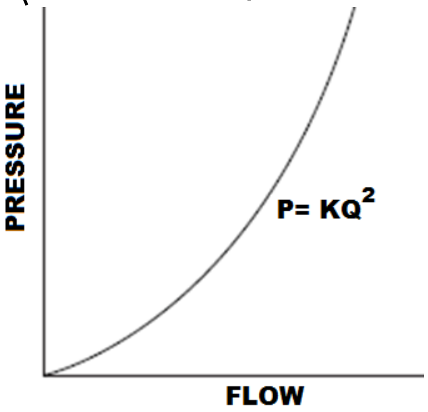
Point 2 သည် acual duct System ၌ design volume ရရှိရန် အတွက် fan အပတ်ရေ RPM မြှင့်ထားသည့် new(corrected)system curve တွင် မောင်းနေသည့် operating point ဖြစ်သည်။

Point 3 သည် original system curve ပေါ်၌ ရနိုင်သည့် လျော့နည်းသွားသည့် ထုထည် (deficient volume) ဖြစ်သည်။

Point 4 သည် corrected system curve ပေါ်၌ ရနိုင်သည့် လျော့နည်းသွားသည့် ထုထည်(deficient volume) ဖြစ်သည်။

အထက်ပါ အချက်များသည် လေသိပ်သည်းဆ(air density)နှင့် fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)တို့သည် ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသည့် အခြေအနေတွင် မောင်းသည်ဟု ယူဆထားသည်။

၆.၁၃ Fan Curves and System Resistance Curves

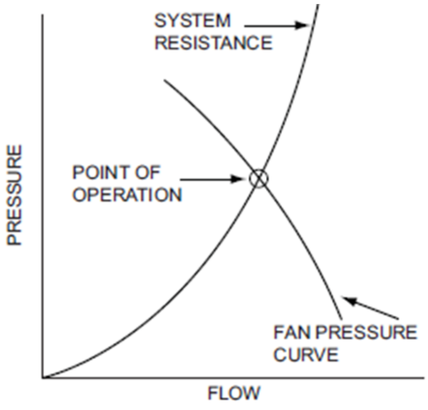


ပုံ ၆-၅၃ System resistance curve

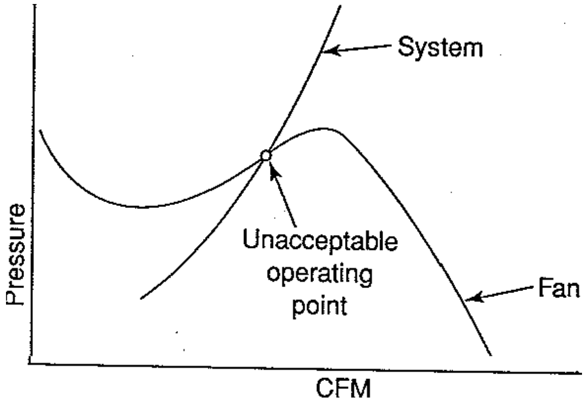
Fan curve ဆိုသည်မှာ fan တစ်လုံး ကို မောင်းလျှင်ရရှိနိုင်မည့် လေစီးနှုန်း(air flow) [CFM သို့မဟုတ် CMH]နှင့် static pressure(inch wg သို့မဟုတ် Pascal)ကို ဂရပ်(graph) ပေါ်တွင် ဆွဲထားခြင်းဖြစ်သည်။ ထို fan curve ကြည့်ပြီး မိမိ မောင်းလိုသည် operating point သို့မဟုတ် operating range သို့မဟုတ် operating region ကို သတ်မှတ်နိုင်သည်။

မိမိမောင်းလိုသည့် လေစီးနှုန်း(air flow)[CFM]ကို သိထားလျှင် fan မှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် static pressure (inch wg)ကို ရနိုင်သည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် မိမိမောင်းလိုသည့် static pressure (inch WG)ကို သိထားလျှင် fan က ထုတ်ပေးနိုင်သည့် လေစီးနှုန်း(air flow)ကို ရနိုင်သည်။



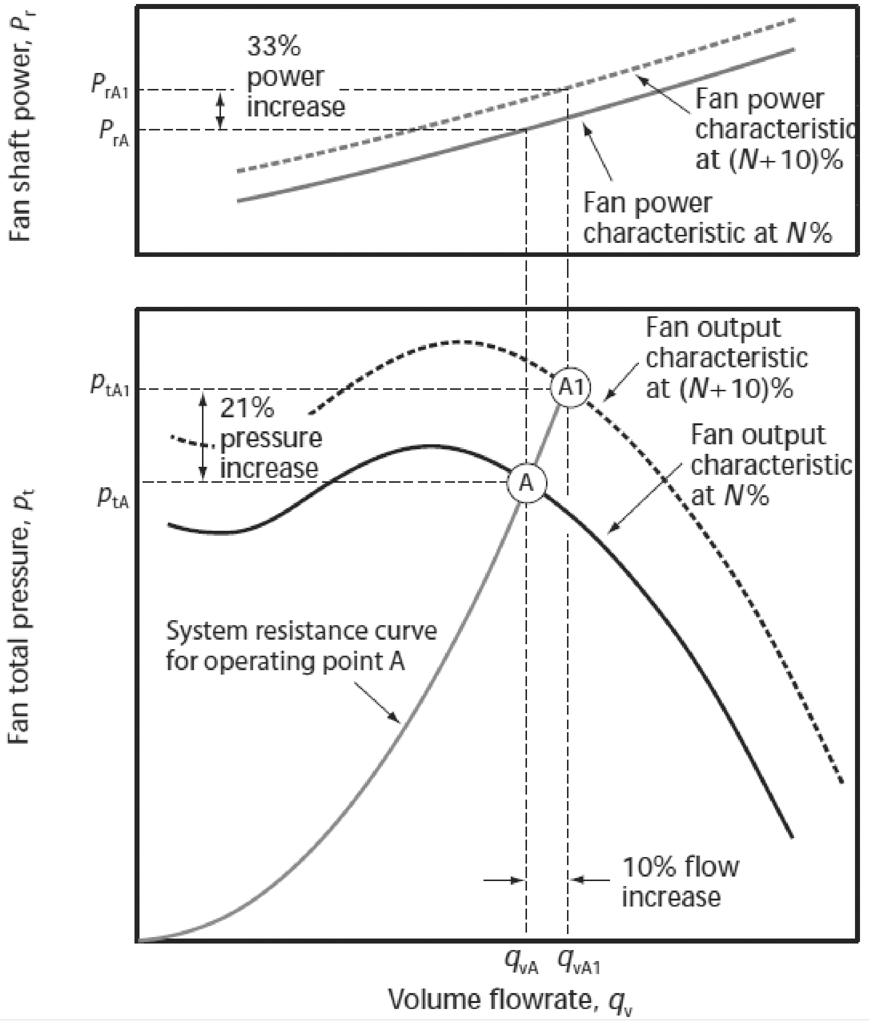
ပုံ ၆-၅၄ Typical operating point



ပုံ ၆-၅၅ Unacceptable operating point

အထက်ပါပုံ(၆-၅၅)သည် backward inclined centrifugal fan တစ်လုံး၌ တွေ့ရလေ့ရှိသော fan curve ဖြစ်သည်။

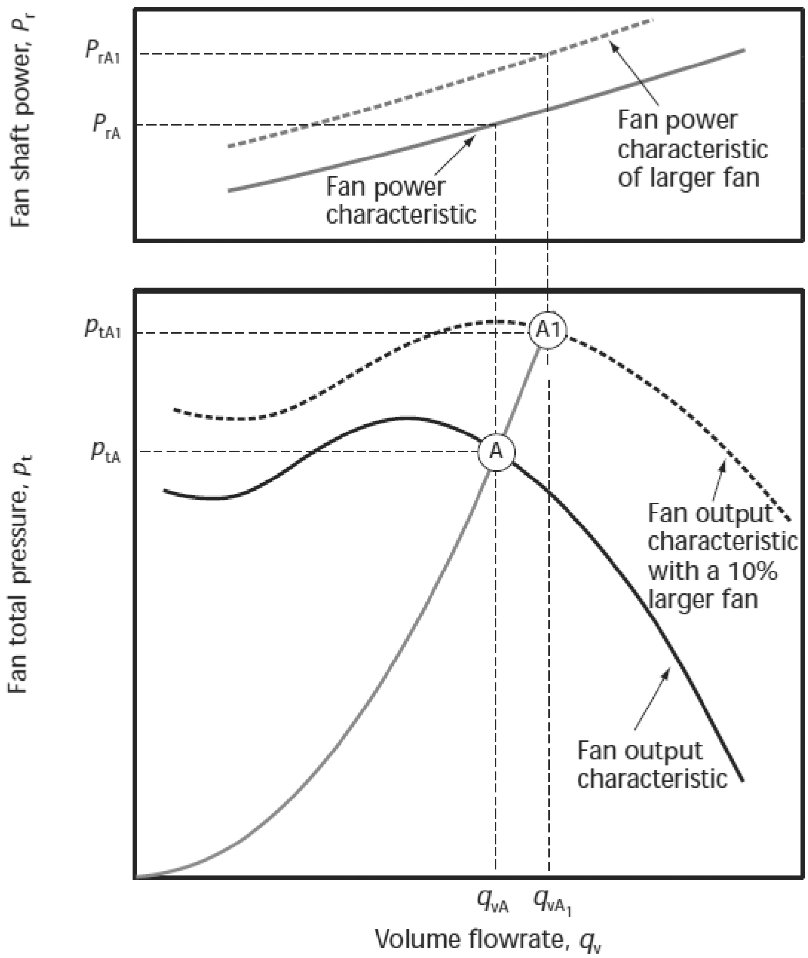
Fixed air system တစ်ခု၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure loss)သည် volume flow rate ၏ နှစ်ထပ်ကိန်းဖြင့် အချိုးကျသည်။ ထို air system ကို fan ဖြင့် တပ်ဆင်၍ မောင်းလိုက်လျှင် fan က ထုတ်ပေးနိုင်သည့် ဖိအား(pressure)နှင့် system ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ပမာဏတူညီသည့်နေရာတွင် fan သည် ပုံမှန်မောင်းနေ လိမ့်မည်။ ထိုနေရာသည် system resistance curve နှင့် fan curve တို့ ဖြတ်သည့်နေရာ (intersection point)ဖြစ်သည်။ ထို point သည် operating point ဟုခေါ်သည့် point A ဖြစ်သည်။



ပုံ ၆-၅၆ မြန်နှုန်း(speed) များခြင်းကြောင့် fan performance ပြောင်းလဲပုံ

အကယ်၍ လေထုထည်စီးနှုန်း(volume flow rate) ၁၀% ပိုများလိုပါက fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို ၁၀% ပိုများအောင် ပြုလုပ်ပေးခြင်းဖြင့် ရရှိနိုင်သည်။ ထိုအခါ duct အတွင်း၌ ဖိအား(pressure) ၂၁% ပိုများလာလိမ့်မည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေခုခံအား(system resistance) ၂၁% ပိုများလာလိမ့်မည်။

Fan ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှုန်း(power consumption)လည်း ၃၃% ပိုများလာလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် လေစီးနှုန်း(volume flow rate) ၁၀% ပိုများစေရန်အတွက် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှုန်း(power consumption) ၃၃% ပိုပေးရသည်။ ထို့အတူ ပိုနေသည့် volume flow rate 10% ကိုလျှော့ချနိုင်လျှင် စွမ်းအင် ချွေတာမှု(power saving) ၃၃% ဖြစ်နိုင်သည်။



ပုံ ၆-၅၇ အရွယ်အစား(diameter) ၁၀% ပိုကြီးသောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် fan curve

လေစီးနှုန်း(air flow rate) ပိုများများ ရရန်အတွက် အရွယ်အစား(diameter) ပိုကြီးသည့် impeller ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)များလာခြင်း သို့မဟုတ် fan diameter ကြီးခြင်းကြောင့် fan curve အသစ်တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာကာ operating point အသစ်တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည်။

အထက်ပါပုံသည် အရွယ်အစား(diameter) ၁၀% ပိုကြီးသည့် fan ၏ အရွယ်အစား သို့မဟုတ် impeller ၏ အရွယ်အစား ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် fan curve ပြောင်းလဲသွားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

လေသိပ်သည်းဆ(air density)ပြောင်းခြင်းကြောင့် fan curve နှင့် လေခုခံအား(system resistance) တို့ ပြောင်းလဲ သွားလိမ့်မည်။

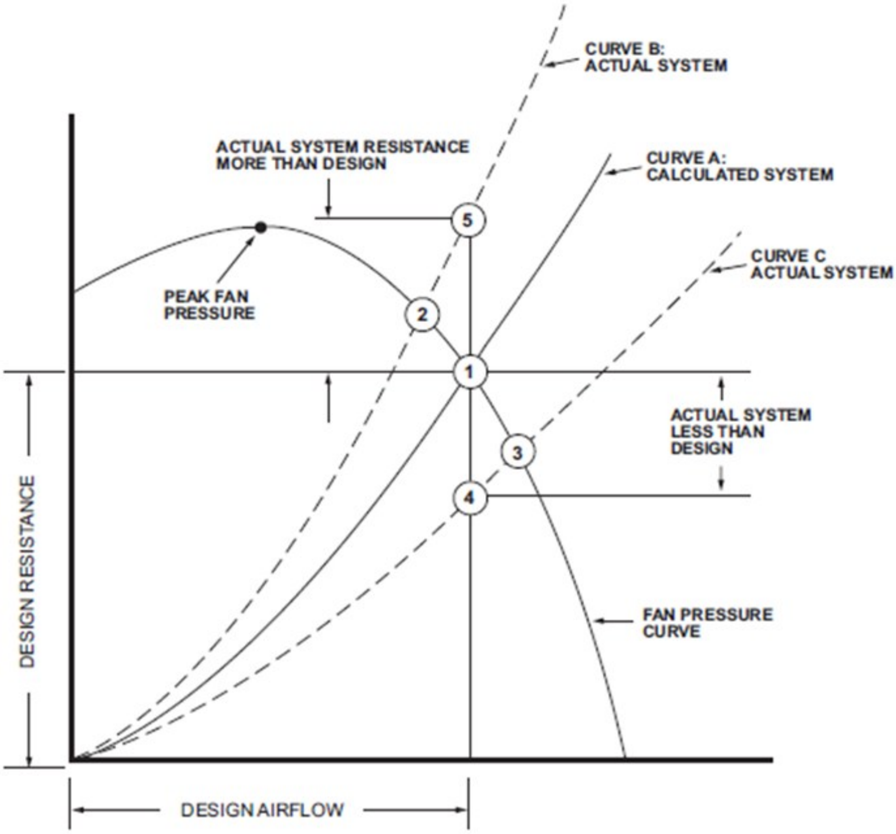
(က) လေစီးနှုန်း(flow rate)တစ်ခု၌ fan pressure သည် လေသိပ်သည်းဆ(air density)ကို လိုက်၍ အချိုးညီ ပြောင်းလဲသည်။

(ခ) System pressure loss သည် လေသိပ်သည်းဆ(air density) နှင့် အချိုးညီ လိုက်ပြောင်းလဲသည်။

ထိုကဲ့သို့ system အတွင်း ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို လေခုခံအား(system resistance) ဟု ခေါ်သည်။ ထိုဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ပမာဏသည် လေအလျင်(velocity) နှစ်ထပ်ကိန်း(square of the velocity)ဖြင့် ညီမျှသည်။ လေစီးနှုန်း(flow rate)ကို နှစ်ဆ များအောင်ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် fan မှ ထည့်ပေးရသည့် စွမ်းအင်(power)သည် ရှစ်ဆခန့် ပိုများလာလိမ့်မည်။ (constant system နှင့် constant air density အတွက်သာမှန်သည်။) အကယ်၍ damper ကို ပိတ်လိုက်ပါက ထို fan law သည် မမှန်တော့ပေ။

၆.၁၄ Design Operating Point and Actual Operating Point

Duct system များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် ဖိအား(pressure) နှင့် လေစီးနှုန်း(air flow) ကို အခြေခံ၍ fan များကို ရွေးချယ်ကြသော်လည်း ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် လေခုခံအား(system resistance) နှင့် actual system resistance တို့သည် တူညီလေ့မရှိပေ။



ပုံ ၆-၅၈ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် လေခုခံအား(design system resistance) နှင့် actual system resistance

System curve A သည် calculated system (design system) curve ဖြစ်သည်။

Operating Point 1 (Design Operating Point)

Fan curve နှင့် system curve A (design) တို့ဖြတ်သည့်အခါ operating point 1 ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို point ကို design operating point ဟုခေါ်သည်။ Design operating point သည် စာရွက်ပေါ်တွင် တွက်ချက်ကာ ရေးဆွဲထားသည့် point ဖြစ်သော ကြောင့် actual system resistance နှင့် တူညီလေ့မရှိပေ။

Operating Point 2 (Actual System Resistance > Design System Resistance)

Actual system resistance သည် design system resistance ပိုများလျှင် actual system resistance curve B ဖြစ်ပေါ်လာ လိမ့်မည်ဖြစ်သည်။ ထိုအခါ operating point 2 ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည်။ Operating point 2 သည် design condition ထက် resistance ပိုများပြီး လေစီးနှုန်း(flow) နည်းသည်။

Operating Point 3 (Actual System Resistance < Design System Resistance)

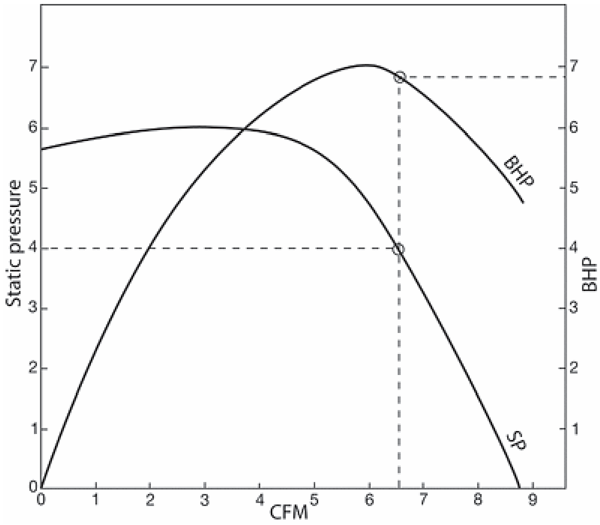
Actual system resistance သည် design system resistance ပိုနည်းလျှင် actual system resistance curve C ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည် ဖြစ်သည်။ ထိုအခါ operating point 3 ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည်။ operating point 3 သည် design condition ထက် လေခုခံအား(resistance) ပိုနည်းပြီး လေစီးနှုန်း(flow) ပိုများသည်။

Operating Point 4

Actual system resistance သည် design system resistance ပိုနည်းပြီး design flow ကို ရလိုလျှင် operating point 4 တွင် မောင်းရမည်။ Point 4 မောင်းရန်အတွက် (operation point ဖြစ်ရန်အတွက်) fan curve ကို ရွှေ့သွားအောင် လုပ်ပေးရန် လိုသည်။

Operating Point 5

Fan များကို လေထွက်အား ကောင်းမကောင်းဖြင့်သာ တိုင်းတာ ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ Actual system resistance သည် design system resistance ပိုများပြီး design flow ကို ရလိုလျှင် operating point 5 တွင် မောင်းရမည်။



ဤပုံသည် typical static pressure/hp curve, backward-inclined centrifugal fan curve နှစ်ခုကို graph တစ်ခုပေါ်တွင် တင်၍ ဆွဲထားခြင်း ဖြစ်သည်။

Fan curve တစ်ခုမှာ လေစီးနှုန်း(air flow) [CFM] နှင့် static pressure(inch wg)ကို တည်၍ ဆွဲထားခြင်းဖြစ်ပြီး နောက်တစ်ခုမှာ လေစီးနှုန်း(air flow) [CFM] နှင့် သုံးစွဲသည့် power(BHP)ကို တည်၍ ဆွဲထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Graph တစ်ခုပေါ်တွင် fan curve နှင့်သက်ဆိုင်သည့် လိုင်းပေါင်းများစွာ ဆွဲနိုင်သည်။

ပုံ ၆-၅၉ လေစီးနှုန်း(air flow) [CFM] နှင့် သုံးစွဲသည့် power(BHP)

Fan curve အသုံးပြုသည့် ဥပမာ -

ပုံ(၆-၅၉)တွင် ပြထားသည့် fan curve သည် backward-inclined centrifugal fan တစ်ခု၏ curve ဖြစ်သည်။ Curve အရ 6,500 CFM(horizontal axis)ဖြင့် မောင်းသည့် အခိုက်၌ static pressure 4.0 inch wg (ဘယ်ဘက် vertical axis မှဖတ်သည်)ကို ရရှိနိုင်ပြီး 6.9 BHP (ညာဘက် vertical axis မှဖတ်သည်)ကို သုံးစွဲသည်။

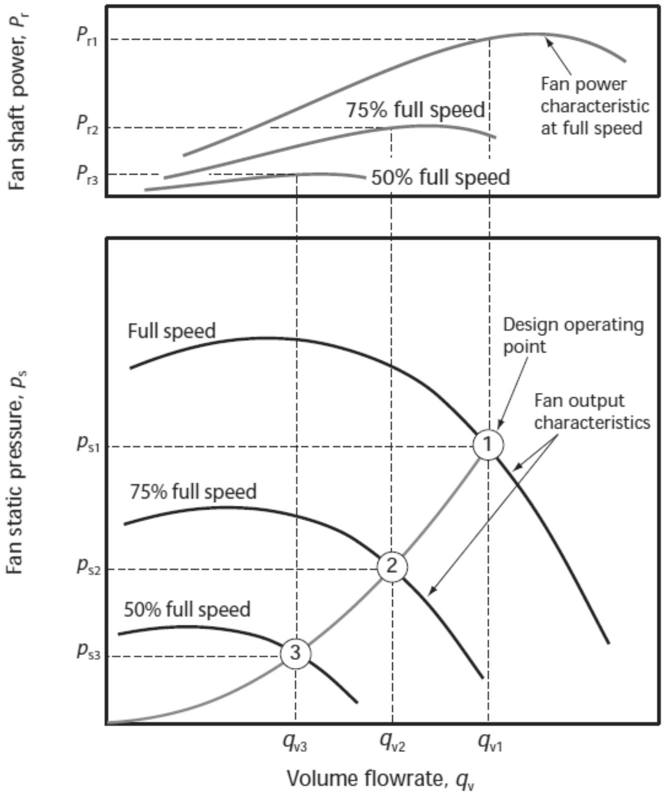
ယေဘုယျအားဖြင့် fan curve တစ်ခုတွင် လေစီးနှုန်း(air flow)[CFM] များလာလေ static pressure[inch wg] နည်းလာလေ ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် fan curve သည် ဘယ်ဘက်အမြင့် တစ်နေရာမှ ညာဘက်သို့ နိမ့်ဆင်း သွားသည်။

၆.၁၅ Fan Control

ယေဘုယျအားဖြင့် အဆောက်အဦ တစ်ဖက်မှ တခြားတစ်ဘက်သို့ မလိုအပ်ဘဲ 1 liter/second နှုန်း ရှိသည့် လေများကို ရွှေ့သွားအောင်ပြုလုပ်လျှင် 2 watt ခန့်မျှသော လျှပ်စစ်ဓာတ်အား(electrical power) အလဟဿ ဆုံးရှုံးမှုဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦအတွင်းမှ အေးအောင်ပြုလုပ်ပြီးသည့်လေများ ကို စွန့်ထုတ်ပစ်ရန် (discharge လုပ်ရန်) လိုအပ်လျှင်လေ 1 liter/second တိုင်းအတွက် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား 16 watt ဆုံးရှုံးသည်။ 1 liter/second နှုန်းရှိသည့် လေအေး(cold air)များ စွန့်ထုတ်(discharge)လျှင် 1 liter/second ရှိသည့် outdoor air (outside temperature)ကို အေးအောင်ပြုလုပ်ပြီးမှ အဆောက်အဦ အတွင်းသို့ ထည့်ပေးရသည်။

ထို့ကြောင့် fan များကို မလိုအပ်ဘဲ အလွန်များသည့် လေစီးနှုန်း(volume flow rate)ဖြင့် မောင်းရန် မသင့်လျော်ပေ။

Fan ၏ လေစီးနှုန်း(volume flow rate)ကို လျော့ချလျှင် fan ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုလည်း လျော့ကျသွားသည်။ ရေငွေ့ပါဝင်မှုနှုန်း နှင့် စက်ပစ္စည်းများ ပျက်စီးနှုန်းလည်း လျော့နည်း သွားလိမ့်မည်။



ပုံ ၆-၆၀ မြန်နှုန်း(speed) ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် fan curve အသစ် ဖြစ်ပေါ်လာခြင်း

Designer များ၊ consultant များက fan များကို အမှန်တကယ်မောင်းမည့် လေထုထည်(flow)နှင့် ဖိအား(pressure)ထက် အနည်းငယ် ပိုများအောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားကြသည်။ တပ်ဆင်သည့်အခါ၌ တွေ့ကြုံရမည့် အခက်အခဲများ၊ မျှော်လင့်မထားသည့် ပြဿနာများကို ဖြေရှင်းကျော်လွှားရန်အတွက် safety factor အဖြစ် အပို ထားရှိခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့အပြင် fan များကို တွက်၍ရသည့် လေထွက်နှုန်း(capacity)အတိုင်း ဝယ်ယူရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

Fan ထုတ်လုပ်သူများ ရောင်းချသည့် အရွယ်အစားအတိုင်းသာ ဝယ်ယူ တပ်ဆင်ရသည်။ ထို့ကြောင့် တပ်ဆင်ထားသည့် fan များသည် အမှန်တကယ် လိုအပ်သည်ထက် ပို၍ ကြီးမားသောကြောင့် စနစ်တကျ control လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

Fan ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို ထိန်းချုပ်(control)နိုင်သည့် နည်းများ

(က) Damper modulation နည်း

(ခ) Inlet vanes modulation နည်း (Fan blade/air geometry ပြောင်းပေးခြင်း)

(ဂ) Blade pitch modulation နည်း

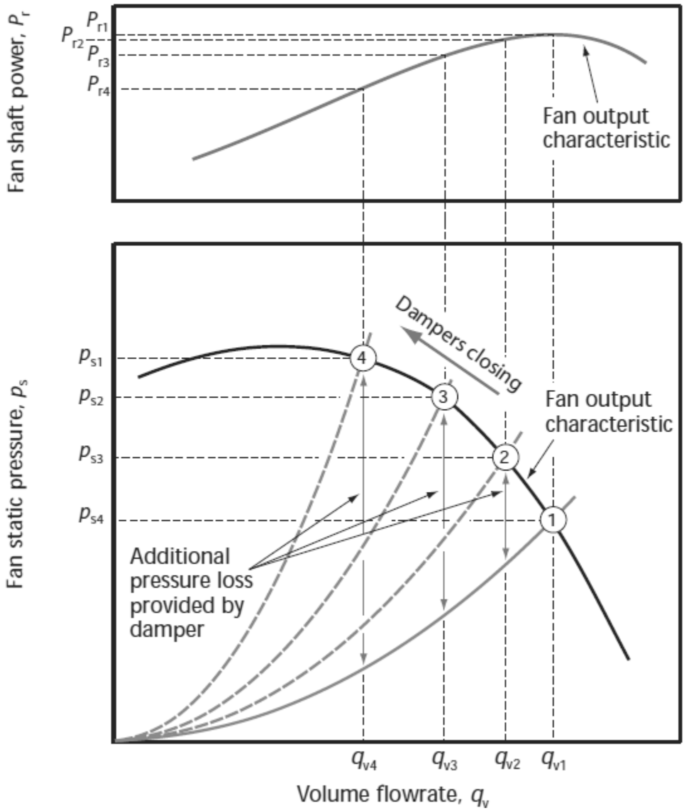
(ဃ) System geometry ပြောင်းပေးခြင်း (flow control by system damper regulation) နှင့်

(င) မြန်နှုန်း(speed)ကို လိုသလို ပြောင်းပေးခြင်း(flow control by speed regulation) တို့ ဖြစ်သည်။

၆.၁၅.၁ မြန်နှုန်း(Speed) ပြောင်း၍ Control လုပ်ခြင်း (Flow Control by Speed Regulation)

Fan ၏ မော်တာ မြန်နှုန်း(speed)ကို ပြောင်းပေးခြင်းသည် အကောင်းဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ AC induction မော်တာ၏ မြန်နှုန်း(speed)သည် supply frequency နှင့် pole အရေအတွက် ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Variable Speed Drive(VSD) သို့မဟုတ် Variable Frequency Drive(VFD) တပ်ဆင်၍ fan မြန်နှုန်း(speed)ကို လိုသလို ပြောင်းလဲနိုင်သည်။ စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving)ဖြစ်ရန် အတွက် အကောင်းဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။

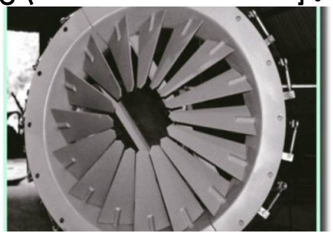
၆.၁၅.၂ System Damper ဖြင့် Control လုပ်ခြင်း(Flow Control by System Damper Regulation)

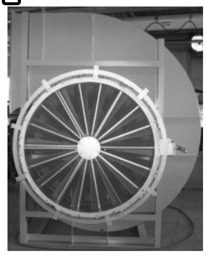


ပုံ ၆-၆၁ Flow control by system damper regulation

Backward bladed centrifugal fan ဖြစ်ပြီး မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed) ဖြင့်မောင်းနေသည်။

၆.၁၅.၃ Inlet Louver Damper နှင့် Inlet Guide Vane (IGV) ဖြင့် Control လုပ်ခြင်း





ပုံ ၆-၆၃ Inlet Guide vane

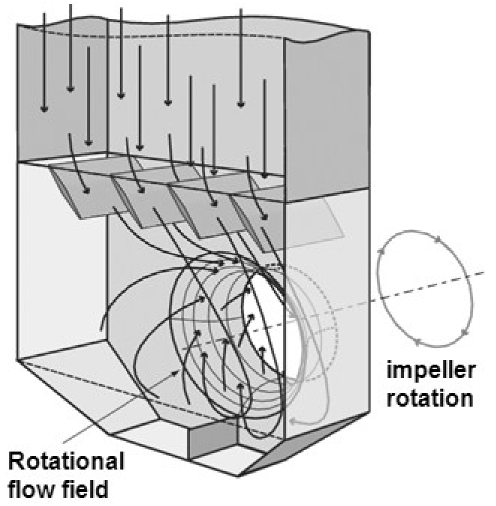
ပုံ ၆-၆၄ Inlet Guide vane

> Centrifugal fan ဖြင့် မောင်းသည့် duct system တစ်ခု၌ ဖြစ်ပေါ်သော ခုခံအား(system resistance)မပြောင်းလဲလျှင် centrifugal fan ၏ လေစီးနှုန်း(volume flow) မပြောင်းလဲပေ။

သို့သော် တစ်ခါတစ်ရံ centrifugal fan များကို part load condition များ၌ မောင်းရန် လိုအပ်သည်။

Part load condition များ၌ မောင်းလိုလျှင် inlet louver သို့မဟုတ် damper သို့မဟုတ် inlet guide vane control ကို အသုံးပြု၍ fan ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို လျှော့ချနိုင်သည်။

Inlet guide vane ကို impeller eye ၏ အရှေ့တည့်တည့် နေရာ၌ တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် လေများသည် တစ်ညီတစ်ညာတည်း impeller လည်နေသည့် ဦးတည်ရာ(direction)အတိုင်း impeller အတွင်းသို့ ဝင်သွားလိမ့်မည်။ Inlet louver များကို inlet box ၏ အဝ၌ တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။

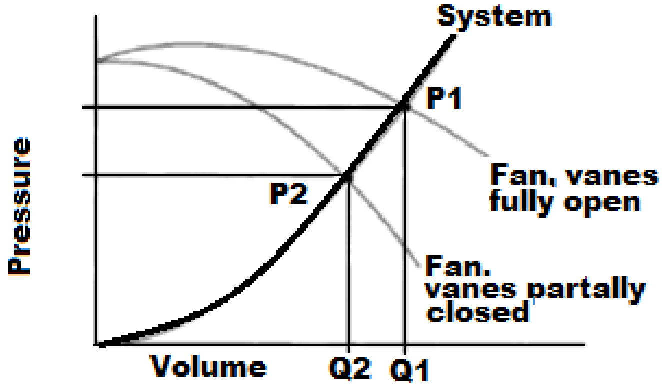


Guide vane ကို ပိတ်ခြင်းဖြင့် fan ၏ ဖိအား(pressure)နှင့် လေစီးနှုန်း(volume flow rate) ကိုလျှော့နည်းသွား စေနိုင်သည်။ Fan အဝ(outlet)၌ ရှိသော damper ကို ပိတ်ခြင်းဖြင့်လည်း လေစီးနှုန်း(volume flow rate)ကို လျှော့ချနိုင်သည်။ သို့သော် fan pressure မြင့်တက် လာလိမ့်မည်။ ထိုအခါ fan ၏ operating point သည် stall ဖြစ်မည့် နေရာသို့ ချဉ်းကပ်သွားလိမ့်မည်။

Inlet guide vane ကို အသုံးပြု၍ fan ၏ လေစီးနှုန်း (volume flow rate)ကို လျှော့ချခြင်းသည် fan မောင်းရန်အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအင်(power)ကိုလည်း လျှော့နည်း သွားစေနိုင်သည်။

ပုံ ၆-၆၂ Pre-rotation of inlet air by dampers

Inlet guide vane ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော လေဖိအားဆုံးရှုံးမှု(loss)သည် inlet damper ကြောင့်ဖြစ်သော လေဖိအား ဆုံးရှုံးမှု(loss)ထက် ပိုနည်းသောကြောင့် inlet guide vane ကို အသုံးပြုခြင်းဖြင့် စွမ်းအင် သက်သာခြင်း(power saving)နှင့် ကုန်ကျစရိတ် ချွေတာနိုင်ခြင်း(cost saving)စသည့် အကျိုး ကျေးဇူးများ ရစေနိုင်သည်။



ဘေးပုံသည် centrifugal fan တစ်လုံးတွင် တပ်ဆင်ထားသော inlet guide vane များ ပိတ်ခြင်း ဖွင့်ခြင်း ဖြင့် fan curve ပြောင်းလဲ သွားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ **Point P1** သည် guide vane များ လုံးဝ ပွင့်နေသည့် အခိုက်တွင် ဖြစ်ပေါ် လာသည့် fan curve ဖြစ်သည်။ ထိုအခိုက် ၌ fan သည် လေစီးနှုန်း(air flow rate) Q1 နှင့် Pressure P1 ကိုထုတ်ပေးနိုင်စွမ်း ရှိသည်။

ပုံ ၆-၆၅ Guide vane အပြည့်ပွင့်ခြင်း(fully open) နှင့် တစ်ဝက်ပွင့်ခြင်း(partially open)

Point P2 သည် guide vane အနည်းငယ်သာ ပွင့်နေသည့် အခိုက်တွင် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် operating point ဖြစ်သည်။ ထိုအခိုက် ၌ fan သည် လေစီးနှုန်း(flow rate) Q2 နှင့် ဖိအား(pressure) P2 ကို ထုတ်ပေးနိုင်စွမ်း ရှိသည်။ Guide vane လုံးဝ ပွင့်နေချိန်တွင် ရရှိနိုင်သည့် လေစီးနှုန်း(flow rate) Q1 နှင့် P1 သည် guide vane အနည်းငယ်သာ ပွင့်နေချိန်တွင် ရရှိနိုင်သည့် လေစီးနှုန်း(flow rate) Q2 နှင့် P2 ထက် ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် inlet guide vane များကို centrifugal fan များတွင် flow control လုပ်ရန်အတွက် တပ်ဆင်ကြသည်။

Fan ၏ Inlet Guide Vane(IGV) ပိတ်ခြင်း၊ ပွင့်ခြင်း နှင့် duct system မှ damper ပိတ်ခြင်း ပွင့်ခြင်းတို့ ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ခုခံအား(system resistance) မတူပုံကို ကွဲပြားစွာ နားလည်ရန် လိုသည်။

၆.၁၆ Multiple Fan Systems - Fans in Series and Parallel

Air Conditioning and Mechanical Ventilation တွင် အသုံးပြုသော fan များသည် ဒီဇိုင်း လိုအပ်ချက်အရ ရွေးချယ်ထားသော single fan များ ဖြစ်ကြသည်။ ထို single fan ၏ လေစီးနှုန်း(air flow) အနည်း၊ အများ လိုအပ်ချက်ကို damper များ၊ variable inlet vane များ၊ variable pitch blade များ၊ နှင့် Variable Speed Drive(VSD)များ ဖြင့် ထိန်းချုပ်မောင်းနှင်ကြသည်။ Fan များ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို ရွေးချယ် သတ်မှတ်ရာတွင် နောင်တစ်ချိန်တွင် တိုးချဲ့ရန်(future expansion)နှင့် fan များ ကြာမြင့်စွာ မောင်းနှင်မှုကြောင့် စွမ်းဆောင်ရည် လျော့ကျလာမှု(deterioration) တို့ကိုပါ ထည့်သွင်း စဉ်းစားရန် လိုသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ တစ်လုံးထက် ပိုသည့် fan များကို အတွဲလိုက် တပ်ဆင်ကြသည်။ ဒီဇိုင်း လိုအပ်ချက်များကို လိုက်၍ fan များကို တန်းဆက်(series)ပုံစံ သို့မဟုတ် ပြိုင်ဆက်(parallel)ပုံစံမျိုးဖြင့် တပ်ဆင်ကြသည်။

ထိုသို့ အတွဲလိုက် တပ်ဆင်ရသည့် အကြောင်းမှာ

(၁) Single fan အကြီး တစ်လုံးတည်း တပ်ဆင်ရန် နေရာ မလုံလောက်သောကြောင့်သော်လည်းကောင်း

(၂) တပ်ဆင်ရမည့် နေရာသည် single fan အကြီးတစ်လုံးတည်း၏ အလေးချိန်(weight)ကို မခံနိုင်သောကြောင့် သော်လည်းကောင်း

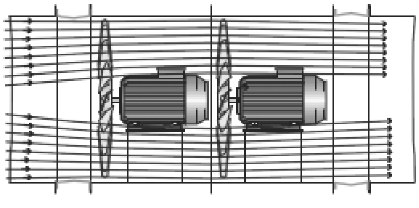
(၃) လိုအပ်သည့် ဒီဇိုင်း operating range သည် single fan တစ်လုံးဖြင့် မောင်း၍ မရနိုင်လောက်အောင် ကျယ်ပြန့်နေသောကြောင့် သော်လည်းကောင်း

(၄) အထူးသဖြင့် အချိန်ကြာမြင့်စွာ လေစီးနှုန်းနည်းနည်း(very low flow rates)ဖြင့် မောင်းရန် လိုအပ်သည့် အခါ single fan ၏ ကုန်ကျစရိတ်(cost of operation) အလွန်များသောကြောင့် multiple fan များ မောင်းခြင်းဖြင့် ကုန်ကျစရိတ်ကို ချွေတာရန်အတွက် သော်လည်းကောင်း

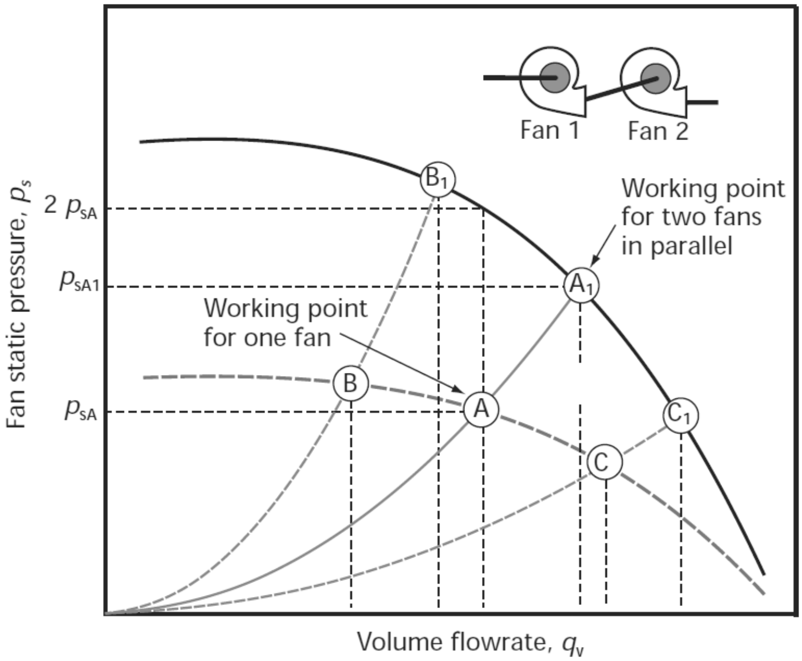
(၅) လေစီးနှုန်း(flow rate)များများ ရရန်အတွက် သော်လည်းကောင်း

Critical system များ(computer room etc..)မီးလောင်သည့်အခါ ရုတ်တရက် ချက်ခြင်း လေစီးနှုန်း များများ(high air flow)ရရှိရန် ရည်ရွယ်တပ်ဆင်သည်။ Basement car park များတွင် သာမန်အချိန် ventilation အတွက် လေလဲနှုန်း(၆)ဆ(6 air change per hour)လိုအပ်ပြီး "**Fire Mode**" တွင် smoke purging လုပ်ရန်အတွက် လေလဲနှုန်း(၁၀)ဆ(10 air change per hour) လိုအပ်သည်။ ထိုအခြေအနေ နှစ်မျိုးအတွက် ဖိအား(pressure)တူသည့် fan နှစ်လုံးကို ပြိုင်ဆက်(parallel)ပုံစံဖြင့် တပ်ဆင်လေ့ ရှိသည်။

(၆) Fan များ မောင်းသည့်အခါ ဆူညံသံ ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ ထို အသံဆူညံမှု(noise level)များကို ထိန်းချုပ်ရန်အတွက် single fan အစား fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(series)ပုံစံ တပ်ဆင်ပြီး(2 fans in series)မောင်းနှင်ကြသည်။ 2 fans in series တွင် fan တစ်လုံးသည် လိုအပ်သည့်ဖိအား(pressure)၏ တစ်ဝက်ကိုသာ တာဝန်ယူရသည်။

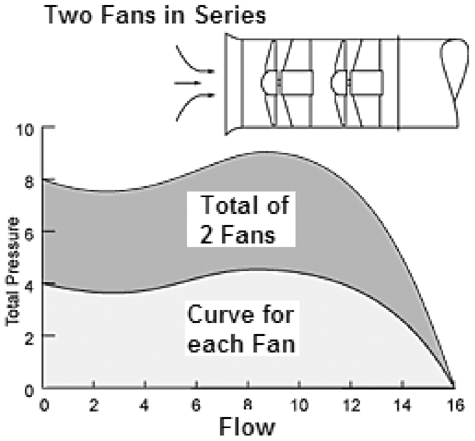


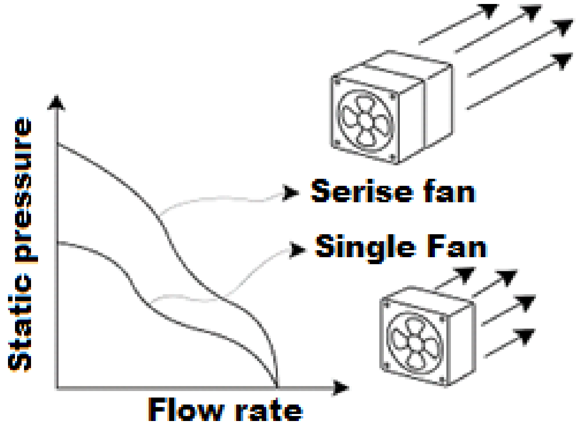
အားလုံးတူညီနေသည့် fan နှစ်လုံးကို အပြိုင်ပုံစံ (parallel)ဖြင့် တပ်ဆင်၍ မောင်းလျှင် လေစီးနှုန်း(volume flow rate) နှစ်ဆ ရရှိမည်။ သို့သော် လေခုခံအား(system resistance) များလာခြင်းကြောင့် လက်တွေ့တွင် လေစီးနှုန်း(volume flow rate) နှစ်ဆ မရနိုင်ပေ။



ပုံ ၆-၆၅ Characteristic for two fans in series

အထက်ပါပုံသည် axial fan နှစ်လုံးကို contra-rotating axial fan များအဖြစ် တပ်ဆင်ထားပုံဖြစ်သည်။ ပုံ(၆-၆၅) တွင် ပြထားသည်သည့်အတိုင်း fan တစ်လုံးတည်းသာ မောင်းသည့်အချိန်၌ point A သည် operating point ဖြစ်သည်။ အားလုံးတူညီသည့် နောက်ထပ် fan တစ်လုံး ထပ်၍ မောင်းလျှင် operating point သည် point A မှ A1 သို့ ရွှေ့သွားသည်။





ပုံ ၆-၆၇ Series fan and Single fan operation ပုံ ၆-၆၈ Series fan and Single fan operation

Fan များကို တန်းဆက်(fans in series)ပုံစံဖြင့် တပ်ဆင်လျှင် fan နှစ်လုံးသာ တပ်ဆင်ကြသော်လည်း ပြိုင်ဆက်(fans in parallel)ပုံစံဖြင့် နှစ်လုံးထက်မကသော fan များကို တပ်ဆင်နိုင်သည်။ ပြိုင်ဆက်(fans in parallel)ပုံစံတွင် plenum box ကိုပါ အတူတကွ တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။

Fan တစ်လုံးချင်းတွင် ကိုယ်ပိုင် fan curve ရှိသလို တန်းဆက်(fans in serie)ပုံစံ အတွက် သီးသန့် curve တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ ပြိုင်ဆက်(fans in parallel)ပုံစံအတွက်လည်း သီးသန့် fan curve တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ Fan curve တစ်ခုချင်းအနေဖြင့် stable ဖြစ်သည့် နေရာတွင် ရွေးချယ်ထားသော်လည်း fan များ အားလုံးကို system အနေဖြင့် ပေါင်းလိုက်သည့်အခါ stable မဖြစ်သည့် surge area သို့မဟုတ် stall ဖြစ်သည့်နေရာသို့ ရောက်သွား တတ်သည်။

၆.၁၆.၁ Two Fans in Series (Fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်ပုံစံဖြင့် တွဲဆက်ထားခြင်း)

AMCA rating ၏ သတ်မှတ်ချက် အရ fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(series)ပုံစံဖြင့် တွဲဆက်တပ်ဆင်ထားသည့် အခါ fan တစ်လုံးအဖြစ်(single unit) သတ်မှတ်ပြီး တွက်ချက်ကြသည်။

Fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(series)ပုံစံဖြင့် တပ်ဆင်၍ မောင်းလျှင် တစ်လုံးချင်းစီ၏ လေစီးနှုန်း(air flow) သည် နှစ်လုံးပေါင်းထားသည့် fan ၏ လေစီးနှုန်း(air flow)နှင့် တူညီသည်။ သို့သော် series fan နှစ်လုံးပေါင်း၏ ဖိအား(total pressure)သည် တစ်လုံးချင်းစီ၏ total pressure နှစ်ခုပေါင်းခြင်းနှင့် ညီမျှသည်။

Fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(2 fans in series)ပုံစံဖြင့် တပ်ဆင်လျှင် fan နှစ်လုံးပေါင်း ၏ static pressure ဟုဖော်ပြမည့်အစား total pressures ဖြင့်သာ ဖော်ပြသင့်သည်။ Fan နှစ်လုံး၏ အရွယ်အစား မတူညီခြင်း သို့မဟုတ် ထို fan ဖြင့် တပ်ဆင်သည့် duct အရွယ်အစားသည် မတူညီခြင်း တို့ကြောင့် ဖြစ်သည်။

Fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(series)ပုံစံဖြင့် တပ်ဆင်ထားလျှင် "push-pull arrangement" ပုံစံမျိုး ဖြစ်သည်။ Fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(series)ပုံစံ တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် static pressure နှစ်ဆ ရရှိနိုင်သည်။ သို့သော် operating point တိုင်းတွင် static pressure နှစ်ဆ မရနိုင်ပါ။ Fan curve အရ လေစီးနှုန်း(flow rate) များလာလေ static pressure နည်းလာလေ ဖြစ်သည်။ လေခုခံအားများသည့်(high resistance) system သို့မဟုတ် low flow system များသည် 2 fans in series နှင့် သင့်လျော်သည်။

Two fans in series တစ်စုံ အတွက် ရိုးရှင်းလွယ်ကူသော ရွေးချယ်နည်းမှာ

(၁) System ၏ လိုအပ်သော ဖိအား(total pressure)ကို အရင်ရှာပါ။ သို့မဟုတ် သတ်မှတ်ပါ။

$$\textit{Total pressure} = \textit{Velocity pressure} + \textit{Static pressure}.$$

(၂) Axial fan သို့မဟုတ် inline fan တစ်လုံးချင်းစီ၏ လေစီးနှုန်း(flow rate)သည် fan နှစ်လုံးပေါင်း (system)၏ လေစီးနှုန်း(flow rate)နှင့် တူညီသည်။ Axial fan သို့မဟုတ် inline fan တစ်လုံးချင်းစီ၏ ဖိအား(total pressure)သည် system ၏ total pressure တစ်ဝက် ဖြစ်သည်။

ထို fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(series)ပုံစံအဖြစ် တပ်ဆင်သည့်အခါ လေခုခံအား(system resistance) ကို ထည့်စဉ်းစားရန် လိုသည်။ ထိုကဲ့သို့ တပ်ဆင်လျှင် fan တစ်လုံးချင်းစီ(individual)၏ စွမ်းဆောင်ရည် (performance)သည် မတူညီနိုင်ပါ။ ထို fan နှစ်လုံးသည် တူညီသော mass flow ဖြင့်သာ လည်ပတ်နေပြီး တူညီသော လေထုထည်စီးနှုန်း(volumetric flow rate)ဖြင့် လည်ပတ်နေခြင်း မဟုတ်ပေ။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် fan တစ်လုံးချင်းစီ၌ အဝင်ဖိအား(inlet absolute pressure) နှင့် အပူချိန် (temperature)တို့ မတူညီနိုင်သောကြောင့် inlet density လည်း မတူညီကြပေ။

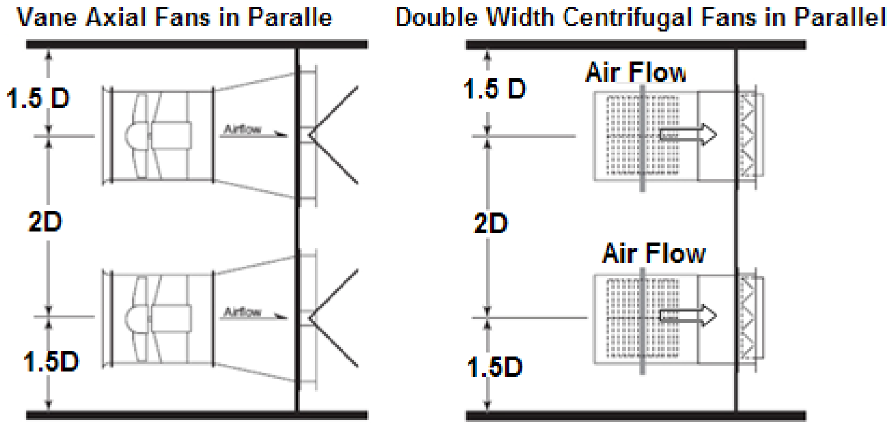
ထိုကဲ့သို့ လေသည် ရောက်ရှိသည့်နေရာကို လိုက်၍ ဖိအား(pressures) ၊ အပူချိန်(temperatures) နှင့် ထုထည်(volume)တို့ ပြောင်းလဲနေသည်အခါ သင့်လျော်သည့် fan ကို ရွေးချယ်ရန်အတွက် အခက်အခဲများနှင့် ရင်ဆိုင် ရလေ့ရှိသည်။ System ၏ ဖိအား(total pressure) နှင့် ရွေးချယ်မည့် fan ၏ ဖိအား(total pressure) ကို ညီအောင် ရွေးချယ်ရန် လိုအပ်သည်။

၆.၁၆.၂ Two Fans in Parallel (Fan နှစ်လုံးကို ပြိုင်ဆက်(parallel)ပုံစံဖြင့် တွဲဆက်ထားခြင်း)

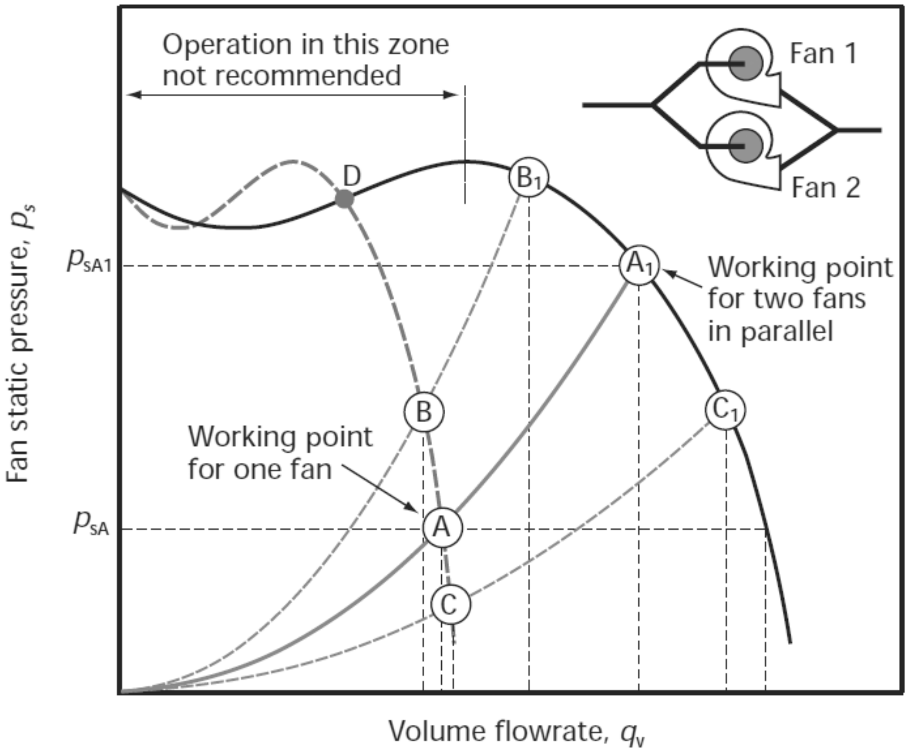
Fan in parallel operation ဆိုသည်မှာ နှစ်လုံးထက်ပိုသော fan များကို ဘေးခြင်းယှဉ်ပြီး ပြိုင်တူမောင်းခြင်း(blowing together side by side)ကို ဆိုလိုသည်။ လေခုခံအား မရှိသည့် free delivery အခြေအနေမျိုးတွင် fan နှစ်လုံး မောင်းသောကြောင့် လေစီးနှုန်း(volume flow) နှစ်ဆ ရရှိနိုင်သော်လည်း လေခုခံအား(system resistance)များလာလေ ရရှိနိုင်သော လေစီးနှုန်း(volume flow) နည်းလာလေ ဖြစ်သည်။ လေခုခံအား နည်းသည့်(low resistance) system များသည် ပြိုင်ဆက်ပုံစံ(fan in parallel)နှင့် သင့်လျော်သည်။ Plenum box များဖြင့် တပ်ဆင်သည် ပြိုင်ဆက်(fans in parallel)ပုံစံကို အများဆုံး တွေ့ရလေ့ ရှိသည်။

Fans in parallel အတွက် fan တစ်လုံးချင်းစီကို ရွေးချယ်ရန် ပိုမိုလွယ်ကူသည်။ System ၏ static သို့မဟုတ် total pressure သည် fan တစ်လုံးချင်းစီ၏ static သို့မဟုတ် total pressure ဖြစ်သည်။ System ၏ total flow rate ကို တပ်ဆင်မည့် fan အရေအတွက်နှင့် စားလျှင် fan တစ်လုံးချင်းစီ၏ လေစီးနှုန်း(flow rate)ကို ရသည်။ သို့သော် ပြိုင်ဆက်(parallel)ပုံစံ တပ်ဆင်ရန် fan များကို ရွေးသည့်အခါ system တစ်ခုလုံး၏ ခုခံအား(resistance)သည် fan curve တစ်ခုချင်းစီ၏ stable ဖြစ်သည့် နေရာတွင် အချိန်တိုင်း (မည်သည့် loading ဖြစ်ပါစေ) ရောက်ရှိနေရန် လိုအပ်သည်။

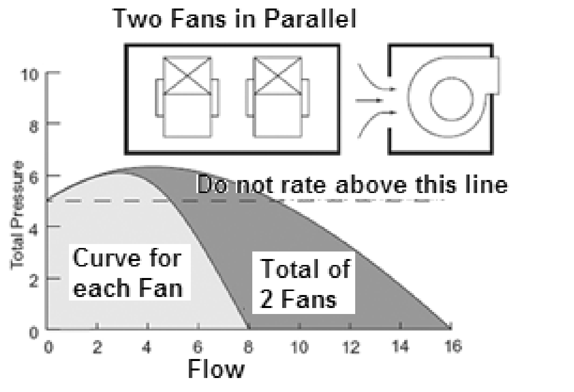
Fan များတွင် ဝန်မညီမျှမှု(unequal loading)ဖြစ်ပေါ် နိုင်သည်။ ထိုအခါ တပ်ဆင်ထားသည့် မော်တာ၌လည်း ဝန်မညီမျှမှု ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Plenum ထဲတွင်လည်း မညီမျှသည့်(unequal) velocity profile ဖြစ်ပေါ်နိုင်ကာ system တစ်ခုလုံးကို ထိခိုက်စေနိုင်သည်။



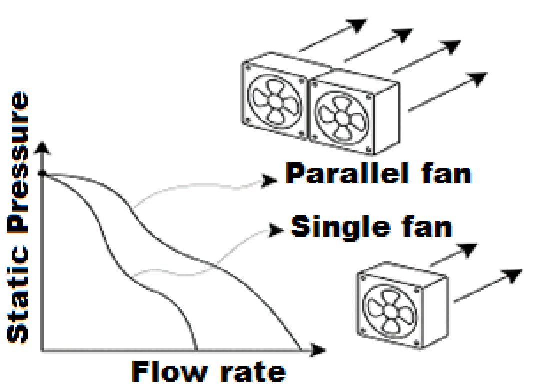
ပုံ ၆-၆၉ Vane axial fans in parallel and double width centrifugal fans in parallel.



ပုံ ၆-၇၀ Characteristic for two fans in parallel



ပုံ ၆-၇၁ Two fans in parallel curve



ပုံ ၆-၇၂ Two fans in parallel curve

၆.၁၆.၃ Additional Consideration

System တစ်ခုတွင် တစ်လုံးထက်ပိုသည့် fan များ တပ်ဆင်ထားသည့် အခါမျိုး၌ fan တစ် လုံးတည်းသာ မောင်းသည့် အခြေအနေ သို့မဟုတ် fan နှစ်လုံး သို့မဟုတ် သုံးလုံး သို့မဟုတ် fan အားလုံးမောင်းသည့်အခါ စသည့် အခြေအနေအမျိုးမျိုးကို ထည့်သွင်းစဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။ ထိုအပြင် fan တစ်လုံး ပျက်သည့်အခါ၊ ပြုပြင် လိုသည့်အခါ၊ fan များကို စတင်မောင်း(start-up)သည့်အခါ စသည့် အခြေအနေ အမျိုးမျိုးကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် system curve နှင့် fan curve သည် stable operating point တစ်နေရာတွင် ဆုံကြသည့်အခါ(intersect)၌ fan များကို စတင်မောင်းသည့်(start-up)အခါဖြစ်စေ သို့မဟုတ် အဆက်မပြတ် မောင်းသည့်အခါဖြစ်စေ(continuous operation) မည့်သည့် ပြဿနာမှ မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။

Centrifugal fan များ သို့မဟုတ် fixed pitch vane axial fan များကို တစ်လုံးချင်းစီ start-up လုပ်နိုင်သည်။ VSD သို့မဟုတ် soft starter များ တပ်ဆင်ထားလျှင် fan အားလုံးကို တစ်ပြိုင်နက် စတင်မောင်း နိုင်သည်။ Fan ကို စတင်မောင်း (start-up)နေစဉ် inlet vane များ သို့မဟုတ် damper များကို ပိတ်ထားခြင်းသည် အကောင်းဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ ထိုသို့ စတင်မောင်း (start-up)နေစဉ် inlet vane များ သို့မဟုတ် damper များကို ပိတ်ထားပြီး လိုအပ်သော မြန်နှုန်း (speed) သို့မဟုတ် full speed သို့ရောက်မှသာ ဖွင့်ခြင်းဖြင့် စွမ်းအင်(horsepower) လိုအပ်မှုကို လျှော့နည်းစေသည်။ စမောင်းနေစဉ် ဖြစ်ပေါ်သည့် starting ampere ကို လျှော့နည်းစေသည်။

Variable pitch vane axials fan curve ၌ အထစ်များ(dips) ရှိနေတတ်သည်။ ထို့ကြောင့် စတင်မောင်းသည့်အခါတွင် blade pitch angle များကို လျှော့ချသင့်သည်။ လိုအပ်သော မြန်နှုန်း(speed)သို့ ရောက်သော အခါမှသာ blade pitch angle ကို ပြန်ဖွင့်ရန် ဖြစ်သည်။ အကောင်းဆုံးသော နည်းသည် ရှိသမျှ multiple fan များ ၏ blade pitch angle များကို ပိတ်ပြီး fan တစ်လုံးချင်းကို စမောင်း(start up)ပါ။ Fan များ အားလုံး အရှိန်ရပြီးနောက် blade pitch angle များကို ပြန်ဖွင့်ရန် ဖြစ်သည်။

Fans in parallel များတွင် မောင်းနေသည့် fan မှ လေများသည် မမောင်းသည့် fan ထဲသို့ မဝင်ရောက်နိုင်ရန် isolation damper များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ ထိုသို့ isolation damper များ တပ်ဆင်ခြင်းကြောင့် စတင်မောင်းစဉ် ဖြစ်ပေါ်တတ်သည့်(shock during start-up) ပြဿနာကိုလည်း ဖယ်ရှား နိုင်သည်။

၆.၁၆.၄ Isolation Damper အမျိုးအစားများ

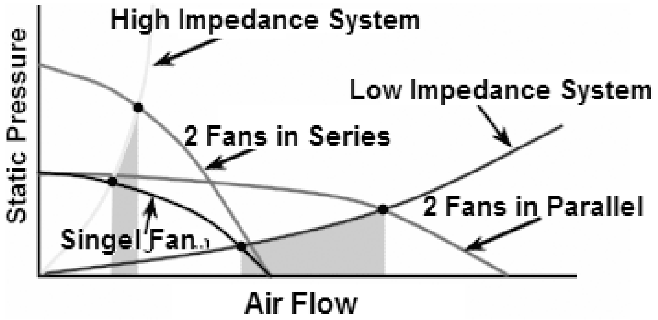
Blower wheel အတွင်းသို့ လေများ နှစ်ဘက်စလုံးမှ ဝင်သည့်(double width) centrifugal fan များအတွက် Backdraft သို့မဟုတ် opposed-blade control damper များကို isolation damper အဖြစ်

အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။ Butterfly damper များသည် tubular inline fans (axial ၊ centrifugal and mixed flow)တွင် အများဆုံး တွေ့ရလေ့ရှိသည်။

Parallel fan များအတွက် isolation damper များကို fan ၏ (upstream ၌ဖြစ်စေ၊ downstream ၌ ဖြစ်စေ) အဝေးဆုံးနေရာတွင် တွေ့ရလေ့ ရှိသည်။ ထိုသို့ အဝေးဆုံးနေရာတွင် ထားရှိခြင်းသည် damper များကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)ကို နည်းနိုင်သမျှ နည်းအောင် လျှော့ချရန် ဖြစ်သည်။

Equipment အားလုံးကို ထိန်းသိမ်းခြင်း(maintenance)နှင့် ပြင်ဆင်ခြင်း(repair) များပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Fans in parallel တွင် fan တစ်လုံးပျက်သည့် တိုင်အောင် တခြားသော fan များကို မောင်းနိုင်အောင် isolation damper များတပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ Isolation damper များ တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် parallel fan တစ်လုံးကို ပြင်ဆင်နေချိန်တွင် အခြား fan တစ်လုံးသည် ဆက်လက် မောင်းနေနိုင်သည်။ တန်းဆက်(serie)ပုံစံ အနေဖြင့် တပ်ဆင်ထားသည့် fan တစ်လုံးသည် မောင်းနေချိန်၌ အခြား fan တစ်လုံးကို ပြုပြင်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

၆.၁၆.၅ Review



ပုံ ၆-၇၃ Series Vs Parallel performance

အထက်ပါ ပုံ(၆-၇၃) အရ high resistance system သို့မဟုတ် high impedance system များသည် 2 fan in series နှင့် သင့်လျော်သည်။ Low resistance system သို့မဟုတ် low impedance system များသည် fan in paralle နှင့် သင့်လျော်သည်။

System တစ်ခုတွင် တစ်လုံးထက်ပိုသည့်(multiple) fan များ တန်းဆက်(series)ပုံစံဖြင့် ဖြစ်စေ သို့မဟုတ် ပြိုင်ဆက်(parallel) ပုံစံဖြင့် ဖြစ်စေ တပ်ဆင်ထားသည့်အခါ အောက်ပါ မေးခွန်းများဖြင့် စစ်ဆေးရန် လိုအပ်သည်။

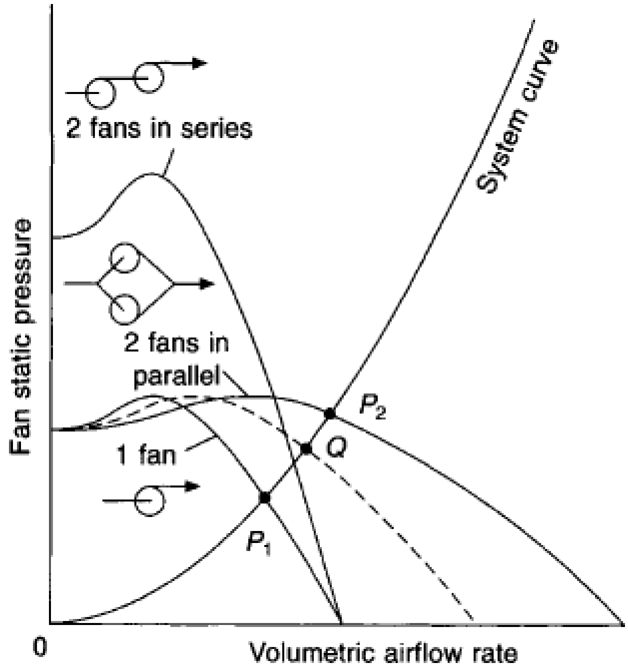
(က) System တစ်ခုလုံး၏ လေစီးနှုန်း(air flow)နှင့် ဖိအား(pressure) လိုအပ်ချက်များသည် fan များ တစ်ခုချင်း သို့မဟုတ် အားလုံးတစ်ပြိုင်နက် မောင်းသည့် အခါ curve ၏ stable ဖြစ်သည့်နေရာတွင် ရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးရန် လိုအပ်သည်။

(ခ) Fan များ၏ အရေအတွက် နှင့် မော်တာလိုအပ်ချက်များ ကိုက်ညီမှု ရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးရန် လိုအပ်သည်။

(ဂ) Isolation damper များသည် fan များ စမောင်းရန်(start up) နှင့် ရပ်နားရန်(shut down) သေချာစွာ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားခြင်း ရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးရန် လိုအပ်သည်။

(ဃ) လက်ခံနိုင်သည့် လေယိုစိမ့်မှု(leakage)ထက် ပိုများခြင်း ရှိ၊မရှိ စစ်ဆေးရန် လိုအပ်သည်။ System တစ်ခုလုံး၏ လိုအပ်ချက်များသည် operating condition အားလုံးနှင့် ကိုက်ညီမှု ရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးရန် လိုအပ်သည်။

(င) Fan များ တစ်လုံးချင်း သော်လည်းကောင်း၊ အားလုံး သော်လည်းကောင်း၊ မောင်းသည် အချိန်တွင် လက်ခံနိုင်သည် အသံဆူညံမှုအဆင့် ထက်ပိုများစေရန် စစ်ဆေးရမည်။

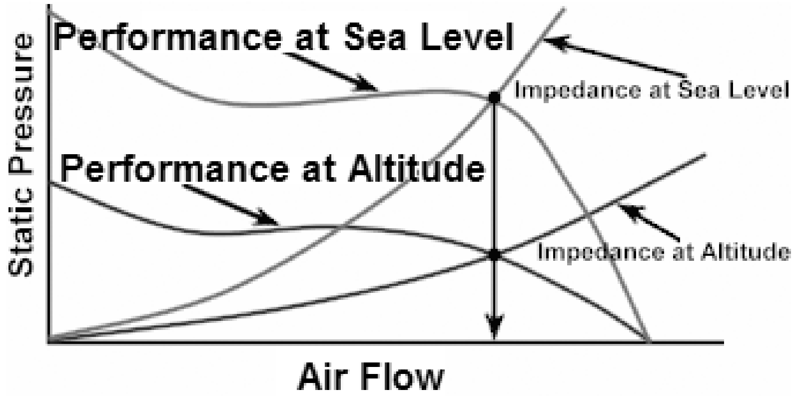


ပုံ ၆-၇၄ 2 fans in series နှင့် 2 fans in paralle

၆.၁၇ လေ၏ သိပ်သည်းဆကြောင့် Fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(Performance)ပြောင်းလဲခြင်း

လေ၏ သိပ်သည်းဆကြောင့် fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ပြောင်းလဲ(density effects on fan performance) သည်။ Fan များသည် constant volume machine များ ဖြစ်ကြသည်။ ထို့ကြောင့် လေ၏ သိပ်သည်းဆ(density) မည်မျှပင် ဖြစ်ပါစေ တူညီသော CFM သို့မဟုတ် CMH ကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေ၏ သိပ်သည်းဆ မတူညီခြင်းကြောင့် mass flow rate သာ ပြောင်းလဲသည်။ Volume flow rate မပြောင်းလဲပေ။

Fan များသည် constant mass flow machine များ မဟုတ်ပါ။ Mass flow သည် လေ၏ သိပ်သည်းဆ(density)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ ထိုအချက်သည် မတူညီသည့် အမြင့်(altitude)တွင် မောင်းမည့် equipment များ အတွက် အလွန် အရေးကြီးသည်။



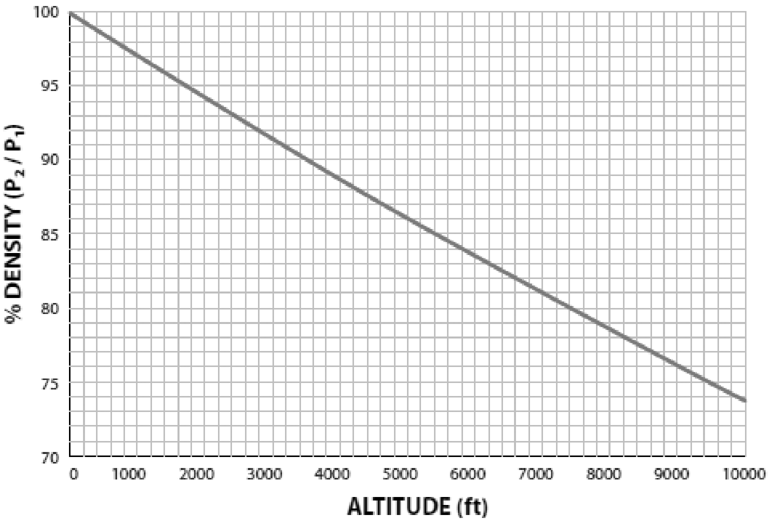
Standard density of Air

I-P = 0.075 lb/ft^3

Metric = 1.201 kg/m^3

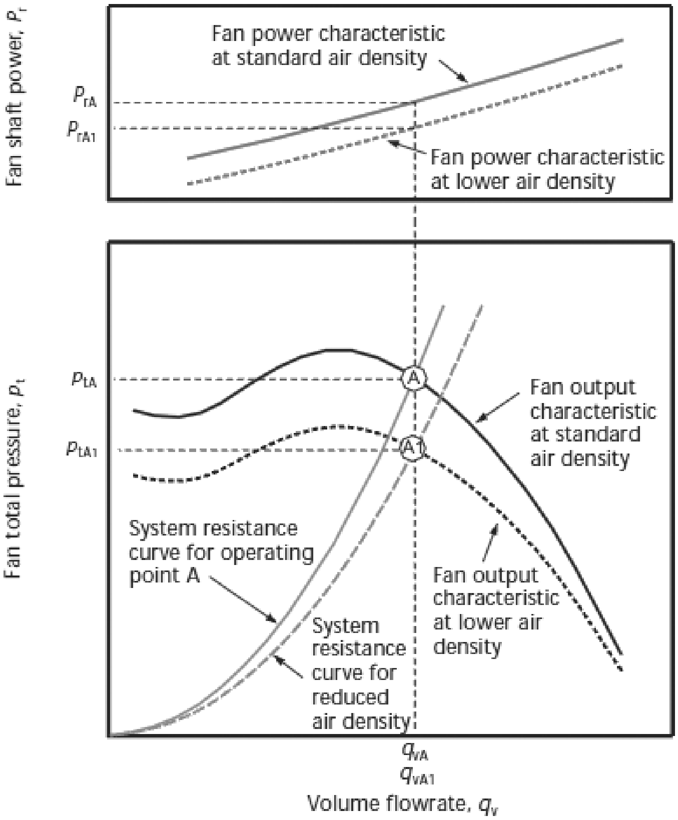
SI = 1.201 kg/m^3

ပုံ ၆-၇၅ လေသိပ်သည်းဆ(air density)ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်ပြောင်းလဲပုံ



ပုံ ၆-၇၆ Effects of Altitude on Air Density Ratio

Mass flow သည် လေ၏ သိပ်သည်းဆ(density)ကို လိုက်၍ တိုက်ရိုက်ပြောင်းလဲ နေသည်။ သို့သော် volume flow(CFM) အမြဲ တူညီနေသည်။ AHU များအတွက် လေ၏ သိပ်သည်းဆနည်း(density decreased) သည်နှင့်အမျှ mass flow လျော့နည်းလာသည်။ ထို့ကြောင့် effective cooling capacity သိသိသာသာ လျော့နည်း လိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် လိုအပ်သော cooling အတွက် သင့်လျော်သော mass flow ရရှိရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၆-၇၇ လေသိပ်သည်းဆ(air density) ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် fan curve ပြောင်းလဲခြင်း

Fan များသည် ယေဘုယျအားဖြင့် constant volume ကို ထုတ်ပေးသော စက်များ(machines) ဖြစ်ကြသည်။ လေသိပ်သည်းဆ(air density)များသည်ဖြစ်စေ၊ နည်းသည်ဖြစ်စေ မြန်နှုန်း(rotational speed) မပြောင်းလဲသမျှ လေထုထည်စီးနှုန်း(volume flow)လည်း မပြောင်းလဲပေ။ အမြင့်(altitude)ကြောင့် လေထုထည်စီးနှုန်း(volumetric flow) မပြောင်းလဲပေ။

သို့သော် လေသိပ်သည်းဆ(air density)ကို လိုက်၍ mass flow ပြောင်းလဲသည်။ လေသိပ်သည်းဆ(air density) များလျှင် mass flow များပြီး စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption) များသည်။ အမြင့်(altitude)ရောက်လေ လေသိပ်သည်းဆ(air density) နည်းလာလေ ဖြစ်ပြီး mass flow လည်း နည်းသွား လိမ့်မည်။

Standard air density ထက် ၂၀% ကျဆင်းသွားလျှင် fan ၏ ဖိအား(pressure) နှင့် လေခုခံအား (system resistance) နှစ်မျိုးလုံး ၂၀% လိုက်၍ လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။ သို့သော် လေထုထည်စီးနှုန်း(volume flow rate)သည် မပြောင်းလဲပေ။ သို့သော် mass flow rate သည် ၂၀% ကျဆင်း သွားလိမ့်မည်။ Fan မောင်းသည့် နေရာတွင် အပူချိန်မြင့်(high temperature operation)လျှင် သော်လည်းကောင်း၊ ပင်လယ်ရေပြင်ထက် ပိုမြင့်လျှင် သော်လည်းကောင်း (high altitude) လေသိပ်သည်းဆ(air density) နည်းသွားလိမ့်မည်။

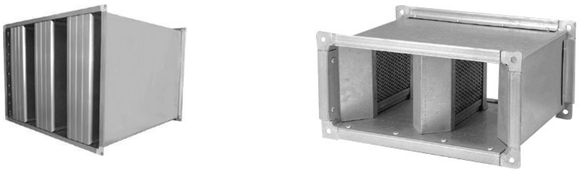
၆.၁၈ Noise Consideration

Centrifugal fan များ၏ ဆူညံသံ(noise)သည် ကြိမ်နှုန်းနိမ့်သည့် ဆူညံသံ(low frequencies noise) ဖြစ်သည်။ Axial fan မှ ထွက်ပေါ်လာသည့် ဆူညံသံများသည် ကြိမ်နှုန်းမြင့်သည့်ဆူညံသံ(high frequency noise)များ ဖြစ်သည်။ လူအများစုသည် ကြိမ်နှုန်းနိမ့်သည့် ဆူညံသံ(low frequencies noise) ကျယ်လောင်မှုကို လက်ခံနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် centrifugal fan များကို တွင်ကျယ်စွာ အသုံးပြုကြခြင်း ဖြစ်သည်။

သို့သော် higher frequencies noise များကို အလွယ်တကူ ထိန်းချုပ်နိုင်သည်။ ကြိမ်နှုန်းနိမ့်သည့် ဆူညံသံ(low frequencies noise)လျော့နည်းစေရန် အရွယ်အစားကြီးမားပြီး ဈေးများသည့် attenuator ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ တစ်ခါတစ်ရံတွင် မြန်နှုန်း(speed) အလွန်မြင့်ပြီး diameter သေးငယ်သည့် axial flow fan ကို attenuator ဖြင့် တပ်ဆင်သည့် ကုန်ကျစရိတ်သည် ပိုကြီးမားသည့် centrifugal fan ၏ ကုန်ကျစရိတ်ထက် ပိုနည်းသည်။ ဆူညံသံ(sound level) တူညီကြသည်။ လေထုထည်(volume) နှင့် Pressure စသည့် စွမ်းဆောင်ရည်(performance) စသည်တို့ တူညီကြသည်။

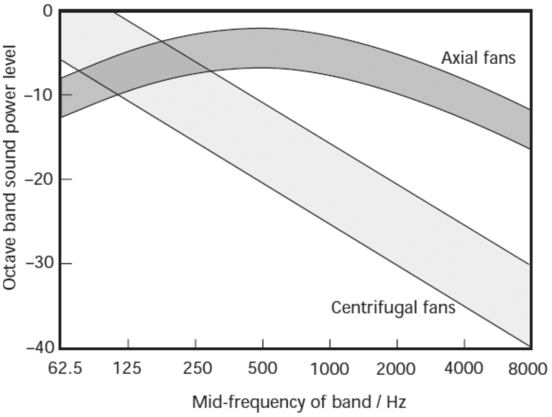
အထက်ပါပုံတွင် fan များသည် peak efficiency ၌ မောင်းနေလျှင် ဆူညံသံ(sound level) အနိမ့်ဆုံး ဖြစ်သည်။ Stall conditioning တွင် ဆူညံသံ(sound level) အမြင့်ဆုံး ဖြစ်ပေါ်သည်။

Fan ၏ ဆူညံသံ(sound level) အလွန်မြင့်မားနေပါက system တစ်လျှောက် ဆူညံသံ(noise)များ မပျံ့နှံ့စေရန် လိုအပ်သည့်ပြောင်းလဲမှု(alternation)များ ပြုလုပ်ပေး နိုင်သည်။
Duct lining ပြုလုပ်ရန် နေရာလိုသည်။ Attenuator ပြုလုပ်ရန် duct ၏ အရှည် နှင့် အထုတို့ လုံလောက် ရမည်။

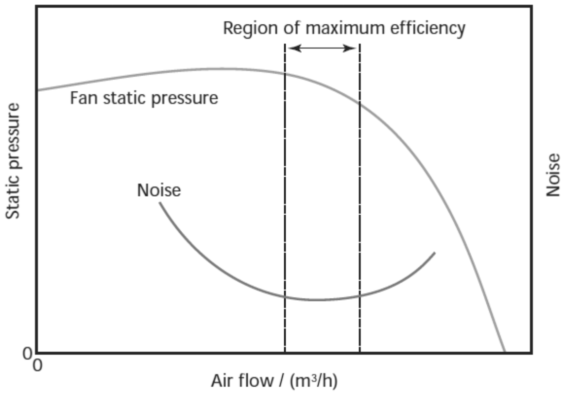


ပုံ ၆-၇၈ Sound attenuator (splitter)

ပုံ ၆-၇၉ Sound attenuator (in line)



ပုံ ၆-၈၀ General comparison of noise



ပုံ ၆-၈၁ Noise compared to peak efficiency

Axial fan မှ ထွက်သည့် high frequency နှင့် mid frequency လျော့နည်းစေရန်အတွက် လိုအပ်သည့် duct အရှည် မရနိုင်လျှင် inline attenuator တပ်ဆင်ပေးနိုင်သည်။ Splitter attenuator များသည် ပို၍ ဈေးကြီးသည်။

၆.၁၉ Fan Selection Criteria

Fan ရွေးချယ်ရန်အတွက် လိုအပ်သော အဓိက အချက်များ (fan selection criteria)

Fan တစ်လုံး သို့မဟုတ် fan system တစ်ခုကို ရွေးချယ်ရန်အတွက် အောက်ပါ အချက်အလက်များကို အလေးပေး စဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။

(၁) Air volume required - CFM
(၂) System resistance - SP
(၃) Air density(Altitude and Temperature)
(၄) Type of service
(၅) Environment type
(၆) Materials/vapors to be exhausted
(၇) Operation temperature
(၈) Space limitations
(၉) Fan type
(၁၀) Drive type(Direct or Belt)
(၁၁) Noise criteria
(၁၂) Number of fans
(၁၃) Discharge
(၁၄) Rotation
(၁၅) Motor position
(၁၆) Expected fan life in years

၆.၂၀ မေးခွန်း နှင့် အဖြေများ (Multiple Choise Questions)

1. The parameter used by ASME to define fans, blowers and compressors is__________.

   (a) Fan ratio (b) Specific ratio (c) Blade ratio (d) Twist factor

2. Which of the following axial fan types is most efficient?

   (a) Propeller (b) Tube axial (c) Vane axial (d) Radial

3. Which of the following is not a centrifugal fan type?

   (a) Vane axial (b) Radial (c) Airfoil, backward (d) Forward

4. Match the following for centrifugal fan types.

Type	Suitable for
(a) Backward curved	(i) High pressure, medium flow
(b) Forward curved	(ii) Medium pressure, high flow
(c) Radial	(iii) High pressure, high flow

5. For fans, the relation between discharge and speed is

a) $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$ b) $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1^2}{N_2^2}$ c) $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1^3}{N_2^3}$ d) None

6. The choice of fan type for a given application depends on

(a) Flow   (b) Static Pressure   (c) Both a & b   (d) Neither (a) nor (b)

7. The efficiency of backward curved fans compared to forward curved fans is__

(a) Higher   (b) Lower   (c) Same   (d) None

8. Name the fan which is more suitable for high pressure application?

(a) Propeller type fans   (b) Tube-axial fans

(c) Backward curved centrifugal fan   (d) None of the above

9. Axial fans are best suitable for __________________ application.

(a) Large flow, low head   (b) Low flow, high head

(b) High head, large flow   (d) Low flow, low head

10. The efficiency of forward curved fans compared to backward curved fans is ____

(a) lower   (b) higher   (c) same   (d) none

11. The efficiency values of Vane axial fans are in the order of:

(a) 78 – 85%   (b) 60 – 70%   (c) 90 – 95%   (d) 50 – 60%

12. Backward curved fans have efficiency in the range of:

(a) 65 – 70%   (b) 75– 85%   (c) 90 – 95%   (d) 50 – 60%

13. The pressure to be considered for calculating the power required for centrifugal fans is:

(a) Discharge static pressure   (b) Static + dynamic pressure

(c) Total static pressure   (d) Static + ambient air pressure

14. Typical design efficiency of aerofoil fan handling clean air is:
(a) 40 to 50% (b) 80 to 90% (c) 60 to 70% (d) 70 to 80%

15. The clearance required for efficient operation of impeller of 1 meter plus diameter in Radial type fans is ___________.
(a) 5 to 10 mm (b) 1 to 2 mm (c) 20 to 30 mm (d) 0.5 to 1.5 mm

16. Which type of control gives maximum benefits for fan application from energy saving point of view?
(a) Discharge damper control (b) Inlet guide vane control
(c) Variable pitch control (d) Speed control

17. The pressure along the line of the flow that results from the air flowing through the duct is ______________.
(a) Static pressure (b) Velocity pressure (c) Total pressure (d) Dynamic pressure

18. The outer tube of the pitot tube is used to measure __________________.
(a) Static pressure (b) Velocity pressure (c) Total pressure (d) Dynamic pressure

19 Axial-flow fans are equipped with ________________.
(a) Fixed blades (b) Curved blades (c) Flat blades (d) variable pitch blades

20 The ratio of maximum to minimum flow rate is called -
(a) turn – up ratio (b) turn-down ratio (c) up-down ratio (d) None

21 The density of a gas at a temperature of 50 deg. C at site condition is _____________.
(a) 0.94 kg/m3 (b) 1.2 kg/m3 (c) 1.5 kg/m3 (d) 1.4 kg/m3

Questions and Answers

Q1. 'Centrifugal' fans နှင့် 'Axial flow' fan တို့၏ ကွဲပြား ခြားနားချက်များကို ဖော်ပြပါ။

In centrifugal fans, pressure is developed due to the centrifugal force imparted to air, unlike axial flow fans where velocity energy is imparted to air, which in turn is converted to pressure energy at the fan outlet.

Q2. Higher pressure application အတွက် မည်သည့် fan အမျိုးအစားများသည် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သနည်း။

Centrifugal fans are suitable for high pressure applications as compared to axial flow fans.

Q3. Under which conditions of pressure ratios and volumes, low speed fans are preferred? Low speed fans are preferred for low pressure ratios and large volumes.

Q4. ယေဘုယျအားဖြင့် fan များသည် အဘယ်ကြောင့် very poor efficiency ဖြင့် မောင်းလေ့ ရှိကြသနည်း။

A very conservative approach is adopted allocating large safety margins, resulting in oversized fans, which operate at flow rates much below their design values and consequently which leads to operate at very poor efficiency.

Q5. Centrifugal fans အမျိုးအစား(type) မည်မျှ ရှိသနည်း။

Radial, forward curved and backward inclined fans.

Q6. Forward curved fan များ၏ အားသာချက်များ(advantages)ကို ဖော်ပြပါ။

Forward curved fans have the advantage of lower shut off power, which is desirable for low flow rate operation.

Q7. Fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ပိုကောင်းစေရန်အတွက် မည်သည့် housing အမျိုးအစား (type)ကို အသုံးပြုသင့်သနည်း။

Performance of fans also depends on the fan enclosure and duct design. 'Spiral housing'

Q8. မည်သည့် နည်းများဖြင့် fan တစ်လုံး၏ လည်ပတ်နှုန်း(speed)ကို ထိန်းချုပ်ရန် အတွက် (control) နိုင်သနည်း။

a. Changing pulley ratio for drive and driven equipments.
b. Variable frequency drive variable speed fluid coupling.

Q9. Fan application ၌ တွေ့နိုင်သော energy saving opportunities (၅)မျိုး ထက်မနည်းကို ဖော်ပြပါ။

1. Change of impeller by a high efficiency impeller along with cone.
2. Change of fan assembly as a whole, by a high efficiency fan
3. Impeller de-rating(by a smaller diameter impeller)
4. Fan speed reduction by pulley diameter modifications for de-rating
5. Option of two speed motors or variable speed drives for variable duty conditions
6. Option of energy efficient flat belts, or, cogged raw edged V belts, in place of conventional V belt systems, for reducing transmission losses.
7. Adopting inlet guide vanes in place of discharge damper control
8. Minimizing system resistance and pressure drops by improvements in duct system

Q10. Fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)များဖြစ်ကြသော speed ၊ power ၊ pressure တို့နှင့် သက်ဆိုင်သည့် affinity laws ကို ဖော်ပြပါ။

The affinity laws governing fan performance is given below:

Flow x speed   Pressure x $(\text{speed})^2$ Power x $(\text{speed})^3$

Q11. "speed control" နှင့် "guide vane control" တို့ကို ကွဲပြားအောင်ရှင်းလင်းဖော်ပြပါ။

Speed control	Guide vane control
The flow is varied in accordance with the process requirement by changing the speed of the fan.	The flow is varied by guiding the inlet air into the fan in the direction of impeller rotation in accordance with the process requirement.

Q12. Fan အရွယ်အစားရွေးချယ်(sizing)ရာတွင် ထည့်သွင်း စဉ်းစားရမည့် အဓိက အချက်(main factor) များကို ဖော်ပြပါ။

The following are the factors considered for fan sizing:

1. Flow requirement in m3/hr
2. Pressure drop
3. Power requirement
4. Density of flowing gas at the site condition

Q13. Fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို အကျိုးသက်ရောက်စေနိုင်သော အချက်များ(factors) ကို ဖော်ပြပါ။

The main factors affecting the performance of fans are flow, pressure, temperature, speed and damper positions on the fan side and the power input in KW on the motor side.

Q.14 မည်ကဲ့သို့သော အမျိုးအစား Fan ကို axial fan ဟုခေါ်ဆို သတ်မှတ်မည်နည်း။ Axial fans အသုံးပြုထားသည့် application များကို ဥပမာနှင့်တကွ ဖော်ပြပါ။

When the flow of air(or)fluid is parallel to the axis of the fan it is called an axial fan. Application areas of axial fans are: HVAC, drying ovens, exhaust system

Q.15. Radial အမျိုးအစား centrifugal fans များ သည် မည်သည့် application များတွင် အသုံးပြုရန် အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သနည်း။

Radial type of centrifugal fans is used at high pressure, medium flow conditions.

Example. Dust laden, moist air/gas in textile industry.

Q16. 'Backward curved blade centrifugal fans' ၏ အားသာချက်များကို ဖော်ပြပါ။

Backward curved blade centrifugal fans ၏အားသာချက်များမှာ -

(a) High pressure generation

(b) High efficiency

(c) Power reduction with increased flow

Q17. Fan တစ်လုံးအား 'inlet guide vane control' ဖြင့် အသုံးပြု၍ မောင်းနှင့်ပုံကို ဖော်ပြပါ။

Inlet guide vane control is one type of capacity control of fans. The inlet guide vanes are designed to guide the inlet air into the fan in the direction of impeller rotation and, therefore, improve performance, resulting in somewhat better energy efficiency than damper controlled operation.

Q18. Flue gas ၏ အပူချိန်(temperature)ပြောင်းလဲခြင်း(variations)ဖြင့် fan ၏ operating efficiency ပြောင်းလဲသွားပုံကို ရှင်းလင်းစွာ ဖော်ပြပါ။

Variation in flue gas temperature will change the density of the gas given by a formula,

Gas density = (273 x 1.29)/(273 + t°C). Density of gas is important consideration, since it affects both volume flow-rate and capacity of the fan to develop pressure.

Q29. Fan ရွေးချယ်ရာတွင်(selection) လေအပူချိန်(temperature)၏ အရေးပါပုံကို ဖော်ပြပါ။

1. Ambient temperatures, both the minimum and maximum are to be specified to the supplier. This affects the choice of the material of construction of the impeller.

2. Density of gas at different temperatures at fan outlet has to be considered while designing the fan. The volume of the gas to be handled by the fan depends on temperature.

Air Handling Unit Blower တစ်ခု၏ Technical Data များ

York Brand AHU တစ်လုံးတွင် ပါဝင်သည့် blower တစ်လုံး၏ specification များကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Blower နှင့် သက်ဆိုင်သည့် techanical data များကို ဥပမာအဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။

UNIT NAME		AHU1-1-70x80PANEL	MODEL		YDM 70x80
UNIT CONFIGURATION		HORIZONTAL	REQUESTED QUANTITY		1
FAN MOTOR SPECIFICATION			TRANSMISSION SPECIFICATION		
BLOWER TYPE / BLADE		DIDW / BACKWARD	PULLEY TYPE / GROOVES		SPB / 2
WHEEL DIAMETER / FRAME	mm	800 / K	FAN / MOTOR PULLEY Ø	mm	335 / 236
DISCHARGE		Rear	BELT LENGTH	mm	2000
AIR VOLUME	CFM (m³/hr)	28,249 (48000.000)			
TOTAL PRESSURE	in. Wg (Pa)	2.83 (707)			
ESP / TSP	in. Wg (Pa)	1.40 (350) / 2.41 (603)			
ALTITUDE / TEMPERATURE	ft (m) / °F (°C)	0 (0) / 68.9 (20.5)			
FAN RPM	RPM	1019	INLET IN-DUCT SOUND PWR	dB (A)	93
MOTOR TYPE / POLES		TEFC - IP55 / 4	INLET IN-DUCT SOUND PWR dB	125 Hz	95
ABSORBED FAN / MOTOR POWER	kW	13.50 / 16.20	PER OCTAVE BAND UNIT	250 / 500 Hz	91 / 94
RECOMMENDED MOTOR	kW	18.50		1k / 2k Hz	88 / 82
MOTOR SAFETY ALLOWANCE	%	20		4k / 8k Hz	75 / 66
ELECTRICAL SUPPLY	V-ph-Hz	380-415 V / 3ph / 50 Hz			
OUTLET IN-DUCT SOUND PWR	dB (A)	95	AIRBORNE SOUND POWER	dB (A)	74
OUTLET IN-DUCT SOUND PWR dB	125 Hz	95	AIRBORNE SOUND POWER dB	125 Hz	85
PER OCTAVE BAND UNIT	250 / 500 Hz	97 / 94	PER OCTAVE BAND UNIT	250 / 500 Hz	77 / 69
	1k / 2k Hz	91 / 85		1k / 2k Hz	67 / 62
	4k / 8k Hz	76 / 68		4k / 8k Hz	45 / 34
FAN DISCHARGE VELOCITY	m/s	13.15			
TOTAL FAN EFFICIENCY	%	69.79			

Fan Motor Specification

အောက်ပါ Data များသည် fan(blower)၏ မော်တာနှင့် သက်ဆိုင်သော အချက်အလက်များဖြစ်သည်။

Blower type / Blade = DIDW / BACKWARD

Blower များကို DIDW နှင့် SISW နှစ်မျိုး ခွဲခြားသည်။ Double Inlet Double Width (DIDW) ဆိုသည်မှာ blower ၏ ဘေး နှစ်ဘက်စလုံးမှ လေဝင်သည့် အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ Single Inlet Single Width (SISW) air blower သည် ဘေးတစ်ဘက်မှသာ လေဝင်သည့် အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ Blower များ ၏ blade ကို forward curve ၊ radial curve နှင့် rackward curve ဟု ၍ သုံးမျိုး ခွဲခြားသည်။

Wheel diameter/ Frame (mm) 800 / K

Blower တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် wheel diameter သည် (၈၀၀)မီလီလီတာဖြစ်ပြီး blower ၏ frame အမျိုးအစားသည် K ဖြစ်သည်။

Discharge (Rear)

AHU များတွင် လေကို မှုတ်ထုတ်(discharge) နိုင်သည့်နေရာ နှစ်မျိုး ရှိသည်။ Rear discharge နှင့် top discharge တို့ ဖြစ်သည်။ Rear discharge အမျိုးအစားတွင် blower သည် လေကို AHU ၏ နောက်ဘက်မှ မှုတ်ထုတ်သည်။ top discharge အမျိုးအစားတွင် blower သည် လေကို AHU ၏ အပေါ်ဘက်သို့ မှုတ်ထုတ်သည်။

Air Volume CFM (CMH) 28,249(48,000)

AHU Blower မှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် လေထုထည်(air volume)သည် 28,249 CFM သို့မဟုတ် 48,000 CMH ဖြစ်သည်။ "Volume Flow Rate" ဟုလည်း ခေါ်ဆိုသည်။

Total Pressure in. WG (Pa) 2.83(707)

AHU blower ၏ deliver လုပ်နိုင်သည့် သို့မဟုတ် peforme လုပ်နိုင်သည့် ဖိအား(total pressure) သည် 2.83 inch of water column သို့မဟုတ် 707 Pa ဖြစ်သည်။ ထို total pressure သည် အားလုံးသော losses များ အတွက် ဖြစ်သည်။ Total pressure သည် mixing box loss ၊ cooling coil pressure drop ၊ filter pressure drop စသည့် lossess များ အားလုံးအတွက် ဖြစ်သည်။

ESP / TSP in. Wg(Pa) 1.40(350)/ 2.41(603)

ESP သည် "External Static Pressure" ဖြစ်သည်။ TSP သည် "Total Static Pressure" ဖြစ်သည်။

AHU blower ၏ deliver လုပ်နိုင်သည့် external static pressure သည် 1.40 inch of water column သို့မဟုတ် 350 Pa ဖြစ်သည်။ Total Static Pressure သည် 2.41 inch of water column သို့မဟုတ် 603 Pa ဖြစ်သည်။ External/total static pressure သည် AHU blower ၏ total pressure မှ mixing box loss ၊ cooling coil pressure drop ၊ filter pressure drop စသည့် lossess များ ကို နှုတ်ပြီး ကျန်သည့် pressure ဖြစ်သည်။ External/total static pressure သည် duct friction loss များ၊ supply air grill and diffuer losses များနှင့် damper losses များအတွက် ဖြစ်သည်။

Altitude / Temperature 0(0)/ 68.9(20.5)

AHU တပ်ဆင်မောင်းနှင်မည့် နေရာသည် ပင်လယ်ရေပြင်မှ မည်မျှမြင့်သည်ကို ဖော်ပြသည်။

FAN RPM = 1019

AHU Blower ၏ ဝင်ရိုး(shaft) လည်ပတ်နှုန်းသည် တစ်မိနစ်လျှင် အပတ်ရေ(၁၀၁၉) ဖြစ်သည်။

Motor type / Pole TEFC - IP55 / 4

မော်တာအမျိုးအစားသည် TEFC ဖြစ်သည်။ TEFC ၏ အဓိပ္ပာယ်သည် "Totally Enclosed, Fan Cooled"ကို ဆိုလိုသည်။ IP55 မှာ motor Enclosure ၏ rating (protection against solid and Liquid)ကို ဆိုလိုသည်။

IP	First digit: Ingress of solid objects	Second digit: Ingress of liquids
0	No protection	No protection
1	Protected against solid objects over 50mm e.g. hands, large tools.	Protected against vertically falling drops of water or condensation.
2	Protected against solid objects over 12.5mm e.g. hands, large tools.	Protected against falling drops of water, if the case is disposed up to 15 from vertical.
3	Protected against solid objects over 2.5mm e.g. wire, small tools.	Protected against sprays of water from any direction, even if the case is disposed up to 60from vertical.
4	Protected against solid objects over 1.0mm e.g. wires.	Protected against splash water from any direction.
5	Limited protection against dust ingress. (no harmful deposit)	Protected against low pressure water jets from any direction. Limited ingress permitted.
6	Totally protected against dust ingress.	Protected against high pressure water jets from any direction. Limited ingress permitted.
7	N/A	Protected against short periods of immersion in water.
8	N/A	Protected against long, durable periods of immersion in water.

Absorbed fan/ Motor Power kW 13.50 / 16.20

Absorbed Power သည် AHU blower's shaft တွင် လိုအပ်သော power ဖြစ်သည်။ AHU blower သည် belt drive ဖြစ်သည်။ Belt drive များတွင် စလစ်(slip) ဖြစ်သည်။ Belt drive များတွင် transmission loss ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် မော်တာစွမ်းအား(motor power) သည် absorbed power ထက် များသည်။ ဤ AHU တွင် AHU Blower's Shaft power 13.50 kW ရရှိရန်အတွက် မော်တာ စွမ်းအား(motor power)သည် 16.20 kW ရှိရန် လိုအပ်သည်။

Recommended motor kW 18.50

Recommended motor kW 18.50 သည် မော်တာ၏ အရွယ်အစား(size)ကို ဆိုလိုသည်။ ဤ AHU လိုအပ်သော motor power သည် 16.20 kW ဖြစ်သော်လည်း ဈေးကွက်တွင် 16.20 kW မရှိပါ။ ထို့ကြောင့်

18.50 kW မော်တာ recommend ပေးခြင်းဖြစ်သည်။ 18.50 kW မော်တာ မရလျှင် 22.0 kW မော်တာဖြင့် တပ်ဆင် မောင်းနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် "recommendation" စာလုံးကိုသုံးခြင်း ဖြစ်သည်။ သို့သော် 15kW မော်တာကို အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။ ဈေးကွက်တွင် ရရှိနိုင်သော မော်တာ အရွယ်အစား(motor size)များမှာ 3.0 kW ၊ 4.0 kW ၊ 5.5 kW ၊ 7.5 kW ၊ 11.0 kW ၊ 15.0 kW ၊ 18.5 kW နှင့် 22.0 kW တို့ ဖြစ်သည်။

Motor safety allowance % 20

မော်တာ အတွက် safety allowance ၂၀ % ပိုထားသည်။

Electrical Supply V-ph-Hz 380-415 V / 3ph / 50 Hz

ထို AHU Blower ၏ မော်တာကို မောင်းရန် လိုအပ်သော လျှပ်စစ်ဓာတ်အား(electrical power supply) သည် (၃၈၀)မှ (၄၁၅) ဗို့အား ဖြစ်ရမည်။ 50 Hz ရှိသော 3 phase supply ဖြစ်ရမည်။

Sound Level Data များ

Inlet In-Duct Sound PWR dB(A)	93
Inlet In-Duct Sound PWR dB 125 Hz	95
Per Octiave Band Unit 250 / 500 Hz	91 / 94
1k / 2k Hz	88 / 82
4k / 8k Hz	75 / 66

Fan Discharge Velocity m/s 13.15

AHU ၏ လေထွက်ပေါက်(out let)မှ ထွက်သွားသည့် လေအလျင်(discharge velocity)သည် 13.15 m/s ဖြစ်သည်။

Total fan efficiency (% 69.79)

Fan(blower)၏ Total fan efficiency သည် 69.79% ဖြစ်သည်။

Transmission Specification

Pulley type/ Grooves = SPB / 2

Pulley အမျိုးအစား မှာ မြောင်း နှစ်မြောင်း(2 Grooves)ပါသော SPB Pulley ဖြစ်သည်။

Fan / Motor pulley Ø mm 335 / 236

Fan (blower) ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသော pulley ၏ diameter သည် 335 mm ဖြစ်ပြီး မော်တာဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသော pulley ၏ diameter မှ 236mm ဖြစ်သည်။ထို pulley အရွယ်အစား နှစ်ခုအရ မော်တာ၏ အပတ်ရေသည် (၁၄၅၀)ဖြစ်လျှင် fan(blower)၏ အပတ်ရေသည်(၁၀၂၁) ဖြစ်သည်။ (Slip ဖြစ်မည့် အပတ်ရေကို ထည့်မတွက်ခဲ့လျှင်)

Belt length mm 2000

Fan (Blower)၏ pulley နှင့် မော်တာ၏ pulley ကို ချိတ်ဆက်ထားသော ပန်ကာကြိုး(belt)၏ အရှည်သည် 2000 mm ဖြစ်သည်။

-End-

Chapter-7 Ventilation

လူသားတစ်ယောက် အသက်ရှင် ကျန်းမာရန် နေ့စဉ် အစားအစာ အလေးချိန် တစ်ကီလိုဂရမ်ခန့် နှင့် သောက်ရေသန့် နှစ်ကီလိုဂရမ်ခန့် စားသောက်ရန် လိုအပ်သည်။ လူသားတစ်ယောက် နေ့စဉ် အသက်ရှူရန် လေကောင်းလေသန့် အလေးချိန်(၁၀)ကီလိုဂရမ်ခန့် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် ရှူသွင်းမည့်လေ၏အရည်အသွေး ကောင်းမွန် သန့်စင်ရန် အလွန် အရေးကြီးသည်။ အထူးသဖြင့် အခန်း၊ အဆောက်အဦများ အတွင်း၌ အမြဲနေထိုင်သူများ လေကောင်းလေသန့် ရရှိရန် ခက်ခဲသည်။

၇.၁ လေအရည်အသွေး (Indoor Air Quality)

လူများ အသက်ရှူရန် သင့်လျော်သည့် လေအရည်အသွေး(air quality) အဆင့် ကိုက်ညီမှု ရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးရန်အတွက် စင်ကာပူနိုင်ငံ National Environment Agency(NEA) မှ သတ်မှတ်ထားသည့် guidelines မှ စစ်ဆေးရမည့် အချက်(test parameter) ဆယ်ချက်ကို ဖော်ပြထားသည်။ ဓာတုဗေဒ(chemical)နှင့် သက်ဆိုင်သော အချက် ခြောက်ချက်၊ ဇီဝဗေဒ(biological)နှင့် သက်ဆိုင်သောအချက် နှစ်ချက်၊ ရူပဗေဒ (physical) နှင့် သက်ဆိုင်သောအချက် သုံးချက် တို့ဖြစ်သည်။

	IAQ Test Parameters	Threshold Limits
(၁)	Temperature (Degree Celsius)	22.5 – 25.5
(၂)	Relative Humidity (%)	< 70
(၃)	Air Velocity (m/s) / Air Flow	<0.25
(၄)	Carbon Monoxide (ppm)	9
(၅)	Carbon Dioxide (ppm)	1000
(၆)	Ozone (ppm)	0.05
(၇)	Total Volatile Organic Compounds (ppm)	3
(၈)	Respirable Suspended Particulate (μ/m3)	150
(၉)	Formaldehyde (ppm)	0.1
(၁၀)	Total Bacteria Count – TSA, 35 Degree Celsius 48 Hours (cfu/m^3)	500
(၁၁)	Total Fungi Count – PDA, 25 Degree Celsius 5 Days (cfu/m^3)	500

အပူချိန်(temperature)၊ Relative Humidity(%) နှင့် လေအလျင်(air velocity) တို့သည် သက်သောင့်သက်သာဖြစ်ခြင်းနှင့်သာ သက်ဆိုင်သော်လည်း ကျန်အချက်များသည် ကန့်သတ်ထားသည့် တန်ဖိုးများထက် ပိုများပါက ကျန်းမာရေးနှင့် ရေရှည်တွင် အသက် အန္တရာယ်ကိုပါ ထိခိုက်စေနိုင်သည်။

၇.၁.၁ လေအရည်အသွေး ညံ့ဖျင်းသည့် အကြောင်းများ (Causes of Poor IAQ)

(၁) လေအရည်အသွေးနှင့် သက်ဆိုင်သည့် ပြဿနာများ(IAQ problems) ၏ ၅၀% ခန့်သည် လေဝင်လေထွက် မကောင်းခြင်း(inadequate ventilation)ကြောင့် ဖြစ်သည်။

(၂) လေရယူသည့် နေရာ မမှန်ကန်ခြင်း (poor intake/exhaust locations)

(၃) လေသန့်စင်မှု မလုံလောက်ခြင်း သို့မဟုတ် လေစစ်များ မသန့်ရှင်းခြင်း (inadequate filtration or dirty filters.)

(၄) Intermittent airflow ဖြစ်ပေါ်ခြင်း

(၅) လေဖြန့်ဖြူးမှု မညီညာခြင်း (poor air distribution.)

(၆) မောင်းနှင်လည်ပတ်မှု ညံ့ဖျင်းခြင်း (inadequate operation)

(၇) ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု ညံ့ဖျင်းခြင်း၊ မလုံလောက်ခြင်း (inadequate maintenance)

၇.၁.၂ လေအရည်အသွေး (IAQ) ကောင်းမွန်အောင် ထိန်းသိမ်းနည်းများ (IAQ Control Methods)

(၁) ရှိသင့်ရှိထိုက်သည့် အပူချိန် နှင့် စိုထိုင်းဆ ရှိအောင် ထိန်းထားနိုင်ခြင်း (control temperature and humidity)

(၂) သန့်ရှင်း လတ်ဆတ်သည့် လေသစ်များထည့်ပေးခြင်းဖြင့် လေညစ်ညမ်းမှု လျော့နည်းသွားအောင် ပြုလုပ်ခြင်း (ventilation - dilution)

(၃) အညစ်အကြေးထွက်သည့် အရာများကို ဖယ်ရှားခြင်း(remove pollution source.)

(၄) လေစစ်များဖြင့် သန့်စင်အောင် ပြုလုပ်ခြင်း (filtration)

၇.၁.၃ လေအရည်အသွေး(IAQ) အပေါ် အကျိုးသက်ရောက်နိုင်သည့် အချက်များ (IAQ Factors)

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည့် အချက်များသည် လေအရည်အသွေး(air quality)ကို ထိခိုက်စေနိုင်သောကြောင့် တတ်နိုင်သမျှ ကင်းစင် ပပျောက်အောင် ကြိုးစားသင့်သည်။

(၁) အပူများနှင့် ရေငွေ့ပါဝင်မှု(thermal environment)

(၂) မီးခိုးများ(smoke)

(၃) အနံ့ဆိုးများ(odors)

(၄) ယားယံစေသည့် အမှုန်၊ အမှိုက်များ (irritants dust)

(၅) Stress problems (perceptible, nonperceptible)

(၆) အဆိပ်ဓာတ်ပါဝင်နေသည့် ဓာတ်ငွေ့များ(toxic gases carbon monoxide, carbon dioxide)

(၇) ဓာတ်မတည့်သည့် ဝတ်မှုန်များ(allergens pollen)

(၈) ဗက်တီးရီးယားများ၊ ပိုင်းရပ်များ၊ ပိုးမွှားများ (biological contaminants - bacteria ၊ mold ၊ pathogens၊ legionella ၊ micro organisms ၊ fungi)

၇.၁.၄ လေအရည်အသွေး (IAQ) နှင့် လေထဲတွင် ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်ပါဝင်မှု(CO_2 Levels)

လေထဲရှိ ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်ဓာတ်ငွေ့(CO_2)သည် ကျန်းမာရေးကို ထိခိုက်စေသည်။

(၁) ပြင်ပလေထုထဲတွင် ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ် ပါဝင်မှု(CO_2 Levels)သည် 350 PPM မှ 400 PPM ခန့် ဖြစ်သည်။
(Outdoor background level: 350 PPM CO_2 avg.)

(၂) ASHRAE Standard 62 အရ ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်ပါဝင်မှု(CO_2 Levels) သည် 1000 PPM ထက်ပို မများသင့်ပေ။
(ASHRAE Standard 62 recommends: 1000 PPM CO_2 max.)

(၃) OSHA and U.S. Air Force standard အရ ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်ပါဝင်မှု(CO_2 Levels) သည် 650 PPM ထက် ပိုမများသင့်ပေ။
(OSHA and U.S. Air Force standard: 650 PPM CO_2 max.)

(၄) လူများသည် ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်ပါဝင်မှု(CO_2 Levels) 800–1000 PPM ထက် များသည့်အခါ သက်သောင့်သက်သာမဖြစ်ခြင်း၊ ကျန်းမာရေး ထိခိုက်နိုင်ခြင်း တို့ စတင်ဖြစ်ပေါ်သည်။
(Human discomfort begins: 800–1000 PPM CO_2.)

(၅) ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်ပါဝင်မှု(CO_2 Levels) 12,000 PPM ထက် ပိုများသည့် နေရာတွင် ကြာရှည်စွာ နေထိုင် လုပ်ကိုင်ရသည့်အခါ ရောဂါဆိုးများ ရရှိနိုင်သည်။
(Long term health effects: >12,000 PPM CO_2.)

လေဝင်လေထွက် ကောင်းအောင်(ventilation) ပြုလုပ်ရခြင်း ၏ ရည်ရွယ်ချက်များမှာ

(က) လူများရှိရာ(occupied space)နေရာမှ အပူများကို ဖယ်ရှားပစ်ရန် (remove heat)

(ခ) ဗက်တီးရီးယားများ၊ အနံ့ဆိုးများ၊ အမှုန်များ နှင့် အန္တရာယ်ဖြစ်စေသည့် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO) ၊ ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်(CO_2)ဓာတ်ငွေ့များ စသည့် အညစ်အကြေး(contaminant)များ ဖယ်ရှားပစ်ရန်
(ဂ) လူများနေရန် သင့်လျော်သော လက်ခံနိုင်သည့် လေအရည်အသွေး(acceptable indoor air quality) ရရှိရန် တို့ဖြစ်သည်။

ထိုနေရာမှ လေများကို အဆက်မပြတ် စွန့်ထုတ်ပစ်နေရမည်ဖြစ်ပြီး ပြင်ပလေ(outdoor air)ဖြင့် အစားထိုးပေးရမည်။ လိုအပ်သည့် ပြင်ပလေ(outdoor air)ပမာဏသည် အခန်းနေရာကို လိုက်၍ ကွဲပြားသည်။

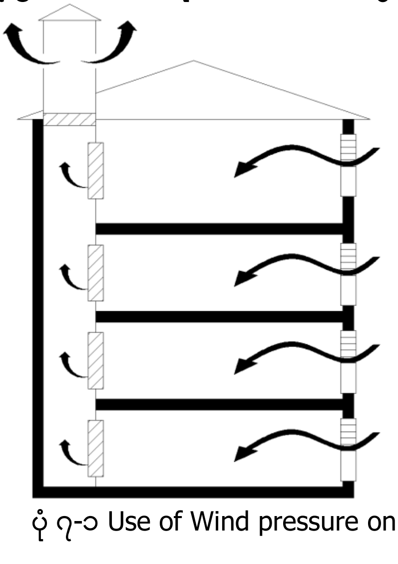
သဘာဝအတိုင်း လေဝင်လေထွက်ကောင်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်းကို "**Natural Ventilation**" ဟုခေါ်သည်။ စက်တစ်မျိုးမျိုးကို အသုံးပြု၍ လေဝင်လေထွက် ကောင်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်းကို "**Mechanical Ventilation**" ဟုခေါ်သည်။ အခန်းတစ်ခု သို့မဟုတ် နေရာတစ်ခုသည် သဘာဝအတိုင်း လေဝင်လေထွက်(naturally ventilated) ကောင်းအောင် မပြုလုပ်နိုင်လျှင် စက်တစ်မျိုးမျိုးဖြင့် လေဝင်လေထွက် ကောင်းအောင် ပြုလုပ်(mechanical ventilated) ထားရမည်။ သို့မဟုတ် air conditioning ပေးထားသည့် နေရာဖြစ်ရမည်။

စက်တစ်မျိုးမျိုးဖြင့် လေဝင်လေထွက်ကောင်းအောင်ပြုလုပ်ထားသည့်နေရာ(mechanically ventilated space)ကို air con မပေးရ။ သဘာဝအတိုင်း လေဝင်လေထွက် ကောင်းအောင် ပြုလုပ်စီမံထားသည့် နေရာ(naturally ventilated space) မဖြစ်စေရ။

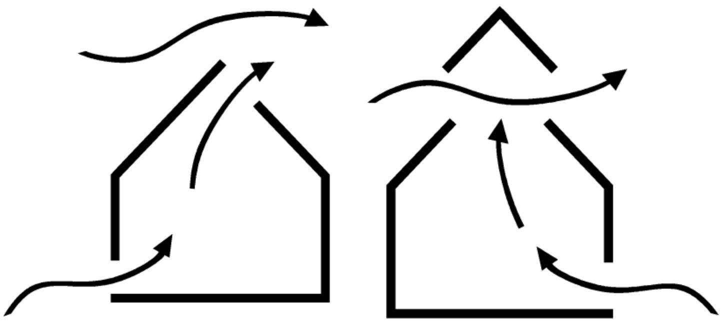
Air conditioning ပေးထားသော နေရာများ၊ အခန်းများအတွင်း၌ လုံးဝဆေးလိပ်သောက်ခွင့် မပြုရ။ သတ်မှတ် ထားသောနေရာ၊ ဆေးလိပ်သောက်ရန်အတွက် ပြုလုပ်ထားသော ဆေးလိပ်သောက်ခန်း(smoking room)များတွင်သာ ဆေးလိပ်သောက်ခွင့် ရှိသည်။ ဆေးလိပ်သောက်ခန်းများကိုလည်း စည်းမျဉ်း စည်းကမ်းများ(code)အတိုင်း စနစ်တကျ ဆောက်လုပ်ထားရမည်။

သဘာဝအတိုင်း လေဝင်လေထွက် ကောင်းအောင် ပြုလုပ်ထားသည့်(naturally ventilated)အခန်းများ သို့မဟုတ် လူများနေရန် နေရာ(occupied space)များ နှင့် စက်တစ်မျိုးမျိုးဖြင့် လေဝင်လေထွက် ကောင်းအောင်(mechanically ventilated)ပြုလုပ်ထားသည့် အခန်းများကို ဗိသုကာပုံများ(architectural drawing)ပေါ်တွင် ရှင်းလင်းစွာ ဖော်ပြရမည်။ ပုံများ(drawing)များကို ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခြင်း(maintenance)နှင့် ချို့ယွင်းချက်ရှာဖွေခြင်း(trouble shooting) တို့ပြုလုပ်ရန် အတွက် စနစ်တကျ သိမ်းဆည်းထားရန် လိုအပ်သည်။

၇.၂ သဘာဝအတိုင်း လေဝင်လေထွက်ကောင်းအောင်ပြုလုပ်ခြင်း(Natural Ventilation)



ပုံ ၇-၁ Use of Wind pressure on building (Cross Ventilation)

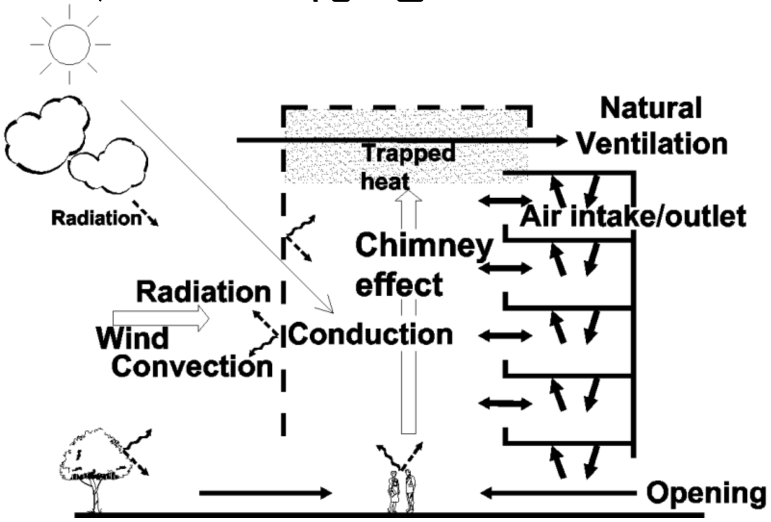


ပုံ ၇-၂ Venturi effect

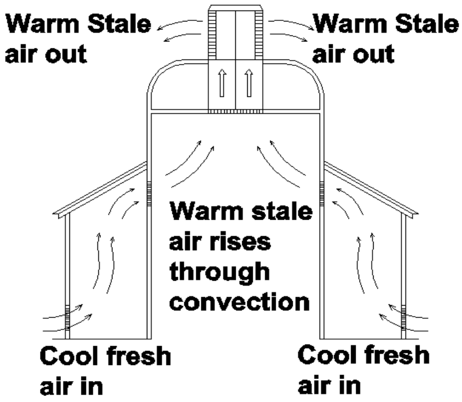
Principle of Natural Ventilation

သဘာဝအတိုင်း လေဝင်လေထွက်ကောင်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်း(natural ventilation)သည် အောက်ပါ အချက်များပေါ်တွင် အခြေခံသည်။

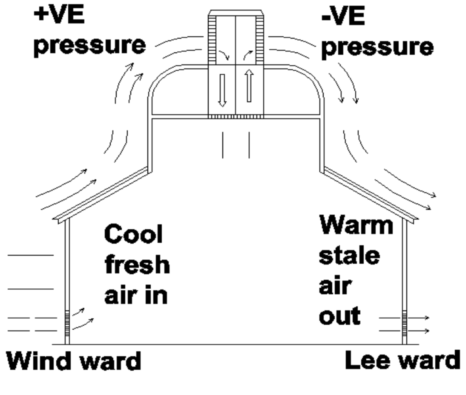
(၁) Wind pressure on building
(၂) Venturi effect
(၃) Chimney effect နှင့်
(၄) Stack effect တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၇-၃ Atrium တစ်ခုအတွင်း chimnery effect ဖြစ်ပေါ်ပုံ



ပုံ ၇-၄ Stack driven natural ventilation



ပုံ ၇-၅ Wind driven natural ventilation

၇.၂.၁ Stack Effect

အဆောက်အဦ သို့မဟုတ် အခန်းအတွင်းရှိ အပူချိန်(inside temperature)နှင့် အပြင်ဘက်ရှိ အပူချိန် (outside temperature)တို့ ခြားနားချက်(temperature difference)ကြောင့် "**Stack Effect**" ဟုခေါ်သည့် natural ventilation ဖြစ်ပေါ်သည်။ Non-mechanical airflow တစ်မျိုး အဆောက်အဦ အတွင်း၌ ဖြစ်ပေါ် သည်။ ပြင်ပတွင် တိုက်ခတ်နေသည့် လေဖိအား(wind pressure)ကြောင့်လည်း "Stack Effect" ဖြစ်ပေါ် နိုင်သည်။

အခန်းအတွင်း(inside) နှင့် အပြင်(outside)ဘက်ရှိ လေအပူချိန် ကွာခြားချက် (temperature difference)ကြောင့် လေသိပ်သည်းဆ(air densities) မတူညီမှု ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ ပူသည့်လေသည် ပေါ့ပါးကာ

အထက်သို့ တက်သည်။ ထိုလေသိပ်သည်းဆ(air densities) မတူညီမှုကြောင့် လေဖိအား ကွာခြားမှု(pressure difference)ကြောင့် လေသည် အောက်မှ အထက်သို့တက်ခြင်း သို့မဟုတ် အထက်မှ အောက်သို့ ဆင်းခြင်း စသည့် "vertical air movement" ဖြစ်ပေါ်သည်။

လက်တွေ့ အခြေအနေတွင် တိုက်လေဖိအား(wind pressures)ကြောင့် stack effect ကို ပြောင်းလဲမှုများစွာ ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ ပြင်ပတိုက်လေဖိအား(wind pressure)ကြောင့် modify stack effect ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုအကြောင်းကို CIBSE AM 10 Natural ventilation in non-domestic buildings တွင် အသေးစိတ် လေ့လာ ဖတ်ရှုနိုင်သည်။

လေဖိအားကွာခြားမှု(pressure difference)ကြောင့် လေများရွေ့လျားခြင်း(air movement) ဖြစ်ပေါ်သည်။ သို့သော် အပူချိန်ကွာခြားချက်(temperatures difference)ပေါ်တွင် မူတည်သောကြောင့် ventilation application များ အားလုံးတွင် stack effect ကို အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။

Stack effect ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော လေရွေ့လျားမှု(air movement) ပိုကောင်းစေရန် အတွက် အဆောက်အဦ သို့မဟုတ် အခန်း၌ လေဝင်ပေါက်(inlet point)များနှင့် လေထွက်ပေါက်(air outlet point)များ ထားရှိရန် လိုအပ်သည်။

> လေဝင်ပေါက်(inlet point)နှင့် လေထွက်ပေါက်(air outlet point) တို့၏ ဒေါင်လိုက်အမြင့် (vertical distance) များလေ stack effect ပိုအားကောင်းလေ ဖြစ်သည်။

လေသွားရာလမ်းကြောင်း(direction of air flow)သည် အခန်းအတွင်းနှင့် အခန်းပြင်ပ အပူချိန် တန်ဖိုးများပေါ်တွင် မူတည်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အခန်းတွင်အပူချိန်(inside temperature)သည် အခန်းပြင်ပအပူချိန်(outside temperature)ထက် ပိုမြင့်နေလျှင် လေသည် နိမ့်သည့်အပေါက်မှ ဝင်ရောက်ပြီး အပေါ်သို့ တက်ကာ မြင့်သည့်အပေါက်မှ ထွက်သွားသည်။ အခန်းအတွင်း၌ လေစီးဆင်းမှု(air flow)သည် အောက်မှအထက်သို့(upwards direction) ဖြစ်သည်။ အထူးသဖြင့် နေ့ခင်းနေ့လယ် အချိန်များတွင် ဤကဲ့သို့ လေစီးဆင်းမှု(air flow) ဖြစ်ပေါ်သည်။

အခန်းအတွင်းရှိ လေ၏အပူချိန်(internal temperature)သည် ပြင်ပလေအပူချိန်ထက် ပိုနိမ့်နေလျှင် လေသည် မြင့်သည့်အပေါက်မှ ဝင်လာပြီး နိမ့်သည်အပေါက်မှ ထွက်သွားသည်။ အခန်းအတွင်း၌ လေစီးဆင်းမှု(airflow)သည် အထက်မှအောက်သို့(downwards direction) ဖြစ်သည်။ အထူးသဖြင့် ညအချိန်များတွင် ဤကဲ့သို့ လေစီးဆင်းမှု(air flow) ဖြစ်ပေါ်သည်။

ဘေးကာများ တပ်ဆင်ထားသည့် စက်များ(machine enclosure)တွင်လည်း စက်အတွင်းရှိ အပူချိန် မတက်စေရန် အတွက် "Stack Effect" အသုံးပြုကြသည်။ စက်အတွင်းမှ ထွက်သည့် အပူများလျှင် စက်များ၏ အပေါ်ဘက်နှင့် အောက်ဘက်တွင် အပေါက်များ ဖောက်ကာ မြင့်မားသည့်(tall enclosure)စက်အဖြစ် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်သင့်သည်။ ထိုအခါ stack effect ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် လေစီးဆင်းမှု(airflow)ကြောင့် စက်အတွင်းရှိ အပူချိန်(internal temperature) ကျဆင်းကာ စက်များ အဆက်မပြတ်မောင်းရန် လက်ခံနိုင်သည့် အခြေအနေ (acceptable operating condition)သို့ ရောက်နိုင်သည်။

နမူနာ အဆောက်အဦတစ်ခုအတွက် လေစီးဆင်းမှု(airflow) ခန့်မှန်းပုံ တွက်နည်းပုံစံများ)ကို CIBSE guide A မှ chapter 4 တွင် standard calculations မှ ကိုးကားနိုင်သည်။ လေဖိအား(wind pressure)ကို ပါထည့်တွက်ထားသည့် တွက်နည်းကိုလည်း အခန်း(၄)[chapter-4]တွင် လေ့လာနိုင်သည်။ ပို၍ ရှုပ်ထွေးခက်ခဲသည့် အဆောက်အဦများ(more complex arrangement of opening layouts)အတွက် အချက်အလက်များကို CIBSE publication AM10 Natural ventilation in non-domestic buildings 2005 တွင် မှီငြမ်းကိုးကား နိုင်သည်။

"Stack Effect" အားသာချက်များ

(၁) "Stack Effect" ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော လေစီးဆင်းမှု(air flow)သည် လေတိုက်ခြင်း အပေါ်တွင် မူမတည်ပါ။ (does not rely on wind)

(၂) အပူချိန် ကွာခြားချက် ရှိနေသမျှ လေစီးဆင်းမှု(air flow) ပုံမှန် ဖြစ်ပေါ်နေလိမ့်မည်။

(၃) လေဝင်ပေါက် နှင့် လေထွက်ပေါက်ကိုသာ မှန်ကန်စွာ ရွေးချယ်ရန် လိုအပ်သည်။ (Greater control in choosing areas of air intake)

(၄) စွမ်းအင်မလိုဘဲ လေဝင်လေထွက်(ventilation) ရရှိနိုင်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။ (Sustainable method)

"Stack Effect" အားနည်းချက်များ

(၁) လေစီးနှုန်း အနည်းငယ်သာ ရနိုင်သည်။

(၂) အပူချိန် ကွာခြားချက် အပေါ် မှီခို အားထား ရသည်။ (Relies on temperature difference)

(၃) လေဝင်ပေါက်နှင့် လေထွက်ပေါက်များ ထားရန်အတွက် အသင့်လျော်ဆုံးသောနေရာများ ရရှိရန် ခက်ခဲတတ်သည်။ ကုန်ကျစရိတ် များသည်။ (Design restrictions)

(၄) လေဝင်ပေါက်ကို နိမ့်သည့်နေရာတွင် ထားရသောကြောင့် လေကောင်းလေသန့် ရရှိရန် ခက်ခဲသည်။

၇.၂.၂ ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် လိုအပ်သော အချက်အလက်များ (Design Information)

(က) အမျိုးအစား(type)၊ အရွယ်အစား(size) နှင့် လေဝင်လေထွက်ပေါက်များ တည်ရှိရာနေရာများ(location of openings)

(ခ) လေဝင်ပေါက်နှင့် လေထွက်ပေါက်(opening) များ၏ အမျိုးအစား(type) နှင့် ပုံသဏ္ဍာန်(shape)တို့သည် လေစီးဆင်းမှု(airflow)ကို အကျိုးသက်ရောက်မှု ရှိစေသောကြောင့် အတိအကျတိုင်းတာရန် လိုအပ်သည်။

၇.၂.၃ ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် အဓိက အချက်(Key Design Inputs)

(က) အတွင်းအပူချိန်(inside air temperatures) နှင့် ပြင်ပလေအပူချိန်(outside air temperatures) ကို (°C) ဖြင့်သိရန် လိုအပ်သည်။ အတွင်းနှင့် အပြင် အပူချိန် ခြားနားချက်ကြောင့်(difference between inside and outside temperatures) လေသိပ်သည်းဆ(density)ကွဲပြားကာ လေဖိအား(pressure) ကွာခြားမှု ဖြစ်ပေါ် လာသည်။ လေဖိအား(pressure) ကွာခြားမှုကြောင့် stack effect ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

(ခ) လေဝင်ပေါက်နှင့် လေထွက်ပေါက် အမြင့်အကွာအဝေး(height difference between inlet and outlet)ကို မီတာ(meter)ဖြင့် သိရန်လိုအပ်သည်။ လေဝင်ပေါက်နှင့် လေထွက်ပေါက် အမြင့်ကွာခြားချက် များလေ stack effect ပိုအားကောင်းလေ ဖြစ်သည်။

၇.၂.၃ Design outputs

Cross ventilation ၊ single-sided ventilation စသည့် ventilation အမျိုးအစား(type)များ ၊ schedule of window types ၊ actuators စသည့် control လုပ်နည်းများ နှင့် schedule of transfer grilles ပါဝင်သည့် ventilation strategy နှင့် specification များကို သတ်မှတ်နိုင်ရန် ဖြစ်သည်။

- Ventilation performance ကို ခန့်မှန်းရန်
- သင့်လျော်သည့် solar shading လိုအပ်ချက်များကို သတ်မှတ်ရန်
- လေစီးဆင်းရာလမ်းကြောင်းများ(air flow paths)ကို ဖော်ပြထားသော layout plan drawings ရေးဆွဲရန်
- သင့်လျော်သည့် control philosophy ချမှတ်ပေးရန် တို့ဖြစ်သည်။

၇.၂.၄ တွက်နည်း (Calculation Approach)

(၁) အဆောက်အဦပုံစံ(Building layout) နှင့် သင့်လျော်သည့် တွက်နည်း ပုံစံကို ရွေးချယ်ပါ။

(၂) အခန်းအတွင်း အပူချိန်(inside temperature)နှင့် ပြင်ပလေအပူချိန်(outside air temperature) တို့ကို သတ်မှတ်ပါ။ ရာသီဥတု အချက်အလက်များ (weather data)မှ ရယူပါ။

(၃) လေဝင်ပေါက်နှင့် လေထွက်ပေါက်တို့၏ အမြင့်ကွာခြားချက်(height difference between the inlet and outlet points)ကို ရှာပါ။ Centre to entre distance ဖြင့် တွက်ရမည်။

(၄) လေဝင်ပေါက်နှင့် လေထွက်ပေါက်တို့၏ အမျိုးအစား(type)၊ အရွယ်အစား(size)နှင့် ပုံသဏ္ဍာန်(shape) တို့ကို သတ်မှတ်ပါ။

(၅) အဆောက်အဦ အတွင်း၌ ဖြစ်ပေါ်မည့် လေစီးနှုန်း(volume flow rate)ကို တွက်ရန်အတွက် ပုံသေနည်း၊ ညီမျှခြင်းများတွင် တန်ဖိုးများ(values)ကို ထည့်ပါ။

၇.၂.၅ Design Watch Points

(က) လေစီးကြောင်း၏ ဦးတည်ရာ(direction of air flow)သည် ပြင်ပအပူချိန်(outside temperature) ပေါ်တွင် မူတည်သောကြောင့် ပြင်ပအပူချိန်(outside temperature) ပြောင်းလဲသည့်အခါ လေစီး ဆင်းရာဘက်(air flow direction)သည် ပြောင်းလဲလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် ပြင်ပအပူချိန် (outside temperature) ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် အချက်များကို သတိထားပါ။

(ခ) Stack effect ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သည့် လေစီးဆင်းမှု(airflow)သည် အခန်းအတွင်းရှိ လေဖိအား အလွန် မြင့်မားလာခြင်း မဖြစ်စေရန် သတိပြုသင့်သည်။ ဒီဇိုင်းလေစီးနှုန်း(design airflow patterns)ကို မထိခိုက်စေရန် သတိပြုသင့်သည်။

(ဂ) Stack effect ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော natural ventilation ရရန်အတွက် လေဝင်ပေါက်နှင့် လေထွက် ပေါက်များကို ဖွင့်ထားရသောကြောင့် လုံခြုံမှု ကင်းမဲ့သည်။

(ဃ) အခန်းအတွင်းရှိ ခန်းစီးများ၊ လိုက်ကာများကြောင့်လည်း ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသည့် လေစီးနှုန်း ရရှိရန် ခက်ခဲ လိမ့်မည်။ Stack effect သည် ဖုန်တစ်ခုတည်းအတွက် အကောင်းဆုံးဖြစ်သည်။

References for Natural Ventilation

- CIBSE Guide A, Environmental Design, 2006, ISBN 1 903287 66 9
- CIBSE, Natural Ventilation in Non-Domestic Buildings, AM10, 2005, ISBN 1 903287 56 1
- AIVC 1998, TN 44 Numerical Data for Air Infiltration & Natural Ventilation Calculations, ISBN 1946075972

Natural Ventilation Guidelines:

- Whole Building Design Guide, National Institute of Building Sciences
  http://www.wbdg.org/resources/naturalventilation.php
- "Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings," a report (including design guidelines) by World Health Organization for naturally ventilated health-care facilities.
  http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547857_eng.pdf

Natural Ventilation အကြောင်း သုတေသနပြုနေကြသည့် တက္ကသိုလ်များ

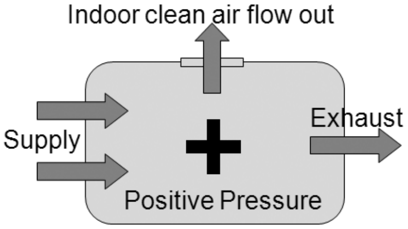
- The Center for the Built Environment (CBE), University of California, Berkeley.
  (http://www.cbe.berkeley.edu)
- Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California. (http://www.lbl.gov)
- Department of Architecture, Massachusetts Institute of Technology.
  (http://architecture.mit.edu/building-technology/program/research-topics)

၇.၃ Mechanical Ventilation

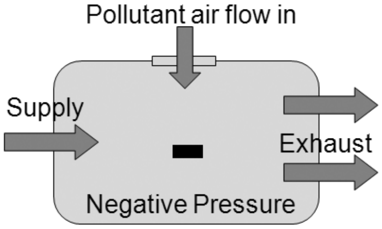
Mechanical Ventilation System များကို အတိုခေါက်အားဖြင့် MV System ဟူ၍ ခေါ်ဆိုလေ့ ရှိသည်။ ရေချိုးခန်းများ(bathroom)၊ အိမ်သာများနှင့် သန့်စင်ခန်းများ(toilet)၊ သေတ္တာငယ်များ ထားရှိရာ အခန်း(locker room)များ နှင့် ထိုကဲ့သို့ အသုံးပြုသည့် အခန်းများ(similar facility)များအတွက် သဘာဝ အတိုင်း လေဝင်လေထွက် ကောင်းအောင်(natural ventilation)ပြုလုပ်ထားခြင်း မရှိပါက စက်တစ်မျိုးမျိုးဖြင့် လေဝင်လေထွက်ကောင်းအောင်(mechanical ventilation) ပြုလုပ်ပေးရမည်။ ထိုအခန်းများအတွက် ပြင်ပလေ (outdoor air)ကို ventilation duct မှတစ်ဆင့် ပေးပို့နိုင်သည်။ Air condition unit တပ်ဆင် ပေးထားနိုင်သည်။

ပြတင်းပေါက်များ မှတစ်ဆင့် သဘာဝအတိုင်း လေဝင်လေထွက် ကောင်းအောင်(naturally ventilate) လုပ်ပေးနိုင်သည်။ တံခါးများကို တရုတ်ကပ်(louver)များနှင့် ပြုလုပ်ထားခြင်းဖြင့် လေဝင်လေထွက် ကောင်းစေနိုင်သည်။ Exhaust air များအတွက် အစားထိုး ထည့်ပေးမည့်လေ(replacement air)ပမာဏသည် စုပ်ထုတ်မည့်လေ(exhaust air)ပမာဏထက် ပိုမများစေရ။

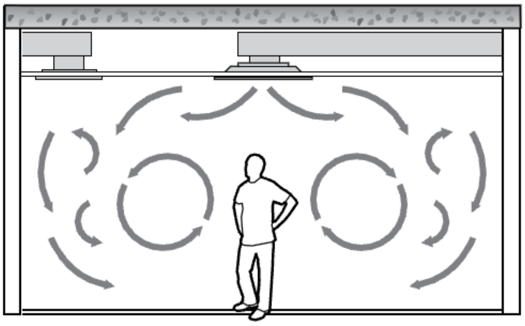
၇.၃.၁ အခန်းအတွင်း၌ Positive Pressure ဖြစ်ပေါ်ခြင်းနှင့် Negative Pressure ဖြစ်ပေါ်ခြင်း



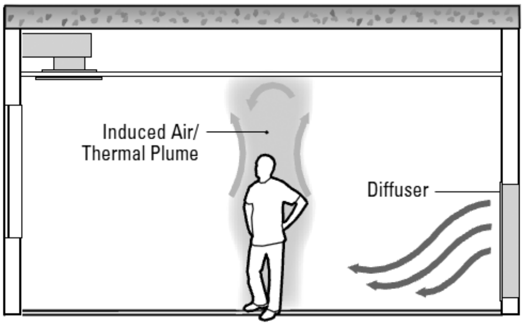
ပုံ ၇-၆ Supply air သည် exhaust air ထက်များလျှင် အခန်းထဲတွင် "**Positive Pressure**" ဖြစ်ပေါ်သည်။



ပုံ ၇-၇ Supply air သည် exhaust air ထက်နည်းလျှင် အခန်းထဲတွင် "**Negative Pressure**" ဖြစ်ပေါ်သည်။



ပုံ ၇-၈ Mixing (dilution) ventilation



ပုံ ၇-၉ Displacement ventilation

၇.၄ Hospital Operation Room Ventilation

ခွဲစိတ်ခန်းများ၏ air distribution system ကို ရုံးခန်းများ နှင့် shopping center များ၏ air distribution system များထက် ပို၍ ဂရုတစိုက် အသေးစိတ် တိကျစွာ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ အသက်ဆုံးရှုံးမှုများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်ပြီး ၊ လူနာများနှင့် ဆရာဝန်များ၏ ကျန်းမာရေးကို ထိခိုက်စေနိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ရုံးခန်းများ အတွက် air distribution system ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ရာတွင် supply air ကို အခန်းအတွင်းသို့ ရောက်အောင် ပို့ပေးရုံဖြင့် supply air နှင့် room air တို့ ရောနှော(mix)သွားကာ အခန်းအတွင်း၌ အပူချိန်တစ်သမတ်တည်း တူညီသည့်ဇုန်(uniform temperature zone) ဖြစ်ပေါ် လာနိုင်သည်။ ထိုကဲ့သို့ air distribution system မျိုးကို ဆေးရုံရှိ ခွဲစိတ်ခန်းများအတွက် အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပါ။

လေထဲ တွင်ရှိသော အညစ်အကြေး(airborne contaminant)များသည် အခန်းအတွင်းရှိ နေရာအားလုံးသို့ ပျံ့နှံ့ရောက်ရှိ သွားလိမ့်မည်။ ခွဲစိတ်ခန်း၏ air distribution system ဒီဇိုင်းသည် သက်သောင့်သက်သာ(thermal comfort)ဖြစ်စေရုံ သာမက အညစ်အကြေး(airborne contaminant)များကို စိတ်ချစွာ ထိန်းချုပ်ထားနိုင်ရန် လိုအပ်သည်။ အညစ်အကြေး(airborne contaminant)များကြောင့် ခွဲစိတ်ပြီးနောက်ပိုင်း ဖြစ်ပေါ်တတ်သည့် ရောဂါများ(post-operative infection) ရရှိနိုင်သည်။ ထို infection အများစုသည် လူနာ၏ ခန္ဓာကိုယ်မှ သော်လည်းကောင်း၊ ခွဲစိတ်ဆရာဝန်များနှင့် သူနာပြုများမှ သော်လည်းကောင်း၊ ခွဲစိတ်ခန်းသုံး ပစ္စည်းများကြောင့် သော်လည်းကောင်း ရောဂါကူးစက် ခံရခြင်း ဖြစ်သည်။

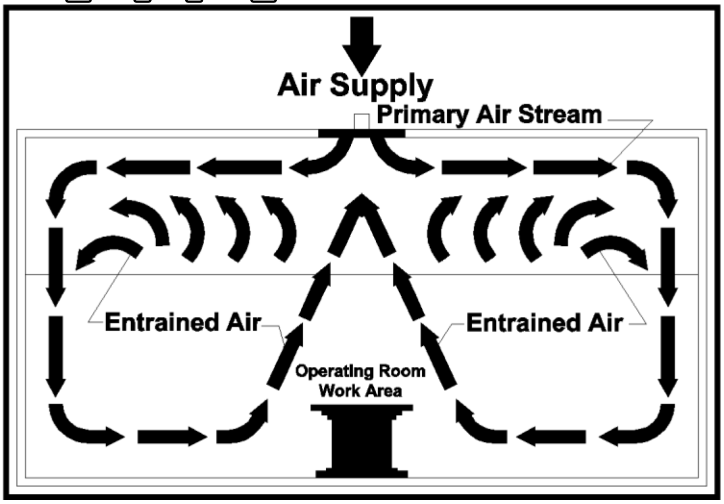
ခွဲစိတ်ခန်းအတွင်းသို့ ပြင်ပမှ အမှုန်၊ ဖုန်များ(particles) မဝင်ရောက်နိုင်ရန် ventilation system တွင် High Efficiency Particulate Filter(HEPA)များ အသုံးပြုထားသည်။ အနီးဝန်းကျင်မှ ပိုးမွှားများနှင့် အမှုန်အမှိုက်များ ခွဲစိတ်ခန်း အတွင်းသို့ မဝင်ရောက်နိုင်ရန်(infiltration မဖြစ်စေရန်) ခွဲစိတ်ခန်းအတွင်းတွင် positive pressure ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။

Airborne contaminant ကို ဖြစ်စေသည့် အဓိက အကြောင်း နှစ်ခုမှာ

(၁) ခွဲစိတ်ခန်း အတွင်း၌ micro-organism (ဗက်တီးရီးယားများ၊ မှိုများ စသည်တို့) ရှိခြင်း နှင့်

(၂) Ventilation နှင့် infiltration တို့ကြောင့် အမှုန်၊ ဖုန်များ(particles) ဝင်ရောက်လာခြင်း တို့ ဖြစ်သည်။

ခွဲစိတ်ဆရာဝန်များ၊ သူနာပြုများနှင့် လူနာတို့ကြောင့်လည်း မသန့်စင်မှုများ ပျံ့နှံ့ခြင်း(contamination) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Air distribution system သည် ခွဲစိတ်ခန်း(operation room)၌ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည့် မည်သည့် အညစ်အကြေး(contamination)ကို မဆို ဖယ်ရှားနိုင်စွမ်း ရှိရမည်။ System သည် contaminate ဖြစ်သွားသည့် လေများ(airborne contaminant ပါဝင်နေသည့် လေများ)ကို ကန့်သတ်ခွဲခြား(isolate)နိုင်ပြီး ခွဲစိတ်ခန်း အတွင်းမှ ဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း ရှိရမည်။ ဝင်လာသည့် supply air နှင့် ရောနှော(mixing) မသွားအောင်လည်း တားဆီးနိုင်စွမ်း ရှိရမည်။ အကောင်းဆုံးနှင့် အရိုးရှင်းဆုံးနည်းသည် သန့်ရှင်း လတ်ဆတ်သည့်လေ(fresh air)ကို များနိုင်သမျှ များအောင် ထည့်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၇-၁၀ Operation Room Ventilation

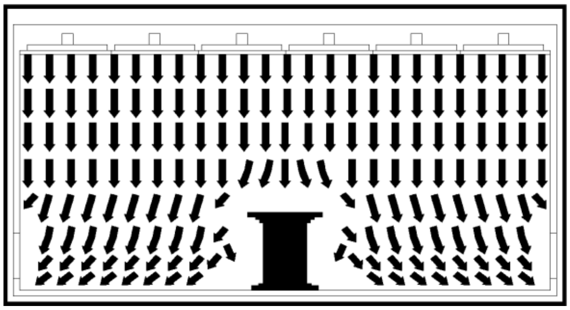
သန့်ရှင်းလတ်ဆတ်သည့် လေထည့်ပေးနှုန်း(fresh air ventilation rate) များခြင်းကြောင့် cooling load (latent heat load နှင့် sensible heat load) များလာလိမ့်မည်။ Airborne contaminant များကို ထိန်းချုပ်ထားရန်အတွက် အကောင်းဆုံးနှင့် အထိရောက်ဆုံး(effective)နည်းသည် ခွဲစိတ်ခန်း(operation room)အတွင်းသို့ supply air ကို ညီညီညာညာ ဖြည်းညင်းစွာ(low uniform velocity) ထည့်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ Low uniform velocity ကြောင့် stable downward air flow ကို ဖြစ်စေသည်။ "Lamina Flow System"ဟုလည်း ခေါ်သည်။ Lamina flow ventilation system တွင် မျက်နှာကြက်(ceiling) တစ်ခုလုံးကို

lamina flow diffuser များဖြင့် တပ်ဆင် ထားသည်။ ထိုကဲ့သို့ တူညီသည့် လေအလျင်(uniform velocity) ဖြစ်နေသည့် lamina air flow pattern ရရှိရန် အတွက် ပိုများသည့် လေလည်ပတ်မှုနှုန်း(air change rate)ရှိရန် လိုအပ်သည်။ ပိုများသည့် လေလည်ပတ်မှုနှုန်း(air change rate)ကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) ပိုများလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် စွမ်းအင်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်(energy cost) ပိုများ လိမ့်မည်။

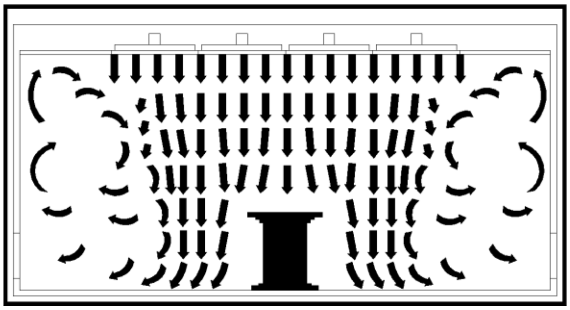
စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှုန်း(energy consumption) သက်သာစေရန်အတွက် lamina air flow ကို ခွဲစိတ်ခန်း တစ်ခုလုံးအတွက် မပေးဘဲ အရေးကြီးသည့်နေရာ(critical zone)ဖြစ်သည့် ခွဲစိတ်ခုတင်(operation table) အနီး ဝန်းကျင်ကို သာပေးခြင်းဖြင့် လိုအပ်သော လေလည်ပတ်မှုနှုန်း(air change rate)ကို လျှော့ချနိုင်သည်။ ထိုကဲ့သို့ ဒီဇိုင်းမျိုးတွင် lamina flow diffuser များကို မျက်နှာကြက်တစ်ခုလုံး အပြည့်တပ်ဆင်ရမည့်အစား ခွဲစိတ်ခုတင် (operation table) အပေါ်တည့်တည့်တွင်သာ တပ်ဆင်ထားသည်။ Lamina flow diffuser များမှ လေသည် ညင်သာစွာ(low face velocity) ဆင်းလာသော်လည်း diffuser များ မရှိသည့် ဘေးဘက်တွင် entrenchment of room air ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

Supply air အပူချိန်နှင့် အခန်းအတွင်းရှိ လေ၏အပူချိန် ခြားနားချက်(temperature differential) တို့ကြောင့် supply air သည် discharge air envelope ၏ အလည်သို့ ဦးတည်သွားသည်။ ထို့ကြောင့် diffuser မှ အကွာအဝေးများလာသည့်အမျှ သန့်ရှင်းသောနေရာ(clean zone)သည် ကျဉ်းမြောင်းသွားသည်။ ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်စဉ် Lamina flow diffuser များ နေရာချသည့်အခါတွင် ဤအချက်ကို ထည့်သွင်းတွက်ချက်ရန် လိုအပ်သည်။

Lamina flow ventilation system မှထွက်လာသည့် supply air များသည် HEPA filter(High Efficiency Particulate Air Filter)များဖြင့် စစ်ပြီးသားဖြစ်သည်။ HEPA filter များသည် lamina flow ventilation system တွင် ပါဝင်သည့် အစိတ်အပိုင်းများ ဖြစ်သည်။ HEPA filter များကို ခွဲစိတ်ခန်း(operation room)၏ အပြင်ဘက် နေရာတွင် ထားရှိသောကြောင့် လေစစ်(filter)လဲခြင်း၊ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခြင်းများပြုလုပ်ရန် အတွက် sterilized လုပ်ထားသည့် ခွဲစိတ်ခန်းအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ရန် မလိုပေ။ Diffuser များအနီးတွင် တပ်ဆင်ထားသော HEPA filter အမျိုးအစားမျိုး ရှိသည်။ အလွယ်တကူ ဖြုတ်နိုင်တပ်နိုင်၊ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းရန် လွယ်ကူသော်လည်း sterilized လုပ်ထားသည့် ခွဲစိတ်ခန်း အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ပြီးမှသာ ပြုလုပ်၍ ရသည်။



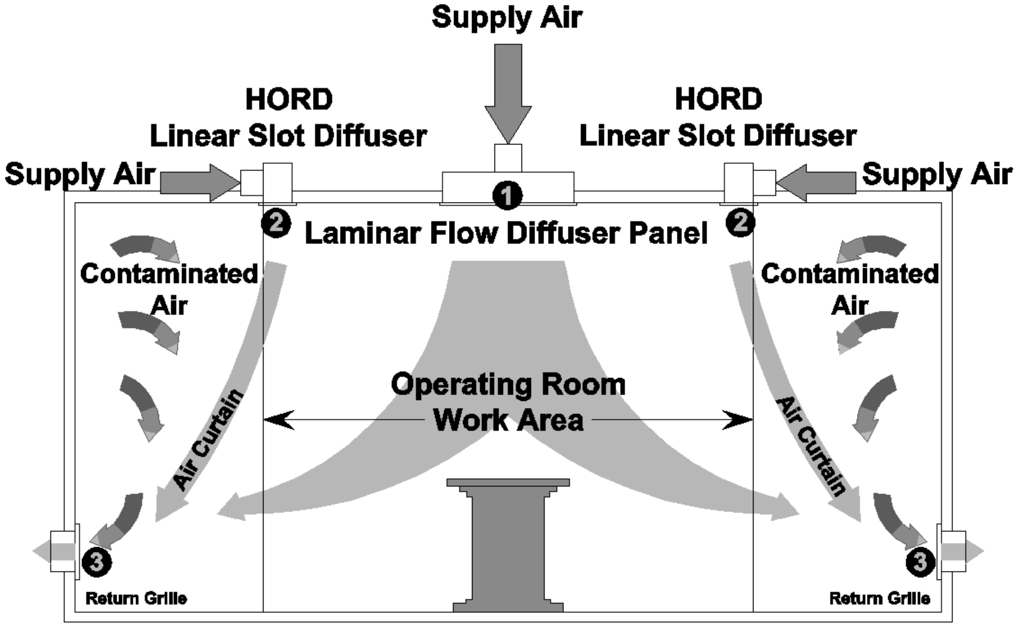
ပုံ ၇-၁၁ Lamina Flow - Full Ceiling Supply



ပုံ ၇-၁၂ Lamina Flow - Partial Ceiling Supply

အမှန်တကယ် အရေးကြီးသောနေရာဖြစ်သည့် clean zone သည် ခွဲစိတ်ခုတင်(operation table)၏ အနီး ပတ်ဝန်းကျင်သာ ဖြစ်သည်။ မျက်နှာကြက်အပြည့် "Full Ceiling Lamina Flow Ventilation System" ပြုလုပ်ရမည့်အစား ခွဲစိတ်ခုတင် (operating table)၏ အနီးကိုသာ lamina flow ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပြီး လေလိုက်ကာ(air curtain)နှင့် ကာရံထားခြင်းဖြင့် စွမ်းအင် (energy)အတွက် ကုန်ကျစရိတ်ကို လျှော့နည်းစေ နိုင်သည်။

Air curtain ကို linear slot diffuser များဖြင့် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ခွဲစိတ်ခုတင်(operation table)၏ လေးဘက်စလုံးတွင် လေလိုက်ကာ(air curtain)များဖြင့် ကာရံထားသည်။ Linear slot diffuser များကို ခွဲစိတ်ခုတင်(operating table)မှ အနည်းဆုံး (၃)ပေခွာ၍ တပ်ဆင် ထားရမည်။ ခွဲစိတ်သူများ၊ ခွဲစိတ်ကိရိယာများ သန့်ရှင်းသည့်ဇုန်(clean zone)အတွင်း၌ လုံခြုံစွာ ရွေ့လျားသွားလာနိုင်ရန်အတွက် ခွဲစိတ်ခုတင်(operating table)မှ အနည်းဆုံး(၃)ပေခွာထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Linear air diffuser များမှ supply air သည် ဒေါင်လိုက်မျဉ်း(vertical line)မှ (၁၅)ဒီဂရီထောင့်ဖြင့် ထွက်လာအောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ (၁၅)ဒီဂရီထောင့်ဖြင့် ထွက်လာသော supply air များသည် ခွဲစိတ်ခုတင်(operation table)နှင့် အနီးဝန်းကျင် အကြားတွင် အဆီးအတား(barrier) ကြားခံတစ်ခု အနေဖြင့် ကာရံ ပေးထားသည်။



ပုံ ၇-၁၃ An integrated system of laminar flow and linear slot diffusers that minimizes mixing of room and supply air to create a controlled operating room work area.

Contaminated room air ကို အပြင်ဘက်ဆုံးနေရာ(outer boundary layer) မှတစ်ဆင့် ဆွဲငင်စုပ်ယူသွားပြီး ခွဲစိတ်ခုတင်(operating table)မှ အဝေးဆုံးဖြစ်သော လေစုပ်ပေါက်(exhaust grille)များ ဆီသို့ ရောက်သည်။ ထို့ကြောင့် contaminated room air များကို ပိုမို ထိရောက်စွာ ပြင်းအား လျော့နည်းစေခြင်း(dilution) ဖြစ်နိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လျင်မြန်စွာ ပြင်းအားလျော့နည်းခြင်း(dilution) ဖြစ်စေသည်။

Supply air ၏ ၆၅% မှ ၇၅% ပမာဏကို lamina flow air diffuser မှ ထုတ်ပေးပြီး ကျန်သည့် ၂၅% မှ ၃၅% ကို air curtain မှ ထွက်အောင်(discharge) လုပ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ ခွဲစိတ်ခန်းအတွင်းသို့ ပြင်ပမှ အမှုန်များ၊ အမှိုက်များ၊ ဗက်တီးရီးယားများ မဝင်ရောက်နိုင်ရန် အခန်းအတွင်း၌ "Positive Pressure" ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားရန် လိုအပ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ positive pressure အနည်းငယ် ဖြစ်ပေါ်နေစေရန် အတွက် ထည့်ပေးသည့် လေပမာဏ(supply air volume)သည် ပြန်စုပ်ယူသည့် လေပမာဏ(return air volume)ထက် အနည်းငယ် များနေရန် လိုအပ်သည်။ ထည့်ပေးသည့်လေပမာဏ(supply air volume) နှင့် ပြန်စုပ်ယူသည့် လေပမာဏ(return air volume)ကွာဟချက် အရမ်းများမနေစေရန် သတိပြုသင့်သည်။ အကြမ်းအားဖြင့် ပြန်စုပ်ယူသည့် လေပမာဏ(return air volume)သည် ထည့်ပေးသည့် လေပမာဏ(supply air volume) ၏ ၈၅% ခန့် ဖြစ်သင့်သည်။

Return air grille များကို ကြမ်းခင်းမှ (၃)လက်မ မှ (၆)လက်မ အကြား အမြင့်တွင် တပ်ဆင်ထားသင့်သည်။ ထိုကဲ့သို့ exhaust သို့မဟုတ် return air grille ကို အနိမ့်ပိုင်း(low level)တွင် တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် contaminated air နှင့် လေထက် အလေးချိန်များသည့် ဓာတ်ငွေ့(gas)များ၊ ဖုန်များ၊ အမှုန်များကို စုပ်ယူ သွားစေနိုင်သည်။ Return air grille လေးခုကို နံရံလေးဘက်စလုံးတွင် တပ်ဆင်ထားရမည်။ နံရံတစ်ဘက်လျှင်တွင် return air grille တစ်ခုစီ တပ်ဆင် ထားရမည်။ အကယ်၍ နံရံလေးဘက်စလုံးတွင် return air grille များ တစ်ခုစီ တပ်ဆင်ရန် မဖြစ်နိုင်ပါက ဆန့်ကျင်ဘက် နံရံနှစ်ဘက်တွင် grille နှစ်ခုစီကို တပ်ဆင်နိုင်သည်။ အနီးကပ်ဆုံး နံရံနှစ်ဘက်တွင် grille နှစ်ခုစီ မတပ်ဆင် မသင့်ပါ။ ထိုသို့ တပ်ဆင်ခြင်းဖြင့် contaminated air များ ခွဲစိတ်ခုတင်(operating table)အနီးသို့ ရောက်ရှိသွား နိုင်သည်။

၇.၄.၁ Ceiling Construction

ခွဲစိတ်ခန်းများ၏ မျက်နှာကြက်(ceiling)တည်ဆောက်ပုံသည် air distribution system အတွက် အလွန် အရေးကြီးသည်။ Supply air များ ဖိအားများအောင်ပြုလုပ်(pressurization)ရန် အတွက် မျက်နှာကြက်(ceiling)ကို plenum box အဖြစ် တည်ဆောက်ရမည်။ ခွဲစိတ်ခန်း မျက်နှာကြက်ကို နည်းသုံးမျိုးဖြင့် တည်ဆောက်ထား နိုင်သည်။

(က) Dry wall ceiling
(ခ) Gasket T-bar ceiling နှင့်
(ဂ) Combination of Dry wall and T-bar ရောထားသည့် ပုံစံမျိုးတို့ ဖြစ်သည်။

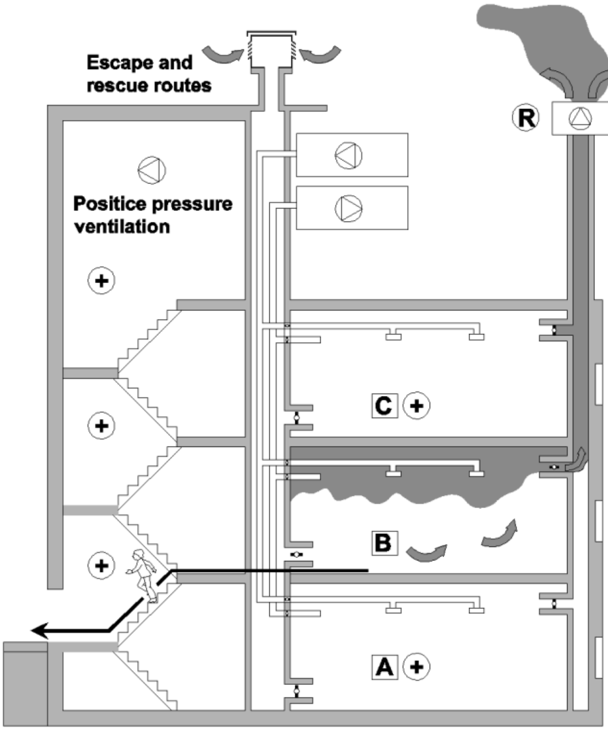
ဆေးရုံ၊ ဆေးခန်းများ၊ ကုသရေးဆိုင်ရာ အဆောက်အဦများ၏ air conditioning system သည် သက်သောင့်သက်သာ(comfort)ဖြစ်စေရုံသာမက ရောဂါမပြန့်ပွားအောင် တားဆီးပေးနိုင်ရမည်။ ထည့်ပေးသည့်လေ(supply air)၏ အပူချိန်ကို အတိုးအလျှော့ လုပ်ခြင်းဖြင့် အခန်း၏ အပူချိန်ကို ထိန်းထားခြင်း (temperature control) ဖြစ်သည်။ လေလည်ပတ်နှုန်း(air flow rate)ကို နည်းအောင် များအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် အလိုရှိသည့် အခန်း အပူချိန်ရအောင် မပြုလုပ်(control)ရ။ တစ်နည်းအားဖြင့် အခန်းအတွင်း၌ အချို့ နေရာတွင် အပူချိန်မြင့်ခြင်း၊ အချို့နေရာတွင် အပူချိန်နိမ့်ခြင်း (temperature gradient) မဖြစ်ပေါ်အောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။

အခန်းအတွင်း၌ အခန်းအပူချိန်ကို တစ်သမတ်တည်း(uniform temperature)ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ အခန်းအတွင်း၌ တစ်နေရာ နှင့် တစ်နေရာ အပူချိန်ကွာဟချက်(temperature gradient) များပါက မလိုလားအပ်သည့် အပူချိန်ကြောင့် လေရွေ့လျားခြင်း(air movement)ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ အခန်းတစ်ခုလုံး အပူချိန်(temperature distribution) တစ်သမတ်တည်း ညီနေအောင်(homogenous)ပြုလုပ်ထား သင့်သည်။ လေ မသန့်ရှင်းမှု များသည့်နေရာ(high contaminated area)တွင် လေအလျင်(air velocity)သည် တစ်စက္ကန့်လျှင် (၀.၂)မီတာနှုန်း(0.2 m/s)ထက် ပိုမများသင့်ပေ။ လူနာများ ထားသည့်အခန်း(patient room) များတွင် တစ်စက္ကန့်လျှင် (၀.၁)မီတာနှုန်း(0.1 m/s)သည် သင့်လျော်သည့် လေအလျင်(air velocity) ဖြစ်သည်။ လေအလျင်(air velocity) ကို 0.45 ± 0.10 m/s တွင် ထိန်းထားခြင်းဖြင့် unidirectional lamina flow pattern ကို ရရှိနိုင်သည်။

လေလဲနှုန်း(Air Change per Hour(ACH))သည် အထူးသန့်စင်ရန် လိုအပ်သော နေရာများအတွက် အလွန် အရေးပါသည်။ လူနာများထားသည့်အခန်း(patient room)များအတွက် ထုံးစံအားဖြင့် 2 ACH – 6 ACH အတွင်း ဖြစ်သည်။ Critical room များအတွက် တစ်နာရီလျှင် အခန်းထုထည်၏ (၁၂)ဆနှုန်း(12 ACH)အထိ ထားပေးသည်။ ခွဲစိတ်ခန်း(surgical operating theatre)များအတွက် 15 ACH မှ 25 ACH အထိ ရှိနိုင်သည်။

၇.၅ အဆောက်အဦတိုင်း၏ မရှိမဖြစ် လိုအပ်သော အခန်းများ(Essential Rooms)၏ MV System

မြန်မာနိုင်ငံ၌ လွန်ခဲ့သည့်နှစ်များတွင် ကြီးမားသည့် အဆောက်အဦများနှင့် ဈေးများ မီးလောင်ကျွမ်းခြင်း ခံရသည့်နှုန်း မြင့်မားလာသည်ကို တွေ့ရသည်။ မင်္ဂလာဈေးကြီး၊ သဃ်န်းကျွန်းဈေးကြီး၊ မုံရွာဈေးကြီးနှင့် သံဖြူဇရပ်ဈေး မီးလောင်မှုတို့သည် အထင်ကရ ဆုံးရှုံးမှုများ ဖြစ်ကြသည်။ မီးဘေးကာကွယ်ရန် (fire protection)နှင့် မီးလောင်ကျွမ်း ခဲ့သော် ငြိမ်းသတ်ရန်အတွက် ရှိသင့်ရှိထိုက်သည့် Mechanical & Electrical (M&E) System များကို ပြန်လည် ဆန်းစစ်ရန် လိုအပ်သည်။ သတ်မှတ်ထားသော စံချိန်စံညွှန်း(code of practice)များအတိုင်း စနစ်တကျ ဒီဇိုင်းလုပ်၍ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၇-၁၄ Escape routes and rescue routres

ပုံ ၇-၁၅ မင်္ဂလာဈေးကြီး မီးလောင်နေပုံ

ACMV ဘာသာရပ် သို့မဟုတ် ACMV အင်ဂျင်နီယာသည် အဆောက်အဦ၏ မီးဘေးကာကွယ်ရန်(fire protection)နှင့် မီးလောင်ကျွမ်းခဲ့သော် ငြိမ်းသတ်ရေးလုပ်ငန်းများ(firefighting)တွင် အရေးပါသည့် အခန်းကဏ္ဍမှပါဝင်သည်။ မီးလောင်ကျွမ်းရန် အောက်စီဂျင်နှင့် လောင်စာလိုအပ်သည်။ အောက်စီဂျင်သည် လေထဲတွင် ၂၁% ပါဝင်သည်။ ACMV ဘာသာရပ် သို့မဟုတ် ACMV အင်ဂျင်နီယာသည် မီးလောင်ရာတွင် မရှိမဖြစ် လိုအပ်သော အောက်စီဂျင်ကို mechanical ventilation system မှတစ်ဆင့် လိုအပ်သလို စီမံခြင်းဖြင့် မီးငြိမ်းသတ်ခြင်း နှင့် မီးဘေး ကာကွယ်ခြင်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။

အဆောက်အဦတစ်ခုတွင် မရှိမဖြစ်လိုအပ်သော အခန်းများ(essential area/rooms) အတွက် Mechanical Ventilation System များ

(က) အထွက်လှေကား(exit staircase) နှင့် internal passageway (လှေကားများ နှင့် အဆောက်အဦအတွင်း အရေးပေါ် ထွက်ပေါက်များ နှင့် အရေးပေါ်ထွက်ပေါက်သို့ သွားရန်လမ်းများ)

(ခ) Smoke stop lobby (မီးလောင်လျှင် မီးခိုးများ မပြန့်ပွားစေရန် နှင့် မီးခိုးများကို တားဆီးရန် အတွက် ထားရှိရမည့် အခန်းငယ်များ)

(ဂ) Generator room (လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပေးစက်ခန်း)

(ဃ) Fire Command Center(FCC) (အဆောက်အဦ မီးလောင်သည့်အခါ မီးငြိမ်းသတ်ရန်နှင့် ကယ်ဆယ်ရန် အတွက် မီးသတ်သမားများ၊ ရဲများ နှင့် တာဝန်ရှိသူများ ကြီးကြပ် ကွပ်ကဲရန်နေရာ အခန်းငယ်)

(င) Fire pump room (မီးငြိမ်းသတ်ရန် သို့မဟုတ် မီးဘေးကာကွယ်ရန်ထားရှိရမည့် မီးသတ်ပန့်အခန်းများ)

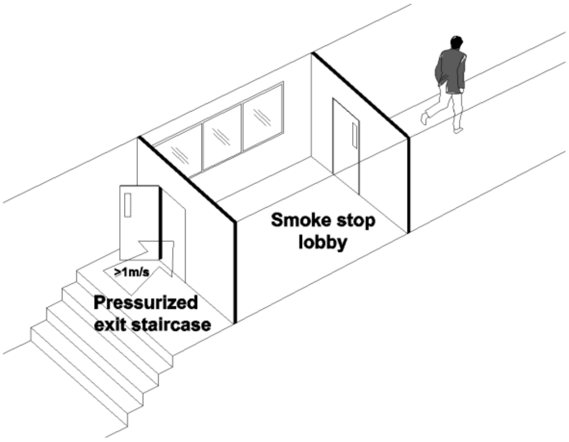
(စ) Rooms involving use of flammable and explosive substances(မီးလောင်လွယ်သည့် အငွေ့များ နှင့် ပေါက်ကွဲ စေနိုင်သည့်အရာဝတ္ထုများ ထားရှိရာအခန်းများ)

(ဆ) Kitchen (မီးဖိုချောင်များ၊ ချက်ပြုတ်ခန်းများ)

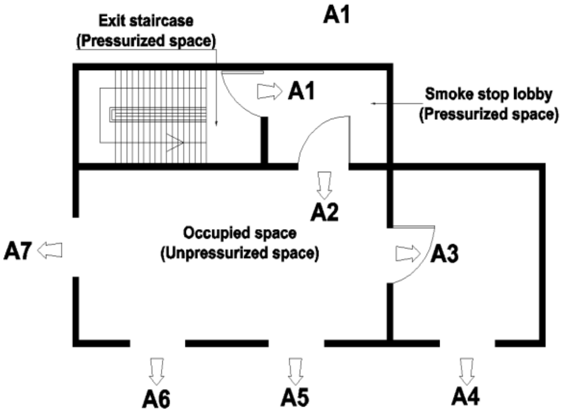
၇.၅.၁ (က) လှေကားများ(Exit Staircase) နှင့် အရေးပေါ် ထွက်ပေါက်သို့ သွားလမ်းများ(Internal Passageway)

အဆောက်အဦတစ်ခု မီးလောင်ကျွမ်းသည့်အခါ အသက်၊ အိုးအိမ် နှင့် ဥစ္စာနေ ဆုံးရှုံးခြင်းများ ဖြစ်နိုင်သည်။ အသက်ဆုံးရှုံးမှုများဖြစ်ရသည့် အဓိက အကြောင်းအရင်းသည် မီးခိုးများကြောင့် ဖြစ်သည်။ လူများ မီးလောင်ကျွမ်းခံရခြင်း၏ အဓိကတရားခံသည် မီးခိုးများဖြစ်သည်။

Mechanical ventilation system တစ်ခု၏ ဒီဇိုင်း မမှန်ကန်ပါက မီးလောင်ကျွမ်းသည့် အထပ်မှ (နေရာမှ) မီးခိုးများသည် တခြား မီးမလောင်သည် အထပ်သို့(နေရာသို့) ရောက်ရှိသွားပြီး လူများ မီးခိုးသင့်ကာ ဒုက္ခရောက် ကြရသည်။ မီးခိုးများကြောင့်လူများ အမြင်မှုန်ဝါးခြင်း၊ အသက်ရှူ မဝခြင်း နှင့် မွန်းကြပ်ခြင်း တို့ ဖြစ်ကာ လွတ်မြောက်ရန် ခက်ခဲပြီး အသက် ဆုံးရှုံးကြရခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၇-၁၆ Smoke stop lobby



ပုံ ၇-၁၇ Smoke stop lobby (pressurized space)

မီးခိုးများ တစ်နေရာမှ တခြားနေရာသို့ ပျံ့နှံ့သွားစေသည့် အကြောင်းများမှာ stack effect ၊ buoyancy၊ expansion၊ wind နှင့် ဒီဇိုင်းမမှန်သည့် HVAC system များကြောင့် ဖြစ်သည်။ အပူချိန်ကွာခြားချက် (temperature differences)နှင့် လေဖိအားကွာခြားချက်(pressure difference)တို့ကြောင့် "**Stack Effect**" ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ မီးခိုးများသည် ပူသောကြောင့် ပို၍ ပေါ့ပါးလာသည်။ Buoyancy force များကြောင့် မီးခိုးများနှင့် မီးခိုးများပါသည့် လေများသည် အပေါ်သို့ တက်လာကြသည်။

ထိုနောက် မီးခိုးများသည် လှေကားနေရာ(stairwell)များ နှင့် elevator shafts/refuse chute များ ကဲ့သို့ နေရာလွတ် အပေါက်များမှတစ်ဆင့် အဆောက်အဦးအပေါ်သို့ ရောက်လာနိုင်သည်။ တစ်ပြိုင်တည်း၌ပင် ဘေးမှကျလာသည့် လေအေးများက မီးခိုးအချို့ကို အေးစေနိုင်သည်။ သို့သော် မီးတောက်မှ ထုတ်လွှတ်သည့် အပူစွမ်းအင်(heat energy)သည် မီးခိုးများကို တွန်းကန်အား(expansion force)ဖြင့် ပင့်တင်ပေးသည်။ သဘာဝအားဖြင့် မီးလောင်လျှင် မီးခိုးများ အထက်သို့ တက်လေ့ရှိသည်ကို လူတိုင်းလိုလို ကြုံတွေ့ဖူးကြသည်။

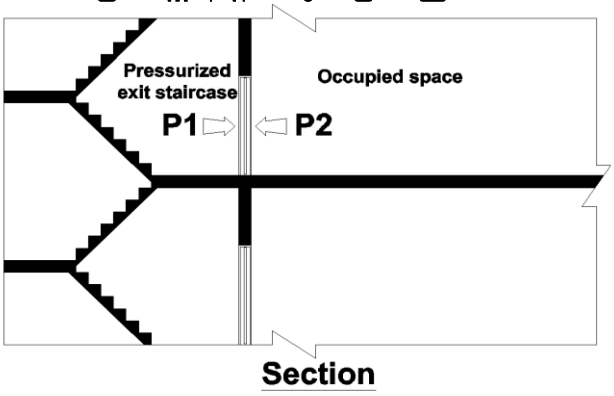
ထို့ကြောင့် MV system တစ်ခု၏ ဒီဇိုင်းသည် မီးခိုးများ မပျံ့နှံ့အောင် ကာကွယ်ရန် တာဝန်ရှိသည်။ အရေးပေါ်ထွက်ပေါက်များ(emergency exit)၊ ဘေးလွတ်ရာသို့ ပြေးထွက်ရန်လမ်းများ(escape route) နှင့် ထွက်ပေါက်သို့သွားလမ်းများ(exit passage way)ကို လည်း မီးခိုးများ မဝင်ရောက်နိုင်အောင် ကာကွယ်ရမည်။ ဘေးလွတ်ရာသို့ ပြေးထွက်ရန်လမ်း(escape route)၊ အရေးပေါ် ထွက်ပေါက်(emergency exit) နှင့် ထွက်ပေါက်သို့ သွားလမ်းများ(exit passage way)ထဲသို့ မီးခိုးများ မဝင်ရောက်နိုင်အောင် လေဖိအား (pressure) မြှင့်ထားရမည်။

ဘေးလွတ်ရာသို့ ပြေးထွက်ရန်လမ်းများ(escape route)၊ အရေးပေါ်ထွက်ပေါက်(emergency exit)၊ အရေးပေါ် ထွက်ပေါက်သို့သွားလမ်းများ(exit passage way)အတွက် လိုအပ်သောလေကို သီးသန့် fan ၊ duct ၊ control panel စသည့် တို့ဖြင့် သီးခြား(independent system) ဖြစ်အောင် တပ်ဆင်ထားရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် တခြားသော system များမှ fan ၊ duct ၊ control panel တို့ဖြင့် ရောနှော တပ်ဆင် အသုံးပြုခွင့် မရှိစေရ။ လေကို မှုတ်ထည့်ခြင်း(supply mode only)အဖြစ်သာ ဒီဇိုင်းလုပ်ရမည်။

မှုတ်ထည့်ရန်လေ(supply air)ကို ပြင်ပတစ်နေရာ(outdoor)မှ ရယူရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အဆောက်အဦ အတွင်းဘက် တစ်နေရာရာမှ မယူရ။ ထို supply air ယူသည့်နေရာ (intake point)သည် တခြားသော လေဟောင်း လေပုပ်များ စွန့်ထုတ်ရာနေရာ(exhaust opening)မှ အနည်းဆုံး (၅)မီတာကွာဝေးရမည်။

လွတ်မြောက်ရန်လမ်းကြောင်း(escape route)၊ အရေးပေါ်ထွက်ပေါက်(emergency exit)၊ exit passage way တို့ အတွက် လိုအပ်သောလေကို vertical duct မှတစ်ဆင့် တွန်းပို့ရမည်။ တစ်ထပ်ကျော်တွင် supply air ကို လေထွက်ပေါက်များ(grillers နှင့် diffusers) မှတစ်ဆင့် ထုတ်ပေးခြင်း(discharge) ပြုလုပ်ရမည်။ လေ့ကားအပြင်၌ရှိသော duct များကို မီးဒဏ်ခံနိုင်သည့် အမျိုးအစားဖြစ်အောင်(fire rated construction) ပြုလုပ်ရမည် သို့မဟုတ် မီးခံပြား(fire rated board)ဖြင့် duct ကို ကာရံ(enclosed)ထားရမည်။

ထိုသို့ မီးခံပြား(fire rated board)ဖြင့် duct ကို ကာရံ(enclosed)ထားရသည့် ရည်ရွယ်ချက်မှာ မီးလောင်နေစဉ်အတွင်း duct မပျက်စီးအောင် ကာကွယ်ရန် နှင့် မီးလောင်နေစဉ်အတွင်း လိုအပ်သည့်လေများ အဆက်မပြတ် ရရှိနေရန် အတွက် ဖြစ်သည်။



P1= Pressurization system pressure

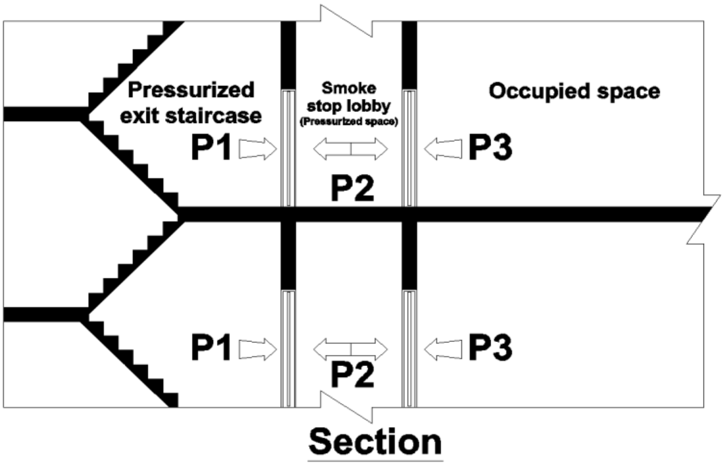
P2= occupied area pressure

P1-P2>50 pa

Pressure P1 is grater than P2 in occupied space

ပုံ ၇-၁၈ Pressure gradient with smoke stop lobby

သို့သော် ပြင်ပမှလေ(supply air)ကို ရယူထားသောကြောင့် duct တစ်လျှောက်လုံးတွင် fire damper တစ်ခုမှ မတပ်ဆင်ထားရ။ Fire damper တပ်ဆင်ရခြင်း၏ ရည်ရွယ်ချက်မှာ မီးလောင်သည့်နေရာမှ မီးခိုးများ တခြား နေရာသို့ မရောက်စေရန် fire damper ကို ပိတ်ပြီး ပိုင်းခြားခြင်း(isolation) ဖြစ်သည်။ ဤ staricase pressurization duct သည် ပြင်ပတစ်နေရာ(outdoor)မှ လေကို ယူထားသောကြောင့် fire damper ဖြင့် ပိုင်းခြား(isolate)ရန် မလိုအပ်ပါ။

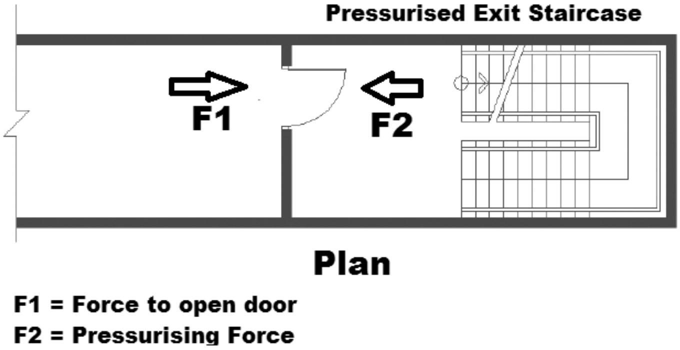


P1= Pressurization system pressure
P1>P2>P3
P1-P3>50 Pa

Pressure P1 in staircase is greater than pressure P2 in Smoke stop lobby

P2 is greater than pressure P3 of occupied space

ပုံ ၇-၁၉ Maintaining pressure differential without smoke stop lobby



ပုံ ၇-၂၀ တံခါးဖွင့်ရန် လိုအပ်သည့် အားပမာဏ

လွတ်မြောက်ရန်လမ်းကြောင်း(escape route)၊ အရေးပေါ်ထွက်ပေါက်(emergency exit)၊ exit passage way တို့အတွက် လိုအပ်သောလေကို အဆက်မပြတ် ပေးပို့ရန် duct နှင့် fan သည် အဆောက်အဦ ပျက်စီးသည့်တိုင် ကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်နေရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် staricase pressurization fan တွင် over load protection ထားရှိရန် မလိုအပ်ပါ။

(၂၄)မီတာထက်မြင့်သည့် အဆောက်အဦတိုင်းတွင် သဘာဝအတိုင်း လေဝင်လေထွက်ကောင်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်း(natural ventilation) မရှိပါက လူများ ထွက်ပေါက်အဖြစ် အသုံးပြုမည့် အထွက်လှေကား(exit staircase)များကို ဖိအားမြင့်အောင်(pressurized) လုပ်ထားရန် လိုအပ်သည်။ မြေအောက်တွင် လေးထပ်ထက် နိမ့်အောင် ဆောက်လုပ်ထားသည့် အဆောက်အဦတိုင်းတွင် မီးသတ်ရန်အခန်း(fire fighting lobby)များ မြေအောက်အထပ်တိုင်းတွင် ထားရှိရမည်ဖြစ်ပြီး မီးသတ်ရန် အခန်း(fire fighting lobby)များ အားလုံးကို လေဖိအားများအောင်(pressurized) ပြုလုပ်ထားရမည်။

ရှိသင့်သည့် လေဖိအားပမာဏ (Pressurization Level)

Pressurized exit staircase အတွင်းရှိ လေဖိအားသည် အသုံးပြုသူများ ရှိသည့်နေရာ(occupied area)ထက် အနည်းဆုံး 50 pascal ပိုများရမည်။ စင်ကာပူရှိ အဆောက်အဦများတွင် ဖိအားပေးထားသော အထွက်လှေကား(pressurized exit staircase) နှင့် occupied area အကြားတွင် smoke-stop lobby ဟုခေါ်သည့် အခန်းငယ်တစ်ခု ပြုလုပ်ထားလေ့ရှိသည်။

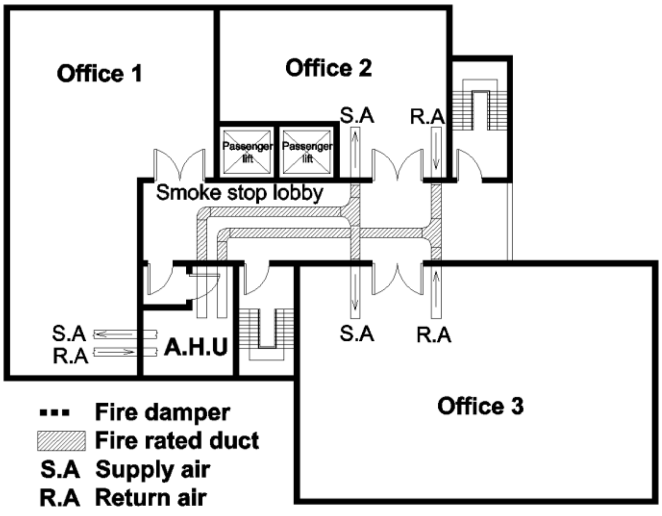
ဖိအားမြင့်အောင်လုပ်ထားသည့်လှေကား(pressurized exit staircase)၏ ဖိအားသည် smoke-stop lobby ရှိ လေဖိအားထက် ပိုများရမည်။ Smoke-stop lobby ၏ လေဖိအားသည် အသုံးပြုသူများ ရှိသည့်နေရာ (occupied area) ရှိဖိအားထက် ပိုများရမည်။

> Pressurized exit staircase ၌ လေဖိအားများလေ မီးခိုးများ မဝင်ရောက်နိုင်လေ ဖြစ်သည်။ သို့သော် လေဖိအားများလွန်းပါက တံခါးဖွင့်ရန် အလွန် ခက်ခဲလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် အနည်းဆုံး လေဖိအားကို 50 Pa ဖြင့် ကန့်သတ်ထားပြီး အများဆုံးကို တံခါးတွန်းဖွင့်ရန် လိုအပ်သည့်အားနှင့် ကန့်သတ်ထားသည်။ လေဖိအားများလေ တံခါးတွန်းဖွင့်ရန် အားများများ လိုလေဖြစ်သည်။ တံခါးပွင့်ရန် လိုအပ်သောအား ပမာဏသည် 110 N ထက် မပိုရပေ။

တံခါးပွင့်၍ ဟသွားသည့်နေရာ မှတစ်ဆင့် မီးခိုများ မဝင်ရောက်နိုင်ရန် လုံလောက်သည့် velocity ရအောင် သင့်လျော်သော လေစီးနှုန်း(air flow)ပမာဏဖြင့် ထိန်းထားရန် လိုအပ်သည်။ ပုံ(၇-၂၃) တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း ကပ်လျက် ရှိသည့် အထပ်နှစ်ထပ်မှ တံခါးနှစ်ချပ် ပွင့်နေသည့်အခါ နှင့် main discharge door လုံးဝ ပွင့်နေသည့်အခါ flow velocity ကို တိုင်းယူ ရရှိနိုင်သည်။ လေအလျင် (velocity)ပမာဏသည် full area of each door opening အတွက် 1.0 m/s ကျော်ရန် လိုအပ်သည်။ လေဖိအားများလာစေရန် အခန်း အတွင်းသို့ ထည့်ပေးရမည့် supply air diffuser များ ကို တစ်နေရာတည်း၌ စုပြုံ တပ်ဆင်ထားခြင်း မပြုလုပ်ရ။

၇.၅.၂ (ခ) Smoke Stop Lobby
(မီးလောင်လျှင် မီးခိုးမကူးရန် နှင့် မီးခိုးများကိုတားဆီးရန် အတွက် ထားရှိရမည့် အခန်းငယ်များ)

Smoke-stop lobby ကို smoke-free lobby ဟုလည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။ Smoke-stop lobby သည် အထွက်လှေကား(exit staircase) နှင့် ထိစပ်နေသည့် အခန်းငယ် ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အထွက်လှေကား(exit staircase) နှင့် user occupied area အကြား၌ ရှိသော အခန်းငယ် ဖြစ်သည်။ လူများရှိသည့် နေရာ(user occupied area)သည် မီးစတင်လောင် ကျွမ်းသည့်နေရာ သို့မဟုတ် မီးကူးခံရသည့် နေရာ ဖြစ်သည်။ User occupied area မီးစတင် လောင်ကျွမ်းသည့်အခါ သို့မဟုတ် မီးကူးခံရသည့်အခါ မီးခိုးများ အထွက်လှေကား(exit staircase)ထဲသို့ မဝင်ရောက်စေ နိုင်ရန်အတွက် အကာအကွယ် ပေးထားသည့် ကြားခံ အခန်းငယ် တစ်ခု(smoke stop lobby)လည်း ဖြစ်သည်။



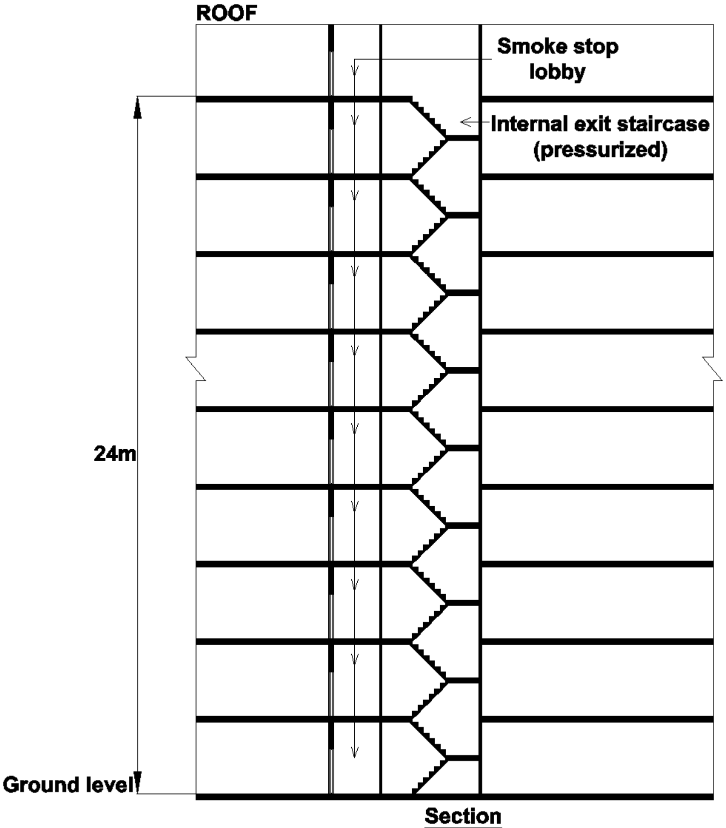
Smoke-stop lobby ၏ လေဖိအားသည် အထွက်လှေကား (exit staircase) ထက် အနည်းငယ် နည်းပြီး၊ user occupied area အထက်များ ရမည်။ လူများ ဝင်ထွက်သွားလာမှုကြောင့် တခါးပွင့် နေစဉ် ဖိအားများသည့်လေ (pressurized air) များ ထွက်သွား၍ လေဖိအားကျဆင်း သွားပါက ချက်ချင်း လိုအပ်သည့် လေဖိအားသို့ ရောက်အောင် ပြုလုပ်ပေးရမည်။

ပုံ ၇-၂၁ Smoke-stop lobby ကို ဖြတ်သွားသည့် duct များကို fired rated duct ဖြင့် ပြုလုပ်ရမည်။

တံခါးပွင့် သွားသောကြောင့် လေများ ထွက်သွားပြီး လေဖိအား ရုတ်တရက် ကျဆင်း သွားပါက လိုအပ်သည့် လေဖိအားသို့ ရောက်အောင် အမြန်ဆုံး ပြုလုပ်ပေး ရမည်။ Smoke-stop lobby များကိုလည်း ဖိအားများအောင်(pressurization)ပြုလုပ်ထားရမည်။ အထွက် လှေကား(exit staircase) ကဲ့သို့ပင် smoke-stop lobby ထဲသို့ မှုတ်ထည့်ရန်လေ(supply air)ကို ပြင်ပ တစ်နေရာမှ ရယူရမည်။ ထို supply air ယူသည့်နေရာ(intake point)သည် တခြားသော လေဟောင်း လေပုပ်များ စွန့်ထုတ်ရာ နေရာ(exhaust opening) မှ အနည်းဆုံး (၅)မီတာ ကွာဝေးရမည်။

၇.၅.၃ (ဂ) Fire Command Center (FCC) Room

Fire Command Center (FCC Room)ဆိုသည်မှာ အဆောက်အဦ မီးလောင်ခံရသည့်အခါ မီးငြိမ်းသတ်ရန် နှင့် ကယ်ဆယ်ရေးလုပ်ငန်းများ ဆောင်ရွက်ရန်အတွက် မီးသတ်သမားများ၊ ရဲများ နှင့် တာဝန်ရှိသူများ ကြီးကြပ် ကွပ်ကဲရန်နေရာ အခန်းငယ် ဖြစ်သည်။ ထိုအခန်းငယ်ကလေးတွင် PA system (Public Address System)၊ Fire Alarm System ၊ Security System နှင့် Building Automation System စသည့် အဆောက်အဦအတွက် လိုအပ်သည့် system များကို control လုပ်နိုင်သည့် computer များ panel များရှိရာ နေရာလည်း ဖြစ်သည်။

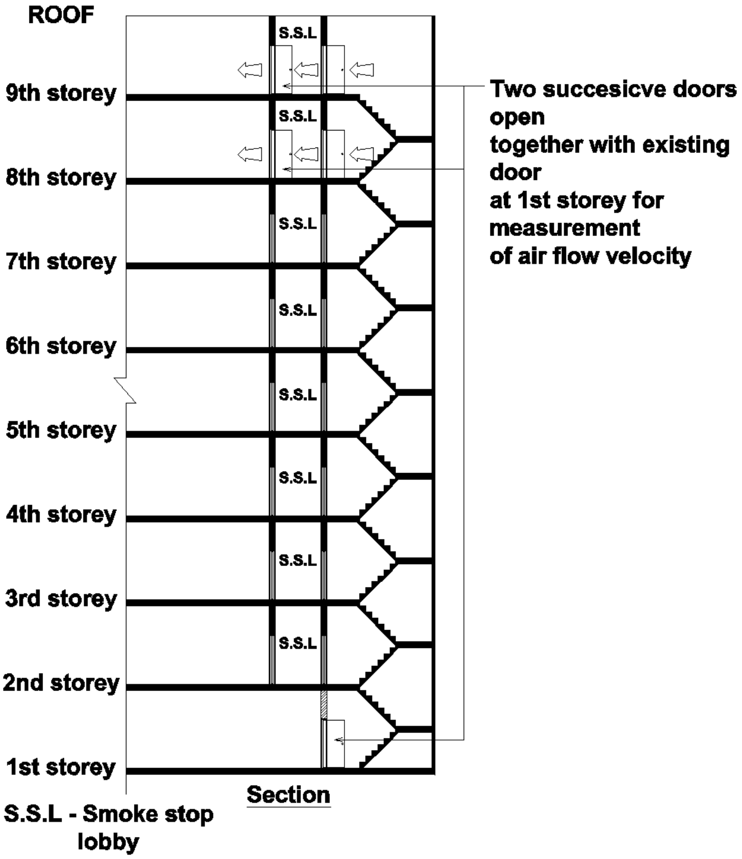


ပုံ ၇-၂၂ အဆောက်အဦ အမြင့်သည် (၂၄)မီတာထက် ကျော်လွန်ပါက smoke stop lobby ထားရှိရမည်။

ထို FCC room တွင် staircase pressurization fan များ မောင်းရန်အတွက် ခလုတ်များကို မီးသတ်သမားများ၊ ရဲများ နှင့် တာဝန်ရှိသူများ ကြီးကြပ်ကွပ်ကဲသူများ အသုံးပြုရန် ထားရှိရမည်။ လှေကားအတွင်း ဖိအားများအောင် မောင်းပေးသည့် ပန်ကာ(staircase pressurization fan) အနီး၌ရှိသော panel ကို local panel ဟု သတ်မှတ်ပြီး FCC အခန်းအတွင်းရှိ panel (မောင်းရန် ခလုတ်များ)ကို remote panel ဟု သတ်မှတ်သည်။ FCC အခန်း မထားရှိသော အဆောက်အဦများတွင် main alarm panel အနီး staircase pressurization fan တို့ကို မောင်းရန် ခလုတ်များကို တပ်ဆင်ထားရမည်။ ထိုအပြင် လှေကားအတွင်း ဖိအားများအောင်

မောင်းပေးသည့် ပန်ကာ(staircase pressurization fan)သည် မောင်းနေသည် သို့မဟုတ် ရပ်နေသည်ကို သိရှိရန် အတွက် မီးလုံးငယ်ကလေးများ(indication light)ဖြင့် ဖော်ပြထားရမည်။

Staircase pressurization fan များ၏ ခလုတ်များကို မီးသတ်သမား များ၊ ရဲများ နှင့် တာဝန်ရှိသူများ ကြီးကြပ်ကွပ်ကဲသူများ လိုသလို မောင်းရန် FCC room တွင် ထားရှိရမည်။ Staircase pressurization fan အနီး၌ရှိသော panel ကို local panel ဟု သတ်မှတ်ပြီး FCC အခန်းအတွင်းရှိ panel (မောင်းရန် ခလုတ်များ)ကို remote panel ဟု သတ်မှတ်သည်။ FCC အခန်းမရှိသော အဆောက်အဦးများတွင် main alarm panel ၌ staircase pressurization fan တို့ကို မောင်းရန် ခလုတ်များကို ထားနိုင်သည်။ ထိုအပြင် staircase pressurization fan မောင်းနေသည် သို့မဟုတ် ရပ်နေသည်ကို သိရှိရန်အတွက် မီးလုံးငယ် ကလေးများ (indication light)ဖြင့် ဖော်ပြထား ရမည်။

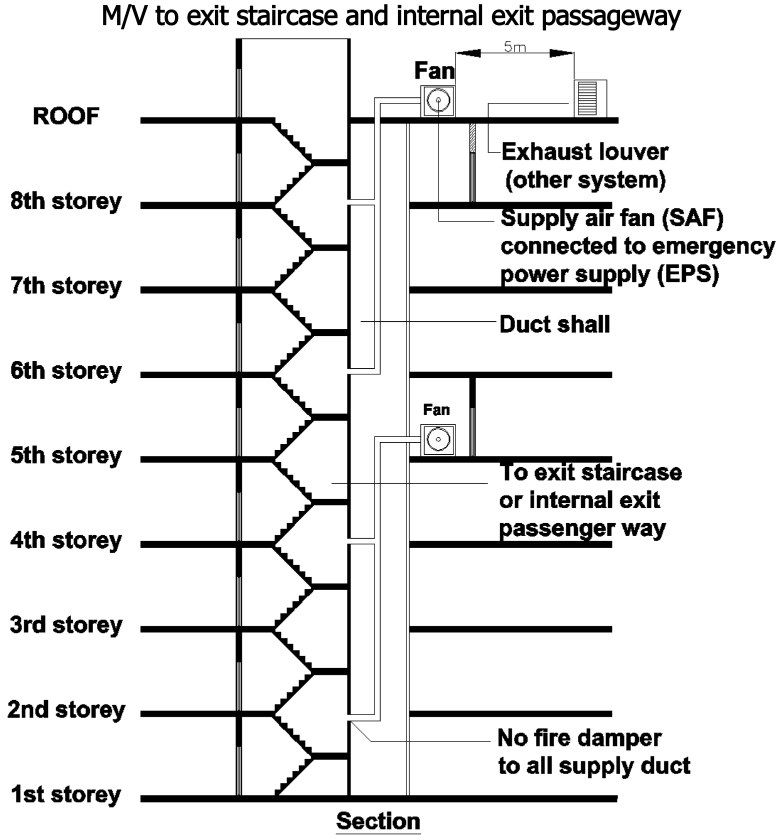


ပုံ ၇-၂၃ Smoke stop lobby နှင့် လှေကားရှိ ကပ်လျက်ရှိ တံခါးနှစ်ချပ်နှင့် မြေညီထပ်ရှိ တံခါးပွင့်နေပုံ

လေ(supply air)ကို ပြင်ပတစ်နေရာမှ ရယူရမည်။ ထို supply air ယူသည့်နေရာ(intake point)သည် တခြားသော လေပေါင်း လေပုပ်များ စွန့်ထုတ်ရာနေရာ(exhaust opening)မှ အနည်းဆုံး(၅) မီတာ ကွာဝေးရမည်။ Fire Command Center(FCC)အတွက် လိုအပ်သောလေကို သီးသန့် fan ၊ duct ၊ control panel စသည်တို့ဖြင့် independent system အဖြစ် တပ်ဆင်၍ ထည့်(supplyလုပ်)ပေးရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် တခြားသော fan၊ duct ၊ control fan ၊ duct ၊ control တို့နှင့် ရောမသုံးရ။

Fire Command Center (FCC) room အတွက် တပ်ဆင်ရမည့် duct သည် ထိုအခန်း၏ အပြင်ဘက်ရှိ အခန်းများမှ ဖြတ်သန်းသွားလျှင် ထို duct ကို (FCC room ၏ fire rating သို့မဟုတ် ဖြတ်သွားသည့် အခန်း၏ fire rating နှစ်ခုအနက် ပိုမြင့်သည့် rating အတိုင်း) မီးလောင်ခံနိုင်သည့် မီးခံပြားမျိုးဖြင့် အပြင်ဘက် သာမက အတွင်းဘက်ပါ ဖုံးအုပ်ကာရံ(enclosed) ထားရမည်။

ထိုသို့ မီးခံပြား(fire rated board)ဖြင့် duct ကို ဖုံးအုပ်ကာရံ(enclosed)ထားရသည့် ရည်ရွယ်ချက်မှာ မီးလောင်နေစဉ် အတွင်း duct မပျက်စီးအောင် ကာကွယ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ သို့သော် supply သို့မဟုတ် exhaust duct တစ်လျှောက်လုံးတွင် မည့်သည့် fire damper မှ မတပ်ဆင်ထားရ။ အခြားသော နေရာများအတွက် duct များကို Fire Command Center (FCC) room အတွင်း၌ ဖြတ်၍ မသွယ်တန်းရ။



ပုံ ၇-၂၄ Exit staircase နှင့် internal exit passageway အတွက် mechanical ventilation

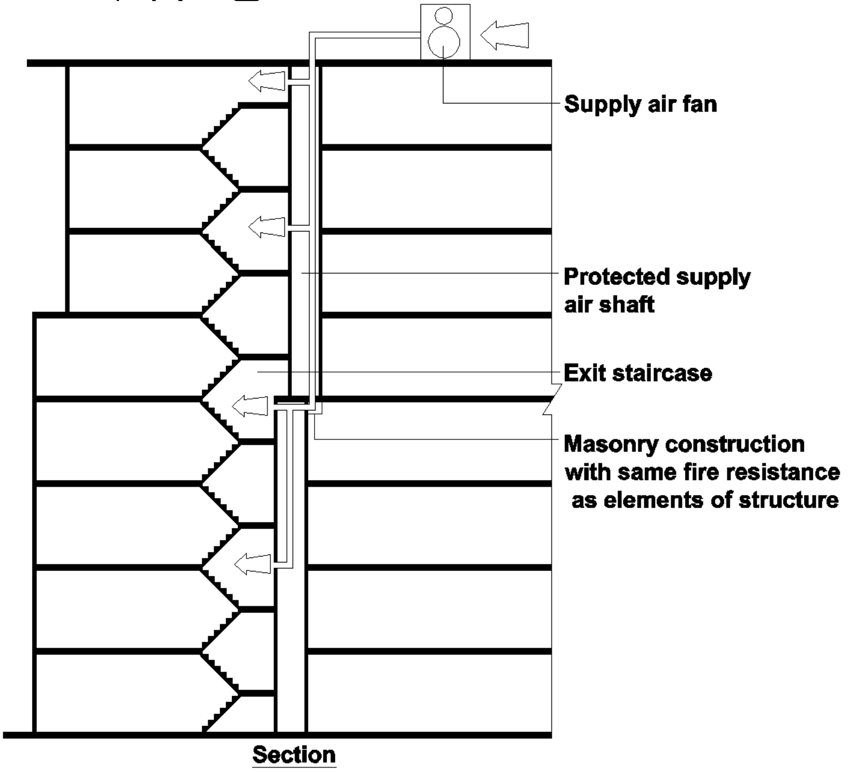
၇.၅.၄ (ဃ) Smoke Stop Lobby and Fire Fighting Lobby

Smoke-stop & fire fighting lobby တို့၏ mechanical ventilation system သည် အောက်ပါ အချက်များဖြင့် ပြည့်စုံရမည်။ လူနေ အဆောက်အဦတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် MV system များသည် အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော အချက်များကို ချွင်းချက်မရှိ လိုက်နာရမည်။

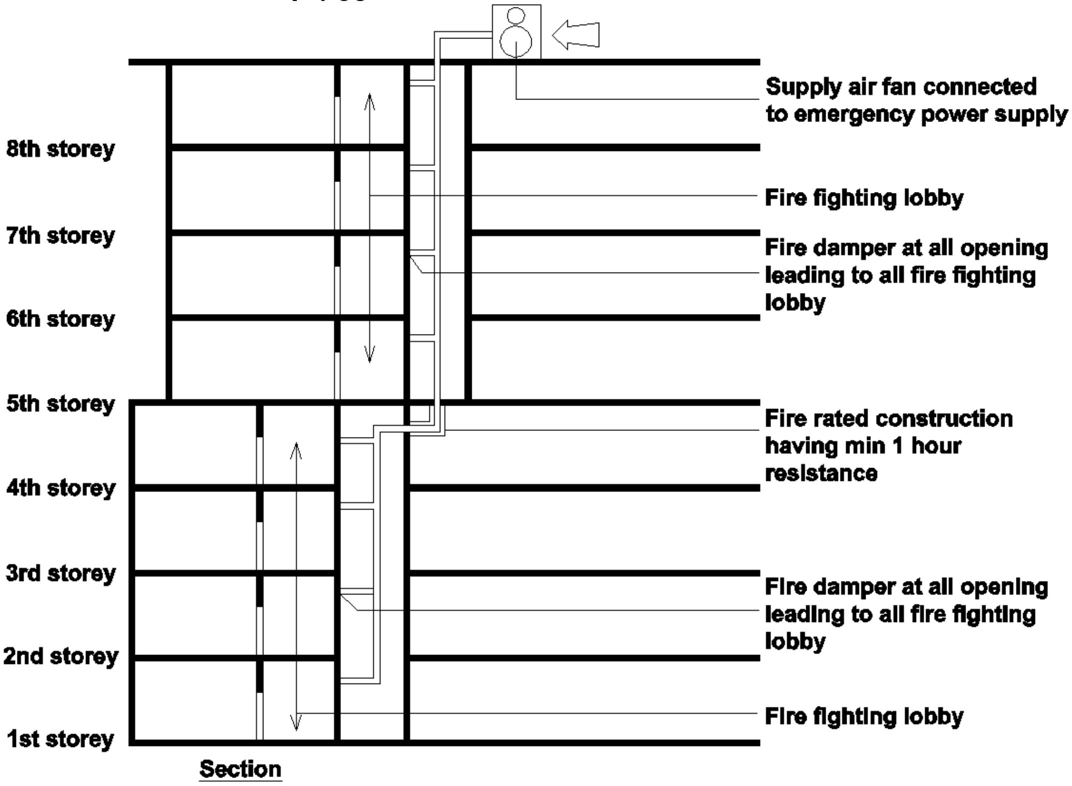
Building fire alarm activated ဖြစ်သည့်အခါတွင် လေ(supply air)ကို 10 air-charge/hr နှုန်းဖြင့် smoke-stop lobby နှင့် fire fighting lobby အခန်းများအတွင်းသို့ မောင်းထည့်ပေးရမည်။ 10 air-charge/hr နှုန်းဆိုသည်မှာ တစ်နာရီအတွင်း အခန်းထုထည်၏(၁၀)ဆနှင့် ညီမျှသော လေပမာဏကို မှုတ်ထည့်ရန် လေ (supply air)ကို ပြင်ပ(outdoor) တစ်နေရာမှ ရယူရမည်။ ထို supply air ယူသည့်နေရာ(intake point)သည် တခြားသော လေဟောင်း လေပုပ်များ စွန့်ထုတ်ရာ အပေါက်(exhaust opening)မှ အနည်းဆုံး (၅)မီတာ ကွာဝေး ရမည်။

လေကြောင်းအပြင်၌ရှိသော duct များ ကို မီးလောင်ခံနိုင်သည့် အမျိုးအစားမျိုးဖြင့် ပြုလုပ်ရမည်။ Fire rated construction သို့မဟုတ် တစ်နာရီကြာ မီးလောင်ခံနိုင်သော မီးခံပြား(fire rated board -1 hour)ဖြင့် duct ကို ဖုံးအုပ်ကာရံ(enclosed) ထားရမည်။ ထိုသို့ မီးခံပြား(fire rated board) ဖြင့် duct ကို ဖုံးအုပ် ကာရံ(enclosed) ထားရသည့် ရည်ရွယ်ချက်မှာ မီးလောင်နေစဉ်အတွင်း duct မပျက်စီးအောင် ကာကွယ်ရန်

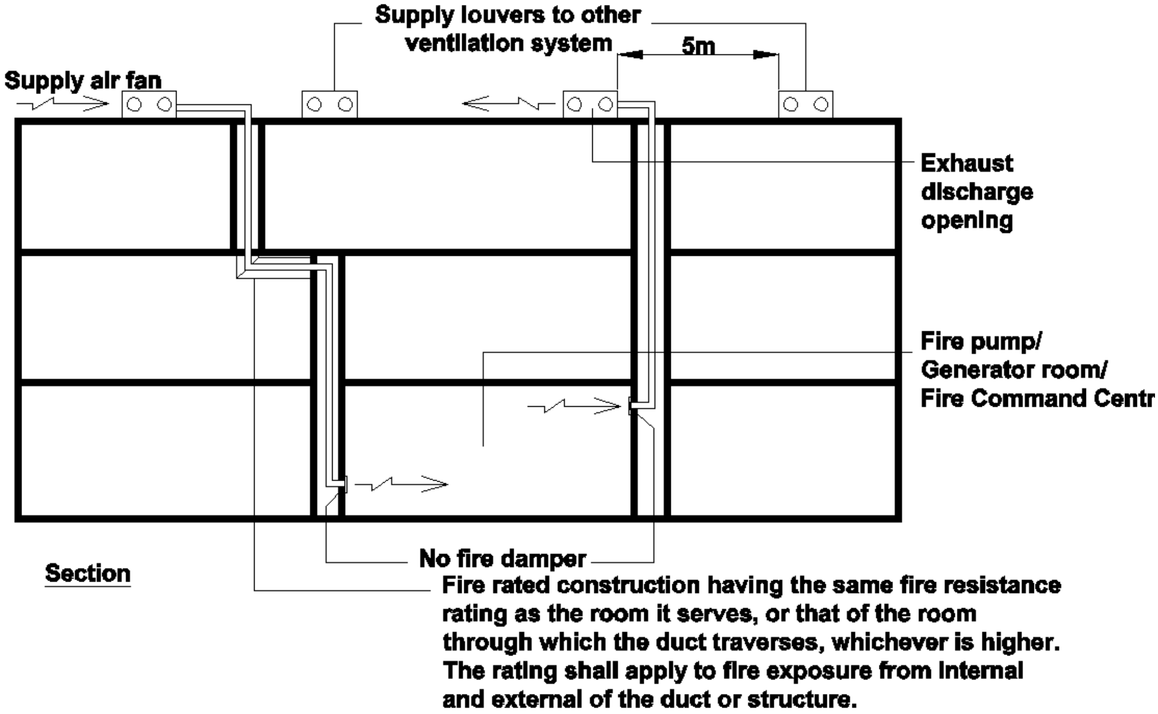
ဖြစ်သည်။ Fire rated board(1 hour)ဆိုသည်မှာ တစ်နာရီကြာအောင် မီးလောင်ခံနိုင်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် မီးဒဏ် တစ်နာရီခံနိုင်သည်။



ပုံ ၇-၂၅ Staircase fan and supply air duct



ပုံ ၇-၂၆ Mechanical ventilation of somke stop lobbies and fire fighting lobbise

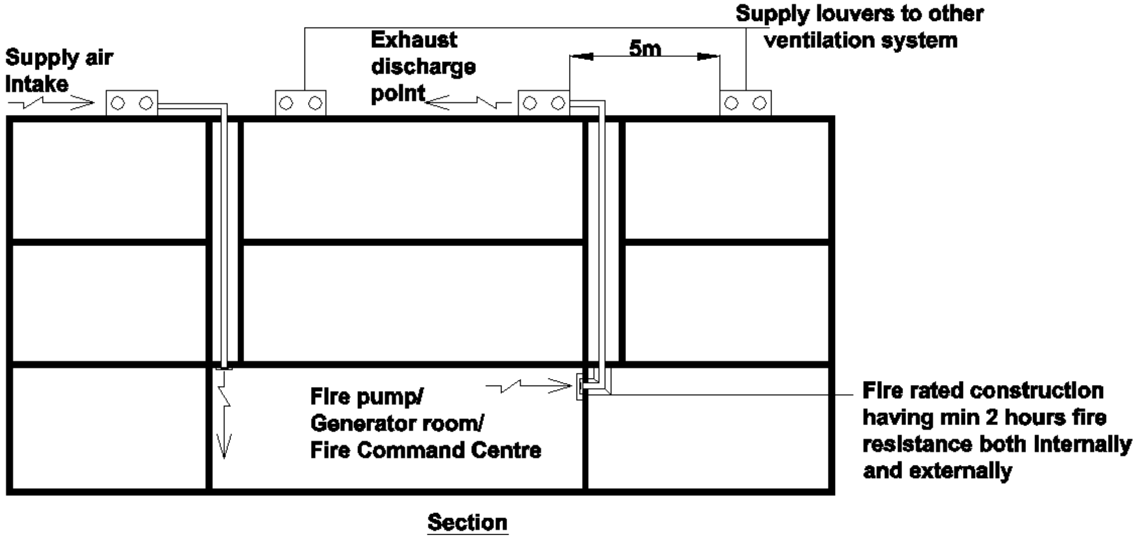


ပုံ ၇-၂၇ Fire pump room ၊ Generator room and fire command center (FCC) room

၇.၅.၅ (c) Fire Pump Room နှင့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပေးစက်အခန်း(Generator Room)

(က) မီးလောင်နေစဉ်အတွင်း မီးငြိမ်းသတ်ရန်အတွက် မီးသတ်ပန့်(fire pump)များ အဆက်မပြတ် မောင်းနေနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် fire pump room ကို မီးလောင် မခံရအောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ ကာကွယ်ထားရမည်။

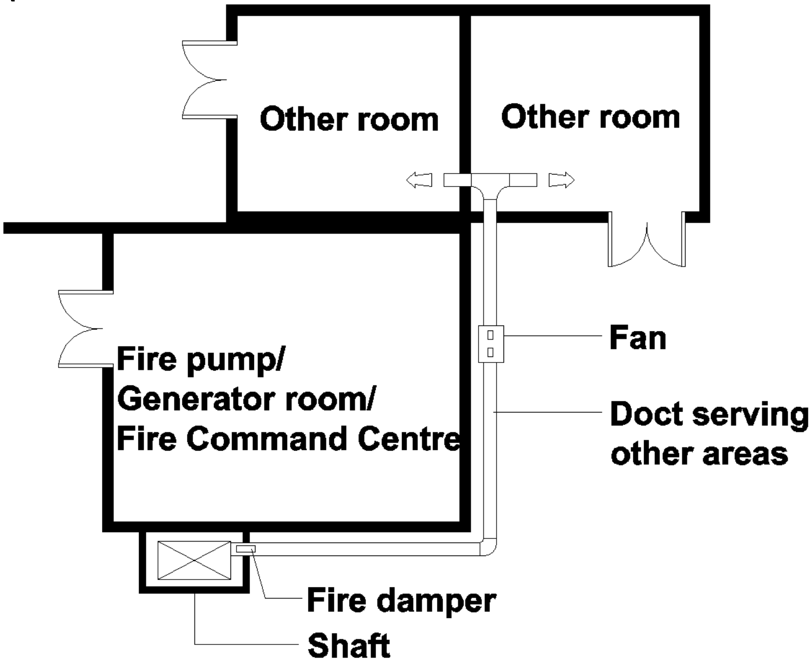
(ခ) မီးလောင်ခဲ့လျှင် အရေးပေါ်ထွက်ပေါက်များ(emergency exit)နှင့် လွတ်မြောက်ရန်လမ်း (escape route) များကို အလင်းရောင်ပေးရန်အတွက် emergency generator များ မောင်းထားရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပေးစက်အခန်း(generator room)ကို မီးမလောင်နိုင်အောင် တတ်နိုင်သမျှ ကာကွယ်ထား ရမည်။



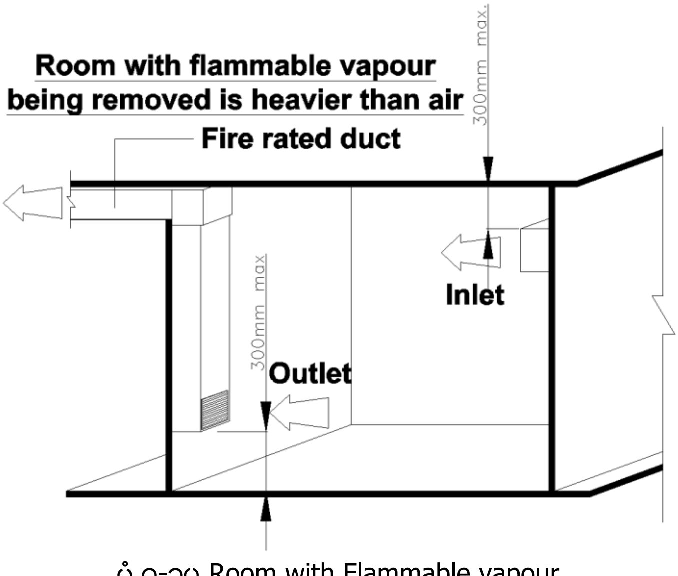
ပုံ ၇-၂၈ Fire pump room ၊ Generator room and fire command center (FCC) room

ထိုအခန်းထဲသို့ မှုတ်ထည့်ရန် လေ(supply air)ကို ပြင်ပတစ်နေရာ(outdoor)မှ ရယူရမည်။ ထို supply air ယူသည့်နေရာ(intake point)သည် တခြားသော လေဟောင်းလေပုပ်များ စွန့်ထုတ်ရာနေရာ(exhaust openings)မှ အနည်းဆုံး (၅)မီတာ ကွာဝေးရမည်။

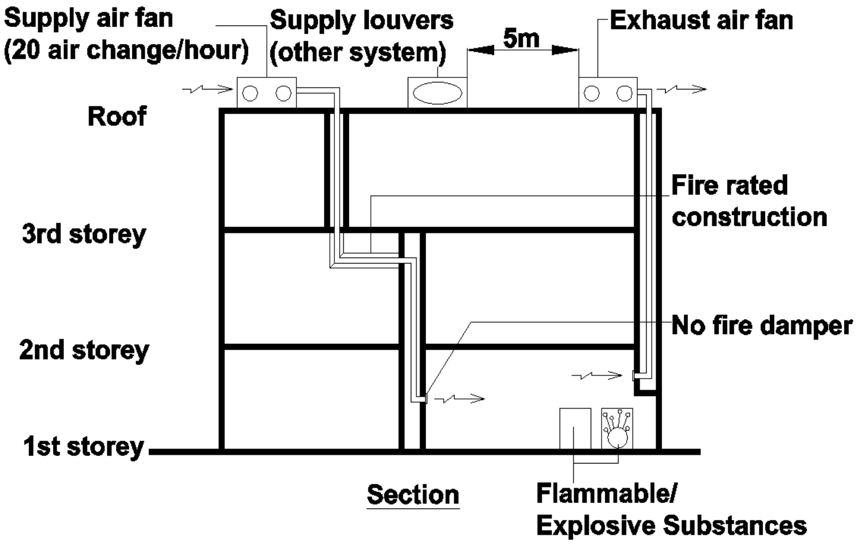
Fire pump room နှင့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပေးစက်ခန်း(generator room)အတွက် duct ကို ထိုအခန်းတို့၏ အပြင်ဘက်၌ တပ်ဆင်ထားလျှင် အနည်းဆုံး နှစ်နာရီ မီးလောင်ခံနိုင်သည့်မီးခံပြား မျိုးဖြင့် duct ၏ အပြင်ဘက် သာမက အတွင်းဘက်ပါ ဖုံးအုပ်ကာရံ(enclosed) ထားရမည်။ ထိုသို့ မီးခံပြား(fire rated board) ဖြင့် duct ကို ဖုံးအုပ်ကာရံ(enclosed) ထားရသည့် ရည်ရွယ်ချက်မှာ မီးလောင်နေစဉ်အတွင်း duct မပျက်စီးအောင် ကာကွယ်ရန် ဖြစ်သည်။ သို့သော် duct တစ်လျှောက်လုံးတွင် မည့်သည့် fire damper မှ မတပ်ဆင်ရ။



ပုံ ၇-၂၉ Fire pump room ၊ Generator room and fire command center (FCC) room



ပုံ ၇-၃၀ Room with Flammable vapour



ပုံ ၇-၃၁ Flammable/Explosive substance များထားရာ အခန်း

အခြားသော နေရာများအတွက် duct များကို ထို မီးသတ်ပန့်အခန်း(fire pump room)နှင့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပေးစက်ခန်း(generator room)အတွင်း၌ ဖြတ်၍ မသွယ်တန်းရ။

၇.၅.၆ (စ) Flammable and Explosive Substances Rooms (မီးလောင်လွယ်သည့် ဓာတ်ငွေ့များ နှင့် ပေါက်ကွဲစေနိုင်သည့် အရာဝတ္ထုများ ထားရှိရာအခန်းများ)

မီးလောင်လွယ်သည့် ဓာတ်ငွေ့များ နှင့် ပေါက်ကွဲစေနိုင်သည့် အရာဝတ္ထုများ ထားရှိရာ အခန်းများ အတွက် mechanical ventilation system သည် မည်သည့် system များနှင့် သက်ဆိုင်မှု မရှိစေရ။ မီးလောင်လွယ်သည့် အငွေ့များ နှင့် အရာဝတ္ထုများ ထားရှိရာအခန်းများ(rooms involving use of flammable and explosive)၏ လေလည်ပတ်နှုန်းကို 20 air-charge/hr ဖြင့် ထိုအခန်းများ အတွင်းသို့ မောင်းထည့်ပေးရမည်။ 20 air-charge/hr နှုန်းဆိုသည်မှာ တစ်နာရီလျှင် အခန်းထုထည်၏ အဆ(၂၀)နှင့် ညီမျှသော လေပမာဏ ဖြစ်သည်။

လေဆိုးလေဟောင်း(exhaust air)များကို ပြင်ပသို့ တိုက်ရိုက် စွန့်ထုတ်(discharge) ရမည်။ ထို discharge လုပ်သည့် နေရာသည် တခြားသော လေဝင်ပေါက်များ(intake opening)မှ အနည်းဆုံး (၅)မီတာ ကွာဝေးရမည်။

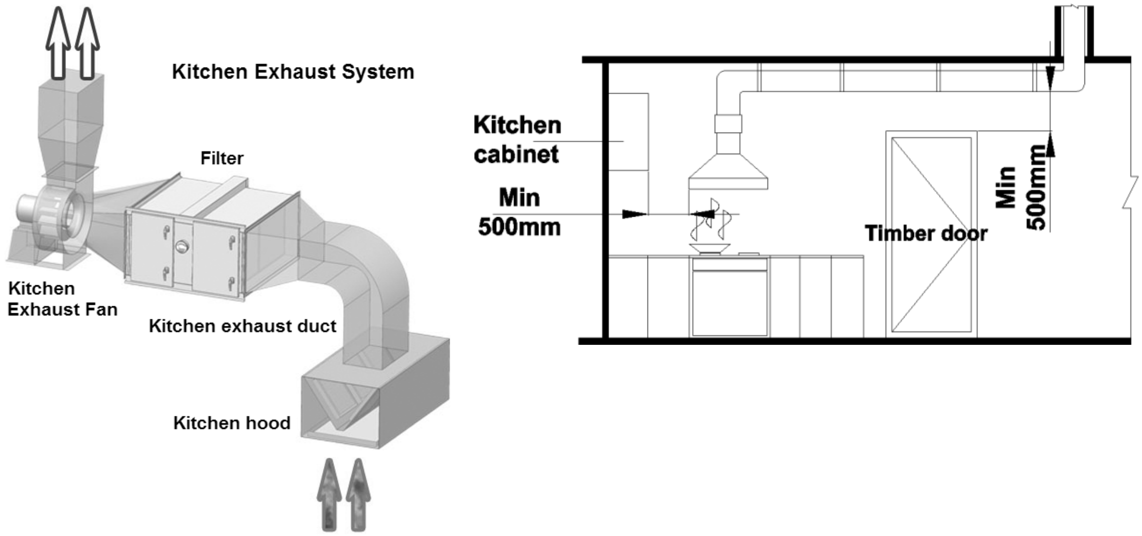
ထိုအခန်း အတွက် duct များသည် အခန်းအပြင်မှ ဖြတ်သန်း သွယ်တန်းထားပါက အခန်း၏ မီးဒဏ်ခံနိုင်အား(fire rating) သို့မဟုတ် အပြင်ဘက်အခန်း၏ မီးဒဏ်ခံနိုင်အား(fire rating) နှင့်တူညီသော မီးဒဏ်ခံနိုင်သည့်(fire rated) duct ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ မီးဒဏ်ခံနိုင်အား(fire rating)နှစ်ခု မတူညီသော် ပိုမြင့်သည့် မီးဒဏ်ခံနိုင်အား(fire rating) အတိုင်း ပြုလုပ်ရမည်။ ထိုအခန်းအတွက် supply နှင့် exhaust duct များ၌ fire damper တပ်ဆင်ထားရန် မလို။ တပ်ဆင်မထားရ။ အခြားသော နေရာများအတွက် duct များကို ထို အခန်းအတွင်း၌ ဖြတ်၍ မသွယ်တန်းရ။

၇.၅.၇ (ဆ) ချက်ပြုတ်ရာနေရာများ(Kitchen)

Mechanical နည်းဖြင့် လေဝင်လေထွက်ကောင်းအောင် ပြုလုပ်ထားသည့် kitchen များအတွင်းသို့ တစ်နာရီလျှင် kitchen ၏ ထုထည်(volume)ထက် အဆ(၂၀)ကျော်ရှိသော လေပမာဏ(20 air change)ကို ထည့်ပေးရမည်။ Kitchen hood များ အသုံးပြုနေသည့်အခါ၊ မောင်းနေသည့်အခါ(in operation) တွင် kitchen hood များမှ စုပ်ထုတ်လိုက် သောလေ(exhaust air) ပမာဏကို ထည့်တွက် နိုင်သည်။

Kitchen Exhaust

Kitchen exhaust hood များကို ကြော်လှော်၊ ချက်ပြုတ်ခြင်း သို့မဟုတ် cooking process မှ ထွက်လာသော မီးခိုးများ၊ ငွေ့နံများ၊ ဆီခိုးများ(grease-laden vapour) များကို သိမ်းယူ ဖယ်ရှားနိုင်အောင် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ထားရမည်။ ဆီများကို သန့်စင်ဖယ်ရှားပစ်နိုင်သည့် ကိရိယာများ(grease removal devices) တပ်ဆင်ထားရမည်။ Fire suppression equipment များကို ခေါင်မိုးများ(roof) နှင့် အဆောက်အဦနံရံ (building surface)များမှ ဝေးရာဘက်သို့ လှည့်ထားရမည်။ Exhaust air များ စွန့်ထုတ်(discharge)သည့် နေရာကို တခြားသော အရာများဖြင့် ပိတ်ဆို့ဖုံးကွယ်၊ ကာဆီးထားခြင်း မရှိစေရ။



ပုံ ၇-၃၂ Kitchen exhaust system

ဟိုတယ်များ ၊ စားသောက်ဆိုင်များ၊ ကော်ဖီဆိုင်များ၌ရှိသော ချက်ပြုတ်ရာနေရာ(cooking area) သို့မဟုတ် မီးဖိုချောင်(kitchen)၏ mechanical exhaust system များကို အဆောက်အဦ အတွင်းရှိ တခြားသော exhaust system များနှင့် သီးခြားဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ Fan များ၊ duct များ ကို တခြားသော system များဖြင့် အတူတကွ ရောနှော အသုံးပြုခွင့် မရှိစေရ။

စွန့်ထုတ်လိုက်သောလေ(exhaust air)ကို အစားထိုးရန် အတွက် လုံလောက်သော ပြန်ဖြည့်ရန်လေ (make up air)ပမာဏဖြင့် အစားထိုးထည့် ပေးရမည်။ Kitchen hood ကို အသုံးပြုနေချိန်(in operation)တွင် ချက်ပြုတ်သည့်နေရာ(kitchen area)ကို negative pressure ဖြစ်အောင် ထိန်းထားရမည်။

Kitchen exhaust hood ၏ exhaust flow rate Q [m³/s] ကို အောက်ပါ ပုံသေနည်း(formula) အတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။ Kitchen hood သည် island type hood ဖြစ်မှသာ အောက်ပါ ဖော်မြူလာကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

$$\boldsymbol{Q = 1.4V \times 2(L + W)H \times F}$$

V = Capture velocity which shall not be less than 0.30 m^3/s for commercial type kitchens

L = Length of cooking surface, m

W = Width of cooking surface, m

H = Distance of hood to emitting surface, m

F = 1.0 for heavy duty high temperature kitchen

F = 0.7 for light duty, medium and low temperature cooking with equipment such as ovens, steamer, ranges, griddles and fryers.

နံရံတွင် ချိတ်၍ တပ်ဆင်ထားသော (wall mounted) hoods ကို island type hood အဖြစ် မှတ်ယူနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် အထက်ပါ ဖော်မြူလာကို အသုံးပြု နိုင်သည်။

Design Consideration

Kitchen hood နှင့် kitchen exhaust duct ကို အကာအကွယ် မရှိသော၊ မီးလောင်နိုင်သော အရာဝတ္ထုများ (unprotected combustible materials)မှ အနည်းဆုံး 500 mm အကွာအဝေးတွင် ထားရှိရမည်။

Exhaust air များကို အပြင်သို့ တိုက်ရိုက် စွန့်ထုတ်ပစ်ရမည်။ အဆောက်အဦ၏ habitable areas နေရာများမှ ဝေးသည့် နေရာတွင် စွန့်ထုတ်(discharge)ရမည်။ တခြား လေဝင်ပေါက်(air intake)နေရာများမှ (၅)မီတာ အကွာတွင် စွန့်ထုတ်(discharge)ရမည်။

Kitchen exhaust duct သည် တခြားသော အခန်းများကို ဖြတ်ကျော်သွားရန် လိုအပ်လျှင် kitchen duct ကို structureဖြင့် ဖုံးအုပ်ကာရံ(enclosed)ထားရမည်။ ထိုသို့ မပြုလုပ်နိုင်ပါက kitchen၏ မီးဒဏ်ခံနိုင်အား (fire rating) နှင့် ဖြတ်သွားသည့် အခန်း၏ မီးဒဏ်ခံနိုင်အား(fire rating)တို့ နှစ်ခုအနက် ပိုမြင့်သည့် မီးဒဏ်ခံနိုင်အား(fire rating) အတိုင်း fire rated duct ကို ပြုလုပ်ရမည်။ Duct ၏ အတွင်းပိုင်း(internal) သာမက အပြင်ပိုင်း(external)ပါ မီးဒဏ်ခံနိုင်အောင်(fire rated) ပြုလုပ်ရမည်။ Duct rise ကို masonry shaft ဖြင့် ဖုံးအုပ်ကာရံ(enclosed)ရန် လိုအပ်ပါက kitchen duct ကို တခြားသော duct များ ၊ တခြားသော service များ၏ installation များမှ သီးသန့်ဖြစ်အောင် (compartmentalized ဖြစ်အောင်) ပြုလုပ်ရမည်။

Kitchen duct များတွင် fire damper များ တပ်ဆင်ထားခြင်း မပြုရ။

Duct

Kitchen exhaust duct နှင့် shaft များကို effluent များကို ဖယ်ရှားရန် အတွက် လိုအပ်သော air flow rate ပေါ်တွင် အခြေခံ၍ အရွယ်အစား(size) ရွေးချယ် တပ်ဆင်ရမည်။

Kitchen duct များကို အောက်ပါ အတိုင်း ပြုလုပ်ရမည်။

(က) (၁.၂)မီလီမီတာ အထူရှိသည့် mild steel သတ္တုပြားဖြင့် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ (Mild steel of thickness not less than 1.2 mm) သို့မဟုတ်

(ခ) (၀.၉)မီလီမီတာ အထူရှိသည့် stainless steel သတ္တုပြားဖြင့် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ (Stainless steel of thickness not less than 0.9 mm) သို့မဟုတ်

(ဂ) တခြားသောခွင့်ပြုထားသည့် အမျိုးအစားများ(other approved material)ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

Kitchen duct ၏ နေရာများကို သန့်ရှင်းရေး ပြုလုပ်နိုင်အောင် စီမံထားရမည်။ အပေါက်(opening) များသည် သန့်ရှင်းရေး ပြုလုပ်ရန် လုံလောက်သည့် အကျယ်ရှိရမည်။ Kitchen duct များ၏ အလျားအတိုင်း(run of ducting) အနိမ့်ဆုံး နေရာတွင် drain လုပ်ရန် အပေါက်ထားရှိရမည်။

Exhaust hoods

ချက်ပြုတ်ရာမှ ထွက်လာသည့် မီးခိုးများ၊ ဆီခိုးများ(cooking vapor emission)ကို ဖမ်းစုပ်ယူမည့် kitchen hood တွင် exhaust air ၏အလျင်(velocity)သည် 0.15 m^3/s ထက် မပိုရ။ Kitchen exhaust များကို မာကြောသည့် မျက်နှာပြင်(hard-faced)ရှိသော မီးမလောင်နိုင်သော mild steel၊ stainless steel နှင့် aluminum စသည့် သတ္တုအမျိုးအစားများဖြင့် ပြုလုပ်ရမည်။

Seam များသည် liquid-tight seam များ ဖြစ်ရမည်။ အဆက်(joint)များကို fusion welding၊ lopping၊ riveting၊ soldering သို့မဟုတ် တခြားသော ခွင့်ပြုထားသည့်(approved) နည်းများဖြင့် ပြုလုပ်ရမည်။

Hood များတွင် လျော်ဖွတ် ဆေးကြောနိုင်သော ဆီစစ်(washable grease filter)များ တပ်ဆင်ထားရမည်။ Filter များကို အလွယ်တကူ ဖြုတ်ယူနိုင်အောင်၊ ပြန်လည်တပ်ဆင်နိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ Filter ၏ အနီးတွင် အလွန်အမင်း လေယိုစိမ့်ခြင်း(air leakage) မဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။

Hood ၏ အတွင်းနံရံ(internal surface)သည် ဒေါင်လိုက်မျဉ်းမှ (၄၅)ဒီဂရီ ထက်ပို မစောင်းသော မျဉ်းစောင်းများ ဖြစ်ရမည်။ Filter ၏ မျက်နှာပြင်(face of filter) သည် ဒေါင်လိုက်မျဉ်း(vertical)မှ (၃၅)ဒီဂရီ ထက် ပိုမစောင်းစေရ။ Grease filter ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို တိုင်းယူနိုင်ရန်အတွက် နေရာ၊ အပေါက် သို့မဟုတ် assess ရှိရမည်။

Canopy Type Hoods

Canopy အမျိုးအစား hood ၏ အနိမ့်ဆုံး နေရာ(lower edge)သည် ချက်ပြုတ်သည့်နေရာ၏ မျက်နှာပြင်(cooking surface)မှ (၁.၂)မီတာထက် မပိုရ။ သို့မဟုတ် ကြမ်းပြင်မှ (၂.၀)မီတာထက် ပိုမနိမ့်ရ။ Hood တပ်ဆင်ထားသည့် နေရာမှ 150 mm အပြင်ဘက်သို့ ကြော်လှော်ချက်ပြုတ်သည့်အိုးများ နှင့် appliance များ မရောက်စေရ။

Type of Hood	Minimum CFM per Lineal Foot of Hood			
	Type of Cooking Appliances			
	Extra-Heavy	Duty Heavy	Duty Medium	Duty Light Duty
Wall-Mounted Canopy	550	400	300	200
Single Island Canopy	700	600	500	400
Double Island Canopy (per side)	550	400	300	250
Backshelf/Pass-Over	Not permitted	400	300	250
Eyebrow	Not permitted	Not permitted	250	250

Application Factor (CFM/in ft.)

Kitchen Types	Velocity
Light duty (no grease, light grease)	150-250 CFM/ft
Medium duty (fryers and griddles)	250-350 CFM/ft
Heavy duty (heavy grease, charbroiler)	350+ CFM/ft

Application	Updraft velocity factor
Steam kettles, ranges, ovens, non-grease producing equipment	50 fpm
Fryers/griddles, grease Producing equipment	85 fpm
Charbroilers, high heat and grease producing equipment	150 fpm

ပုံ ၇-၃၃ central island hood

ပုံ ၇-၃၄ corner hung hood

ပုံ ၇-၃၅ wall hung hood

ပုံ ၇-၃၆ Canopy hoods

ပုံ ၇-၃၇ Eye brown hood

မီး(လျှပ်စစ်မီးဖို မပါဝင်ပါ။)ကိုသုံး၍ ချက်ပြုတ်သည့်နေရာ၊ စားစရာ နွှေးသည့် နေရာအားလုံးကို kitchen ဟုဆိုနိုင်သည်။ Kitchen hood သို့မဟုတ် kitchen exhaust duct သည် combustible materials တို့မှ အနည်းဆုံး(၅၀၀)မီလီမီတာ(500mm) ကွာဝေးရမည်။ လေများကို ပြင်ပသို့ တိုက်ရိုက် စွန့်ထုတ်ရမည်။ ထိုစွန့်ထုတ်သည့် နေရာသည် တခြားသော လေဝင်ပေါက်များ(intake opening)မှ အနည်း (၅၀၀)မီလီမီတာ (500mm) ကွာဝေး ရမည်။

တပ်ဆင်ရမည့်အမြင့် (Mounting heights and overhang requirements)

Type of Hood	Mounting Height	End Overhang	Front Overhang	Rear Overhang
Wall-Mounted Canopy	78"	6"	6"	N/A
Single Island Canopy	78"	6"	6"	6"
Double Island Canopy	78"	6"	6"	N/A
Eyebrow	78"	N/A	6"	N/A
Backshelf/Pass-over	24"	6"	10"	N/A

Hood exhaust

Type of Hood	Minimum Exhaust Flow Rate (CFM/Lineal Foot of Hood Length)			
	Light Duty	Medium Duty	Heavy Duty	Extra-Heavy Duty
Wall-Mounted Canopy	200	300	400	550
Single Island Canopy	400	500	600	700
Double Island Canopy	250	300	400	550
Eyebrow	250	250	Not Permitted	Not Permitted
Backshelf/Pass-over	300	300	400	Not Permitted

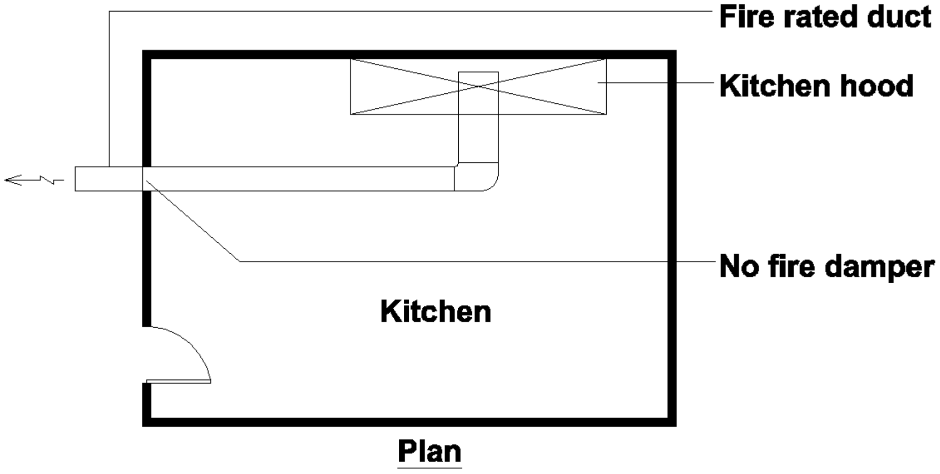
Notes:

(၁) **Light duty** အမျိုးအစား kitchen များသည် Gas and electric ovens (standard, bake, roasting, revolving, retherm, convection, combination convection/steamer, conveyor, deck or deck style pizza and pastry ovens, electric and gas steam–jacketed kettles, electric and gas compartment steamers တို့ဖြစ်ကြသည်။

(၂) **Medium duty** အမျိုးအစား kitchen များသည် open deep fat fryers, donut fryers, kettle fryers, and pressure fryers), electric and gas pasta cookers, electric and gas conveyor (pizza) ovens များဖြစ်ကြသည်။

(၃) **Heavy duty** အမျိုးအစား kitchen များသည် electric and gas underfired broilers, electric and gas chain (conveyor) broilers, gas open burner ranges (with or without oven), electric and gas wok ranges, electric and gas overfired (upright) broilers, and salamanders များဖြစ်ကြသည်။

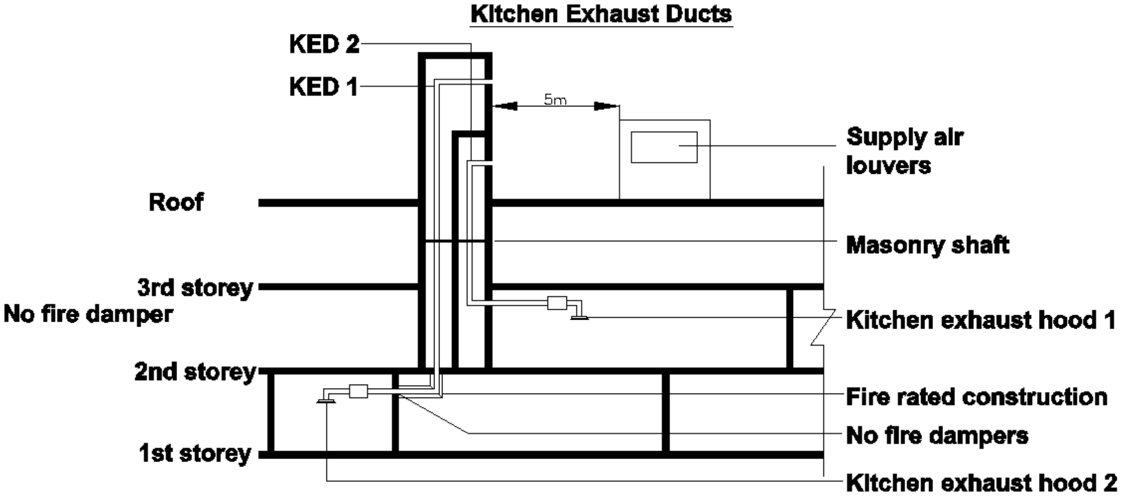
(၄) **Extra-heavy duty** အမျိုးအစား kitchen များသည် ထင်းမီး(wood)၊ မီးသွေး(charcoal) စသည့် solid fuel များကို အသုံးပြု၍ ချက်ပြုတ်သည့် မီးဖိုများ ဖြစ်ကြသည်။



ပုံ ၇-၃၈ Kitchen hood တပ်ဆင်ရာနေရာကို plan view ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

Kitchen ၏ အပြင်ဘက်၌ရှိသော kitchen exhaust duct အားလုံးကို မီးလောင်ခံနိုင်သည့် မီးခံပြားမျိုး(fire rated board)ဖြင့် ဖုံးအုပ်ကာရံ(enclosed)ထားရမည်။ Kitchen exhaust duct တွင် မည့်သည့် fire damper မှ မတပ်ဆင်ရ။

သို့သော် လျှပ်စစ်မီးဖြင့် ချက်ပြုတ်ခြင်း နှင့် wet chemical fire suppression system တပ်ဆင်ထားသည့် မီးဖိုချောင် (ချက်ပြုတ်သည့်နေရာ)တို့ကို ချွင်းချက်အဖြစ် ခွင့်ပြုသည်။



ပုံ ၇-၃၉ Kitchen exhaust ducts

Kitchen Exhaust Hoods

Kitchen exhaust hood ၏ လေစီးနှုန်း(air flow)ပမာဏသည် 2.5 m³/s ထက် ပိုများပါက ပြန်ဖြည့်ရန်လေ(makeup air)ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ထည့်ပေးရမည့် makeup air ပမာဏသည် exhaust air ပမာဏထက် အနည်းဆုံး ၅၀% ကျော် ရမည်ဖြစ်ပြီး mechanical နည်းဖြင့် အေးအောင် ပြုလုပ်ထားသည့် လေ မဖြစ်စေရ။

Fume Hoods

အဆောက်အဦအတွင်းရှိ fume hood system သည် 7.5 m³/s ထက် ပိုများပါက အောက်ပါ အစီအမံ (feature) တစ်ခုခု ပါဝင်စေရမည်။

(၁) Variable air volume hood exhaust အမျိုးအစား ဖြစ်ပြီး design exhaust air volume ၏ ၅၀% ကို လျော့နည်းအောင် လုပ်နိုင်ရမည်။

(၂) Exhaust air ၏ 75% ကို direct make up air ဖြင့် အစားထိုး ပေးရမည်။ ထို direct make up air သည် room set point ထက် 2°C မနိမ့်စေရ။ Re-heating မပြုလုပ်ရ။

(၃) Heat recovery သို့မဟုတ် energy recovery နည်း (အထက်တွင်ဖော်ပြခဲ့သည့်) ဖြင့် make up air ကို preconditioning ပြုလုပ်ရမည်။

၇.၆ Air Handling Systems

System များ၊ pressurisation systems of exit staircases and internal corridors များ နှင့် smoke control system များအတွက် outdoor air intake opening များ၏ (၅)မီတာ အကွာတွင် မည်သည့် လေပုပ်များ စွန့်ထုတ်ရာအပေါက်များ(exhaust discharge opening) မရှိစေရ။

Outdoor air intake များသည် တခြားသော အဆောက်အဦများ၏ (kitchens ၊ toilets ၊ car parks ၊ cooling towers ၊ laundries ၊ rubbish dumps or plant rooms စသည့်တို့မှ စွန့်ထုတ်သော) exhaust discharge များမှ (၅)မီတာထက် ပိုဝေးသည့်နေရာတွင် ရှိစေရမည်။

ပြင်ပလေဝင်ပေါက်များ(outdoor air intake)တွင် သံချေးမတက်နိုင်သည့် ဆန်ခါ(insect screen) များဖြင့် ကာရံထားရမည်။ မိုးရေစက်များ မဝင်နိုင်အောင်ပြုလုပ် ကာကွယ်ထားရမည်။

Screening များ သို့မဟုတ် wire mesh များသည် သံချေးမတက်နိုင်သည့် အမျိုးအစားများ ဖြစ်စေရမည်။ ဆန်ခါကွက် အရွယ်အစားသည် 10 mm mesh ထက် ပိုမကြီးစေရ။ Cooling tower များမှ

လွင့်စင်လာသည့် ရေစက်ရေပေါက်များ(water droplets)သည် ပြင်ပလေဝင်ပေါက်များ(outdoor air intake) အတွင်းသို့ မဝင်ရောက်နိုင်အောင် ကာကွယ် တားဆီးထားရမည်။

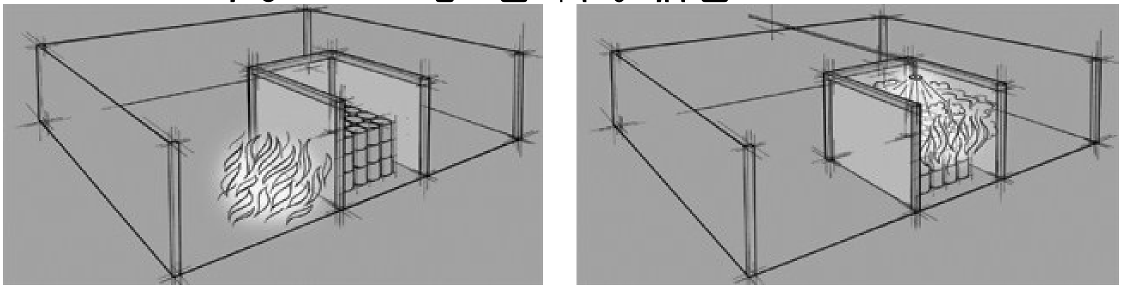
Return air opening အားလုံး နှင့် outdoor air intake ၏ အဝ(opening)များ အားလုံးအတွင်းသို့ မီးလောင်ခြင်း စတင်ဖြစ်စေနိုင်သည့် မီးခြစ်ဆံများ(lighted matches)၊ ဆေးလိပ်တိုများ(cigarette butts) စသည့်တို့ မဝင်ရောက်နိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ ကာကွယ် တားဆီးထား ရမည်။ လေစစ်(filter media)များ အနီးတွင် ထိုအရာများ စုပြုံမနေအောင်(shall not be deposited) ပြုလုပ်ထားရမည်။

Air con ပေးထားသည့် နေရာများအတွက် ပြင်ပလေဝင်ပေါက်များ(outdoor air intakes)၏ အောက်ခြေသည် အပြင်ဘက်ရှိ အောက်ခြေနေရာ (outside floor level) မှ 2.1 m မြင့်သည့် နေရာတွင် ရှိရမည်။ အထူးသဖြင့် ကားထားရာ နေရာများ၊ လူအဝင်အထွက်များသော နေရာများနှင့် ယာဉ်သွားလာနိုင်သည့် နေရာများအတွက် ဖြစ်သည်။

အိမ်သာများ၊ သန့်စင်ခန်းများ (toilets) နှင့် အိမ်များ၏ ချက်ပြုတ်ရာနေရာများ၊ မီးဖိုချောင်များ (domestic kitchens)၏ exhaust duct များသည် အခြားသော duct system များနှင့် ဆက်ထားခြင်း (connect) မရှိစေရ။

အကယ်၍ ထိုသို့ ဆက်၍ တပ်ဆင်ထား(connect)ပါက fan များ လည်ပတ်ခြင်း မရှိသည့်အခါတွင် လူနေထိုင်ရာ အခန်းများမှ လေများ နှင့်ရောနှောသွားခြင်း မရှိအောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ လိုအပ်သော ကိရိယာ (device)များ တပ်ဆင်ထားပေးရမည်။ သို့သော် စက်ရုံအလုပ်ရုံများ (industrial) သို့မဟုတ် စီးပွားဖြစ် ချက်ပြုတ်သည့်မီးဖိုချောင်များ(commercial kitchens)၏ exhaust duct များကို မည်သည့် duct များနှင့်မှ ရောနှောခြင်း မရှိစေဘဲ သီးသန့်စနစ်(separate system)မျိုးဖြစ် အောင်ပြုလုပ်ထားရမည်။

Exhaust air များကို ပြင်ပ(outdoor)သို့ တိုက်ရိုက် ရောက်အောင် စွန့်ထုတ်(discharge) ရမည်။ Exhaust air စွန့်ထုတ်ရာ နေရာသည် လူသွားလမ်း(pedestrians) အနီးတွင် တည်ရှိနေပါက အောက်ခြေနေရာ (outside floor level) မှ (၂.၁)မီတာထက် မြင့်သည့် နေရာတွင် ရှိရမည်။



ပုံ ၇-၄၀ Fire compartment (မီးမကူးအောင် ကန့်သတ် ပိုင်းခြားထားသည့် ဇုန်)

၇.၆.၁ Smoke Tripping of AHU

အဆောက်အဦများ မီးလောင်သည့်အခါ မီးမပျံ့ပွားအောင် ကန့်သတ်ပိုင်းခြားရန်(isolate)အတွက် "**fire compartment**" များ သတ်မှတ်ထားသည်။ AHU မှ duct များသည် fire compartment တစ်ခုမှ အခြားသော fire compartment သို့ ဖြတ်သွားလျှင် duct အတွင်း ၌ fire damper တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။

AHU လေလည်ပတ်နှုန်း(air flow rate)သည် 15,000 m^3/hr ထက်မကျော်လျှင် ထို AHU ၏ duct များတွင် fire damper တပ်ဆင်ရန် မလိုပေ။

သက်ဆိုင်သည့် အာဏာပိုင်အဖွဲ့အစည်း(authority)မှ စည်းမျဉ်းစည်းကမ်း လိုအပ်ချက်အရ တောင်းဆိုခဲ့သော ထို AHU ၏ return air duct တွင် အနည်းဆုံး smoke detector တစ်ခု တပ်ဆင်ထားရမည်။

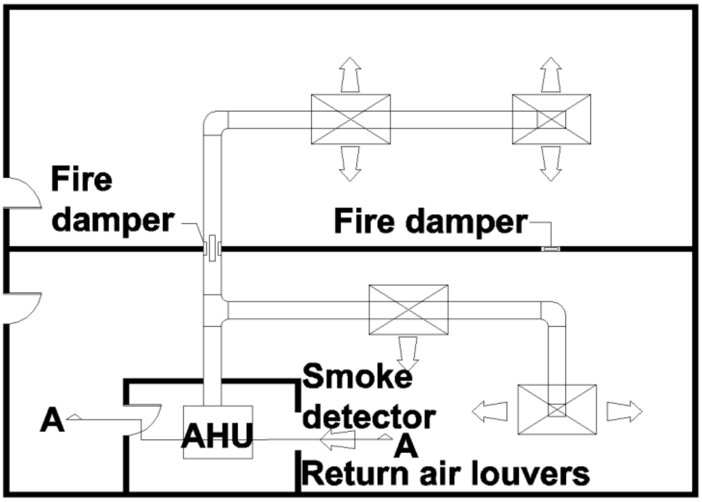
(က) AHU လေလည်ပတ်နှုန်း(air flow rate)သည် 15,000 m^3/hr ထက်ကျော်လျှင် သော်လည်းကောင်း၊

(ခ) AHU ၏ လေသည် တစ်ထပ်ထက်ပိုသည့် အထပ်များကို သို့ရောက်ရှိလျှင် သော်လည်းကောင်း၊

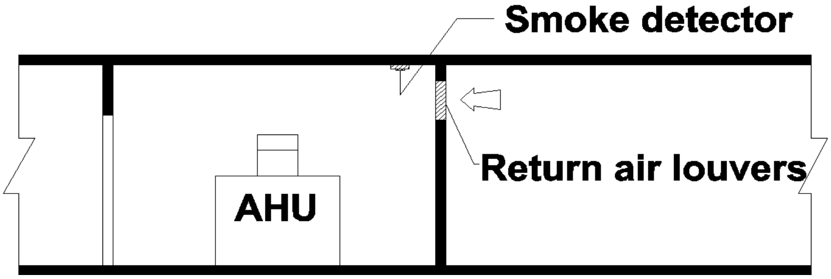
(ဂ) AHU ၏ လေသည် တခုထက်များသည့် fire compartment များသို့ ရောက်ရှိလျှင် သော်လည်းကောင်း၊

(ဃ) အခြားသက်ဆိုင်ရာ စည်းမျဉ်းစည်းကမ်းများမှ တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်လျှင် သော်လည်းကောင်း၊

အထက်ပါ AHU များ ၏ return air stream ၌ smoke detector တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၇-၄၁ Air Handling Unit(AHU) and duct work



ပုံ ၇-၄၂ Return air louver အနီးတွင် smoke detector တပ်ဆင်ထားပုံ

၇.၆.၂ Smoke Detector အမျိုးအစားများ

Probe အမျိုးအစား smoke detector များသည် AHU ၏ duct များအတွင်းတွင် တပ်ဆင် အသုံးပြုရန် အသင့်တော်ဆုံးသော အမျိုးအစားဖြစ်သော်လည်း လေစီးနှုန်းများ(high air flow)သည့် AHU များ အတွင် spot detector ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

ပုံ ၇-၄၃ Probe type smoke detector Smoke detector

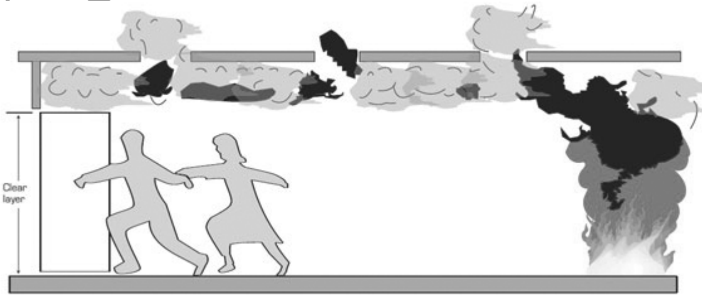
Activation of smoke detector

Return air steam တွင် တပ်ဆင်ထားသည် smoke detector သည် မီးခိုးများကြောင့် activate ဖြစ်သည့်အခါတွင် AHU ကို trip ဖြစ်စေပြီး ရပ်စေရမည်။

Smoke detector ကို reset လုပ်ပြီးမှသာ AHU ကို လည်း reset လုပ်ပြီး ပြန်မောင်းနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ AHU ၏ smoke detector မှ signal ကို building fire alarm system သို့ ပေးရန် ပို့ရန် မလိုပေ။ သို့သော် Building Automation System (BAS) ဖြင့် monitored လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

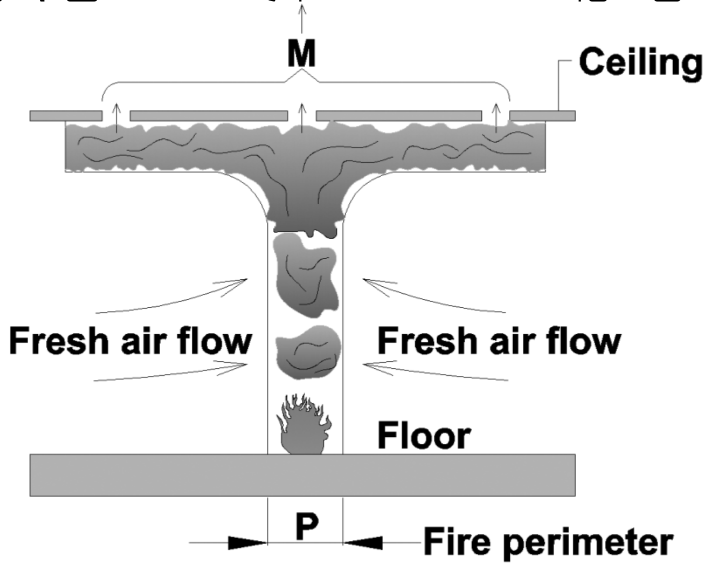
၇.၇ Engineered Smoke Control System - Design Consideration and Over View

အဆောက်အဦတစ်ခု မီးလောင်ကျွမ်းသည့်အခါ လူများ အသက်ဆုံးရှုံးရခြင်း၏ အဓိက အကြောင်း အရင်းသည် မီးခိုးများကြောင့် ဖြစ်သည်။ မီးတောက်၊ မီးလျှံများ နှင့် ကင်းလွတ်ရာ နေရာတွင် ရောက်နေစေကာမူ မီးခိုးများကြောင့် မူးမော်ခြင်း၊ အသက်ရှူမဝခြင်း နှင့် မီးခိုးဆိပ်သင့်ခြင်း တို့ကြောင့် အသက်ဆုံးရှုံးကြရခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် မီးလောင်ခြင်းမှ ထွက်ပေါ်လာသော မီးခိုးများကို စနစ်တကျ ထိန်းသိမ်းနိုင်မှသာ ထိုမီးလောင်နေသည့် အဆောက်အဦအတွင်းမှ လူများအသက်ချမ်းသာရာ ရနိုင်သည်။ မီးလောင်မှုကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော မီးခိုးများကို စနစ်တကျထိန်းသိမ်း၊ စီမံသည့် စနစ်ကို "**Engineered Smoke Control System**" ဟုခေါ်သည်။



ပုံ ၇-၄၄ အထပ်မြင့် အဆောက်အဦရှိ အထပ်တစ်ခုတွင် မီးလောင်ကျွမ်းပုံ

Engineered smoke control system သည် အဆောက်အဦတစ်ခု၏ မီးဘေးကာကွယ်ရေး စနစ်များတွင် တစ်ခု အပါအဝင်ဖြစ်သည်။ Engineered smoke control system ကို အဆောက်အဦ ၏ M&E service များတွင် Air Conditioning and Mechanical Ventilation (ACMV) System ၏ အောက်တွင် ထည့်သွင်း ထားသည်။ ထို့ကြောင့် ACMV အင်ဂျင်နီယာတစ်ယောက်၏ တာဝန်ဖြစ်သည်။



ပုံ ၇-၄၅ မီးတောက်အကျယ်ပမာဏ နှင့် မီးခိုးများပူ၍ အပေါ်သို့တက်သည့် သဘာဝကို ဖော်ပြထားသည်။

Engineered smoke control system တစ်ခု၏ အခြေခံဒီဇိုင်းသည် မီးလောင်သည့်အခါ လူများ မီးခိုးများ၏ အန္တရာယ်မှ ဘေးကင်းစွာ ထွက်ပြေးလွတ်မြောက်ရန် ဖြစ်သည်။ မီးလောင်နေသမျှ ကာလပတ်လုံး

မီးခိုးများ အမြဲမပြတ် ထွက်ပေါ်နေမည်သာ ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် မီးခိုးများကို လူများနှင့် လွတ်သည့်နေရာတွင် သိမ်းဆည်းထားပြီး လွတ်ကင်းရာသို့ ဖောက်ထုတ် နိုင်အောင် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရမည်။

မီးခိုးများကို လူများနှင့်လွတ်သည့်နေရာတွင် သိမ်းဆည်းထားရန် နေရာကို မီးခိုးများ စုစည်း သိမ်းဆည်းရန်နေရာ(smoke reservisor)ဟု ခေါ်သည်။ မီးခိုးများကို လူများနှင့် လွတ်သည့်နေရာသို့ ရောက်ရှိ သွားရန် သဘာဝနည်းဖြင့် လေဝင်လေထွက် ကောင်းအောင်ပြုလုပ်ခြင်း(natural ventilation) သို့မဟုတ် စက်အားဖြင့် လေဝင်လေထွက်ကောင်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်း(mechanical extraction)နည်းကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

Air con နှင့် ventilation system များ၏ လေလည်ပတ်နှုန်းသည် အခန်း၏ အရွယ်အစားအပေါ်တွင် အခြေခံ၍ တွက်ချက်ကြသည်။ သို့သော် fire-smoke venting သည် အခန်း၏ အရွယ်အစားနှင့် လုံးဝ မသက်ဆိုင်ဘဲ မီးတောက်အရွယ်အစားနှင့် မီးခိုးထွက်နှုန်းပေါ်တွင် မူတည်သည်။ မီးလောင်သည့်အခါ အနီးရှိ လေအေးများသည် မီးတောက်များကြောင့် မီးခိုးများအဖြစ် ပြောင်းလဲသွားသည်။
မီးခိုးများပေါ်ထွက်လာနှုန်းသည် အောက်ပါ အချက် သုံးချက်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(၁) မီးတောက်၏ အဝန်းအဝိုင်းပမာဏ (Perimeter of the fire.)

(၂) မီးတောက်၏ အပူချိန်(Temperature of the flames in the plume.)

(၃) မီးတောက်ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် အပူcolumn ၏ အမြင့်(Effective height of the column of hot) တို့ ဖြစ်သည်။

မီးတောက်၏ အဝန်းအဝိုင်းပမာဏ နှင့် အပူ column ၏ အမြင့်သည် မီးခိုးထွက်နှုန်း နှင့် အချိုးကျသည်။ မီးခိုးထွက်နှုန်းသည် square root of the absolute temperature of the fire နှင့် တူညီသည်။

မီးတောက်၏ အပူချိန်(flame temperature)သည် 600°C– 850°C (1,112°F – 1,562 °F)ဖြစ်သည်။ လေ၏ သိပ်သည်းဆ(density)သည် 1.22 kg/m^3 ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် မီးခိုးထွက်နှုန်း(smoke production rate)ကို အောက်ပါ ပုံသေနည်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

$$M = 0.19\ PY^{1.5}$$

M = the mass rate of the smoke produced

P= the perimeter of the fire (meter)

Y= the height of the smoke layer (meter)

မီးခိုးထွက်နှုန်း တွက်ယူပြီးနောက် မီခိုး၏အပူချိန်(temperature of smoke)ကို သိရန်လိုသည်။ မီခိုး၏ အပူချိန် (temperature of smoke)ကို အောက်ပါ ပုံသေနည်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\theta = Q_s/M$$

θ = Temperature of the smoke in C above ambient

Q_s = Heat carried by the smoke in kW

M = Mass rate of smoke production in kg/s

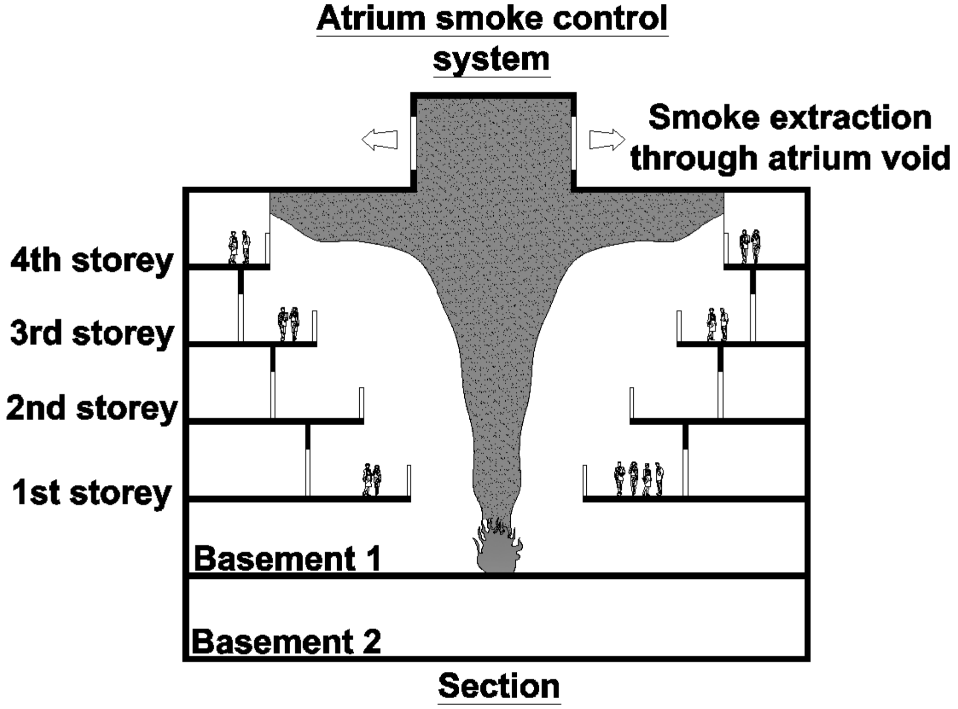
မီးတောက်၏ specific heat သည် 1 kJ/kg K ခန့်ဖြစ်သည်ဟု ယူဆထားသည်။

စာမျက်နှာ(၇-၃၅)မှ ဇယားတွင် ဖော်ပြထားသည့် အတိုင်း ကြီးမားလာသော မီးတောက်(spreading and growing fire) အရွယ်အစားသည် မည်သည့်အခါမျှ 0.5 MW/m^2 နှုန်း(burning rate)သို့ ရောက်မည် မဟုတ်ပေ။ ဧရိယာ အရွယ်အစား 10 m^2 ကို ရောက်သည့်အခါ မီးတောက်ပြင်းအား(total heat output)သည် 2.6 MW ဖြစ်သည်။ မီးခိုးအပူချိန်(temperature)သည် 152°C ဖြစ်သည်။

Effect of spreading and growing fires on smoke temperature						
Time from ignition (minutes)	Constant burn rate at 0.5 MW/m^2			Growing fire		
	Heat output (MW)	Fire size (m^2)	Max. smoke temp (°C)	Heat output (MW)	Fire size (m^2)	Max. smoke temp (°C)
-	0.3	0.6	80	0.1	0.4	43
8.0	1.2	2.4	144	0.4	1.5	66
16.0	5.0	10.0	277	1.5	6.0	118
18.5	8.5	17.0	356	2.6	10.0	152
20.0	10.0	20.0	384	3.0	12.0	159
22.0	_	-	-	4.6	18.0	195
22.5	-	-	-	5.0	20.0	201

အကယ်၍ sprinkler မတပ်ဆင်ထားသည့် နေရာတွင် လောင်ကျွမ်းသည့်မီး(unsprinkled fire) ဖြစ်လျှင် 5MW အထိရောက်ရှိနိုင်ပြီး 20 m^2 ဧရိယာ အရွယ်အစားအထိ ကြီးထွားလာနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် engineered smoke control system တစ်ခု၏ ဒီဇိုင်း မှန်ကန်ရန်အတွက် လောင်ကျွမ်းနိုင်မည့် နေရာ၏ မီးတောက်သဘာဝ နှင့် ဒီဇိုင်းအရွယ်အစား(designed fire size)ကို အတိအကျ ရွေးချယ် လိုအပ်သည်။ အောက်ပါ အခန်းများ သို့မဟုတ် နေရာများ တွင် engineered smoke control system ကို ဥပဒေအရ တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။

Basement တွင် လူများ ဝင်ထွက်သွားလာရန် အသုံးပြုသည့်နေရာ အကျယ်သည် စတုရန်းမီတာ (၁၉၀၀) ထက်ကျော်လျှင် (carpark အဖြစ် အသုံးပြုသည့် နေရာများကို ထည့်တွက်ရန်မလို) engineered smoke control system ကို တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။ စတုရန်းမီတာ (၁၉၀၀)သည် တစ်ဆက်တည်း သော်လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ နေရာအချို့ စုပေါင်း၍ သော်လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ စတုရန်းမီတာ (၅၀၀)ထက် ပိုကျယ်သည့် atrium တိုင်းတွင် engineered smoke control system ကို တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၇-၄၆ Atrium smoke control system

Engineered smoke control system ကို တပ်ဆင်ထားသည့် အဆောက်အဦများတွင် sprinkler fire protection system တပ်ဆင်ထားရမည်။ Engineered smoke control system ၏ အခြေခံဒီဇိုင်းကို တွက်ချက်ရန် အတွက် သတ်မှတ်ထားသော အချက်အလက်များမှာ အောက်ပါအတိုင်း ဖြစ်သည်။

၇.၇.၁ Designed Fire Size

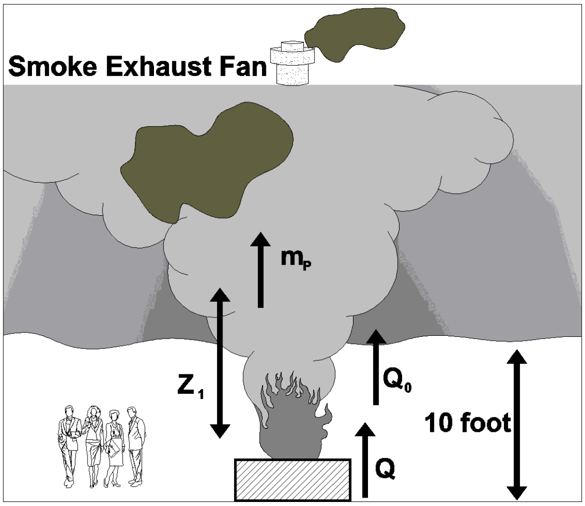
Occupancy (Sprinklered)	မီးတောက် အရွယ်အစား (Fire Size)	
	Heat Output (MW)	Perimeter of Fire (m)
Shops	Q = 5.0	P = 12.0
Offices	Q = 1.0	P = 14.0
Hotel Guest Room	Q = 0.5	P = 6.0
Hotel Public Areas	Q = 2.5	P = 12.0
Assembly Occupancy with fixed seating	Q = 2.5	P = 12.0

Q = the heat carried by the smoke in P = the perimeter of the fire in meters

System to handle worst case scenario Minimum clear height below smoke layer = 2.5 m

Design standard များမှာ

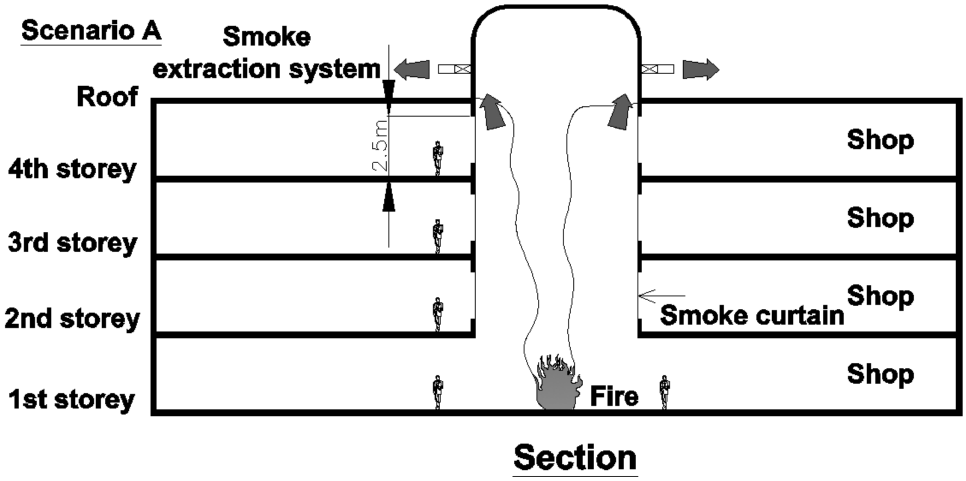
- BR 186 – Design principles for smoke ventilation in enclosed shopping centre
- BR 258 – Design approaches for smoke control in atrium buildings



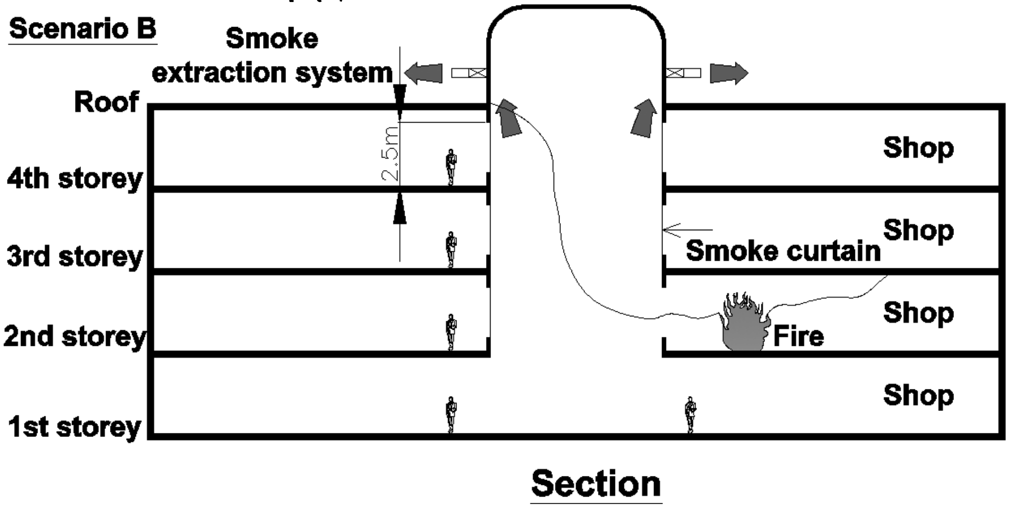
ပုံ ၇-၄၇ မီးတောက် အရွယ်အစား(fire size) နှင့် မီးလောင်ပုံ အဆင့်ဆင့်

လောင်သည့် မီး အမျိုးအစား နှင့် နေရာ	Sprinklers အမျိုးအစား	မီးတောက်အရွယ်အစား (Fire Size)
Retail Stores	Standard	12 metres x 5 megawatts
	Fast Response	9 metres x 2.5 megawatts
Open Plan Offices	Standard	14 metres x 2.7 megawatts
Hotel Bedroom	Standard	6 metres x 4 megawatts
Motor Car (BRE 368)	Non	12 metres x 3 megawatts
Motor Car (BS7346-Pt 7)	Non	20 metres x 8 megawatts
	Standard	14 metres x 4 megawatts
Ladened Lorry		20 metres x 7 megawatts

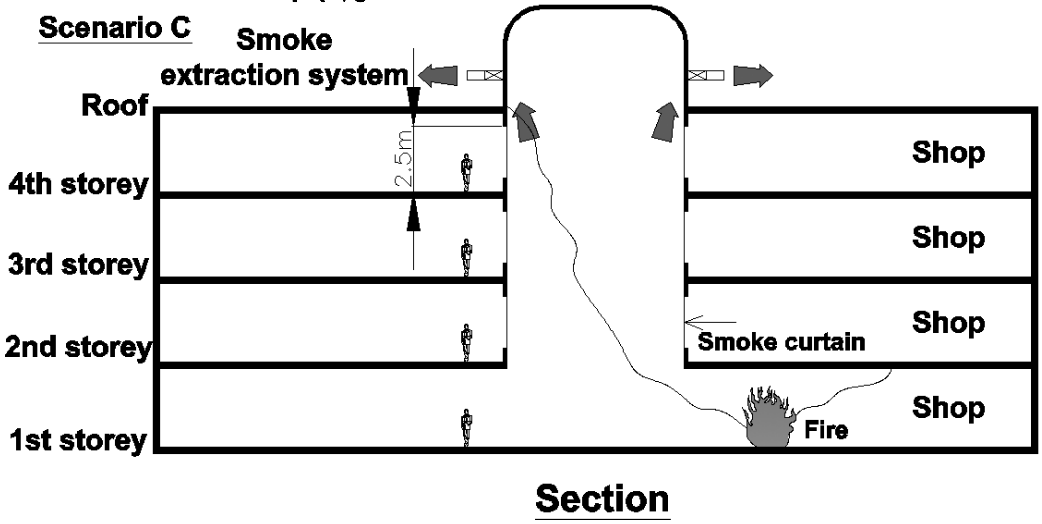
Atrium smoke control system



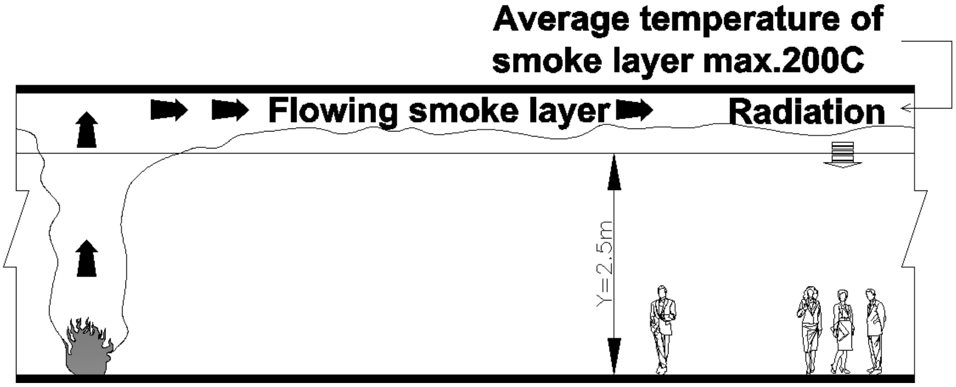
ပုံ ၇-၄၈ Atrium smoke control system



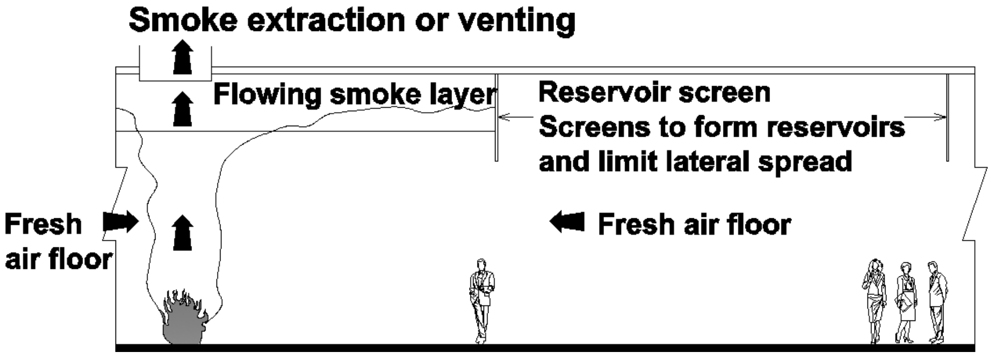
ပုံ ၇-၄၉ Atrium smoke extraction system



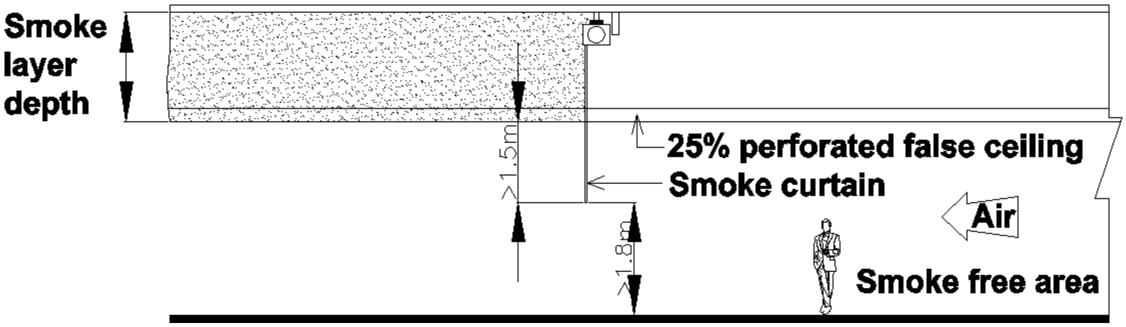
ပုံ ၇-၅၀ Atrium smoke extraction system



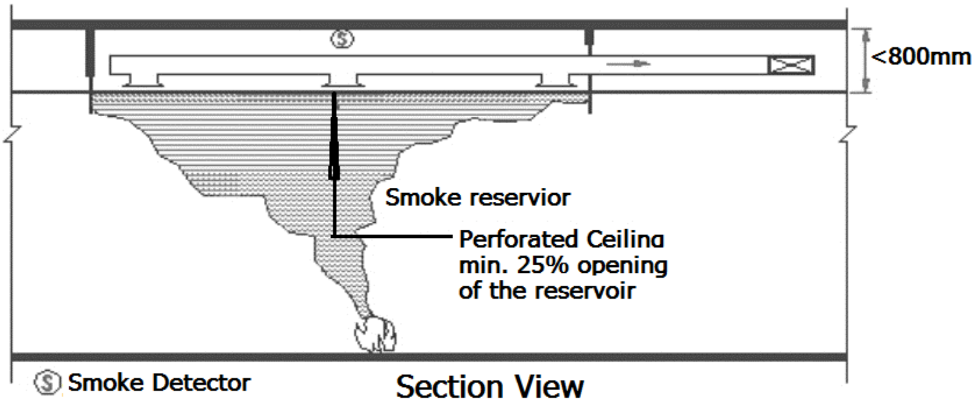
ပုံ ၇-၅၁ Smoke layer



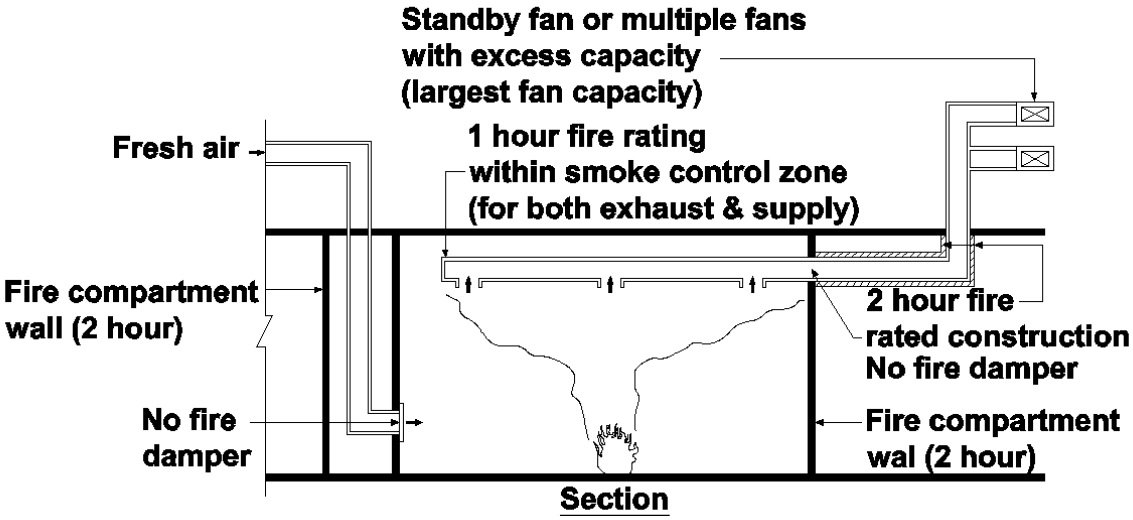
ပုံ ၇-၅၂ Smoke layer and smoke extraction or venting



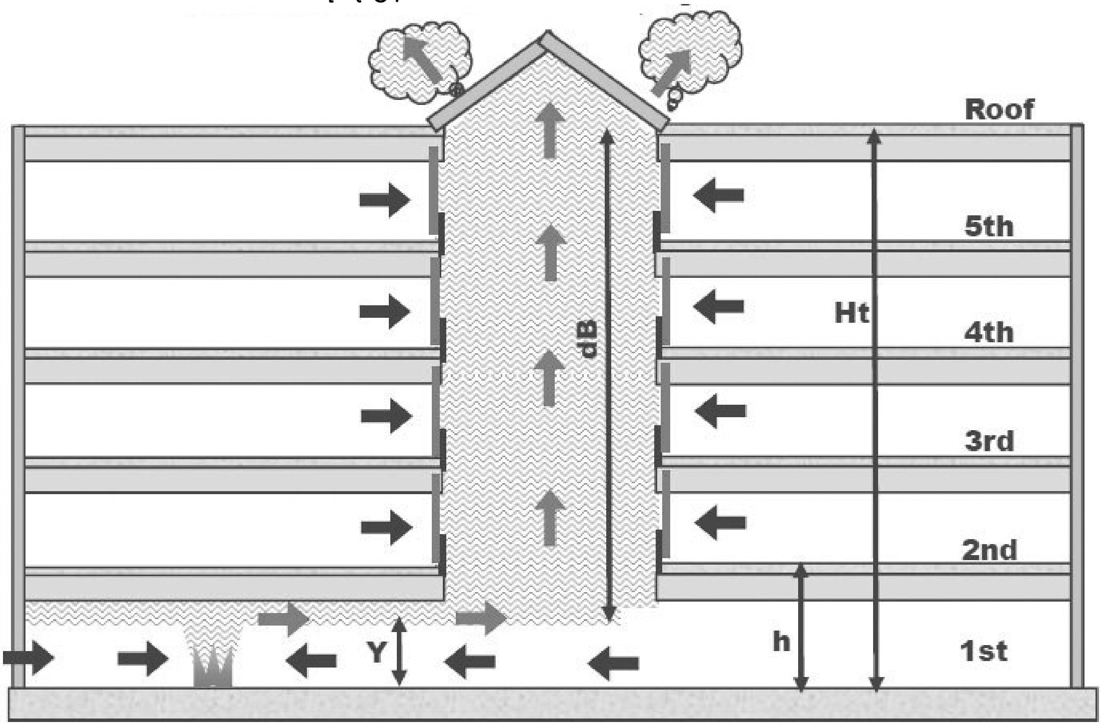
ပုံ ၇-၅၃(က) Smoke curtain and perforated false ceiling



ပုံ ၇-၅၃(ခ) Smoke curtain and perforated false ceiling



ပုံ ၇-၅၄ Fire rated duct and standby fans



ပုံ ၇-၅၅ Smoke Extraction System တွက်နည်း ဥပမာ

၇.၇.၂ Smoke Extraction System တွက်နည်း ဥပမာ

အထပ် ငါးထပ်ပါရှိသည့် shopping mall တစ်ခုအတွက် "Smoke Extraction System" တွင် automatic smoke curtain များကို atrium ပတ်ပတ်လည်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။(upper floors ရှိ "sterile tube" နှင့် close atrium မှလွဲ၍) ပထမထပ်(မြေညီထပ်)၏ အမြင့်သည် (၅)မီတာဖြစ်ပြီး ကျန်အထပ်များ၏ အမြင့်သည် (၃.၅)မီတာ အသီးသီး ဖြစ်ကြသည်။

ကြမ်းခင်းဧရိယာမှာ စတုရန်းမီတာ(၁၂၀၀) အသီးသီးဖြစ်ကြသည်။ စတုရန်းမီတာ(၁၂၀၀) fire zone တစ်ခုအဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ [Floor area = 1,200 m^2 typical (1 fire zone)]

Atrium void သည် မီတာ(၂၀)ရှည်ပြီး (၁၀)မီတာကျယ်သည်။

(Atrium void= 20m long x 10m wide(200 m^2))

လောင်မည့် မီးတောက် အရွယ်အစားကို သိမှသာ smoke extraction system ကို မှန်ကန်စွာ ဒီဇိုင်းလုပ်နိုင်မည် ဖြစ်သည်။ ဒီဇိုင်း မီးတောက် အရွယ်အစားမှာ(design fire)ကို ခန့်မှန်းရန် လိုသည်။ မီးလောင်လျှင် ဖြစ်နိုင်မည့် မီးတောက်၏ အရွယ်အစား(design fire)သည် 3m x 3m ဖြစ်ပြီး ပတ်လည်အနားတစ်လျှောက်သည် (၁၂)မီတာခန့် ဖြစ်နိုင်သည်။ မီးတောက်ကြောင့် ဖြစ်လာနိုင်သည့် အပူပမာဏသည် (၅၀၀၀)ကီလိုဝပ် ဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦတွင် sprinkler များ တပ်ဆင်ထားသည်။
(3m x 3m sprinkler controlled, 12m perimeter, 5,000kW convective heat output)

ပထမထပ်(မြေညီထပ်)၏ လူဝင်၊လူထွက်ပေါက်မှာ တခါးရွက် နှစ်ရွက်ပါသည့် sliding door အမျိုးအစား လေးပေါက်ဖြစ်သည်။ တံခါးပေါက်၏အကျယ်သည် (၂.၂)မီတာဖြစ်ပြီး၊ အမြင့်သည် နှစ်မီတာ ဖြစ်သည်။ စုစုပေါင်းဧရိယာသည် စတုရန်းမီတာ (၁၇.၀၆) ဖြစ်သည်။
(Inlet: 4 nos. twin leaf sliding doors, size 2.2m wide x 2m high, Total area = 17.60m^2)

လူများအတွက် မီးခိုးလွတ်ရန် လိုအပ်သည့်အမြင့်မှာ (၃)မီတာဖြစ်သည်။ ထိုအမြင့်ကို "**Design Clear High**" ဟု ခေါ်လေ့ရှိသည်။

Design Clear High : 3m above finished floor level
Max. mass flow Mf = 175 kg/s
Min. smoke layer temperature above ambient T = 18 °C
Max. replacement air velocity, V = 5.0 m/s

(၁) ပထမအဆင့် atrium ၏ အမြင့်ကို တွက်ချက်ရန်(Calculate height of atrium, H)

H = 1st ~ 5th Storey
= 5.00m + 4(3.50)m
= 19.0m

(၂) ဒုတိယအဆင့် smoke layer ၏ အနက်ကို တွက်ချက်ရန် (Calculate smoke layer depth, dB)

dB = H – clear ht. below smoke layer(assumed 3m)
= 19.00 – 3.00m
= 16.0m

(၃) တတိယအဆင့် မီးခိုးထွက်နှုန်းကို တွက်ချက်ရန်(mass flow of smoke, Mf (based on entrained plume))

$$\boldsymbol{M = 0.19\, PY^{1.5}}$$

M = the mass rate of the smoke produced
P= the perimeter of the fire (meter)
Y= the height of the smoke layer (meter)

$$\boldsymbol{M_f = 0.19\,[P]Y^{1.5} x\, 2}$$
$$\boldsymbol{M_f = 0.19\,[12]\ x\, 3^{1.5}\ x\ 2}$$

= 11.85 x 2
= 23.70 kg/sec (တစ်စက္ကန့်လျှင် (၂၃.၇) ကီလိုဂရမ်နှုန်း ဖြစ်သည်။)

(၄) မီးစလောင်သည့်အခိုက်၌ ဖြစ်ပေါ်လာမည့် အပူချိန်(initial temperature)သည် လေထု အပူချိန်ထက် မြင့်သည်။ ထို initial temperature ကိုရှာရန် (Initial temp. of smoke layer above ambient = θi)

$$\theta i = Q/(Mf\ x\ Cp)$$
= 5000 /(23.7 x 1.01)
= 208.88 °C (say 209°C)

ထွက်လာသည့် မီးခိုးများ၏ အပူချိန်ကို တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\theta = Q_s/M$$

θ = the temperature of the smoke in C above ambient

Q_s = the heat heat carried by the smoke in kW

M = the mass rate of smoke production in kg/s

(၅) Sprinkler စတင်ပေါက်ကွဲမည့် အပူချိန်(တစ်နည်း sprinkler များသည့် မာကျူရီထည့်ထားသည့် ဖန်ဘူးလေးများ ဖြစ်သည်။ အပူချိန်(၆၈)ဒီဂရီ စင်တီဂရိတ်ခန့် ရောက်လျှင် အပူကြောင့် မာကျူရီသည် ကျယ်ပြန့်လာကာ ဖန်ဘူးကို ပေါက်ကွဲစေပြီး ရေများကျလာ စေသည်။)
Sprinkler operating temperature ၊ θsp

$$\theta sp = 68\ ℃$$

(၆) Sprinkler များကွဲ၍ ကျလာသော ရေများကြောင့် ကျဆင်းသွားသည့် အပူချိန် θsm ကို ရှာပါ။(Smoke layer Sprinkler cooled temperature of smoke layer above ambient, θsm)

$$\theta sm = ½(\theta i + \theta sp)$$
= ½(209 + 68)
= 138.5°C > 18°C [OK]

(၇) Absolute ambient temperature ကို To ရှာပါ။(Absolute ambient temperature, To)
To = 300 K (27 °C)

(၈) Smoke layer ၏ absolute temperature ကိုရှာပါ။ (Absolute temperature of smoke layer,Tcm)

$$Tcm = To + \theta sm$$
= 300 + 138.5
= 438.5 K

(၉) ထွက်လာမည့် မီးခိုး၏ ထုထည်ကို ရှာရန်-(volume of smoke produce, Vp)

$$V_p = \frac{(M_f - T_{cm})}{(T_o - p)}$$

$$V_p = \frac{(23.7 - 439)}{(300 - 1.22)}$$

= 28.43m^3
=add 20% safety factor
= 28.43m^3 x 1.2
=34.12 m^3/s

ထွက်လာမည့်မီးခိုး၏ ထုထည်သည် တစ်စက္ကန့်လျှင် (၃၄.၁၂)ကုဗမီတာနှုန်း ဖြစ်သည်။

(၁၀) ထွက်လာမည့် မီးခိုး၏ ထုထည်ကို တွက်ပြီးနောက် ထိုမီးခိုးတို့ကို ဖယ်ထုတ်ရမည့် smoke extraction ၏ rate ကိုရှာရန်။ (Proposed smoke extraction rate, Ve)

တစ်စက္ကန့်လျှင်(၁၂)စတုရန်းမီတာ ဖယ်ထုတ်နိုင်သည့် fan သုံးလုံးဖြင့်မောင်းရန် ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ထားသည်။ အရန်အဖြစ် နောက်ထပ် fan တစ်လုံးကို အပို တပ်ဆင်ထားသည်။ စုစုပေါင်း fan လေးလုံး တပ်ဆင်ရန်။

Ve = 3 duty fans + 1 standby fan (each 12 m^3/s)
= 3 x 12 m^3/s
= 36 m^3/s > 34.12 m^3/s [OK]

(၁၁) တစ်စက္ကန့်လျှင် (၁၂)စတုရန်းမီတာနှုန်းဖြင့် ဖယ်ထုတ်နိုင်သည့် fan သုံးလုံးမောင်းပြီး မီးခိုးများကို စုပ်ထုတ်လိုက်သည့်အခါ အဆောက်အဦတွင် negative pressure ဖြစ်ပေါ်လိမ့်သည်။ ထို့ကြောင့် ပြင်ပမှလေများ အစားထိုးဝင်ရောက်လာရန် လုံလောက်အောင် ကျယ်ဝန်းသော လေဝင်ပေါက်များ ရှိရန် လိုသည်။ လေဝင်ပေါက်(air opening)ဧရိယာကို တွက်ရန်(Nett Inlet air opening required, Ai)- ခွင့်ပြုသည့် velocity မှာ တစ်စက္ကန့်လျှင် (၅)မီတာနှုန်းထက် မပိုစေရ။

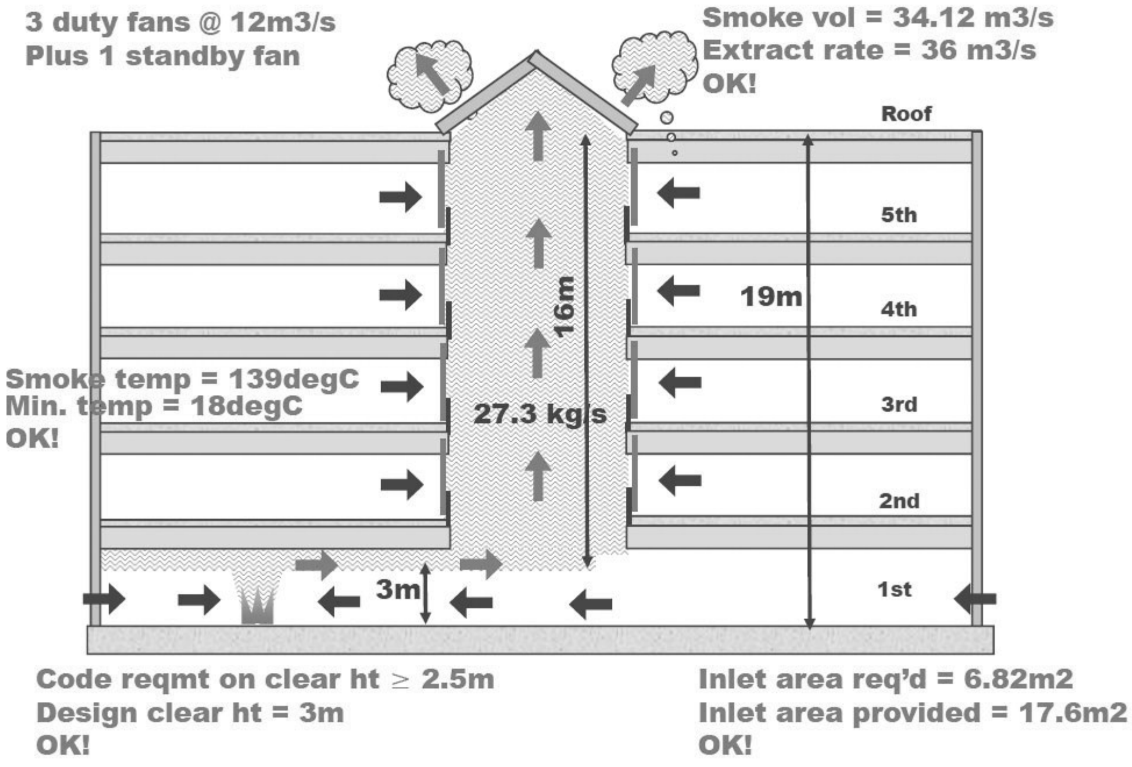
$$Ai = \frac{Vp}{max. permissible\ velocity}$$

= 34.12 / 5.0
= 6.82 m^2

(၁၂) ရှိထားပြီးသာ တံခါးပေါက်များကို လေဝင်ပေါက်အဖြစ် အသုံးပြုရန် ရည်ရွယ်သည်။ တံခါးပေါက်များ၏ အကျယ်သည် လိုအပ်သည့် လေဝင်ပေါက် အကျယ် ဖြစ်မဖြစ် စစ်ဆေးရန်။(Check Inlet Area Opening Available, Am)

Am = 4 pair sliding doors
= 4 x 2.2m x 2.0m
= 17.60 m^2 > 6.82 m^2 [OK]

ရှိထားပြီးသား တံခါးပေါက်များသည် လုံလောက်အောင်ကျယ်သောကြောင့် smoke extraction ၏ လေဝင်ပေါက်အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်သည်။(နောက်ထပ် air opening ထပ်ဖောက်ရန် မလိုပေ။)



ပုံ ၇-၅၆ Smoke extraction system တွက်နည်း ဥပမာ၏ အဖြေ

၇.၈ Basement Car Park Carbon Monoxide Monitoring and Ventilation Fan Control System

မြေအောက်ကားထားရန်နေရာ(basement car park)များတွင် လေကောင်းလေသန့် ရရှိရန်အတွက်နှင့် ကားများမှ ထွက်သော exhaust gas များကြောင့် mechanical ventilation system တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။ ကားအင်ဂျင်အတွင်း၌ လောင်စာဆီများ မီးလောင်မှုကြောင့်(internal combustion) ထွက်ပေါ်လာသော exhaust gas များကို ဖယ်ရှားပစ်ရန်အတွက် basement car park များ၌ရှိသော လေထုကို ညစ်ညမ်းစေသည်။ ထို့ကြောင့် ကားများ၏ အိပ်ဇောငွေ့(exhaust gas)များတွင် ပါဝင်သော ဓာတ်ငွေ့များအကြောင်းကို သိရန် လိုအပ်သည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် လောင်စာဆီနှင့် လေတို့ပေါင်းစပ်ပြီး ကားအင်ဂျင်အတွင်း၌ ပေါက်ကွဲခြင်းကို အောက်ပါ ဓာတု ညီမျှခြင်းကို အသုံးပြု၍ တွက်ယူနိုင်သည်။

$$Fuel + Air = Hydrocarbons + Nitrogen\ Oxides + Carbon\ Dioxide + Carbon\ Monoxide + Water$$

ပုံ ၇-၅၇ ကားမှ ထွက်လာသည့် အိပ်ဇောငွေ့(exhaust gas)များ

ကားအိပ်ဇောငွေ့(exhaust gas)များတွင် ဟိုက်ဒရိုကာဗွန်၊ နိုက်ထရိုဂျင်ဓာတ်ငွေ့၊ ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်၊ ကာဗွန်မိုနောက်ဆိုဒ်နှင့် ရေ တို့ဖြစ်သည်။ အင်ဂျင်အတွင်း၌ ဟိုင်ဒရိုကာဗွန် လောင်စာဆီများ ပြည့်ဝစွာ မီးလောင်ကျွမ်းခြင်း(complete combustion) ဖြစ်မှသာ ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ် ဓာတ်ငွေ့သည် exhaust gas တွင် ပါဝင်နေလိမ့်သည်။

တစ်ဝက်တစ်ပျက် မီးလောင်မှု(incomplete combustion)ကြောင့် ကာဗွန်မိုနောက်ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့များ ပေါ်ထွက်လာရသည်။ ကာဗွန်မိုနောက်ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့သည် အရောင်အဆင်းမရှိ၊ အနံ့မရှိသော ဓာတ်ငွေ့ ဖြစ်သည်။ ဓာတုဗေဒနည်းအရ ကာဗွန်မိုနောက်ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့သည် တစ်လုံးတည်းသော အောက်ဆီဂျင်အက်တမ်(oxygen atom)နှင့် တစ်လုံးတည်းသော ကာဗွန်အက်တမ်(carbon atom)တို့ ချိတ်ဆက်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ကမ္ဘာပေါ်တွင် ဖြစ်ပေါ်လာသော ကာဗွန်မိုနောက်ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ ထုတ်လွှတ်မှု(emissions)၏ သုံးပုံနှစ်ပုံသည် သယ်ယူ ပို့ဆောင်ရေး လုပ်ငန်းများ(ကားများ၊ သင်္ဘောများ နှင့် လေယာဉ်ပျံများ)မှ ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

၇.၈.၁ Safe Level of ကာဗွန်မိုနောက်ဆိုဒ်ဓာတ်ငွေ့(CO) ဓာတ်ငွေ့

ကာဗွန်မိုနောက်ဆိုဒ်ဓာတ်ငွေ့(CO)သည် လူ၏ အသက်ကို အန္တရာယ် ဖြစ်စေနိုင်သည်။ 10PPM Level ကျော်လွန်ပါက ကျန်းမာရေးကို စတင် အန္တရာယ်ပြုနိုင်သည်။ လေထဲတွင် (CO)ဓာတ်ငွေ့ပါဝင်သော level သည် 0 (zero) ဖြစ်လျှင် အကောင်းဆုံးနှင့် အလုံခြုံဆုံး ဖြစ်သည်။ PPM ဆိုသည်မှာ part per million ဖြစ်သည်။

လေထုထည် ပေါင်တစ်သန်းတွင် ကာဗွန်မိုနောက်ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ ပေါင်(၃၀)ပါဝင်လျှင် 30PPM Level ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေထဲတွင် ကာဗွန်မိုနောက်ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှု 9PPM Level ဆိုသည်မှာ လေထုထည် တစ်ကုဗမီတာတွင် ကာဗွန်မိုနောက်ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ အလေးချိန် (၉)မီလီဂရမ် ပါဝင်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။ ထို့ကြောင့် ကာဗွန်မိုနောက်ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ 10PPM level ရှိသည့် နေရာတွင် အချိန်ကြာမြင့်စွာ (တစ်နေ့လုံး) နေထိုင် လုပ်ကိုင်ရမည် ဆိုပါက ရေရှည်တွင် ကျန်းမာရေး ထိခိုက်နိုင်သည်။

အောက်ပါဇယားသည် လေထဲတွင် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှု(level)နှင့် လူခန္ဓာကိုယ်၏ ကျန်းမာရေး ထိခိုက်မှုကို ဖော်ပြထားခြင်းဖြစ်သည်။

ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှု နှင့် လက်ခံနိုင်သည့်အချိန်

CO (PPM)	Time	Symptoms
35 PPM	8 hours	Maximum exposure allowed by OSHA in the workplace over an eight hour period.
200 PPM	2-3 hours	Mild headache, fatigue, nausea and dizziness.
400 PPM	1-2 hours	Serious headache- other symptoms intensify. Life threatening after 3 hours.
800 PPM	45 minutes	Dizziness, nausea and convulsions. Unconscious within 2 hours. Death within 2-3 hours.
1600 PPM	20 minutes	Headache, dizziness and nausea. Death within1 hour.
3200 PPM	5-10 minutes	Headache, dizziness and nausea. Death within 1 hour.
6400 PPM	1-2 minutes	Headache, dizziness and nausea. Death within 25-30 minutes.
12,800 PPM	1-3 minutes	Death.

Concentration (ppm)	Carbon Monoxide	Time (hours)
50	Allowed exposure level	8
200	Slight headache. sensation of uneasiness	3
400	Headache. sensation of uneasiness	2
600	Headache, sensation of uneasiness	1
1000...2000	Confusion, headache, nausea	1,5
1000...2000	Balance loss tendency	0.5
2000...2500	Unconsciousness	0.5
4000	Fatal	< 1

Singpore Standard 554:2009 IAQ code တွင် ဖော်ပြထားသော လက်ခံနိုင်သည့်(recommended) ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO) ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှု (level) သည် 9 PPM ဖြစ်သည်။

၇.၈.၂ Understanding of Basement Car Park Mechanical Ventilation System Design

Basement car park monitoring system ကို ဒီဇိုင်းပြုလုပ်သူ သို့မဟုတ် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းရန် တာဝန်ရှိသူ တစ်ယောက်သည် basement car park mechanical ventilation system ၏ အခြေခံ ဒီဇိုင်း အချက် အလက်များကို သိရှိထားရန် လိုအပ်သည်။ ယခုအခါ basement car park mechanical ventilation system များတွင် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ sensor များ တပ်ဆင်၍ လေထဲတွင် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO) ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှုကို အခြေခံကာ MV fan များကို မောင်းကြသည်။ ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ် (CO)ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှု နည်းလျှင် MV fan များကို နှေးနှေးမောင်း၍ ပါဝင်မှုများလျှင် မြန်မြန် မောင်းခြင်းဖြင့် စွမ်းအင်ချွေတာ နိုင်သည်။

မြေအောက် ကားထားရန် နေရာ (Basement Car Park)

ကားများမှ ထွက်လာသော ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်များ(carbon monoxide) နှင့် တခြားသော လောင်စာဆီတို့ မီးလောင်မှုကြောင့် ထွက်လာသောအရာများ(other combustion products)ကို ဖယ်ရှားပစ်ရန် အတွက် အဆောက်အဦ အတွင်း ကားထားရာနေရာ များကို ventilation လုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

Natural ventilation လုပ်ထားသည့် နေရာမှ လွဲ၍ အဆောက်အဦ အတွင်းရှိ car parking နေရာများတွင် supply air ပေးခြင်း နှင့် exhaust air ထုတ်ပစ်ခြင်း စသည်တို့ပြုလုပ်နိုင်သောmechanical ventilation system ရှိရမည်။ ထို system သည် တစ်နာရီလျှင် ကားထားရန်နေရာ(car park)၏ ထုထည်(volume) ခြောက်ဆနှင့် ညီမျှသော(6 air change) ပြင်ပ(outdoor air)ကို ထည့်ပေးရမည်။

ရုံးခန်းအဖြစ်အသုံးပြုသော အဆောက်အဦများ တွင်ရှိသော ကားထားရန်နေရာ(car park)များ တွင် ကားများ မရှိသည့် အချိန်(low occupancy) အချိန်တွင် ကာဗွန်မိုနောဆိုဒ် ပါဝင်မှု ပျမ်းမျှ တစ်နာရီ အတွင်း 25 ppm ထက်မကျော်အောင် ထိန်းထားနိုင်လျှင် လေဝင်လေထွက်နှုန်း(ventilation rate)ကို လျှော့ချနိုင်ခွင့်ရှိသည်။

Residential parking area များရှိ လေထဲတွင် ကာဗွန်မိုနောဆိုဒ်များ ပါဝင်နေမှုသည် 25 ppm averaged over an hour period ထက်နည်းပါက Ventilation fan များကို ပိတ်ပစ်(switch off)နိုင်သည်။

Car park ventilation တွင် supply air အပိုင်း(part) နှင့် exhaust air အပိုင်း(part) ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရှိသည်။ Exhaust air ၏ ၅၀% ကို မျက်နှာကြက်နား(high level) မှ စုပ်ယူရမည်။ Exhaust air ၏ ကျန် ၅၀% ကို ကြမ်းပြင်အနီး(low level) မှ စုပ်ယူရမည်။

Low level ဟုသတ်မှတ် ရာတွင် လေစုပ်ယူသည့် အပေါက်(exhaust air grille)၏ အမြင့်ဆုံး အနားသည် အချောသတ်ပြီးသား ကြမ်းပြင်(finished floor) မှ 650 mm ထက် ပိုမမြင့်စေရ။

Supply air intake သည် အဆောက်အဦ၏ လေစွန့်ထုတ်ပေါက်(exhaust discharge opening)မှ အနည်းဆုံး (၅)မီတာထက် ပိုဝေးသော နေရာတွင် ရှိရမည်။

Car park အတွင်းရှိ supply air outlet များကို နေရာတိုင်း၌ လုံလောက်သောလေ အညီအမျှ ရရှိအောင် ဖြန့်ကျက် ထားရမည်။

Car park exhaust air ကို စွန့်ထုတ်သည့်(discharge)နေရာသည် လေဝင်ပေါက်(air intake opening)၊ တံခါးပေါက်(doorway) စသည်တို့မှ အနည်းဆုံး (၅)မီတာ ကွာဝေးရမည်။ စွန့်ထုတ်လေ(exhaust air)ကို အဆောက်အဦ အတွင်းသို့ ပြန်လည်မဝင် ရောက်နိုင်အောင် စီမံ ထားရမည်။

အနီးအနားရှိ တခြားသော အဆောက်အဦများ ရှိရာဘက်သို့ မိမိအဆောက်အဦမှ စွန့်ထုတ်လေ (exhaust air)များ မှုတ်ထုတ်ခြင်း မပြုရ။

မြေညီထပ်ထက်မြင့်သည့် အထပ်တွင် ရှိသော ကားထားရန်နေရာ (Aboveground car park)

မြေညီထပ်ထက်မြင့်သည့် အထပ်တွင် ရှိသော ကားထားရန်နေရာ (aboveground car park) အတွက် smoke purging system တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်ခဲ့ပါက၊ code of practice for fire precaution in building မှ အချက်များ အတိုင်း တပ်ဆင်ရမည်။

Aboveground car park တွင် cross ventilation ပြုလုပ်ထားခြင်း မရှိပါက လေဝင်ပေါက်(opening) နေရာမှ (၁၂)မီတာ(12m) ထက်ပိုဝေးသည့် နေရာများအတွက် natural ventilation လေပေါက်များ (openings)ကို ၁၅%ထက် ပိုများအောင် ပြုလုပ် ပေးထားရမည်။

Natural Ventilation နှင့် Mechanical Ventilation တို့ တွဲ၍ အသုံးပြုသည့်အခါ

(က) Supply air ပေးရန်မလို။ တပ်ဆင်ရန် မလို။

(ခ) Exhaust air system သည့် 1.2 air change per hour ဖြစ်ရမည်။

(ဂ) လေစုပ်ပေါက်(extraction point) များသည် low level တွင်သာ ထားရှိရမည်။ Exhaust grille ၏ ထိပ်အစွန်းသည် အချောသတ်ပြီးသား ကြမ်းခင်း(finished floor)မှ 650 mm ထက် ပိုမမြင့်စေရ။

Natural ventilation အတွက် အပေါက်များ(openings)၏ ဧရိယာအကျယ်သည် mechanical ventilation နေရာအကျယ်၏ ၂% ထက် ပိုများပါက supply air ထည့်ပေးရန် မလို။

မြေအောက်ရှိ ကားထားရန်နေရာ (Basement Car Park)

မြေအောက်ရှိ ကားထားရန်နေရာ(basement car park)တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် mechanical ventilation system များ၌ အစားထိုး ထည့်ပေးသည့် လေထုထည်(supply air volume rate)ပမာဏ သည် စွန့်ထုတ်သည့်လေထွက်နှုန်း(exhaust air volume rate)ပမာဏထက် ပိုမများစေရ။ ထိုသို့ ပိုမများခြင်းကြောင့် car park တစ်ခုလုံးသည် negative pressure အနည်းငယ် ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ Negative pressure ဖြစ်နေခြင်းကြောင့် car park အတွင်းရှိ အိပ်ဇောဓာတ်ငွေ့(noxious gase)များ တခြားသော လူများရှိနေရာ နေရာများသို့ ရောက်ရှိ သွားခြင်းမှ ကာကွယ်နိုင်သည်။ ပြင်ပမှ လေများသာ ဝင်ရောက်နိုင်လိမ့်မည်။

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော ဒီဇိုင်းလိုအပ်ချက်များ(design requirements) နှင့် ကိုက်ညီစေရမည်။

(က) Fan များချို့ယွင်းခြင်း(break down)ဖြစ်သည့် အခါမျိုးတွင် air flow capacity ၏ တစ်ဝက်ကျော် ကျန်အောင်၊ ဆက်လက်မောင်း(run) နေနိုင်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ရမည်။ Car park တစ်ခုလုံး တစ်ပြိုင်နက် ချို့ယွင်းခြင်း(break down) မဖြစ်အောင် အနည်းဆုံး နှစ်ပိုင်းခွဲ၍ ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ထားရမည်။

(ခ) Duct section များအားလုံးကို common duct work ဖြင့် မောင်းနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားနိုင်သည်။

(ဂ) Duct section များ တစ်ခုချင်းစီ မောင်း(operate)နိုင်အောင် control လုပ်နိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ အကြောင်း တစ်ခုခုကြောင့် စက်ချွတ်ယွင်းသည့်အခါမျိုးတွင်(in the event of failure) တခြားသော section များ ဆက်လက် မောင်းနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။

(ဃ) Exhaust air အပိုင်း နှင့် supply air အပိုင်းတို့ကို interlock လုပ်ထားရမည်။ Exhaust air အပိုင်းမှ ပျက်လျှင် supply air အပိုင်းကို ပိတ်ပစ်(shutdown)ရမည်။ Supply air အပိုင်းမှ ပျက်လျှင် (မမောင်း ထားလျှင်) exhaust air ကို ပိတ်ပစ်(shutdown)ရမည်။

(င) Exhaust အပိုင်းနှင့် supply အပိုင်းတို့သည် principle source electrical supply မရှိခဲ့သော် သို့မဟုတ် failure ဖြစ်ခဲ့သော် အလိုလျောက် ဆက်လက်မောင်း(operate) နေရမည်။ (emergency generator ဖြင့် မောင်းနိုင်အောင် ကေဘယ်ကြိုး(power cable) များကို တပ်ဆင်ထားရမည်။)

တစ်ထပ်ထက် ပိုများသည့် basement car park များဖြစ်လျှင် တစ်ထပ် နှင့် တစ်ထပ်အကြား လေများ မရောနှောသွားအောင်(intermixing မဖြစ်အောင်) ဒီဇိုင်း လုပ်ထားရမည်။

၇.၈.၃ Basement Car Park Carbon Monoxide Monitoring System's Design Consideration

ပုံ ၇- ၅၈ မြေအောက်ကားရပ်နားရန် နေရာလေဝင်လေထွက် duct များ (basement car park duct)

အလွန်ကြီးမားသော basement car park များတွင် ဇုန်(zone)များခွဲ၍ supply fan နှင့် exhaust fan များကို တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။ ဇုန်(zone)တစ်ခု အတွင်း၌လည်း တစ်လုံးထက်ပိုသော exhaust fan များ အတွဲလိုက် တပ်ဆင် ထားလေ့ရှိသည်။

Car park တစ်ခုအတွင်း သို့မဟုတ် ဇုန်(zone)တစ်ခု အတွင်း၌ supply နှင့် exhaust fan အရေအတွက် တူသည်ဖြစ်စေ မတူသည်ဖြစ်စေ supply air flow rate နှင့် exhaust air flow rate တို့ တူညီရန် လိုအပ်သည်။

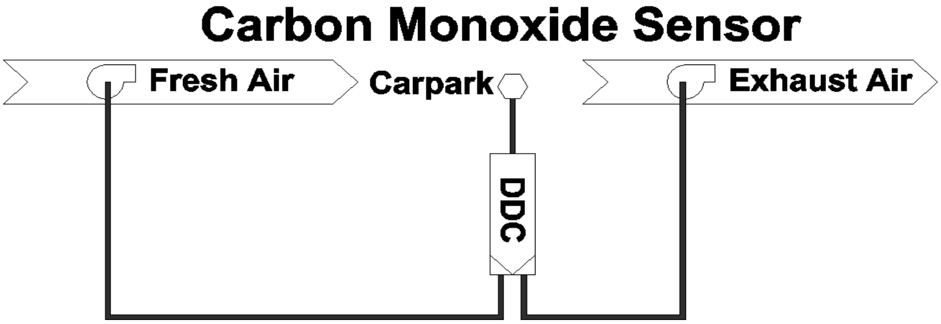
Basement car park ၏ mechanical ventilation system သည် Singapore Standard 530 (ယခင်အခေါ် Code of Pracitce 13)အရ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ကာ တပ်ဆင်ရမည်။ သို့သော် SS530(CP13)သည် ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်း(design)နှင့် တပ်ဆင်ခြင်း(installation) ပြုလုပ်ရန်အတွက် ညွှန်ကြားချက်(guide line) ဖြစ်သာဖြစ်သည်။ Operation အတွက် အဆောက်အဦ သဘာဝ(office ၊ shopping center စသည့်)နှင့် ကိုက်ညီအောင် သင့်လျော်သလို ပြုလုပ်ကြသည်။

Singapore Standard 554:2009 IAQ နှင့် Singapore Standard 553:2009 သည် basement car park monitoring system ကို မောင်းနှင်လည်ပတ်(operation)ရန်အတွက် ညွှန်ကြားချက်(guide line)သာ ဖြစ်သည်။

Basement car park monitoring system ၏ အရိုးရှင်းဆုံး ဒီဇိုင်းသည် basement car park အတွင်းတွင် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ sensor များတပ်ဆင်၍ supply fan နှင့် exhaust fan ကို လိုအပ်သည့် အခါမှသာ သင့်လျော်သည့် မြန်နှုန်းဖြင့် မောင်းခြင်းဖြစ်သည်။

Control Strategy

CO concentration to be controlled through DDC via EA and FA Fan



ပုံ ၇- ၅၉ Basement car park monitoring system- Controller wiring diagram

လေထဲတွင် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ် ပါဝင်မှု (Compliance of Carbon Monoxide Content)

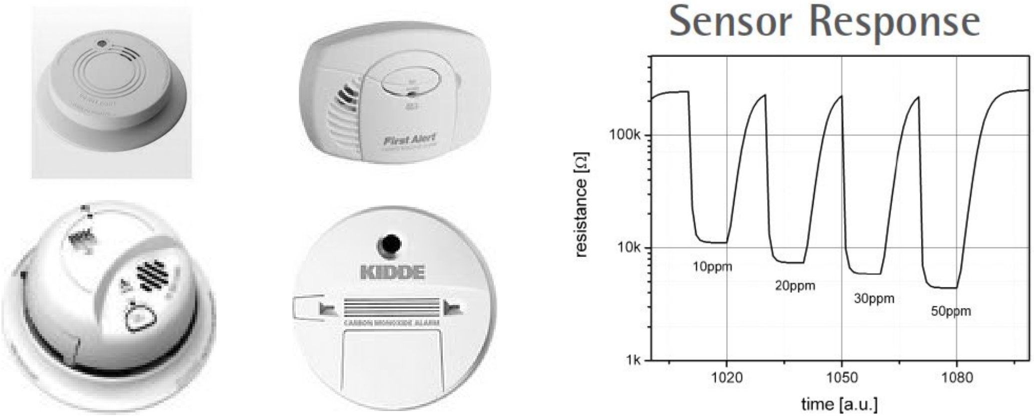
Singapore Standard 554:2009 IAQ အရ အခန်းအတွင်း လူများနေထိုင်ရာ(indoor occupied space) နေရာများနှင့် လူများ အလုပ်လုပ်ကိုင်သည့် နေရာများအတွက် လက်ခံနိုင်သည့်(recommended) ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှု(level)သည် 9 PPM ဖြစ်သည်။

သို့သော် basement car park အတွင်းရှိ လေထဲတွင် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှု (content)ကို Singapore Standards 553 - (Formerly CP 13)အရ တစ်နာရီအတွင်း ပျမ်းမျှ 25 ppm အထိ ခွင့်ပြုသည်။

ထို့ကြောင့် basement car park monitoring system သည် car park အထပ် တစ်ခုအတွင်း သို့မဟုတ် ဇုန်(zone)တစ်ခုအတွင်းတွင် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ sensor ၏ reading အရ 9 PPM သို့ရောက်လျှင် supply fan နှင့် exhaust fan များကို ပိတ်(shutdown)ရန် နှင့် 25 PPM သို့ ရောက်ရှိပါက supply fan နှင့် exhaust fan များကို ပြန်လည်မောင်းနှင်ရန် ဖြစ်သည်။

၇.၈.၄ ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ Sensor

ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ sensor များ၏ အာရုံခံနိုင်သည့် အတိုင်းအတာ(sensitivity range) အလွန်အရေးသည်။ Sensing range ဆိုသည်မှာ လေထဲတွင် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO) ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှုကို sensor သည် အကွာအဝေး မည်မျှအထိ ရောက်အောင် အာရုံခံနိုင်သည်(sense လုပ်နိုင်သည်)ကို ဆိုလိုသည်။



ပုံ ၇- ၆၀ ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ sensor များ နှင့် sensor response

ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ sensor ၏ sensing range ကို အချင်း(diameter) သို့မဟုတ် အချင်းဝက် (radius)ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ sensor များကို စနစ်တကျ နေရာချခြင်း(positing) ပြုလုပ်နိုင်ရန် အရေးကြီးသည်။ စနစ်တကျ နေရာချခြင်း(positing) မပြုလုပ်ပါက sensor များသည် car park zone တစ်ခုလုံးအား complete coverage ဖြစ်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ လိုအပ်သည့် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ် (CO)ဓာတ်ငွေ့ sensor အရေအတွက်ထက် ပို၍ တပ်ဆင်ထားမိခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။

သင့်လျော်သော အာရုံခံနိုင်သည့် အတိုင်းအတာ(sensitivity range)သည် 0.5 မှ 200 ppm အတွင်း ဖြစ်သည်။ သတိပြုရန်အချက်မှာ ပိုများသည့် ppm တန်ဖိုးကို အာရုံခံသိနိုင်(detect)ရန်အတွက် အချိန်ကြာကြာ လိုအပ်သည်။

ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ sensor များ၏ signal output သည် 0 to 10 Volt DC သို့မဟုတ် 4 to 20mA ဖြစ်ကြသည်။ ဈေးကွက်တွင် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ sensor နှင့် controller တွဲလျက်ပါရှိသော module များ ရရှိနိုင်သည်။

Controller များ

Basement car park carbon monoxide monitoring and demand control system ၏ controller များသည် Direct Digital Controller (DDC)များ သို့မဟုတ် Programable Logic Controller(PLC)များ ဖြစ်ကြသည်။ Controller များ၏ တာဝန်မှာ ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ sensor များ၏ output တန်ဖိုး(value) များကို ဖတ်ရန် နှင့် သတ်မှတ်ထားသည့် algorithm အတိုင်း car park fan များကို မောင်းနှင်ပေးရန် ဖြစ်သည်။

၇.၈.၅ Control Strategies နှင့် သတိပြုရန်အချက်များ

Singapore Standard 554:2009 IAQ အရ လက်ခံနိုင်သည့်(recommended) ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ပါဝင်မှု(level)သည် 9 PPM ဖြစ်သည်။ OSHA ၏ ခွင့်ပြုချက်အရ 35 PPM ရှိသော လေထုနေရာတွင် (၈)နာရီကြာ နေထိုင်လုပ်ကိုင် နိုင်သည်။ (Maximum exposure allowed by OSHA in the

workplace over an eight hour period.)။ ထိုအချက်နှစ်ခုကို အခြေခံ၍ ဖုန်တစ်ခု အတွင်း၌ရှိသော car park fan များကို လေထဲတွင် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO) ဓာတ်ငွေ့ပါဝင်မှု 9 PPM သို့ ရောက်လျှင် ပိတ်ပစ် (shutdown)ရန် ဖြစ်ပြီး ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ပါဝင်မှု 35 PPM သို့ ရောက်လျှင် ပြန်လည် မောင်းနှင်ရန် ဖြစ်သည်။ OSHA ကို ကိုးကားလျှင် 35ppm ဖြစ်သည်။ Singapore Standard 530 ကို ကိုးကားလျှင် 25ppm ဖြစ်သည်။

Singapore Standard 530(Code of Practice 13)အရ car park များ ၏ ventilation system ကို "Normal Mode" တွင် လေလဲနှုန်း(၆)ဆ(6 air change)ဖြင့် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ကြသည်။ ထို လေလဲနှုန်း(၆)ဆ (၆ air change)သည် car park တစ်ခုလုံး အတွက် ကားအဝင်အထွက်များချိန်ကို ရည်ရွယ်၍ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ သို့သော် office building ၏ basement car park သည် ရုံးတက်ချိန်၊ ရုံးဆင်းချိန် နှင့် နေ့လယ် ထမင်းစားချိန်၌သာ ကားအဝင်အထွက် များသည်။ ကျန်အချိန်များတွင် ကားအဝင်အထွက် မရှိသလောက် နည်းသည်။

ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှု(level)လိုအပ်ချက်အရ basement car park fan များ မောင်းရန် လိုအပ်သော အချိန်မှာ (၆)နာရီထက် နည်းသည်။ သို့သော် office building ၏ basement car park များသည် နံနက် ၆:၃၀ စတင်၍ ည ၉:၀၀ အထိ မောင်းကြသည်။ ထို့ကြောင့် လေထဲတွင် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ် (CO)ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှု(level)အရ မလိုအပ်သည့် အချိန်များတွင် basement car park fan ကို ပိတ်ဖြစ်ခြင်းဖြင့် စွမ်းအင် ချွေတာနိုင်သည်။

အချို့သော basement car park fan များတွင် Variable Speed Drive(VSD) တပ်ဆင်ထားကြသည်။ ထို Variable Speed Drive(VSD) တပ်ဆင်ထားသော basement car park fan ကို လုံးဝ ပိတ်ပစ်နိုင်သလို၊ အလိုရှိသည့် မြန်နှုန်း(speed)သို့ လျှော့ချခြင်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။

သတိပြုရန်အချက်မှာ အဆောက်အဦ ၏ "Fire Mode" ဖြစ်သည်။ Fire code အရ "Fire Mode" တွင် basement car park fan အားလုံးသည် လေလဲနှုန်း(၉)ဆ(9 air change)ဖြင့် မောင်းရမည် ဖြစ်သည်။ ထိုအချက်သည် control strategies နှင့် wiring ပြုလုပ်သည့်အချိန်တွင် အလွန်အရေးကြီးသည်။ ထိုအချက်ကို သတိမပြုမိပါက မီးသတ်ဌာနက စစ်ဆေးမှု(fire inspection) ပြုလုပ်သည့် အချိန်တွင် ခွင့်ပြု(pass)လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

၇.၈.၆ ချွေတာနိုင်သည့် စွမ်းအင် ပမာဏ တွက်နည်း (Energy Saving) ဥပမာ

အဆောက်အဦတစ်ခု၏ basement car park တွင် car park supply air fan (၄)လုံး(15kW)နှင့် exhaust air fan (၄)လုံး(15kW)ရှိသည်။ ထို အဆောက်အဦသည် တနင်္လာနေ့မှ သောကြာနေ့အထိ နံနက် (၇)နာရီမှ ည(၆)နာရီ အထိ fan များကို မောင်းရသည်။(11 hrs)။ ထို basement car park သည် ကာဗွန်မိုနော့ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ monitoring system မတပ်ဆင်ရသေးချိန်တွင် နံနက်(၇)နာရီမှ ည(၆)နာရီ အထိ အချိန်ပြည့် fan များကို မောင်းရသည်။

Carbon monoxide monitoring system တပ်ဆင်လိုက် ခြင်းကြောင့် တစ်နေလုံးတွင် ပျမ်းမျှ (၆)နာရီသာ မောင်းရန် လိုအပ်လျှင် တစ်နှစ်အတွင်း kWh မည်မျှချွေတာ(save) နိုင်မည်နည်း။ 1 kWh လျှင် $0.2369/kWh ဖြစ်လျှင် ကုန်ကျစရိတ် မည်မျှ သက်သာမည်နည်း။

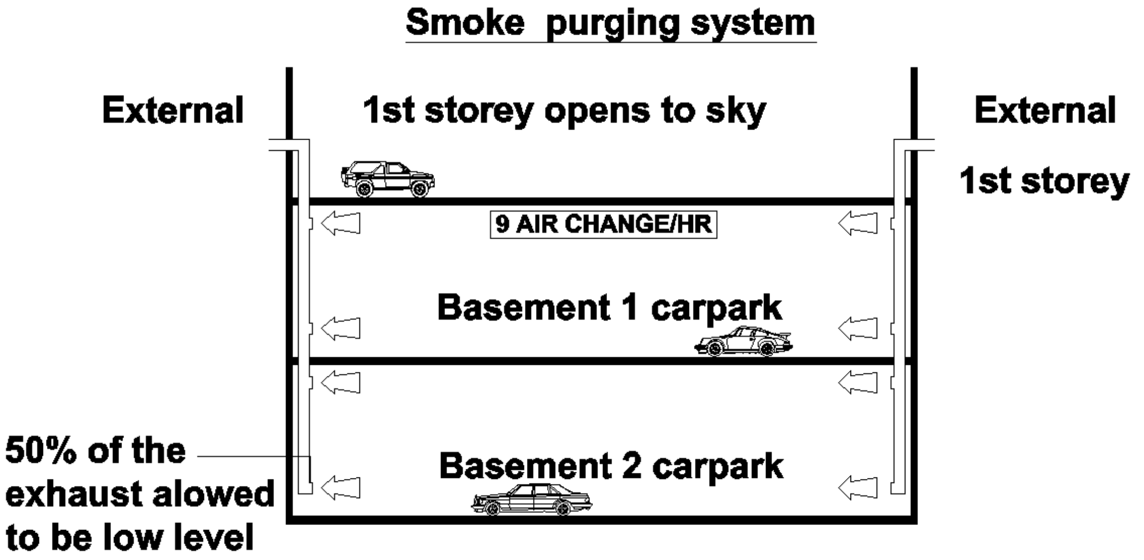
Week Days	Fan Motor Power (kW)
4 No of car park supply air fan	15 kW
4 No of car park exhaust air fan	15 kW
Existing Load	30 kW
Existing kWh	30 kW x 11 hrs x 5 days x 52 Weeks
	85,800 kWh

Estimated kW after complementation = 23.5 kW x 6 hrs x 5 days x 52 Weeks
= 46,800 kWh
Estimated kWh Saving = 67,219 kWh - 24,449 kWh
= 39,000kWh per year
Estimated kWh Cost Saving = 39,000 kWh x $0.2369/kWh
= 9,239 S$ per year

စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving) မည်မျှ ဖြစ်သည်ကို တွက်ရန် sensor များ တပ်ဆင်ပြီးသား car park အတွက် မခက်ခဲပါ။ Car park fan များ တစ်နေ့လျှင် အချိန်မည်မျှ(နာရီမည်မျှ)မောင်းသည်ကို တိုင်းတာနိုင်သည်။

သို့သော် car park တစ်ခုကို CO monitoring system မတပ်ဆင်မီ တစ်နှစ်လျှင် သို့မဟုတ် တစ်လလျှင် စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving) မည်မျှရနိုင်သည်ကို ခန့်မှန်းရန်နှင့် system တပ်ဆင်ခ ကုန်ကျစရိတ်ကို စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving)မှ ပြန်ရရန် နှစ်ပေါင်း မည်မျှကြာအောင်(pay back period) စောင့်ရမည်ကို အာမခံပေးရန် အလွန်ခက်ခဲသည်။

၇.၉ Mechanical Smoke Purging System for Basement Car Park



ပုံ ၇-၆၁ Smoke purging system

မြေအောက်ကားရပ်နားရန်နေရာ(basement car park)အတွက် natural ventilation နှင့် မလုံလောက်ပါ။ ထို့ကြောင့် mechanical ventilation system တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်ပါသည်။ သာမန်အချိန်တွင် mechanical ventilation system သည် တစ်နာရီလျှင် အခန်းထုထည်၏(၆)ဆနှင့် ညီမျှသော လေလည်ပတ်နှုန်း(6 air change per hour)ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။ 6 air change per hour ဆိုသည်မှာ တစ်နာရီလျှင် အခန်း သို့မဟုတ် basement car park နေရာ၏ ထုထည်(volume) (၆)ဆ နှင့် ညီမျှသော လေကို လည်ပတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် basement car park B1 ၏ ထုထည်သည် 30,000 m^3 ဖြစ်လျှင် ထို B1 အတွက် လေစီးနှုန်း 180,000 CMH လိုအပ်သည်။

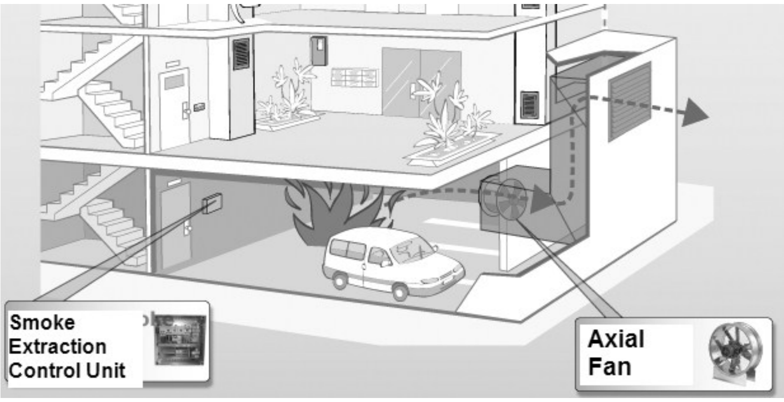
Centrilized air conditioning တပ်ဆင်ထားသည့် အဆောက်အဦများတွင် ACMV Service အတွက် “Normal Mode” နှင့် “Fire Mode” ဟူ၍ operation mode နှစ်မျိုး ရှိသည်။ အဆောက်အဦ M&E service များ ထုံးစံအတိုင်း ပုံမှန်လည်ပတ်နေသည့် အချိန်ကို “Normal Mode” ဟုဆိုလိုသည်။ “Fire Mode” ဆိုသည်မှာ

အဆောက်အဦ၏ main fire alarm panel activated ဖြစ်သည့်အခါကို ဆိုလိုသည်။ အဆောက်အဦတစ်ခု "Fire Mode" ရောက်သည့်အခါ သို့မဟုတ် main fire alarm panel မှ activated ဖြစ်သည့် အခါ ACMV Service တွင် မီးဘေးကာကွယ်ရေး၊ မီးခိုးများ မပျံ့နှံ့ရေး စသည့် လုပ်ဆောင်စရာများစွာ ရှိသည်။

Fire Alarm System activated ဖြစ်သည့် အခါ လုပ်ဆောင်ရမည့် ကိစ္စများ

- Shutting down of Air Handling Units of the affected areas
- Closing of smoke check doors for segregation of affected areas from non-affected areas
- Start-up of pressurization fans
- Start-up of smoke extraction fans (mechanical smoke control)
- Public Address System
- Grounding of all elevators

Smoke purging system သည် အဆောက်အဦ၏ main fire alarm panel မှ activate ဖြစ်သည့် အခါ လေလည်ပတ်နှုန်းကို (၆)ဆ(6 air change per hour)မှ (၉)ဆ(9 air change per hour)သို့ ပြောင်းလဲရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၇-၆၂ Basement car park smoke extraction system

ကြမ်းခင်းဧရိယာ (၁၉၀၀)စတုရန်းမီတာ [1,900 m^2] ထက်ပိုများသည့် basement car park များတွင် smoke purging system ကို မဖြစ်မနေ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

Smoke purging system မှ fan များကို FCC room အတွင်းရှိ remote panel မှ မောင်းနှင်နိုင်ရမည်။ FCC room မရှိသည့် အဆောက်အဦများတွင် smoke purging system မှ fan တို့ကို မောင်းရန်အတွက် panel များကို gurad hosue တွင် တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ ထို့အပြင် smoke purging system မှ fan များ မောင်းနေသည် သို့မဟုတ် ရပ်နေသည်ကို သိရှိရန် အတွက် မီးလုံးငယ်ကလေးများ(indication lights)ဖြင့် ဖော်ပြရမည်။ Smoke purging system မှ duct များကို (၁.၂)မီလီမီတာ(1.2 mm)ထူသော သတ္တုပြား (heavy gauge sheet metal) များဖြင့် ပြုလုပ်ထားရမည်။

Exhaust fan rating သည် အပူချိန် 250°C ၌ နှစ်နာရီကြာအောင် မပျက်မစီးဘဲ မောင်းနေနိုင်ရမည်။ (exhaust fan rating : 250°C @ 2 hrs)။ Smoke purging system fan မောင်းရန်အတွက် လိုအပ်သော လျှပ်စစ်ဓာတ်အား(electrical power supply)ကို generator power supply သို့မဟုတ် emergency power supply ဖြင့် ချိတ်ဆက်ထားရမည်။ Smoke purging system တွင် supply air fan နှင့် exhaust air fan ဟူ၍ fan နှစ်မျိုးရှိသည်။ Supply air fan သည် basement car park အတွင်းသို့ ပြင်ပမှလေများကို မောင်းထည့် သည့် fan များ ဖြစ်ကြသည်။

Exhaust air fan သည် basement car park အတွင်းမှ လေများကို ပြင်ပသို့ စုပ်ထုတ်သော fan များ ဖြစ်ကြသည်။ Exhaust air fan များကို မမောင်းဘဲ supply air fan များကို မောင်း၍ မရအောင် ဝါယာကြိုး (hardwire)ဖြင့် inter-locking ပြုလုပ်ထားရမည်။ ထိုသို့ inter-locking ပြုလုပ်ထားရသည့် အကြောင်းမှာ မီးလောင်ခြင်း မတိုးပွားအောင် ကာကွယ်တားဆီးရန် ဖြစ်သည်။ Exhaust air fan များကို မမောင်းဘဲ supply air fan များသာ မောင်းနေသည့် မြေအောက်ကားရပ်နားရန်နေရာ(basement car park) တစ်ခုတွင် မီးစတင် လောင်သည့်အခါ ငြိမ်းသတ်ရန် အလွန်ခက်ခဲသည်။ မီးသည် ခဏအတွင်း၌ပင် အရှိန်ပြင်းစွာ လောင်ကျွမ်းသည်။ Supply air fan က မီးလောင်လွယ်သည့် အောက်စီဂျင်ဓာတ်ငွေ့(လေ)ကို မီးတောက် အားကောင်းအောင် မှုတ်ပေးသကဲ့သို့ ဖြစ်လိမ့်မည်။

၇.၁၀ ပြင်ပလေ လိုအပ်ချက်(Outdoor Air Requirement)

လူများသည် အောက်စီဂျင်ကို ရှူသွင်း၍ ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်ကို ရှူထုတ်ကြသည်။ အခန်းတစ်ခု အတွင်း၌ လူများအချိန်ကြာမြင့်စွာ ရှိနေကြလျှင် အခန်းအတွင်းရှိ လေထဲတွင် အောက်စီဂျင်ပါဝင်မှု(oxygen concentration) တဖြည်းဖြည်း နည်းပါးသွားကာ ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ် ပါဝင်မှု(carbon dioxide concentraion) တဖြည်းဖြည်း များလာလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် အခန်းအတွင်း၌ ရှိနေသူများ(occupants) အတွက် ပြင်ပလေ ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ပြင်ပမှ ထည့်ပေးသည့် လေသည် သန့်ရှင်းလတ်ဆတ်သည့် လေများ (fresh air) ဖြစ်ရမည်။

ပြင်ပလေ လိုအပ်ချက်(outdoor air requirement)သည် အခန်းအမျိုးအစားကို လိုက်၍ သော်လည်း ကောင်း၊ အခန်းတစ်ခုတွင်း၌ ရှိနေသူများ(occupants) အနည်း၊ အများကို လိုက်၍သော် လည်းကောင်း အခြေခံ၍ တွက်ချက်ကြသည်။ လုံလောက်သည့် ပမာဏ ဖြစ်စေရမည်။

လူတစ်ယောက်(per person) သို့မဟုတ် အခန်းဧရိယာ(per floor area)အတွက်ကို အခြေခံ၍ ပြင်ပလေ (outdoor air) လိုအပ်သည့် ပမာဏကို သတ်မှတ် ဆုံးဖြတ်ကြသည်။

(က) လူတစ်ယောက်အတွက် လိုအပ်သည့် လေပမာဏ(air flow rate per person)ကို litres/second/person ဖြင့် ဖော်ပြသည်။ လူတစ်ယောက်သည် တစ်စက္ကန့်လျှင် ပြင်ပလေထုထည်လီတာ မည်မျှ လိုအပ်သည်ကို ဆိုလိုသည်။ ဤကဲ့သို့ လူတစ်ယောက်ကို အခြေခံ၍ တွက်သည့်နည်း(per person နည်း)ကို ရုံးခန်း၊ ကျောင်းများ စသည်တို့ကဲ့သို့ အမြဲတမ်းရှိနေသည့် လူအရေအတွက်ကို အတိအကျ နီးပါးသိလျှင် အသုံးပြုရန် အလွန် သင့်လျော်သည်။ ရုံးများ၊ ကျောင်းများသည့် လေအရည်အသွေး(air quality) ကောင်းကောင်း ရရန် အလွန် အရေးကြီးသည်။
ဆေးလိပ်သောက်ခွင့်ပြုခြင်း၊ မပြုခြင်းအပေါ်တွင် မူတည်၍ နှုန်းများ(rate) ကွဲပြားသည်။ အခန်းအတွင်းရှိ လေထဲတွင်ပါဝင်နေသည့် အညစ်အကြေး(contamination)များ အပေါ်မူတည်၍ ပြင်ပလေထည့်ပေးရမည့် နှုန်း(rate)များ ကွဲပြားကြသည်။

(ခ) အခန်းတစ်ခု၏ ကြမ်းခင်းဧရိယာ(per floor area) ကို အခြေခံ၍ လိုအပ်သည့် ပြင်ပလေ ပမာဏကို litres per second per metre squared($l/s/m^2$) ဖြင့် ဖော်ပြသည်။ ဤနည်းကို အခန်း သို့မဟုတ် နေရာ အတွင်း ရှိနေသည့် လူအရေအတွက် အတိအကျ မသိနိုင်သည့် နေရာများ နှင့် လူအဝင်အထွက်များသည့် နေရာများ (အခန်းအတွင်း၌ ရှိနေကြသူများ ကြိုက်သလို ဝင်ထွက်ကြသည့်နေရာမျိုးနှင့် ထိုလူများရှိနေမည့် အချိန်ကို မသိနိုင်သည့်အခါမျိုး) အတွက် သင့်လျော်သည်။

(ဂ) အခန်းထုထည်(volume of the space)ကို အခြေခံ၍ လေစီးနှုန်း(air flow rate)ကို Air Change rate per Hour(ACH-1) ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ Air change rate per hour ကို infiltration rate ဖော်ပြသည့် အခါတွင်လည်း အသုံးပြုသည်။ Ventilation နှင့် infiltration တို့ မှား၍ အသုံးမပြုမိစေရန် သတိပြု သင့်သည်။

နွေးရာသီ(heating system)ဖြစ်စေ၊ ဆောင်းရာသီ(cooling system)ဖြစ်စေ လိုအပ်သည့် ပြင်ပလေ ပမာဏ(outdoor air requirements)သည် တူညီကြသည်။

၇.၁၀.၁ ASHRAE Standard 62.1 - 2004 (Minimum Ventilation Rates)

၂၀၀၄ ခုနှစ်တွင် ASHRAE မှ ပြဋ္ဌာန်းသည့် ASHRAE Standard 62.1- 2004 (minimum ventilation rates) မှ အချက်အချို့ကို အလွယ်တကူ ကိုးကားနိုင်ရန် ကောက်နုတ် ဖော်ပြထားသည်။

Occupancy Category	Outdoor Air Rate (1)		Default Values (2)		
	People CFM/Person	Area CFM/SF	Occupant Density People/1,000 SF	CFM per Person	CFM per SF
Correctional Facilities					
Cell	5.0	0.12	25	10	0.25
Day Room	5.0	0.06	30	7	0.21
Guard Stations	5.0	0.06	15	9	0.14
Booking/Waiting	8.0	0.06	50	9	0.44
Educational Facilities					
Daycare (through age 4)	10.0	0.18	25	17	0.43
Classrooms (ages 5 to 8)	10.0	0.12	25	15	0.37
Classrooms (ages 9 plus)	10.0	0.12	35	13	0.47
Lecture Classroom	8.0	0.06	65	8	0.55
Lecture Hall (fixed seats)	8.0	0.06	150	8	1.
Art Classroom	10.0	0.18	20	19	0.38
Science Laboratories	10.0	0.18	25	17	0.43
Wood/Metal Shop	10.0	0.18	20	19	0.38
Computer Lab	10.0	0.12	25	15	0.37
Media Center	10.0	0.12	25	15	0.37
Music/Theater/Dance	10.0	0.06	35	12	0.41
Multiuse Assembly	8.0	0.06	100	8	0.8
Food and Beverage Service					
Restaurant Dining Rooms	8.0	0.18	70	10	
Cafeteria/Fast Food	8.0	0.18	100	9	0.93
Bars/Cocktail Lounges	8.0	0.18	100	9	0.93
General					
Conference/Meeting	5.0	0.06	50	6	0.31
Corridors	-	0.06	-	-	0.06
Storage Rooms	-	0.12	-	-	0.12
Hotel, Motels, Resorts, Dormitories					
Bedroom/Living Room	5.0	0.06	10	11	0.11
Barracks Sleeping Areas	5.0	0.06	20	8	0.16
Lobbies/Prefunction	8.0	0.06	30	10	0.29
Multipurpose Assembly	5.0	0.06	120	6	0.66
Office Buildings					
Office Space	5.0	0.06	5	17	0.09

Occupancy Category	Outdoor Air Rate (1)		Default Values (2)		
Reception Areas	5.0	0.06	30	7	0.21
Telephone/Data Entry	5.0	0.06	60	6	0.36
Main Entry Lobbie	5.0	0.06	10	11	0.11
Occupancy Category	Outdoor Air Rate (1)		Default Values (2)		
	People CFM/Person	Area CFM/SF	Occupant Density People/1,000 SF	CFM per Person	CFM per SF
Miscellaneous Spaces					
Bank Vault/Safe Deposit	5.0	0.06	5	17	0.09
Computer (not printing)	5.0	0.06	4	20	0.08
Pharmacy (prep area)	5.0	0.18	10	23	0.23
Photo Studios	5.0	0.12	10	17	0.17
Shipping/Receiving	-	0.12	-	-	0.12
Transportation Waiting	8.0	0.06	100	8	0.81
Warehouses	-	0.06	-	-	0.06
Public Assembly Spaces					
Auditorium Seating Area 5.0 0.06 150 5 0.81					
Places of Religious Worship	5.0	0.06	120	6	0.66
Courtrooms	5.0	0.06	70	6	0.41
Legislative Chambers	5.0	0.06	50	6	0.31
Libraries	5.0	0.12	10	17	0.17
Lobbies	5.0	0.06	150	5	0.81
Museums (children's)	8.0	0.12	40	11	0.42
Museums/Galleries	8.0	0.06	40	9	0.36
Retail					
Sales (except as below)	8.0	0.12	15	16	0.23
Mall Common Areas	8.0	0.06	40	9	0.36
Barber Shop	8.0	0.06	25	10	0.27
Beauty and Nail Salons	20.0	0.12	25	25	0.62
Pet Shops (animal areas)	8.	0.18	10	26	0.26
Supermarkets	8.	0.06	8	15	0.12
Coin-Operated Laundries	8.	0.06	20	11	0.21
Sports And Entertainment					
Sports Arena (play areas)	-	0.30	-	-	0.30
Gym, Stadium (play area)	-	0.30	30	-	0.30
Spectator Areas	8.0	0.06	150	8	1.
Swimming Pool (pool and decks)	-	0.48	-	-	0.48
Disco/Dance Floors	20.0	0.06	100	21	2.
Health Club/Aerobics Rooms	20.0	0.06	40	22	0.86
Health Club/Weight Rooms	20.0	0.06	10	26	0.26

Bowling Alley (seating)	10.0	0.12	40	13	0.52
Gambling Casinos	8.0	0.18	120	9	1.
Game Arcades	8.0	0.18	20	17	0.33
Sages, Studios	10.0	0.06	70	11	0.76
Healthcare Facilities					
Patient Rooms	25	-	10	25	-
Medical Procedure Rooms	15	-	20	15	-
Operating Rooms	30	-	20	30	-
Recovery and ICU	15	-	20	15	-
Autopsy Rooms	-	0.50	20	-	0.50
Physical Therapy	15	-	20	15	-
Residential Facilities (Single, Multiple)					
Living Rooms	0.35 AC/hr. or 15 CFM/Person whichever is greater				
Kitchens	100 CFM Intermittent 25 CFM Continuous				
Baths, Toilets	50 CFM Intermittent or 20 CFM Continuous				
Garages—separate for each dwelling unit	100 CFM per Car				
Garages—common for several units	1.5 CFM/SF				

၇.၁၁ Supply Air Rate

အခန်း သို့မဟုတ် air con ပေးမည့်နေရာသို့ ပို့ပေးရန် လိုအပ်သည့် လေပမာဏ(total amount of air flow) ကို "**Supply Air**" ဟုခေါ်သည်။ ထို supply air သည် 100% outdoor air လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ ရာနှုန်းပြည့် ပြန်သုံးထားသည့်လေ(100% re-circulating air)လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Outdoor air နှင့် re-circulating air တို့ ရောနေသည့်လေလည်း ဖြစ်နိုင်သည်။

(က) Heating သို့မဟုတ် cooling load များအတွက် supply air rate ကို litres per second(l/s) သို့မဟုတ် cubic metres per second(m^3/s) ဖော်ပြသည်။

(ခ) General ventilation များနှင့် extract system များအတွက် supply air rate ကို Air Changes per Hour(ACH) ဖော်ပြသည်။

Air volume flow calculation များမှ ရသည့်ရလဒ်များကို စစ်ဆေး(checking)နိုင်သည်။ လေထုထည်(air volume)ကို လေလဲနှုန်း(air change rate)သို့ ပြောင်းပြီး ထို လေလဲနှုန်း(air change rate)သည် ဖြစ်နိုင်ခြေရှိ၊ မရှိကို ပြန်စစ်ဆေးနိုင်သည်။

ဥပမာ - Cooling load အတွက် လေထုထည်(air volume) 2.0 m^3/s သည် 2 air changes per hour ဖြစ်လျှင် ဖြစ်နိုင်ခြေ ရှိသော်လည်း 20 air changes per hour ဆိုလျှင် အလွန် ပြဿနာများမည့် system ဖြစ်လိမ့်မည်။ Conventional ductwork system ဖြစ်လျှင် 20 air changes per hour နှုန်းမှ အလွန်ဆူညံသည့်အသံ(noise) များ ထွက်ပေါ်လာလိမ့်မည်။

Ventilation ဒီဇိုင်းလုပ်ရာတွင် အသုံးပြုရမည့် guide line များကို Chartered Institution of Building Services Engineers(CIBSE) Guide B2 ၏ Table 2.9 in section 2.3.2.1 နှင့် Chartered Institution of Building Services Engineers(CIBSE) Guide B Table 2.9 in section 2.3.2.1 တို့တွင် ဖော်ပြထားသည်။

Ventilation Outdoor Air Requirement ကို တွက်ချက်ရန် လိုအပ်သော ဒီဇိုင်း အချက်အလက်(design information) များမှာ-

လူအရေအတွက် (Occupancy)

ထည့်ပေးရမည့် ပြင်ပလေပမာဏ(outdoor air rate)ကို ရရန်အတွက် air con နေရာတွင် ရှိနေမည့် လူများ အရေအတွက် နှင့် လူဝင်လူထွက်ပုံစံ(pattern)ကို သိရန် လိုသည်။

အသုံးပြုပုံ (Use of the Area)

အခန်းကို မည့်သည့်ကိစ္စအတွက် မည်ကဲ့သို့ အသုံးပြုသည်ကို သိရန်လိုသည်။ အခန်း အသုံးပြုပုံကို သိမှသာ လေကိုညစ်ညမ်းစေသည့်အရာများ(source of contamination) နှင့် လေအရည်အသွေး လိုအပ်ချက် (air quality requirements)ကို သိနိုင်သည်။

အခန်းအရွယ်အစား (Size of the Space)

အခန်းအရွယ်အစားကို သိရန် လိုအပ်သည်။ ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် နှင့် လေလဲနှုန်း(air change rate) နည်းဖြင့် ပြန်စစ်ရန်(checking) တို့အတွက် အခန်းအရွယ်အစား သိရမည်။

System design data

Heating load သို့မဟုတ် cooling load မှ တစ်ဆင့် လိုအပ်သည့် supply air စီးနှုန်း(flow)ကို သိနိုင်သည်။ Ventilation အတွက် design criteria နှင့် ကိုက်ညီစေရန် လေစီးနှုန်း(air flow) လိုအပ်ချက် မည်မျှရှိရမည်၊ toilet exhaust အတွက် လေလဲနှုန်း(air change) မည်မျှ ရှိရမည် စသည့် အချက်များကို သိထားရမည်။

Design approach

Outdoor air requirements

(က) လူအရေအတွက်(occupancy)ကို အခြေခံ၍ outdoor air rate ကို တွက်လိုလျှင်

$$\boldsymbol{Required\ Outdoor\ Air\ flow\ Rate = \ Air\ volume(l/s\ per\ person)\ x\ number\ of\ occupants}$$

(ခ) ကြမ်းခင်းဧရိယာ(floor area) ကို အခြေခံ၍ outdoor air rate ကို တွက်လျှင်

$$\boldsymbol{Required\ Outdoor\ Air\ flow\ Rate = \ Air\ volume(l/s\ per\ m^2)\ x\ floor\ area\ (m^2)}$$

ဥပမာ

ပြတိုက်(museum) တစ်ခုအတွက် အောက်ပါ ဒီဇိုင်း criteria များကို အခြေခံ၍ ventilation rate ကို တွက်ပါ။

Design data

Outdoor air supply rate:	10 l/s per person (လူတစ်ယောက်လျှင် 10 l/s နှုန်း)
Number of occupants:	200 people (လူအယောက် ၂၀၀ ရှိနေမည်ဟု ခန့်မှန်းသည်။)

Calculation procedure

Total outdoor air requirement သည်

$$\boldsymbol{10\ l/s/person\ x\ 200\ people\ =\ 2000\ l/s\ or\ 2.0\ m^3/s}$$

General mechanical ventilation တွက်ရန်ပုံသေနည်း

$$\boldsymbol{Ventilation\ rate(m^3/h) = Air\ Change\ Rate(ach)\ x\ Room\ Volume(m^3)}$$

Air change rate ကို CIBSE Guide B2 Table 3.1 မှ ရယူနိုင်သည်။

$$\boldsymbol{Ventilation\ rate(m^3/s) = Ventilation\ rate(m^3/h)\ /\ 3600}$$

Fresh air ventilation rate တွက်ရန် ပုံသေနည်း

$$\boldsymbol{Fresh\ Air\ Rate(m^3/s)\ =Fresh\ Air\ rate\ per\ person(l/s\ /p)\ x\ number\ of\ occupants}$$

Fresh air rate per person (l/s per person) ကို CIBSE Guide B2 Table 3.3 တွင် ရယူနိုင်သည်။

Design tip: ပုံ(drawing)၌ပါရှိသည့် dimension များအတိုင်း အတိအကျတွက်ပါ။ Drawing မှ length ကို တိုင်း၍တွက်လျှင် မတိကျနိုင်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ကော်ပီကူးသည့်အခါတွင် စကေးချဲ့ခြင်း၊ ကျုံ့ခြင်းဖြစ်ထားနိုင်သည်။

လေအရည်အသွေး(air quality)ကောင်းရန် အလွန် အရေးကြီးသည့် နေရာမျိုးဖြစ်လျှင် outdoor air လုံလောက်စေရန် အတွက် လိုအပ်သော allowance ထားပေးပါ။ Variable Air Volume(VAV) system များဖြစ်လျှင် supply air volume condition များအားလုံးအတွက် minimum outdoor air လိုအပ်ချက် ရနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားပေးပါ။

Natural Ventilation နည်း

Habitable room များသည် သဘာဝအတိုင်း လေဝင်ရန်အတွက် အနည်းဆုံးအပေါက် တစ်ပေါက်မက လိုအပ်သည်။ ထိုလေဝင်ပေါက်၏ ဧရိယာသည် ကြမ်းခင်းဧရိယာထက် အပုံ(၂၀)ပုံလျှင် (၁)ပုံထက် မနည်းစေရ။ (must not be less than 1/20 th of the floor area of the room) အချို့သော လေဝင်ပေါက်များသည် ကြမ်းခင်းမှ အနည်းဆုံး (၁.၇)မီတာ မြင့်ရမည်။

Mechanical Ventilation နည်း

Habitable room များအတွက် one air change per hour နှုန်းရှိရမည်။

Design Criteria

Ventilation system တစ်ခုကို ဒီဇိုင်းလုပ်ရန်အတွက် အောက်ပါ အခြေခံလိုအပ်ချက်(basic requirement) နှစ်ခုကို ဖြည့်ဆည်း ပေးရမည်။

(က) အခန်းအတွင်းရှိလူများ(occupants)အတွက် လေကောင်းလေသန့်(fresh air) ထည့်ပေးရမည်။

(ခ) အခန်းအတွင်းရှိ အနံ့ဆိုးများ(smells)၊ မီးခိုးများ(fumes)၊ နှင့် အညစ်အကြေး(contaminants) များကို ဖယ်ထုတ်ပြီး ထိုပမာဏနှင့်တူညီသည့် လေများဖြင့် လဲလှယ်ပေးရမည်။

၇.၁၁.၁ ပြင်ပလေဝင်ပေါက်များ (Outdoor Air Intake)

(က) Air con အတွက်လိုအပ်သော ပြင်ပလေများ(outdoor air)၊

(ခ) လှေကားများ မီးလောင်သည့်အခါ မီးခိုးများ မဝင်ရောက်နိုင်ရန် အတွက် လှေကားများ အတွင်း၌ positive လေဖိအားပေးထားရန်(staircase pressurization)အတွက် လိုအပ်သော ပြင်ပလေ(outdoor air)များ

(ဂ) Ventilation အတွက် လိုအပ်သော ပြင်ပ(outdoor air)လေများ ရရန်အတွက်

ပြင်ပလေဝင်ပေါက်များ(outdoor air intake)ကို ဘေးနံရံများ(external wall) နှင့် ခေါင်မိုးများ(roof level) တွင် ထားရှိရမည်။ လေကောင်းလေသန့်များ ရရှိရန် အတွက်ဖြစ်သည်။

လေဝင်ပေါက်များ တပ်ဆင်ထားရမည့် အကွာအဝေး (ASHRAE Standard 62.1-2004 – Air Intake Minimum Separation Distances)

၂၀၀၄ ခုနှစ်တွင် ASHRAE မှ ပြဌာန်းသည့် ASHRAE Standard 62.1-2004 (Air Intake Minimum Separation Distances) မှ အချက်အချို့ကို အလွယ်တကူ ကိုးကားနိုင်ရန် ကောက်နုတ်ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Significantly contaminated exhaust (high contaminant concentration, significant sensory--irritation intensity, offensive odor): 15 feet.

(၂) Noxious or dangerous exhaust air with highly objectionable fumes or gases and or exhaust
air with potentially dangerous contaminants (laboratory exhaust, fumes, gases, potentially dangerous particles, bio--aerosols, gases at high concentrations to be harmful): 30 feet.

(၃) Vents, chimneys, flues, and other combustion appliance discharge: 15 feet.

(၄) Garage entry, automobile loading area, drive--in queue: 15 feet.

(၅) Truck loading area or dock, bus parking idling area: 25 feet.

(၆) Driveway, street, or parking area: 5 feet.

(၇) Street or thoroughfare with high traffic volume: 25 feet.

(၈) Roof, landscaped grade or other surface directly below intake: 1 foot (or expected average snow depth, whichever is greater).

(၉) Garbage storage/pickup area, dumpsters: 15 feet.

(၁၀) Cooling tower intake or basin: 15 feet.

(၁၁) Cooling tower exhaust: 25 feet.

၇.၁၂ Contamination မပါသော လေများ၊ အနံ့ဆိုးများ မပါသော လေကောင်းလေသန့်

ပြင်ပလေဝင်ပေါက်များ(outdoor air intake)ကို အင်းဆက်ပိုးမွှားများ မဝင်ရောက်နိုင်စေရန်(insect screen)ဖြင့် ကာကွယ်ထားရမည်။ မိုးရေမှုန်များ၊ မိုးရေစက်များ မဝင်ရောက်နိုင်အောင် ပြုလုပ် ထားရမည်။ ပြင်ပလေဝင်ပေါက်များ(outdoor air intake)ကို လေဆိုးလေပုပ်များ ထုတ်ပစ်သည့်(exhaust discharge) နေရာမှ အနည်းဆုံး (၅) မီတာ အကွာအဝေးတွင် တပ်ဆင်ရမည်။

မီးဖို(kitchen) နေရာများ ၊ အိမ်သာ(toilet)များ၊ ကားရပ်နားရန်နေရာ(car park)များ၊ cooling tower များ၊ အမှိုက်များသိမ်းဆည်းထားသည့်နေရာများ(rubbish dumps) နှင့် စက်ခန်း(plant room)များက စုပ်ထုတ်၊ မှုတ်ထုတ်လိုက်သော exhaust discharge များအားလုံး ပါဝင်သည်။ (၅)မီတာထက် မနီးစေရ။ (၅)မီတာ အကွာအဝေးကို cooling tower အောက်ခြေနေရာမှ တိုင်းယူရမည်။ ပြင်ပလေဝင်ပေါက်များ(outdoor air intake) အတွင်းသို့ cooling tower မှ ရေမှုန်ရေစက်များ(water droplet) မဝင်ရောက်နိုင်အောင် ကာကွယ်ထားရမည်။

ပြင်ပလေဝင်ပေါက်များ(outdoor air intake)၏ အောက်ခြေအနားသည် ကြမ်းပြင်မှ(၂.၁) မီတာထက် ပိုမြင့်သည့် နေရာတွင်တပ်ဆင်ရမည်။

၇.၁၂.၁ လေများကို အဆင့်အတန်း ခွဲခြားသတ်မှတ်ခြင်း နှင့် ပြန်လည်အသုံးပြုခြင်း (Air Classification and Recirculation)

Return Air = Air con အခန်း မှ AHU ဆီသို့ ပြန်လာသောလေ

Transfer Air = အခန်းတစ်ခုမှ အခြားအခန်းနေရာ တစ်ခုဆီသို့ ရောက်ရှိသွားမည့် လေ

Exhaust Air = အခန်းတစ်ခု သို့မဟုတ် နေရာတစ်ခုမှ ပြင်ပသို့ ထုတ်ပစ်လိုက်သော လေ

Return air ၊ transfer air နှင့် exhaust air တို့ကို ထိုလေ၏ အရည်အသွေး(air quality) နှင့် အညစ်အကြေးပါဝင်မှု(contaminant concentration) အပေါ် မူတည်၍ အမျိုးအစား ခွဲထားသည်။

၇.၁၂.၂ Return Air ၊ Transfer Air နှင့် Exhaust Air တို့ကို အဆင့်အတန်းခွဲခြင်း

ASHRAE Standard 62.1--2004: Return Air ၊ Transfer Air ၊ Exhaust Air Classifications

လေများကို ပြန်လည်အသုံးပြုရန် သင့်၊ မသင့် ဆုံးဖြတ်ရန်အတွက် လေများကို အဆင့်အတန်း ခွဲခြားထားရန် လိုသည်။

Class 1 အဆင့်ရှိသော လေအမျိုးအစား

Contaminant concentration အနည်းငယ်သာ ပါဝင်သည်။ မျက်စိ၊ နား၊ နှာခေါင်း တို့ကို ယားယံစေတတ်သော အရာများ (sensory – irritation intensity) အနည်းငယ်သာ ပါဝင်သည်။ မကောင်းသော အနံ့ဆိုးများ လုံးဝ မပါဝင်ပေ။ ထိုကဲ့သို့ အမျိုးအစား လေ(air) သည် class 1 အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။

(၁) Offices.
(၂) Reception/waiting areas.
(၃) Telephone/data entry.
(၄) Lobbies.
(၅) Conference/meeting rooms.
(၆) Corridors.
(၇) Storage rooms.
(၈) Break rooms.
(၉) Coffee stations.
(၁၀) Equipment rooms.
(၁၁) Mechanical rooms.
(၁၂) Electrical/telephone closets.
(၁၃) Elevator machine rooms.
(၁၄) Laundry rooms within dwelling units.
(၁၅) Sports arena.
(၁၆) Correctional facility day room and guard station.
(၁၇) Computer rooms.
(၁၈) Photo studios.
(၁၉) Shipping/receiving rooms.
(၂၀) Transportation waiting rooms.
(၂၁) Mall common areas.
(၂၂) Supermarkets.
(၂၃) Hotels, motels, resorts, dormitories: bedrooms, living rooms, barracks, sleeping quarters, lobbies, prefunction spaces, multipurpose assembly.
(၂၄) Public assembly spaces: auditorium seating area, places of religious worship, court--rooms, legislative chambers, libraries, lobbies, museums/galleries (all types).
(၂၅) Educational facilities: classrooms, lecture classrooms, lecture halls, computer lab, media center, music/theater/dance studios, multiuse assembly.
(၂၆) Sports and entertainment: sports arena (play area), spectator areas, disco/dance floors, bowling alleys, gambling casinos, game arcades, stages, studios.

Class 1 အဆင့်ရှိသော လေအမျိုးအစားကို ပြန်လည်အသုံးပြုခြင်း

Class 1 အဆင့်ရှိသောလေများကို မည်သည့်နေရာ အတွက်မဆို ပေးပို့(transfer)နိုင်သည်။ ပြန်လည်အသုံးပြု(recirculate) လုပ်နိုင်သည်။

Class 2 အဆင့်ရှိသောလေအမျိုးအစား

Moderate contaminant concentration ၊ mild sensor-irritation နှင့် mild offensive odour တို့ အသင့်အတင့် ပါဝင်သည့် လေမျိုးသည် class 2 ဖြစ်သည်။

(၁) Kitchens and kitchenettes.
(၂) Toilet/bath rooms
(၃) Locker rooms.
(၄) Locker/dressing rooms.
(၅) Central laundry rooms.
(၆) Copy printing rooms.
(၇) Wood/metal shop classrooms.
(၈) Correctional facility booking/waiting areas.
(၉) Bank vaults/safe deposit vaults.
(၁၀) Pharmacy preparation areas.

(၁၁) Science laboratories.
(၁၂) University and college laboratories.
(၁၃) Art classrooms.
(၁၄) Retail sales areas.
(၁၅) Barber shops.
(၁၆) Beauty and nail salons.
(၁၇) Prison cells with toilets.
(၁၈) Darkrooms.
(၁၉) Pet shops (animal areas).
(၂၀) Warehouses.
(၂၁) Coin operated laundries.
(၂၂) Gym/stadium (play areas).
(၂၃) Swimming pools and decks.
(၂၄) Health club/aerobics rooms.
(၂၅) Health club/weight rooms.
(၂၆) Food and beverage services: restaurant dining rooms, cafeterias, fast food establish ments, bars, cocktail lounges.

Class 3 အဆင့်ရှိသောလေအမျိုးအစား

Contaminant concentration မြင့်သည့် လေများ နား၊ နှာခေါင်း၊ လည်ချောင်းတို့ကို ယားယံစေတတ်သည့် လေများ (sensory irritation) နှင့် အလွန်ဆိုးဝါးပြင်းထန်သည့် အနံ့အသက်(offensive odour) ပါဝင်သည့် လေများသည် class 3 အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ ထိုလေများကို ထွက်လာသည့် မူလအခန်းအတွက် ပြန်လည် အသုံးပြုနိုင်သည်။

(၁) Commercial kitchen hoods other than grease hoods.
(၂) Residential kitchen vented hoods.
(၃) Refrigeration machinery rooms.
(၄) Boiler rooms.
(၅) Soiled laundry storage areas.
(၆) Janitor closets.
(၇) Trash/recycle rooms.
(၈) General chemical/biological laboratories.
(၉) Daycare sick rooms.

Class 3 အဆင့်ရှိသောလေအမျိုးအစားကို ပြန်လည်အသုံးပြုခြင်း

Class 3 အဆင့်ရှိသောလေကို class 3 အဆင့်ရှိသော နေရာများအတွက် ပြန်သုံး(recalculate) နိုင်သည်။ တခြားမည်သည့် နေရာအတွက်မှ ပြန်လည် အသုံးမပြုရ။

Class 4 အဆင့်ရှိသော လေအမျိုးအစား

Fume နှင့် gases တို့ပါဝင်သော လေအမျိုးအစား၊ အသက်အန္တရာယ်ဖြစ်စေသည့် အမှုန်များ၊ အမှိုက်များ(potentially dangerous particles)များ၊ ဇီဝ အန္တရာယ်ရှိသောလေများ၊(bio aerosols) နှင့် လူ၏ ကျန်းမာရေးကို ထိခိုက်စေနိုင်သောလေများသည် class 4 အမျိုးအစား လေများဖြစ်သည်။

Recirculation

(၁) Commercial kitchen grease hoods.
(၂) Laboratory hoods.
(၃) Paint spray booths.
(၄) Diazo printing equipment discharges.
(၅) Chemical storage rooms.
(၆) Auto repair rooms.
(၇) Parking garages.

Class 4 အဆင့်ရှိသော လေအမျိုးအစားကို ပြန်လည်အသုံးပြုခြင်း

Class 4 အဆင့်ရှိသော လေများကို မည်သည့်နေရာတွင်မှ ပြန်လည်အသုံးမပြုရ။

Ventilation အတွက်အသုံးပြုမည့် ပြင်ပလေ(outdoor air)များ နှင့် indoor air များ(recalculate လုပ်ခြင်း) ပြန်သုံးရန်အတွက် ထိုလေများကို လေစစ်(filter) များဖြင့် သန့်စင်ရမည်။ ရေချိုးခန်းများ၊ အိမ်သာ နှင့် သန့်စင်ခန်းတို့ မှ လေများကို ပြန်၍ အသုံးမပြုရ။

မီးလောင်လွယ်သော ဓာတ်ငွေ့များ(flammable vapor) ၊ ဖုန်များ(dust) ၊ အနံ့ဆိုးများ(odours) နှင့် မီးခိုးကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသောဓာတ်ငွေ့များ(noxious gases)ပါသော လေများကို ပြန်မသုံးရ။

၇.၁၃ Exhaust Air

၇.၁၃.၁ Toilet Ventilation Rates

အဆောက်အဦအဖြစ် အသုံးပြုရန်အတွက် လိုအပ်သောစည်းမျဉ်း(building regulations) များအရ habitable rooms နှင့် အိမ်သာ(toilet)များ၊ သန့်စင်ခန်းများ အတွင်းရှိလေများကို သဘာဝအတိုင်း (natural means) သို့မဟုတ် စက်တစ်မျိုးမျိုးကို အသုံးပြု၍(mechanical means) လဲလှယ်(vent) ပေးရမည်။ သဘာဝအတိုင်း လေဝင်လေထွက်ကောင်းအောင်ပြုလုပ်ခြင်းကို “Natural Ventilation” ဟုခေါ်သည်။ စက်တစ်မျိုးမျိုးကို အသုံးပြု၍ လေဝင်လေထွက်ကောင်းအောင်ပြုလုပ်ခြင်းက “Mechanical Ventilation” ဟုခေါ်သည်။

၇.၁၃.၂ Minimum Exhaust Rates

Occupancy Category	Exhaust Rate		Comments
	CFM/Unit	CFM/SF	
Art Classrooms	-	0.70	
Auto Repair Rooms	-	1.50	Engine exhaust should be provided separately.
Barber Shop	-	0.50	
Beauty Shop and Nail Salons	-	0.60	
Cell with Toilet	-	1.00	
Darkrooms	-	1.00	
Arena	-	0.50	Additional ventilation may be required in arenas where combustion equipment is expected.
Kitchen—commercial	-	0.70	
Kitchenettes	-	0.30	
Locker Rooms	-	0.50	
Locker/Dressing Rooms	-	0.25	
Parking Garages	-	0.75	Exhaust is not required if 50% of the sides are open.
Janitor, Trash, Recycle	-	1.00	
Pet Shops (animal areas)	-	0.90	
Copy, Printing Rooms	-	0.50	
Science Lab Classrooms	-	1.00	
Toilets—Public	50/70	-	Rate is per water closet or urinal. Provide higher rate where periods of heavy use are expected (theaters, schools, sports facilities). Use lower rate where use is intermittent.
Toilets—Private	25/50	-	Single occupancy toilets. Lower rate is for continuous operation; higher rate is for intermittent operation.
Woodwork Shop/Classroom	-	0.50	

၇.၁၃.၃ Exhaust Air Rates and Pressure Relationship

Area Designation	Pressure Relationship	Minimum OA AC/hr.	Minimum Total AC/hr.	All Air Exhaust to Outdoors
Obstetrical Facilities				
Delivery Rooms	Pos	3	15	-
Labor/Delivery/Recovery	-	2	6	-
Labor/Delivery/Recovery/Postpartum	-	2	6	-
Emergency, Surgery, and Critical Care				
Operating/Surgical Cystoscopic Rooms	Pos	3	15	-
Recovery Rooms	0	2	6	-
Critical and Intensive Care	0	2	6	-
Intermediate Care	0	2	6	-
Newborn Intensive Care	0	2	6	-
Treatment Rooms	0	-	6	-
Trauma Rooms	Pos	3	15	-
Bronchoscopy	Neg	2	12	Yes
Triage	Neg	2	12	Yes
ER Waiting Rooms	Neg	2	12	Yes
Procedure Rooms	Pos	3	15	-
Laser Eye Rooms	Pos	3	15	-
X-Ray (Surgical/Critical Care and Catheterization)	Pos	3	15	-
Anesthesia Gas Storage	Neg	-	8	Yes
Support Areas				
Medication Rooms	Pos	-	4	-
Clean Workrooms or Clean Holding	Pos	-	4	-
Soiled Workrooms or Soiled Holding	Neg	-	10	Yes
Diagnostic and Treatment Areas				
Examination Rooms	0	-	6	-
Treatment Rooms	0	-	6	-
Physical Therapy and Hydrotherapy	Neg	-	6	-
Gastrointestinal Endoscopy Rooms	0	2	6	-
Endoscopic Instrument Processing Rooms	Neg	-	10	Yes
Imaging: X-Ray (Diagnostic and Treatment)	0	-	6	-
Imaging: Darkrooms	Neg	-	10	Yes
Imaging: Waiting Rooms	Neg	2	12	Yes
Laboratory: General	0	-	6	-
Laboratory: Biochemistry	Neg	-	6	Yes
Laboratory: Cytology	Neg	-	6	Yes
Laboratory: Glass Washing	Neg	-	10	Yes
Laboratory: Histology	Neg	-	6	Yes

Laboratory: Microbiology	Neg	-	6	Yes
Laboratory: Nuclear Medicine	Neg	-	6	Yes
Laboratory: Pathology	Neg	-	6	Yes
Laboratory: Serology	Neg	-	6	Yes
Laboratory: Sterilizing	Neg	-	10	Yes
Autopsy Rooms	Neg	-	12	Yes
Non-Refrigerated Body-Holding Rooms	Neg	-	10	Yes
Service Areas				
Pharmacies	Pos	-	4	-
Food Preparation Centers	0	-	10	-
Area Designation	**Pressure Relationship**	**Minimum OA AC/hr.**	**Minimum Total AC/hr.**	**All Air Exhaust to Outdoors**
Warewashing	Neg	-	10	Yes
Dietary Day Storage	Neg	-	2	-
Laundry, General	0	-	10	Yes
Soiled Linen (Sorting and Storage)	Neg	-	10	Yes
Clean Linen Storage	Pos	-	2	-
Soiled Linen and Trash Chute Rooms	Neg	-	10	Yes
Bedpan Rooms	Neg	-	10	Yes
Bathrooms	Neg	-	10	-
Housekeeping Rooms	Neg	-	10	Yes
Sterilizing and Supply				
ETO Sterilizer Rooms	Neg	-	10	Yes
Sterilizer Equipment Rooms	Neg	-	10	Yes
Central Medical and Surgical Supply: Soiled or Decontamination Rooms	Neg	-	6	Yes
Central Medical and Surgical Supply: Clean Workrooms	Pos	-	4	-
Central Medical and Surgical Supply: Sterile Storage	Pos	-	4	-

Note (1) Pos = Positive Pressure Relationship

Note (2) Neg = Negative Pressure Relationship

Note (3) 0 = Neutral Pressure Relationship

- End –

AIR CONDITIONING AND MECHANICAL VENTILATION

KAUNG HTAT NYUNT

CHAPTER – 1 FUNDAMENTAL AND BASIC CONCEPT

CHAPTER – 2 UNDERSTANDING PSYCHROMETRICS

CHAPTER – 3 AIR HANDLING UNITS

CHAPTER – 4 COOLING TOWERS

CHAPTER – 5 AIR DISTRIBUTION SYSTEMS

CHAPTER – 6 FANS AND BLOWERS

CHAPTER – 7 VENTILATION

AIR CONDITIONING AND MECHANICAL VENTILATION BY KAUNG HTAT NYUNT