PSYCHROMETRIC

မာတိကာ

၂.၁ Psychometric နိဒါန်း 2-1
၂.၁.၁ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) 2-5
၂.၁.၂ အငွေ့မှ အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်း (Condensation) 2-5
၂.၂ တူညီသောတွက်ချက်မှုများအတွက် လေကို စံအဖြစ် သတ်မှတ်ခြင်း(Standard Air) 2-6
၂.၃ အပူ သိုလှောင်နိုင်စွမ်း (Specific Heat of Air) 2-7
၂.၄ ဖိအားများနှင့် သက်ဆိုင်သည့် Dalton's Law 2-8
၂.၅ Psychometric Chart ပေါ်ရှိလိုင်းများ 2-10
၂.၅.၁ Dry Bulb အပူချိန်(Temperature)လိုင်းများ 2-10
၂.၅.၂ Wet Bulb အပူချိန်(Temperature)လိုင်းများ 2-11
၂.၅.၃ Dew Point အပူချိန်(Temperature) 2-13
၂.၅.၄ အေးသည့်မျက်မှာပြင်များပေါ်၌ Condensation ဖြစ်ပေါ်ခြင်း 2-17
၂.၅.၅ Humidity Ratio လိုင်းများ 2-19
၂.၅.၆ Relative Humidity လိုင်းများ 2-19
၂.၅.၇ လေတစ်ယူနစ်၏ ထုထည်(Specific Volume) 2-23
၂.၅.၈ လေမှ သိုလှောင်ထားသည့် အပူစွမ်းအင်(Enthalpy လိုင်းများ) 2-24
၂.၆ Sensible heat ပြောင်းလဲခြင်း(Cooling နှင့် heating) 2-27
၂.၇ Latent Heat ပြောင်းလဲခြင်း (Humidification နှင့် Dehumidification) 2-27
၂.၈ Sensible နှင့် Latent Process နှစ်မျိုး တစ်ပြိုက်နက် ဖြစ်ပေါ်ခြင်း 2-31
၂.၉ Air Mixing Process 2-39
၂.၁၀ Determining Supply Air Condition 2-39
၂.၁၁ Coil Process လိုင်းများ 2-43
၂.၁၂ Psychometric Analysis 2-45
၂.၁၃ Contact Factor(CF)၊ Bypass Factor(BF) နှင့် (ETS) 2-48
၂.၁၄ Reheat လုပ်ခြင်း 2-49
၂.၁၅ Fan မှ ထွက်သော အပူ(Heat)များကြောင့် Fan Heat Gain(FHG) ဖြစ်ပေါ်ခြင်း 2-50
၂.၁၆ Water Spray into Air Steam (Adiabatic Saturation) 2-51
၂.၁၇ Steam injection 2-53
၂.၁၈ Chilled Water ကိုအသုံးပြုထားသည့် Air Washer 2-54
၂.၁၉ လေ့ကျင့်ရန် ပုစ္ဆာများ 2-55

Chapter-2 Psychromatics

လေ့လာရန်အဓိကအချက်များ-

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

(ခ) Dry Bulb အပူချိန်၊ Wet Bulb အပူချိန်၊ Relative Humidity(RH)၊ specific humidity၊ Dew Point ၊ Enthalpy နှင့် "Standard Air" စသည့် Psychrometric 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 တဆင့် ကျန်ရှိသည့် လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ(property 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။

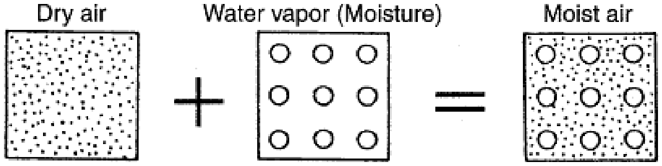
(ဆ) Psychrometric ညီမျှခြင်း(equation)များကို သုံး၍ sensible ၊ latent နှင့် total cooling/heating load တို့ကို တွက်ချက်တတ်ရန် တို့ဖြစ်သည်။

၂.၁ Psychometric နိဒါန်း

American Society of Heating, Refrigerating, and Air conditioning Engineers (ASHRAE)အဖွဲ့၏ အဓိပ္ပာယ်ဖွင့်ဆိုချက်အရ "air conditioning" ဆိုသည်မှာ "လေအပူချိန်(temperature)၊ လေ၏စိုထိုင်းဆ (humidity)၊ လေ၏သန့်စင်မှု(cleanliness) နှင့် လေဖြန့်ဖြူးမှု(distribution) တို့ကို အခန်း၏ လိုအပ်ချက်နှင့် 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 ကျွန်ုပ်တို့အနီးရှိ လေကို အေးအောင် သို့မဟုတ် နွေးအောင် ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Air con ပညာရပ်တွင် "Confort air conditioning" နှင့် "Industrial air conditioin" ဟူ၍ နှစ်မျိုး ကွဲပြားသည်။ Confort air conditioning ဆိုသည်မှာ လေကို လူများ သက်သောင့်သက်သာ(confortable) ဖြစ်စေမည့် အခြေအနေတစ်ခုသို့ ရောက်အောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Industrial air conditioin ဆိုသည်မှာ စက်ရုံ နှင့် အလုပ်ရုံများ၏ လုပ်ငန်းများ နှင့် process များတွက် လေကို လိုအပ်သည့် အခြေအနေသို့ ရောက်အောင် ပြုပြင်စီမံခြင်း(treat လုပ်ခြင်း)ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် လေကို လိုအပ်သလို အေးအောင် သို့မဟုတ် နွေးအောင် ပြုလုပ်နိုင်ရန်အတွက် လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(properties of air)အကြောင်းကို အသေးစိတ် နားလည်ရန် လိုအပ်သည်။



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

Psychro သည် ဂရိဝေါဟာရဖြစ်ပြီး "cold" ဟုအဓိပ္ပာယ်ရသည်။ Psychrometer သည် လေထု(atmosphere)ထဲတွင်ရှိသည့် aqueous vapor ကို တိုင်းတာသည့် ကိရိယာ(instrument)တစ်မျိုးဖြစ်သည်။ လေထဲတွင်ရှိသော ရေငွေ့ပါဝင်မှုကို တိုင်းသည့်ကိရိယာကို "Hygrometer" ဟုခေါ်သည်။ Psychometric ဆိုသည်မှာ air-water vapor သို့မဟုတ် " moist air " ကိုလေ့လာသည့် ဘာသာရပ် ဖြစ်သည်။

နေ့စဉ် ခေါ်ဝေါ်ပြောဆိုနေသည့် "လေ" ဆိုသည်မှာ moist air ကို ရည်ညွှန်းပြောဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air)နှင့် ရေငွေ့(water vapor)ရောနေသည့် mixture ကို "Moist Air" ဟု ခေါ်သည်။ ကျွန်ုပ်တို့ အနီးရှိလေသည် "Moist Air" ဖြစ်သည်။ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air)သည် တွက်ချက်မှု လွယ်ကူစေရန် အတွက်သာ ပြုလုပ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ လေသည် သဘာဝအရ လုံးဝ ခြောက်သွေ့ခြင်း မရှိသော်လည်း စနစ်တကျ တွက်ချက်မှုများ ပြုလုပ်ရန် အတွက် ဖြစ်သည်။ လက်တွေ့တွင် ခြောက်သွေ့သည့် လေ(dry air) အဖြစ် သီးသန့် တည်ရှိနိုင်သည့် အခြေအနေမရှိသလောက် နည်းပါးသည်။

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

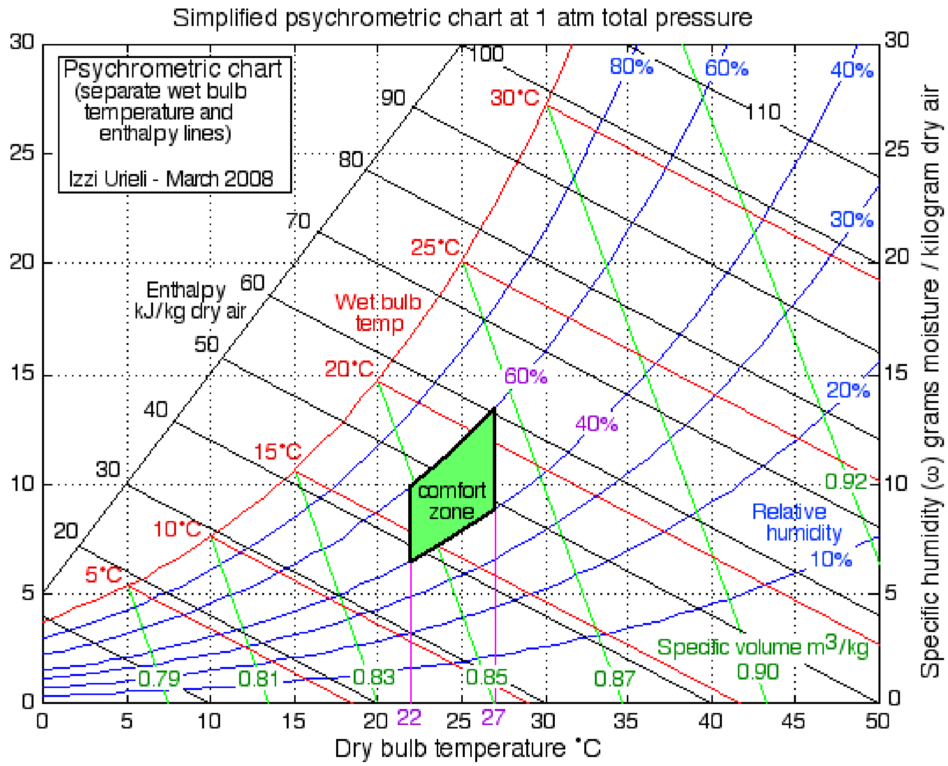
လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(properties of air)ကို ဇယား(table)ပုံစံ သို့မဟုတ် ဂရပ်(chart)ပုံစံမျိုးဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။ ဂရပ်(chart)ပုံစံမျိုးဖြင့် ဖော်ပြထားသော လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(properties of air)ကို "Psychometric Chart" ဟုခေါ်သည်။ "Psychrometrics Chart" ကို လိုင်း(line)များစွာဖြင့် ဖွဲ့စည်း တည်ဆောက်ထားသည်။ ရှိသမျှ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

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

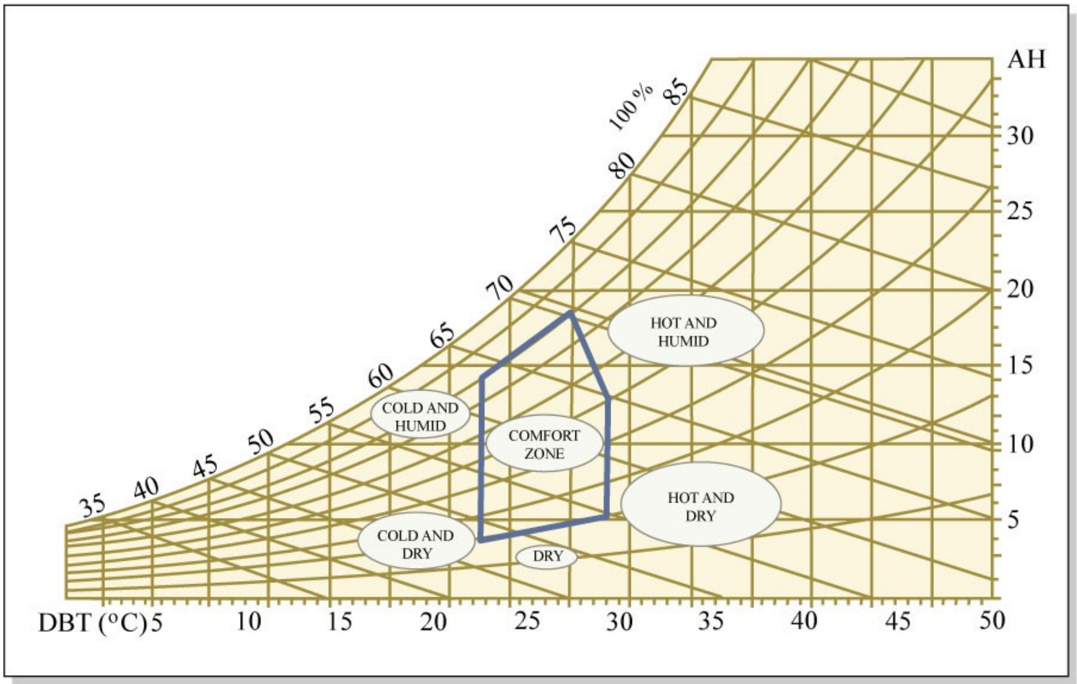
Psychrometric chart ကို နားလည်ခြင်းဖြင့် air conditioning ပြဿနာများကို အလွယ်တကူ ဖြေရှင်းနိုင်သည်။ Industires cooling process နှင့် heating process များအတွက် Psychrometric chart ကို အသေးစိတ် တိတိကျကျ နားလည်ရန် လိုအပ်သည်။

Air con အင်ဂျင်နီယာတစ်ယောက်သည် Psychometric ဘာသာရပ်ကို ကျွမ်းကျင် ပိုင်နိုင်စွာ သဘော ပေါက်ထားရန် လိုအပ်သည်။ သို့မှသာ ကောင်းမွန်မှန်ကန်သော air conditioning system တစ်ခုကို ဒီဇိုင်းဆွဲခြင်းနှင့် ချို့ယွင်းချက်ရှာဖွေခြင်း(trouble shooting)တို့ကို ဆောင်ရွက်နိုင်မည်ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် "Psychrometrics Chart" ကို ကျွမ်းကျင်စွာ နားလည်နိုင်ရန်အတွက် လိုင်း(line)တစ်ခုချင်းစီ၏ သဘောသဘာဝကို အဓိပ္ပာယ်(physical meaning)နှင့် တကွ နားလည် သဘောပေါက်အောင် လေ့လာရန် လိုအပ်သည်။

Constant Enthalpy လိုင်းနှင့် constant Wet Bulb လိုင်းသည် အမှန်တကယ် မျဉ်းပြိုင်(parallel)များ မဖြစ်သော်လည်း ဂရပ်(chart)ပေါ်တွင် မျဉ်းပြိုင်အဖြစ် ရေးဆွဲထားလေ့ရှိသည်။ လေသည် အပူချိန်ကိုလိုက်၍ ၎င်း၏ တန်ဖိုးများပြောင်းလဲနေသည်။ ထိုအတူပင် ဖိအား(pressure)နှင့် ရာသီဥတု(weather)ကြောင့်လည်း လေ၏ တန်ဖိုးများ ပြောင်းလဲမှုဖြစ်ပေါ်သည်။ အချိန်နှင့်အမျှ လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ ပြောင်းလဲနေသည်။ ထိုသို့ ပြောင်းလဲမှုတိုင်းကို လိုက်၍ ရှုပ်ထွေးခက်ခဲသော အသေးစိတ် တွက်ချက်မှုများ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် "Psychrometrics Chart" အသုံးပြု၍ ရှင်းလင်း လွယ်ကူသောနည်းဖြင့် လိုအပ်သော အဖြေကို ခဏအတွင်း ရရှိနိုင်သည်။



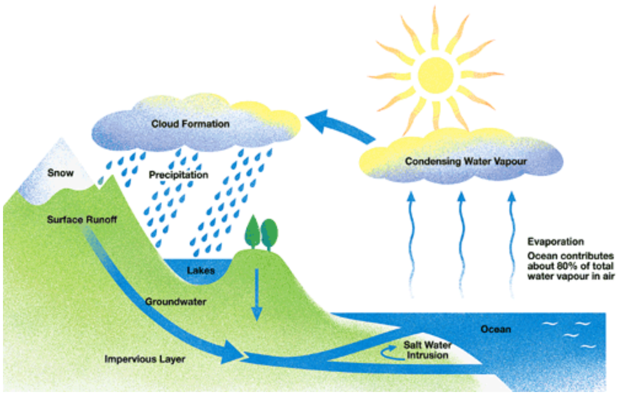
ပုံ ၂-၂ လူသားများသက်သောင့်သက်သာဖြစ်စေသည် အပူချိန်နှင့် စိုထိုင်းဆ နေရာ(ဇုံ) ကိုဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၂-၃ ရာသီဥတု အမျိုးမျိုးကို chart ပေါ်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

Air-conditioning equipment များ၏ အဓိက ဆောင်ရွက်ချက်မှာ လေကိုလိုသလို ပြုပြင်ပြောင်းလဲပေးရန် 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 များရှိသလို မျဉ်းကွေး(curve)အတိုင်း ဖြစ်သော process များလည်းရှိသည်။ မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်းသာ ဖြစ်သော ဖြစ်စဉ်(process)များကို အများဆုံး တွေ့ရလေ့ရှိသည်။

အလွန်ပေါ့ပါးသည့် လေသည် သူ့ထက်လေးသည့် ရေကို သယ်ဆောင်ထားနိုင်သည်ဆိုပါက ယုံကြည်ပါသလား?



ပုံ ၂-၄ လေက ရေကို သယ်ဆောင်ထားသည့် ဥပမာများ

လေကရေကို သယ်ဆောင်ထားနိုင်ကြောင်းကို ဥပမာများဖြင့် သက်သေပြနိုင်သည်။ အလွန် ဆန်းကြယ်သည့်သက်တန့်နှင့် ပန်းချီဆရာရှုံး လောက်အောင်လှပသည့် ရောင်စုံတိမ်တိုက်များသည် လေက ရေကို သယ်ဆောင် ထားသည့် အကောင်းဆုံး ဥပမာများဖြစ်ကြသည်။

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

လေကို အေးအောင် သို့မဟုတ် နွေးအောင်လုပ်လိုသည့် အခါတိုင်း၌ ထိုလေထဲတွင် ပါဝင်နေသည့် ရေငွေ့ပမာဏကို သိရန်လိုအပ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် လေတစ်ခုတည်းကိုသာမက 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။

လေထု၏အတွင်းသို့ရေငွေ့များ မည်ကဲ့သို့ရောက်ရှိလာသည်ကို နားလည်နိုင်ရန်အတွက် ရေငွေ့ပျံခြင်း (evaporation) နှင့် အငွေ့မှအရည်အဖြစ်သို့ပြောင်းခြင်း(condensation) ဖြစ်စဉ်နှစ်ခုကို လေ့လာရန် လိုအပ်သည်။

၂.၁.၁ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)

ပူ၍ပေါ့ပါးနေသည့်လေ(hot air)သည် ရေငွေ့များကို စုပ်ယူသိုလှောင်ထားနိုင်သော စွမ်းရည်ရှိသည်။ ရေအဖြစ်မှ ရေငွေ့များအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည့်ဖြစ်စဉ်ကို ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ဟု ခေါ်သည်။ ထိုဖြစ်စဉ်သည် အပေါ်ယံရေမျက်နှာပြင်တွင် ဖြစ်လေ့ရှိသည်။ ရေကို ဆူပွက်အောင် ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော ရေငွေ့ပျံခြင်းသည်လည်း evaporation ဖြစ်စဉ် တစ်မျိုးပင်ဖြစ်သည်။

ကျောက်စားပွဲမျက်နှာပြင်ကို ရေစိုအဝတ်ဖြင့် သုတ်လိုက်သည့်အခါ မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ရေများစိုသွားလိမ့်မည်။ ထိုရေများ ခြောက်သွေ့သွားခြင်းသည် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်စဉ်ကြောင့် ရေငွေ့ပျံသွားခြင်းဖြစ်သည်။ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)သည် ရေ(water)အတွက်သာ သုံးသည့် ဝေါဟာရဖြစ်သည်။ Vaporization သည် အငွေ့အဖြစ်သို့ ပြောင်းနိုင်သည့် အရာအားလုံးအတွက် သုံးသည့် ဝေါဟာရ ဖြစ်သည်။ အငွေ့အဖြစ်သို့ပြောင်းခြင်း(vaporization)ဖြစ်ရန်အတွက် အပူထည့်ပေးရန်(heat addition) လိုအပ်သည်။

၂.၁.၂ အငွေ့မှ အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်း (Condensation)

အပူချိန်ကျဆင်းလာ၍ အေးလာသည့်လေသည် ၎င်း၌သယ်ဆောင်ထားသော ရေငွေ့များကို ဆက်လက်မသယ်ဆောင်နိုင်တော့သောကြောင့် စွန့်ထုတ်ပစ်ရသည်။ ထိုသို့လေထဲ၌ရှိသော ရေငွေ့များ ရေအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားစေခြင်းကို condensation ဖြစ်စဉ်(evaporation ၏ ပြောင်းပြန်ဖြစ်စဉ်) ဟုခေါ်သည်။ အငွေ့အဖြစ်မှ အရည်အဖြစ်သို့ပြောင်းခြင်း(condensation) ဖြစ်ရန်အတွက် အပူဖယ်ထုတ်ပေးရန် (heat removal) လိုအပ်သည်။

> လေထုထဲတွင်ပါဝင်နေသည့် ရေငွေ့ပမာဏ(water vapor content)သည် လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေကသယ်ဆောင်ထားနိုင်သည့် ရေငွေ့ပမာဏ (water vapor content)သည် ထိုလေ၏ Dry Bulb အပူချိန်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေ၏ Dry Bulb အပူချိန် မြင့်လေလေ ရေငွေ့ပမာဏများများ သယ်ဆောင်နိုင်လေလေ ဖြစ်သည်။ လေ၏ Wet Bulb အပူချိန် မြင့်လေလေ လေထဲတွင် သယ်ဆောင်ထားပြီးဖြစ်သည့် ရေငွေ့ပါဝင်မှု(water vapor content)များ လေလေ ဖြစ်သည်။

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

Saturated Air and Unsaturated Air

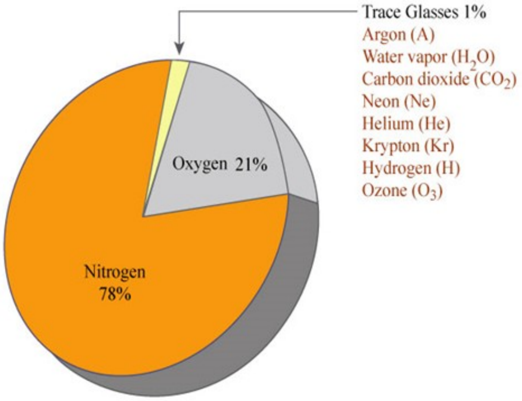
လေသည် အပူချိန်တစ်ခု၌ သယ်ဆောင်နိုင်စွမ်းရှိသည့် အများဆုံးရေငွေ့ပမာဏ(water vapor content)ကို သယ်ဆောင်ပြီးဖြစ်၍ နောက်ထပ်လက်မခံနိုင်တော့လျှင် "Saturated Air" ဟုသတ်မှတ်သည်။ လေသည် ရေငွေ့(water vapor)ကို ထပ်မံလက်ခံနိုင်သေးလျှင် "Unsaturated Air" ဟုခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရေငွေ့(water vapor)ကို ထပ်မံလက်ခံနိုင်သည့်(စုပ်ယူနိုင်သည့်)လေကို unsaturated air ဟုခေါ်သည်။

၂.၂ တူညီသောတွက်ချက်မှုများအတွက် လေကို စံအဖြစ် သတ်မှတ်ခြင်း(Standard Air)

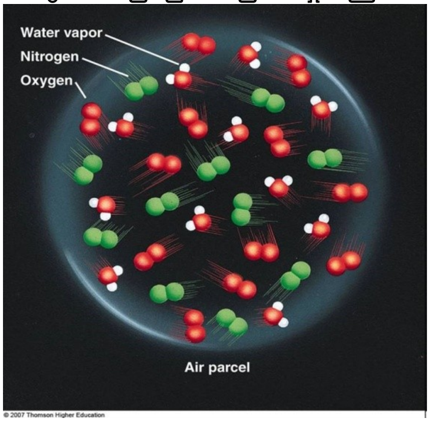
လူသားများ အသက်ရှင်ရန်အတွက် ရှူသွင်းနေသည့် လေထဲတွင် နိုက်ထရိုဂျင်ဓာတ်ငွေ့ ၇၈%၊ အောက်စီဂျင်ဓာတ်ငွေ့ ၂၁% နှင့် ရေငွေ့များ နှင့် အခြား ဓာတ်ငွေ့များ ၁% တို့ပါဝင်သည်။ လေ(moist air)သည် နေရာဒေသ၊ အချိန်၊ ရာသီဥတု ပေါ်တွင်မူတည်၍ ပြောင်းလဲနေတတ်သောကြောင့် သင်ကြားမှုများ၊ တွက်ချက်မှုများ ပြုလုပ်ရာတွင် တူညီမှုရှိစေရန် အများနားလည်လက်ခံသည့် စံစနစ်(standard) တစ်ခု သတ်မှတ်ရန် လိုအပ်သည်။

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

Standard atmospheric pressure 1013.25 mbar သို့မဟုတ် 101 325 Pa အခြေအနေတွင်ရှိသော လေ၏မော်လီကျူလာ mass သည် 28.97 ဖြစ်သည်။ လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(specific properties)ကို ခြောက်သွေ့ လေ၏ သတ်မှတ်ထားသော တစ်ယူနစ်(unit weight of dry air)ပေါ်တွင် အခြေခံ၍ ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။



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 ဟုခေါ်သည်။

Specific heat တန်ဖိုးများလေလေ ထို အရာဝတ္ထုသည် အပူပမာဏ(amount of heat)များများကို သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားနိုင်စွမ်း များလေလေဖြစ်သည်။

အဓိပ္ပာယ်ဖွင့်ဆိုချက်: ဒြပ်ထု(mass) တစ်ယူနစ်ရှိသော အရာဝတ္ထုတစ်ခုကို အပူချိန် တစ်ဒီဂရီဖာရင်ဟိုက် သို့မဟုတ် တစ်စင်တီဂရိတ် မြင့်တက်ရန်အတွက် 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။

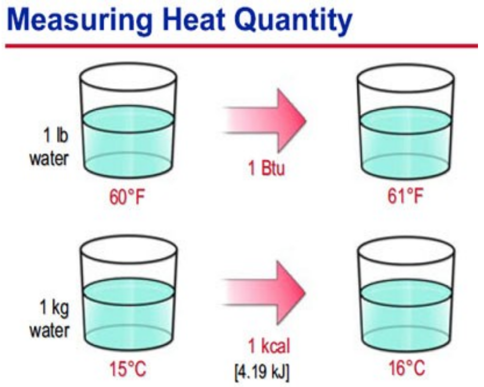
Cp =1.006 kJ/kg °K ၏ အဓိပ္ပာယ်မှာ ခြောက်သွေ့သောလေ တစ်ကီလိုဂရမ်(dry air 1 Kg)ကို တစ်ဒီဂရီ စင်တီဂရိတ်(1°C) မြင့်တက်ရန်အတွက် 1.006 kJ ပမာဏရှိသည့် အပူထည့်ပေးရန်(heat add) လိုအပ်သည်။ အပူချိန် 68°F (20°C) လေ(air)နှင့် ရေ(water)တို့မှ သယ်ဆောင်ထားနိုင်သည့် အပူပမာဏ(heat energy) ကို နှိုင်းယှဥ်ဖော်ပြ ထားသည်။

	Air	Water
Specific heat (Btu/ lb °F)	0.243	1.0
Density at 68°F (lb/ ft^3)	0.075	62.4
Heat capacity of fluid at 68°F (Btu / ft^3 °F)	0.018	62.4

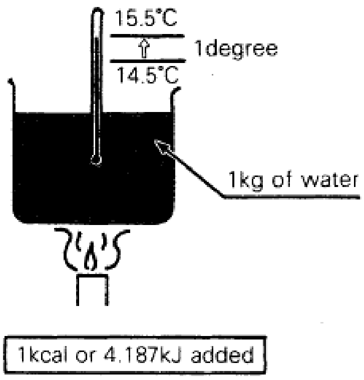
လေ(air)၊ ရေ(water) နှင့် ရေခဲ(ice)တို့ ၏ specific ကို IP ယူနစ် နှင့် SI ယူနစ်တို့ ဖြင့်ဖော်ပြထားသည်။

Substance	Specific heat	
	Conventional metric and Yard-pound system kcal/kg°C, Btu/lb°F	S.I metric system kJ/kg °K
air	0.24	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

ရေ၏အပူချိန် တစ်ဒီဂရီစင်တီဂရိတ် 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

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၏ အပူသိုလှောင်နိုင်စွမ်းသည် လေထက် လေးဆခန့် ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် ရေသည် လေထက် specific heat ပိုမြင့်သည်။ သဘာဝအားဖြင့် ရေသည် လေထက် ပို၍ အပူကို ပိုမို သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားနိုင်စွမ်းများသည်။ ထို့ကြောင့် ရေကို အေးအောင် သို့မဟုတ် နွေးအောင် ပြုလုပ်ရန် စွမ်းအင်(energy)ပမာဏ 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 အပူစွမ်းအင် ဖြစ်သည်။ [Latent Heat is the ENERGY stored in Water Vapour.]

Sensible Heat ဆိုသည်မှာ ခြောက်သွေ့သောလေ(dry air)က သိမ်းဆည်းထားသော အပူစွမ်းအင် ဖြစ်သည်။ [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 vapour ၏ 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 vapour(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 da x 7000 gr/ lb = 60. 2 gr w/lb da

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

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

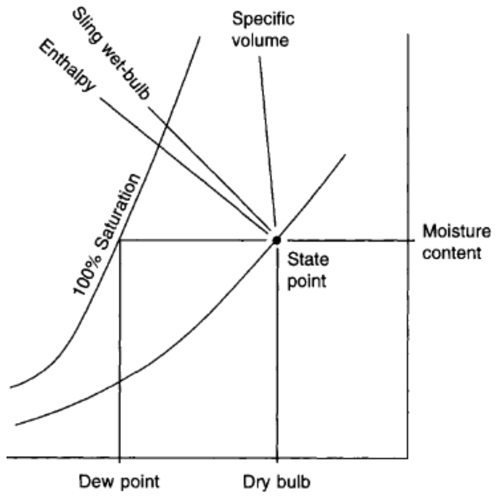
$$\textit{Relative Humidity}\ (\%) = \frac{Pw}{Pws}\ x\ 100$$

RH Relative Humidity %

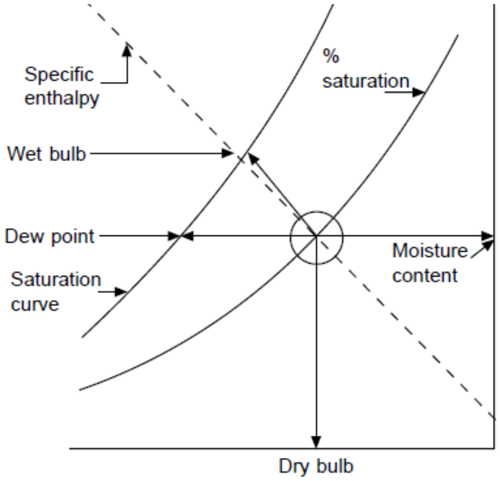
Pw = partial pressure of water vapor at Dry Bulb temperature

Pws = situation pressure of water vapor at Dry Bulb temperature

၂.၅ Psychometric Chart ပေါ်ရှိလိုင်းများ

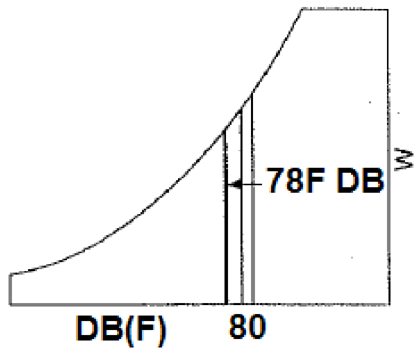


ပုံ ၂-၉ Psychometric Chart ပေါ်ရှိလိုင်းများ



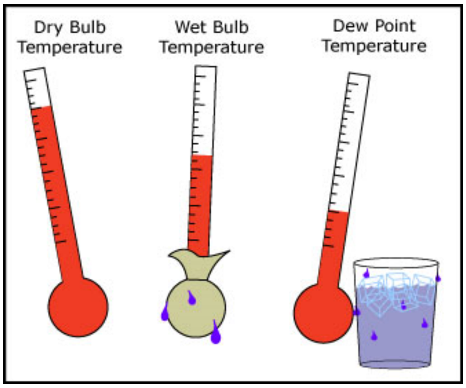
ပုံ ၂-၁၀ Psychometric Chart ပေါ်ရှိလိုင်းများ

၂.၅.၁ Dry Bulb အပူချိန်(Temperature)လိုင်းများ

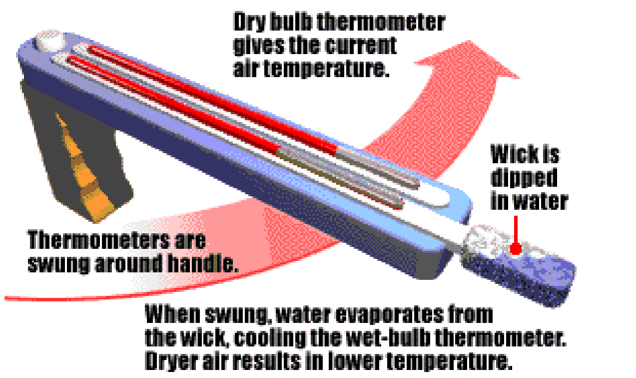


ပုံ ၂-၁၁ Dry Bulb အပူချိန် လိုင်းများ

သာမိုမီတာဖြင့်တိုင်း၍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 ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ DB ဟု အတိုခေါက် ရေးသား ဖော်ပြလေ့ ရှိသည်။ **Constant Dry Bulb temperature လိုင်းများကို "Psychrometrics Chart" ပေါ်တွင် မျဉ်းမတ်များ(vertical line) ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။** မျဉ်းမတ် (vertical line) တစ်ခုပေါ်၌ ရှိသော Dry Bulb အပူချိန် (temperature) တန်ဖိုးများ တူညီကြသည်။

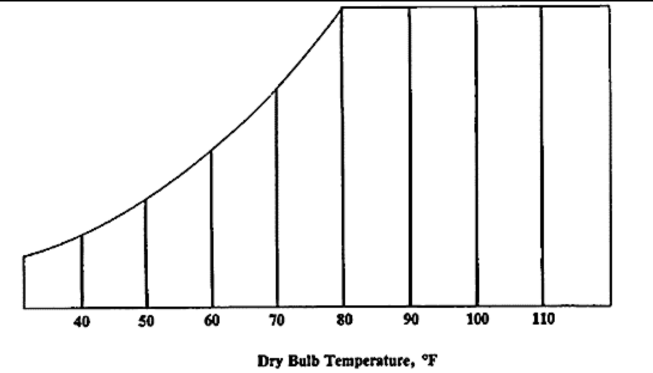


ပုံ ၂-၁၂ Dry Bulb ၊ Wet Bulb နှင့် Dew Point အပူချိန် တို့ကို အရှင်းလင်းဆုံး ဖော်ပြထားသည်။

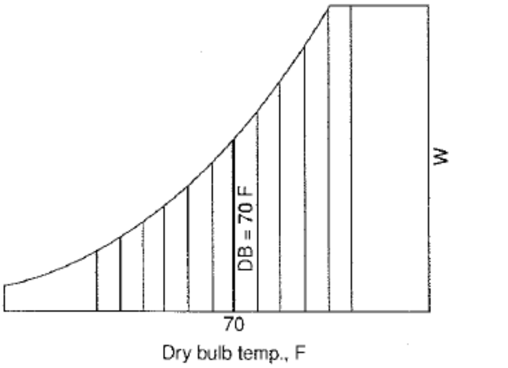


ပုံ ၂-၁၃ Sling Thermometer သည် Dry Bulb နှင့် Wet Bulb အပူချိန် တို့ကို တိုင်းယူရန် အလွယ်ကူဆုံးသော ကိရိယာဖြစ်သည်။

အောက်ပါပုံများသည် IP ယူနစ်ဖြင့်ရေးဆွဲထားသော Psychrometrics chart ဖြစ်သည်။ မျဉ်းမတ်များ (vertical line)သည် Dry Blub အပူချိန်လိုင်း(temperature line)များဖြစ်သည်။



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 ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။

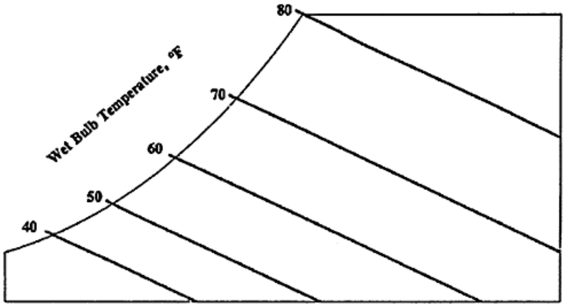
Wet Bulb အပူချိန်သည် ရေများ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်ရန်အတွက် လိုအပ်သည့် အပူများကို စုပ်ယူ လိုက်သောကြောင့် Wet Bulb အပူချိန်သည် Dry Bulb အပူချိန်ထက် နိမ့်သွားခြင်း ဖြစ်သည်။ Wet Bulb အပူချိန်သည် လေထဲ၌ရှိသော ရေငွေ့ပမာဏ (amount of moisture)ကို ဖော်ပြသည်။

> 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။

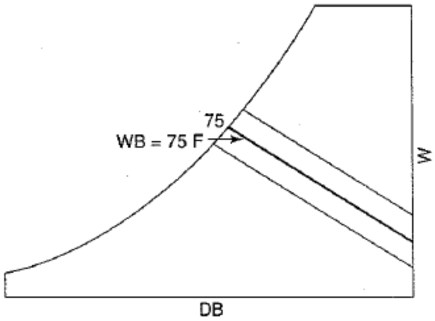
လေထုထဲ၌ ရေငွေ့များ(water vapor) ရာနှုန်းပြည့် ရှိနှင့်ပြီးလျှင် (စိုထိုင်းဆများလျှင်) ရေငွေ့ပျံခြင်း (evaporation) မဖြစ်နိုင်တော့သောကြောင့် အအေးဓာတ်(cooling effect)နည်းကာ Dry Bulb အပူချိန် နှင့် Wet Bulb တို့၏ အပူချိန်ကွာခြားမှု နည်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။

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 စိုထိုင်းဆသည် ရာနှုန်းပြည့်(၁၀၀%) ဖြစ်သည်။

ပုံတွင်ပြထားသည့် မျဉ်းစောင်းများသည် တူညီသော Wet Bulb အပူချိန်ကို ဖော်ပြသည်။ Wet Bulb အပူချိန်သည် adiabatic saturation အပူချိန်ဖြစ်သည်။



၂-၁၆ Dry Bulb အပူချိန်လိုင်း



ပုံ ၂-၁၇ Dry Bulb အပူချိန်လိုင်း

မျဉ်းစောင်းများ(sloping lines)သည် Wet Blub အပူချိန်လိုင်းများဖြစ်သည်။ Wet Blub အပူချိန်၏ တန်ဖိုးများကို လိုင်း၏ ဘယ်ဘက်ထိပ်တွင်ဖော်ပြထားသည်။

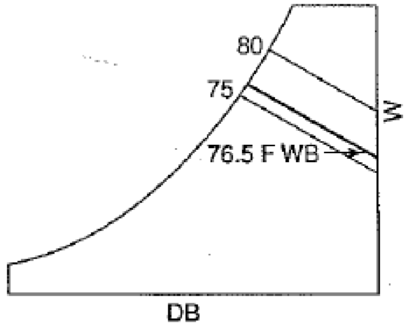
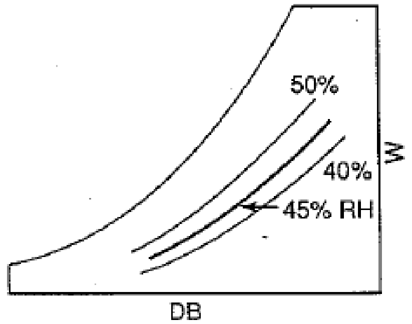
Dry Bulb အပူချိန်နှင့် Wet Bulb အပူချိန် တို့၏ ခြားနားချက်ကို **"Wet Bulb Depression"** ဟုခေါ်သည်။ Wet Bulb depression သုညဖြစ်လျှင် Dry Bulb အပူချိန်နှင့် Wet Bulb အပူချိန်တူညီပြီး 100% humidity ဖြစ်သည်။ Dry Bulb အပူချိန်နှင့် Wet Bulb အပူချိန်တူညီသည့်အခိုက်တွင် လေသည် saturated air ဖြစ်သည်။

$$\textit{Wet bulb depression} = \textit{Dry Bulb Temperature} - \textit{Wet Bulb Temperature}$$

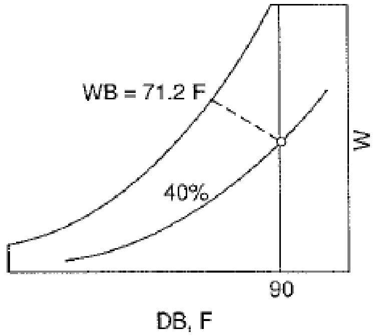
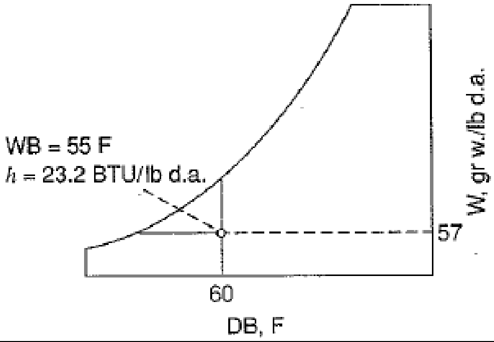
ဥပမာ မြန်မာနိုင်ငံ နွေရာသီ အညာဒေသ၏ နေ့လည်အချိန်တွင် Dry Bulb အပူချိန်သည် (၃၇)ဒီဂရီစင်တီဂရိတ်(37°C) ဖြစ်ပြီး Wet Bulb အပူချိန်သည် (၃၁)ဒီဂရီစင်တီဂရိတ်(31°C) ဖြစ်သည်။ သို့သော် အီကွေတာရပ်ဝန်း အမေဇုံအမြိစိမ်းသစ်တော၏ နေ့လည်အချိန်တွင် Dry Bulb အပူချိန်သည် (၃၇)ဒီဂရီစင်တီဂရိတ်(37°C)ဖြစ်ပြီး Wet Bulb အပူချိန်သည် (၃၃)ဒီဂရီစင်တီဂရိတ်(33°C) ဖြစ်သည်။ Dry Bulb အပူချိန် နှစ်ခု တူညီကြသော်လည်း Wet Bulb အပူချိန် နှစ်ခု မတူညီကြပေ။

မြန်မာနိုင်ငံ အညာဒေသ၏ နွေရာသီသည် ခြောက်သွေ့၍ ပူအိုက်သောရာသီဥတုဖြစ်ပြီး အီကွေတာရပ်ဝန်း အမေဇုံအမြိစိမ်းသစ်တောသည် စိုစွတ်၍ ပူအိုက်သော ရာသီဥတုဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အမေဇုံအမြိစိမ်းသစ်တောမှလေထုသည် အညာဒေသမှ လေထုထက် ရေငွေ့များ(water vapor)ကို ပိုမိုသယ်ဆောင်ထားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ အမေဇုံအမြိစိမ်းသစ်တောမှ လေထုကို စိုထိုင်းဆမြင့်(high humidity) သည်ဟု သတ်မှတ်ပြီး အညာဒေသမှ လေထုကို စိုထိုင်းဆနိမ့်သည်(low humidity)ဟု သတ်မှတ်သည်။ ထို့ကြောင့် အမေဇုံတောမှ လေထုကို ပူအောင် သို့မဟုတ် အေးအောင်လုပ်ရန်အတွက် အညာဒေသမှ လေထုထက် စွမ်းအင်(energy) ပိုလိုအပ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အမေဇုံတောအတွင်းမှ လေထုသည် ရေငွေ့များ(water vapor)ကို ပိုမို သယ်ဆောင် ထားသောကြောင့်ဖြစ်သည်။

ဥပမာ 76.5°F WB လိုင်းကို Psychrometric chart ပေါ်တွင်ဆွဲပြပါ။ 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။

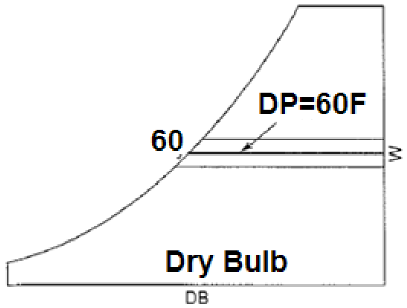
	
၂-၂၀ 90°F DB နှင့် 40% RH ဖြတ်မှတ် (intersection point)မှWB 71.2°F ကို ရသည်။	၂-၂၁ 60°F DB နှင့် 55°F WB မှ humidity ratio 55°F နှင့် specific enthalpy 23.3 Btu/lb d.a ကို ရသည်။

၂.၅.၃ Dew Point အပူချိန်(Temperature)

ပုံသေဖိအား(constant barometric pressure)အောက်တွင် လေထဲ၌ရှိသော ရေငွေ့များ(water vapor) သည် ရေ(liquid water)အဖြစ်သို့ စတင်ပြောင်းသည့် အပူချိန်ကို "Dew Point Temperature" ဟုသတ်မှတ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ ပြောင်းလဲသွားသည့် ရေများကို condensed water သို့မဟုတ် Dew ဟုခေါ်သည်။ Dew Point သည် water-to-air saturation temperature ဖြစ်သည်။ Dew Point သည် Relative Humidity(RH)နှင့်သက်ဆိုင်သည်။

Relative Humidity(RH) မြင့်လေလေ Dew Point နှင့် လက်ရှိအပူချိန် (current air temperature)တို့ နီးကပ် လေလေဖြစ်သည်။ Relative Humidity 100% ဖြစ်လျှင် Dew Point နှင့် လက်ရှိအပူချိန်(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 ပိုမြင့် လာလိမ့်မည်။



သို့သော် Relative Humidity(RH) နိမ့်ဆင်း လာလိမ့်မည်။ အပူချိန် 80°F DB နှင့် 100% Relative Humidity(RH) အခြေအနေ နှင့် 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။

ပုံ ၂-၂၂ Dew Point လိုင်း

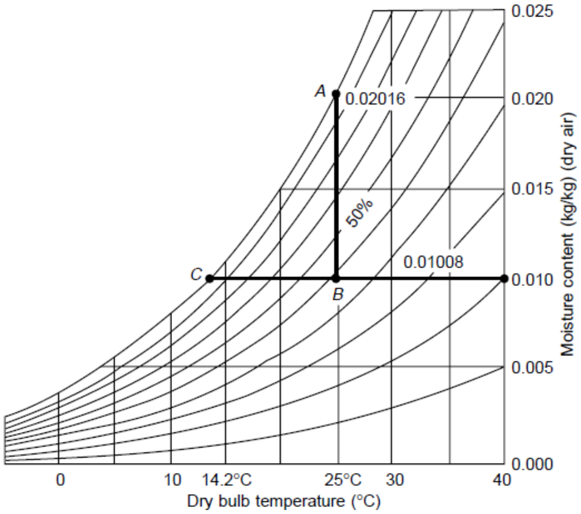
Dew Point အပူချိန် နှင့် လက်ရှိအပူချိန်(current air temperature)တို့ တူညီသည့်အခိုက် လေသည် သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့များကို ဆက်လက် မသယ်ဆောင်နိုင်တော့ပဲ ရေအဖြစ်သို့ စတင်ပြောင်းလဲသွားကာ condensation ဖြစ်စဉ် စတင်ဖြစ်ပေါ်သည်။

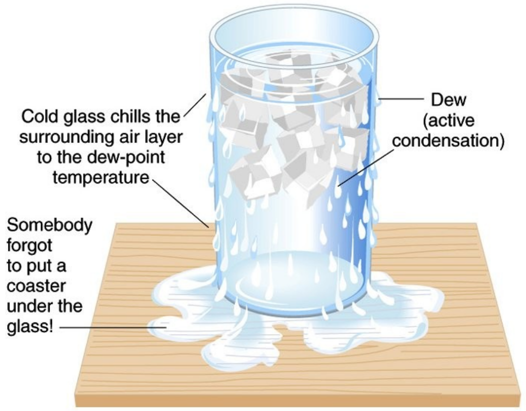
> Dew Point အပူချိန်ဆိုသည်မှာ ရေငွေ့(water vapor)များ လေထဲမှ စတင် ထွက်ခွာသွားသည့် လေ၏အပူချိန်ကို ဆိုလိုသည်။ လေထဲမှ ရေငွေ့များသည် Dew Point အပူချိန် ထက်နိမ့်သည့် မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ရေသီးခြင်း(condensation) ဖြစ်ပေါ်စေသည်။

Point A — အောက်ပုံတွင် ပြထားသည့် အမှတ် A(point A) ၌ Dry Bulb အပူချိန် 25°C ရှိသည့် saturated air တစ် ကီလိုဂရမ်သည် ရေငွေ့(water vapour content) 0.020 16 kg ကို သယ်ဆောင် ထားနိုင်စွမ်းရှိသည်။

Point B — ထိုလေသည် 25°C ၌ပင် 50% saturated ဖြစ်သွားပါက ရေငွေ့(water vapour content)0.010 08kg ကို သယ်ဆောင်ထားလိမ့်မည်။ 50% saturated ဖြစ်ခြင်းသည်(100% Saturated air တစ် ကီလိုဂရမ် မှ သယ်ဆောင် ထားနိုင်သည့် ရေငွေ့(water vapour content)ထက် တစ်ဝက်သာ သယ်ဆောင် ထားနိုင်သည်။

Dew Point အပူချိန်တန်ဖိုးကို Wet Bulb အပူချိန်တန်ဖိုးများမှ ဖတ်ယူရသည်။





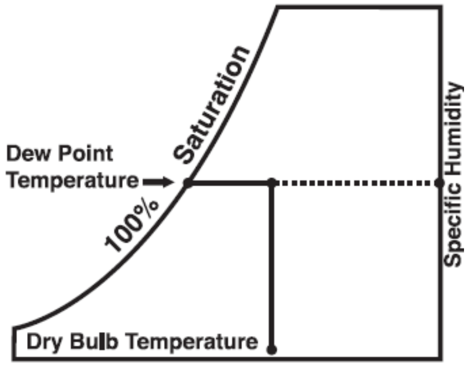
ပုံ ၂-၂၃ Dew Point လိုင်း

ပုံ ၂-၂၄ Condensation ဖြစ်ပုံ

25°C လေကို တဖြည်း ဖြည်း ခြင်း အေးအောင် ပြုလုပ်ပါက B မှ C သို့ ဆက်ထားသည့် မျဉ်းဖြောင့်(line *BC*)အတိုင်းသွားပြီး saturation line ပေါ်ရှိ အမှတ် C(point C)သို့ရောက်ရှိ လိမ့်မည်။ ရေငွေ့(water vapour content)ပါဝင်မှုသည် ရှိမြဲအတိုင်း မပြောင်းလဲပဲ Dry Bulb အပူချိန်သာ ကျဆင်းလာခြင်းကို ဆိုလိုသည်။

Saturation line ပေါ်ရှိ အမှတ်C (point C)သို့ ရောက်ရှိချိန်တွင် သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့(water vapour content)0.010 08 kg သည် လေက အများဆုံး သယ်ဆောင်နိုင်သော ပမာဏသို့ ရောက်ရှိသွားပြီး ဖြစ်သည်။ ထိုအချိန်တွင် လေ၏ Dry Bulb သည် 14.2°C သို့ရောက်ရှိနေပြီးဖြစ်သည်။ ထိုသို့14.2°C ကိုရောက်ရှိပြီးနောက် လေသည် သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့ပမာဏ(water vapour content)0.010 08kg ကို ဆက်လက်သယ်ဆောင်ကာ 14.2°C ထက်နိမ့်သည့် အပူချိန်သို့ ကျဆင်းရန် မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။

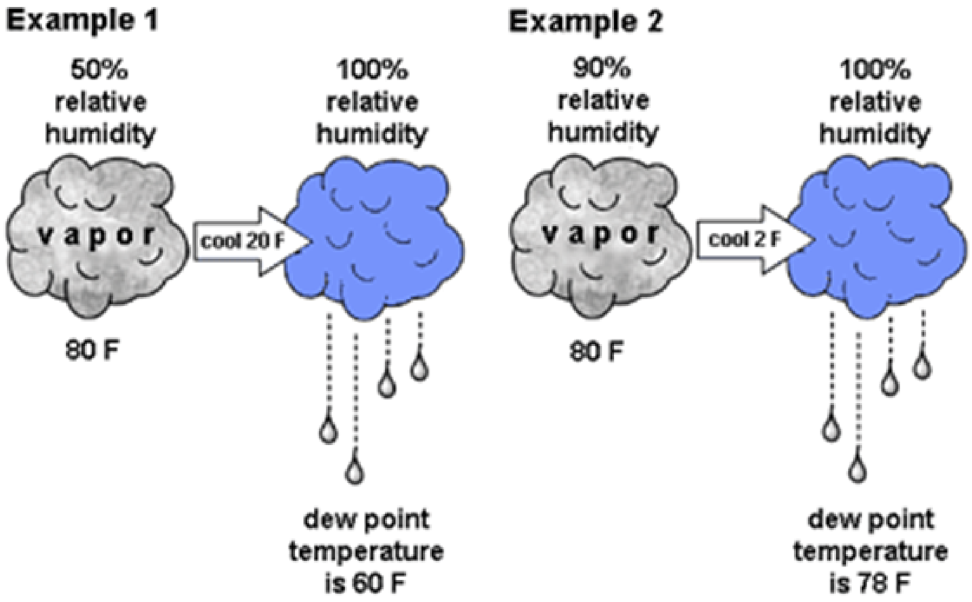
တစ်နည်းအားဖြင့် 14.2°C ထက်နိမ့်အောင် ပြုလုပ်ပါက လေသည် သယ်ဆောင် ထားသည့် 0.010 08kg မှ ရေငွေ့အချို့ကို စွန့်ထုတ် လိမ့်မည်ဖြစ်သည်။ အမှတ် C(point C)သို့ရောက်ရှိလာသည့် မူလ အမှတ် B(point B)ကို Dew Point အပူချိန်ဟုခေါ်သည်။ Dew Point ဆိုသည်မှာ ရေငွေ့များ(water vapor)ဖြင့် ရာနှုန်းပြည့်(၁၀၀%) ပြည့်ဝနေသော နေသောလေ(Saturated Air)၏ အပူချိန်ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၂၅ Dew Point လိုင်း

ပုံ ၂-၂၆ Condensation ဖြစ်ပုံ

Dew Point အပူချိန်တွင် လေ သည် ထို ရေငွေ့များကို ဆက်လက်ထိန်းမထားနိုင်ခြင်း မရှိတော့ပဲ ရေအဖြစ်သို့ စတင်ပြောင်းလဲကာ condensation ဖြစ်ပေါ်လာသည်။



ပုံ ၂-၂၇ Dew point အပူချိန်

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

ထိုအပူချိန်ကို ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်စဉ်၏ အဆုံးဟုလည်း ခေါ်ဆိုသည်။ သိမ်းဆည်းထားသမျှ ရေငွေ့များကို ပြန်ထုတ်နေသည့်အချိန်တွင် မည်သည့် ရေငွေ့ကိုမျှ ထပ်မံလက်ခံနိုင်စွမ်း မရှိသောကြောင့်ဖြစ်သည်။

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

Dew Point အပူချိန်ကို 100% RH လိုင်းပေါ်တွင် တွေ့နိုင်သည်။ ထိုအခြေအနေတွင် ရှိသောလေထုသည် ရေငွေ့များ(water vapor)ကို အပြည့်အဝ သယ်ဆောင်ထားပြီး ဖြစ်သည်။ ထိုအပူချိန်ထက်မြင့်နေသမျှ ကာလပတ်လုံး ရေငွေ့များ(water vapor)ကို ဆက်လက် သယ်ဆောင် ထားလိမ့်မည်။

Dew Point အပူချိန်ကို တိုင်းရန်အတွက် ဖန်ခွက်တစ်ခုထဲတွင် ရေခဲတုံးလေးများထည့်ပါ။ ပုံ(၂-၁၂)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း ဖန်ခွက်နံရံ၌ ရေသီးကလေးများတွေ့ရလျှင် သာမိုမီတာဖြင့်ဖန်ခွက်နံရံနှင့် အနီးကပ်ဆုံးလေ၏ အပူချိန်ကို တိုင်းလျှင် အနီးစပ်ဆုံး Dew Point အပူချိန်ကို ရမည်။

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

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

$$\textbf{Dew Point Temperature} = \textbf{Dry Bulb Temperature} = \textbf{Wet Bulb Temperature}$$

ထိုအခိုက်အတန့်တွင် လေ(saturated air)သည် ရေငွေ့(water vapor)များကို ဆက်လက် သယ်ဆောင်နိုင်စွမ်း မရှိတော့ပေ။ ထိုအခိုက်၌ လေထဲသို့ရေငွေ့တချို့ ထပ်မံဝင်ရောက်လာပါက လေထဲ၌ရှိနှင့် နေပြီးသော ရေငွေ့တချို့ ထိုလေထဲမှ ထွက်ခွာပေးရသည်။ ထိုရေငွေ့များသည် အလွန်သေးငယ်သည့် ရေမှုန်(fine droplet)ပုံစံမျိုးဖြင့် ထွက်ခွာသွားသည်။ မြူနှင်းများသည် "Saturated Air" ဖြစ်ကြောင်းကို ဖော်ပြသည့် အကောင်းဆုံးဥပမာ ဖြစ်သည်။ "Saturated Air" အခြေအနေတွင် အပူချိန်သုံးမျိုး တူညီကြသည်။

Dew Point Temperature ဥပမာများ

ဥပမာ ***Question***: အဆောက်အဦးတစ်ခု အတွင်းမှလေထု၏ Dry Bulb အပူချိန်သည် 80°F ဖြစ်ပြီး Relative Humidity (RH) သည် 50% ဖြစ်လျှင် ထို အဆောက်အဦး၏ နံရံ၌ ရေသီးခြင်း(condensation) မဖြစ်ရန်အတွက် နံရံကို မည်သည့် အပူချိန်တွင် ထိန်းထားရမည်နည်း။

အဖြေ: ရေသီးခြင်း(condensation) ဖြစ်မဖြစ်ကို စစ်ဆေးရန် ထိုအဆောက်အဦးအတွင်းမှ လေထု၏ Dew Point အပူချိန်ကိုသိရန် လိုအပ်သည်။ 80°F Dry Bulb အပူချိန်လိုင်း နှင့် 50 % Relative Humidity(RH) လိုင်း တို့၏ ဖြတ်မှတ်ကို Psychometrics chart ပေါ်တွင် ရှာပါ။

(က) Dry Bulb တန်ဖိုးများ ရှိသည့်နေရာ မှ 80°F နေရာတွင် မျဉ်းမတ်တစ်ကြောင်းကို ထောင်ပါ။ ထို မျဉ်းမတ်သည် 80°F Dry Bulb အပူချိန်လိုင်း (80°F DB လိုင်း)ဖြစ်သည်။

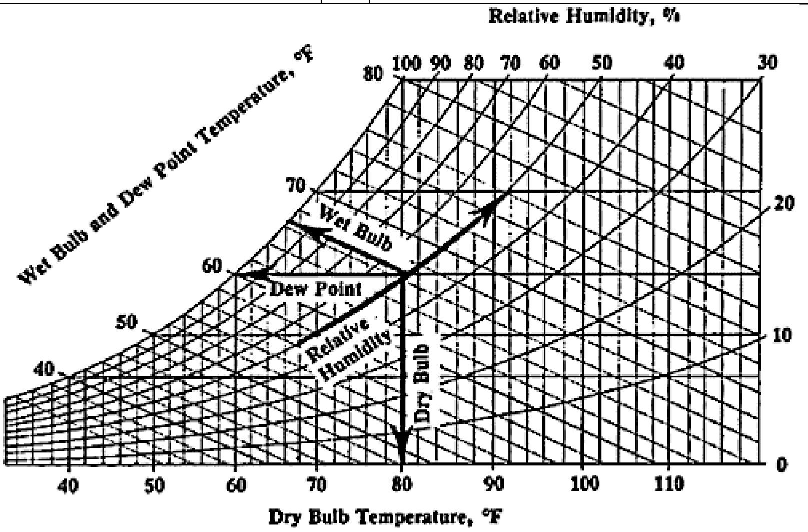
(ခ) ထိုနောက် RH လိုင်းမျဉ်းကွေးများမှ 50% RH လိုင်းကိုရှာပါ။ ထိုလိုင်းသည် 50% Relative Humidity(RH)

လိုင်း(50% RH လိုင်း) ဖြစ်သည်။

(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 အပူချိန်တန်ဖိုး 59°F ကို ရမည်။ ရေသီးခြင်း(condensation) မဖြစ်ရန်အတွက် ထိုအဆောက်အဦးနံရံ၏ အပူချိန်ကို 59°F ထက်များ(မြင့်)အောင် ထိန်းထားရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရေသီးခြင်း(condensation) မဖြစ်ရန်အတွက် Dew Point အပူချိန်ထက် ပိုမြင့်အောင် ထိန်းထားရမည်။

ထိုဖြတ်မှတ်မှ ဘယ်ဘက်သို့ စောင်းနေသည့် Wet Bulb လိုင်းများအတိုင်းဖတ်လျှင် Wet Bulb အပူချိန်67°F ကိုရမည်။ အောက်ပုံတွင် ဖော်ပြထားသည်။

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



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

၂.၅.၄ အေးသည့်မျက်မှာပြင်များပေါ်၌ Condensation ဖြစ်ပေါ်ခြင်း

ငယ်စဉ်ကလေးဘဝက ရေငွေ့ရိုက်ပြီး အစိုပြန်နေသည့် ပြူတင်းပေါက်မှန်ပေါ် □ အရုပ်ကလေးများ ရေးဆွဲခဲ့ကြဖူးလိမ့်မည်။ ပြူတင်းပေါက်မှန်၏ အပူချိန်သည် ပြင်ပလေထု၏ Dew Point အပူချိန် ထက်နိမ့်ဆင်းလာသည့်အခါ လေထုထဲရှိ ရေငွေ့(water vapour)များကို ပြူတင်းပေါက်မှန်ပေါ်တွင် ရေသီးခြင်း (condensation) အဖြစ် တွေ့မြင်ရခြင်း ဖြစ်သည်။

အရာဝတ္ထုတစ်ခု၏ အပူချိန်သည် လေ၏ Dew Point အပူချိန်(temperature)ထက်မြင့်(ပူ)နေပါက condensation မဖြစ်နိုင်ပါ။ အရာဝတ္ထုတစ်ခု ၏အပူချိန်သည် လေ၏ Dew Point အပူချိန်(temperature) ထက်နိမ့်(အေး)နေပါက condensation ဖြစ်လိမ့်မည်။

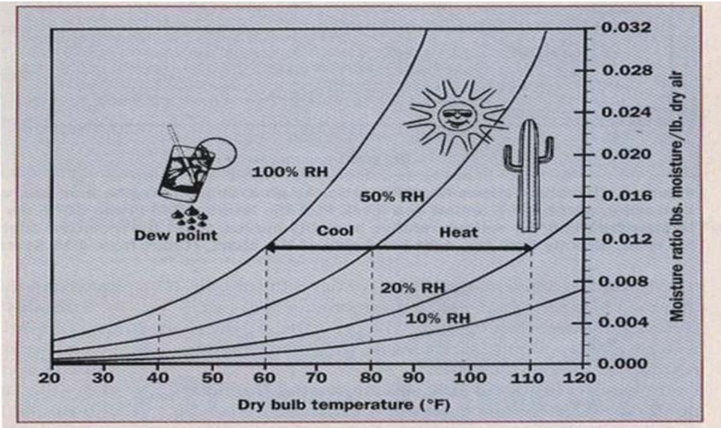


Figure 1. The psychrometric chart is a simple but accurate method of showing the many properties of air and water vapor under different conditions. (Chart from ADA Systems.)

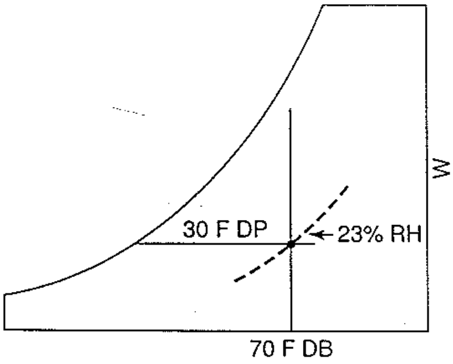
ပုံ ၂-၂၉ Condensation　　　　ပုံ ၂-၃၀ Relative Humidity

အရာဝတ္ထုတစ်ခု၏ အပူချိန်သည် လေ၏ Dew Point အပူချိန်(temperature)ထက်မြင့်(ပူ)နေပါက condensation မဖြစ်နိုင်ပါ။ အရာဝတ္ထုတစ်ခု ၏အပူချိန်သည် လေ၏ Dew Point အပူချိန်(temperature) ထက်နိမ့်(အေး)နေပါက condensation ဖြစ်လိမ့်မည်။

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

Condensation ဖြစ်ခြင်းကြောင့် အရာဝတ္ထုများ၏ မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ရေစက် ရေပေါက်ကလေးများကို ဖြစ်စေသည်။ ညစ်ပတ်ခြင်း၊ အရောင်ပြောင်းစေခြင်းတို့ကြောင့် ရေသီးခြင်း (condensation)သည် မလိုလားအပ်သည့် အရာဖြစ်သည်။

ဥပမာ - ဆောင်းဥတုတွင်း အခန်းတစ်ခု အတွင်းရှိ မှန်တစ်ထပ်ဖြင့်သာ ပြုလုပ်ထားသော ပြူတင်းပေါက်(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

ပြူတင်းပေါက်မှန်၏ အပူချိန် အတွင်းဘက်သည် 70°F DB အပြင်ဘက်သည် 30°F DB ဖြစ်သည်။ မှန်၏ အပူချိန်သည် 30°F ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့်မှန်၏ အနီးအနားတွင်ရှိသော လေ၏ အပူချိန်သည် 30°F ဖြစ်သည်။

ရေသီးခြင်း(condensation) မဖြစ်ပေါ်စေရန် အခန်းတွင်းရှိ လေ၏ Dew Point အပူချိန်သည် 30°F ထက်မနိမ့်ရပေ။ Psychometric chart ပေါ်တွင် Dry Bulb 70°F နှင့် Dew Point 30°F တို့၏ ဆုံမှတ်မှ Relative Humidity(RH) ကို ဖတ်လျှင် ၂၃% ကိုရသည်။

ရေသီးခြင်း(condensation) မဖြစ်စေရန် အမြင့်ဆုံး လက်ခံနိုင်သည့် RH တန်ဖိုးသည် ၂၃% ဖြစ်သည်။ မှန်ကို နှစ်ထပ် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် အခန်းတွင်း RH% ကို မြှင့်တင်နိုင်သည်။

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

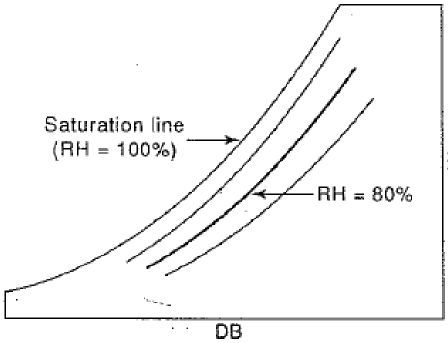
၂.၅.၅ Humidity Ratio လိုင်းများ

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

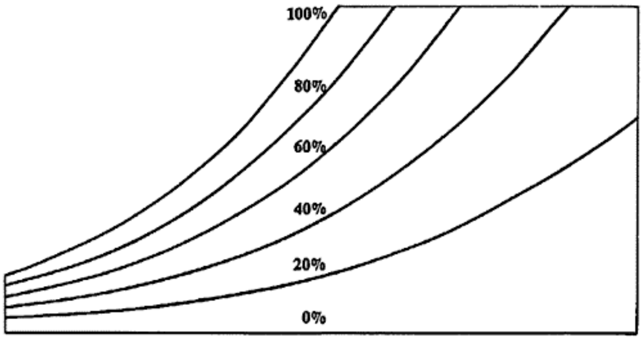
$$\boldsymbol{Humidity\ Ratio}(\%) = \frac{\boldsymbol{mass\ of\ water\ vapor}(\boldsymbol{lb\ or\ kg})}{\boldsymbol{mass\ of\ dry\ air}(\boldsymbol{lb\ or\ kg})}$$

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 ကို အပူချိန် relative လုပ်ပြီးမှ saturation ရာခိုင်နှုန်း(percentage)ကိုဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။ ဖော်ပြသည့်အချိန်တွင်ရှိသည့် လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်ပေါ်တွင် မူတည်၍ ရာခိုင်နှုန်းမည်မျှ saturation ဖြစ်နေသည်ကို ဖော်ပြသည်။

လေသည်လက်ရှိ Dry Bulb အပူချိန်၌ ရာခိုင်နှုန်းမည်မျှ saturation ဖြစ်ပြီးသည်ကို ဖော်ပြသည်။ 100% 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။

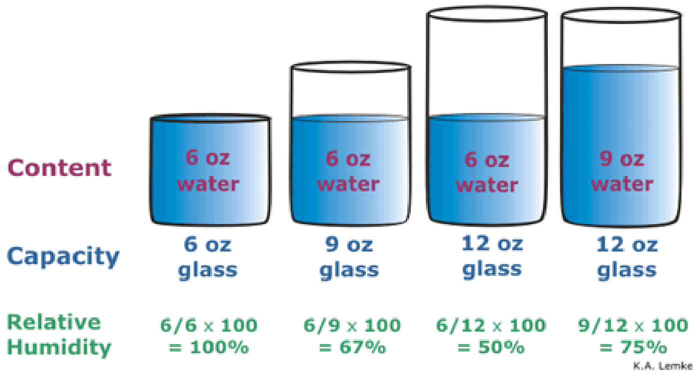
တစ်ခါတစ်ရံ လေထုထဲတွင် ရေငွေ့အလေးချိန်(weight) မည်မျှပါဝင်နေသည်ကို abolute တန်ဖိုးဖြင့် တိုက်ရိုက် ဖော်ပြသည်။ Relative Humidity(RH) သည် လေထဲတွင် ရေငွေ့မည်မျှပါဝင်နေသည်ကို ရာခိုင်နှုန်းဖြင့် ညွှန်ပြသည်။ Relative Humidity(RH) သည် water vapor density (mass per unit volume) နှင့် saturation water vapor density ၏အချိုးဖြစ်ပြီး ရာခိုင်နှုန်းဖြင့် ဖော်ပြသည်။

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

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

$$\text{Relative Humidity}\ (\%) = \frac{\text{လေမှသယ်ဆောင်ထားပြီးဖြစ်သည့်ရေငွေ့ပမာဏ}}{\text{အပူချိန် တစ်ခု၌လေမှအများဆုံးသယ်ဆောင်ထားနိုင်သည့်ရေငွေ့ပမာဏ}}$$

Relative Humidity(RH) သည် actual vapour pressure နှင့် saturation vapour pressure တို့၏ အချိုးလည်းဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၃၄

Capacity သည် လေမှအများဆုံး သယ်ဆောင်ထားနိုင်သည့် ရေငွေ့ပမာဏဖြစ်ပြီး ခွက်၏ထုထည်ဖြင့် ဥပမာပေးနိုင်သည်။

Content သည် လေမှ သယ်ဆောင်ထားပြီးဖြစ် သည့် ရေငွေ့ပမာဏဖြစ်ပြီး ခွက်ထဲ၌ ရှိနေသည့် ရေထုထည်ဖြင့် ဥပမာပေးနိုင်သည်။

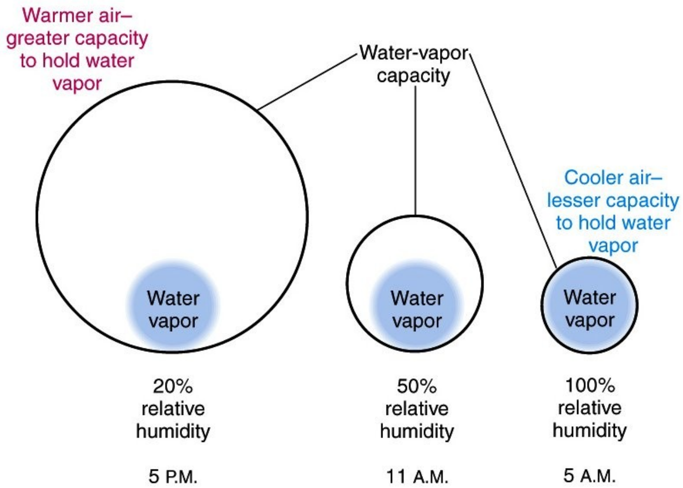
- Dry Bulb တန်ဖိုးသည် ရေထည့်နိုင်သည့်ပုံးနှင့် ပမာတူညီသည်။ Dry Bulb တန်ဖိုးမြင့်လေလေ ပုံးအရွယ်အစားကြီး လေလေဖြစ်သည်။
- Wet Bulb တန်ဖိုးသည် ရေပုံးထဲရှိ ရေပမာဏနှင့် တူညီသည်။ Wet Bulb တန်ဖိုး တန်ဖိုးမြင့်လေလေ ပုံးထဲ၌ ရေပမာဏများလေလေဖြစ်သည်။
- ပုံးအရွယ်အစားထက်ပိုကြီးသည့် ရေပမာဏ ကို ရေပုံးထဲသို့ မထည့်နိုင်သကဲ့သို့ Wet Bulb တန်ဖိုးသည် Dry Bulb တန်ဖိုးထက် ပိုမများနိုင်ပေ။

ဥပမာ- လေလုံသောပုံး သို့မဟုတ် ပုလင်းတစ်ခု အတွင်း၌ရှိသည် လေထဲတွင် သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့သည် အပူချိန်နှင့် လိုက်၍ပြောင်းလဲနေသည်ကို လေ့လာနိုင်သည်။ ထို ပုံးသို့မဟုတ်ပုလင်း တစ်ခု အတွင်းသို့ ရေငွေ့ များ မဝင်အောင် သို့မဟုတ် မထွက်အောင်ထိန်းထားနိုင်လျှင် Relative Humidity(RH) နှင့် Dry Bulb အပူချိန် စပ်ဆက်ပုံကို အောက်ပါ အတိုင်းလေ့လာတွေ့ရှိနိုင်သည်။

လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်နိမ့်လေလေ ရေငွေ့များ(water vapor)ကို သိုလှောင်သိမ်းဆည်းနိုင်စွမ်း နည်းလေလေဖြစ်သည်။ လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်မြင့်လေလေ ရေငွေ့များ(water vapor)ကို သိုလှောင် သိမ်းဆည်းနိုင်စွမ်း များလေလေဖြစ်သည်။

20% Relative Humidity(RH) - ညနေ(၅)နာရီ အချိန်တွင် Dry Bulb အပူချိန် မြင့်သောကြောင့် လေထုသည် ရေငွေ့ သယ်ဆောင်နိုင်ထားစွမ်း များသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ထိုအခိုက်၌ရှိသော လေထုသည်

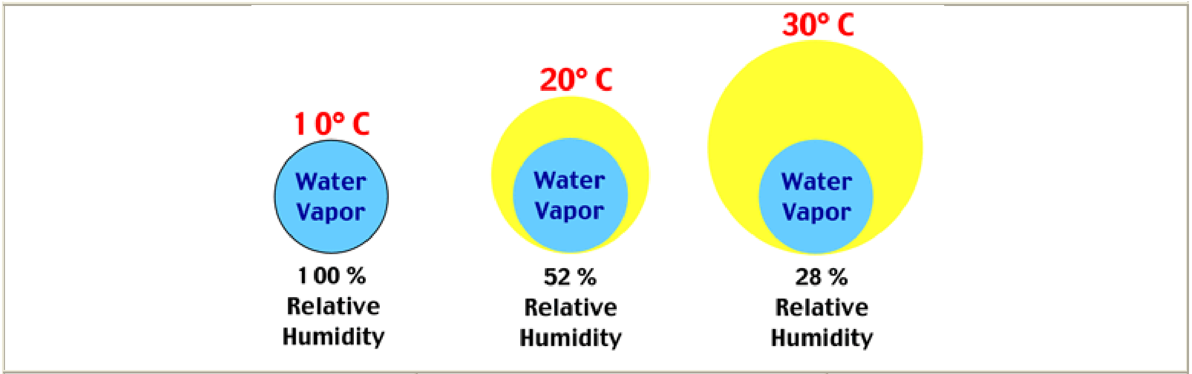
သယ်ဆောင်နိုင်သည့် ပမာဏ၏ ၂၀% ရေငွေ့များ(water vapor)ကို သယ်ဆောင်ထားပြီး ဖြစ်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။ ၈၀% ထပ်၍ သယ်ဆောင်နိုင်သေးသည် ဟုလည်းဆိုနိုင်သည်။



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

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 ဖြစ်သည် ဟုဆိုလိုသည်။ နောက်ထပ် ၅၀%ထပ်၍ သယ်ဆောင်နိုင်သေးသည် ဟုလည်းဆိုနိုင်သည်။ 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 အခြေအနေသုံးခုစလုံးတွင် ရေငွေ့များ(water vapor)၏ Absolute ပမာဏ မှာ တူညီကြသော်လည်း Relative Humidity(RH) မှာ မတူညီကြပေ။ Relative Humidity(RH) သည် လက်ရှိဂဏ၏ အပူချိန်ကို(present temperature)မှီနေသောကြောင့် လက်ရှိအပူချိန်(present temperature)ပြောင်းတိုင်း Relative Humidity (RH) လိုက်ပြောင်းနေသည်။

Relative Humidity(RH) လိုင်းများမှ 100% RH လိုင်းကို Saturation Line ဟုလည်းခေါ်သည်။

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) နည်းလာလေလေ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb အပူချိန် တို့၏ ခြားနားချက် များလာလေလေ ဖြစ်သည်။ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb ခြားနားချက်ကို Wet Bulb depression ဟုခေါ်သည်။

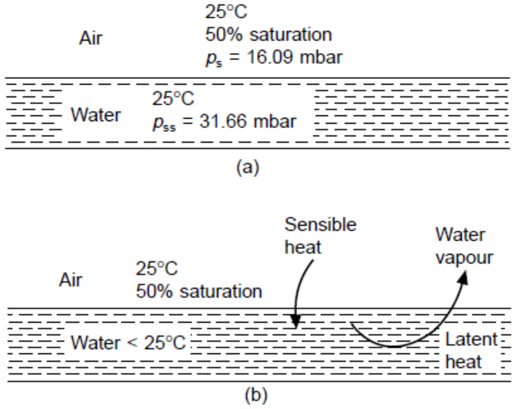
$$\boldsymbol{Wet\ bulb\ depression = Dry\ bulb\ -\ Wet\ bulb}$$

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 ရေငွေ့ပမာဏတို့တူညီလျှင် ရာနှုန်းပြည့် သယ်ဆောင်ထားပြီး ဖြစ်သည်။ ထိုအခြေအနေကို 100% Relative Humidity ဟုခေါ်သည်။ ထိုအခြေအနေတွင်ရှိသောလေကို Saturated Air ဟုခေါ်သည်။ ထိုအချိန်တွင် Dry Bulb အပူချိန်၊ Wet Bulb အပူချိန် နှင့် Dew Point အပူချိန် တို့တူညီကြသည်။

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

လေသည် ရေငွေ့များဖြင့်လုံးဝပြည့်ဝနေသော(saturated) အခြေအနေ(100% saturation)တွင် ရေငွေ့ (water vapour)ကို ဆက်လက်သယ်ဆောင်ထားနိုင်စွမ်း မရှိတော့ပေ။ သို့သော် ရေငွေ့များဖြင့် မပြည့်မဝ ဖြစ်နေသော unsaturated (100 % saturation ထက်နည်းသည်။) အခြေအနေတွင် ရေငွေ့(water vapour)ကို သယ်ဆောင်အတွက် ထပ်မံလက်ခံနိုင်သည်။



ပုံ ၂-၃၇ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်ပုံ

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

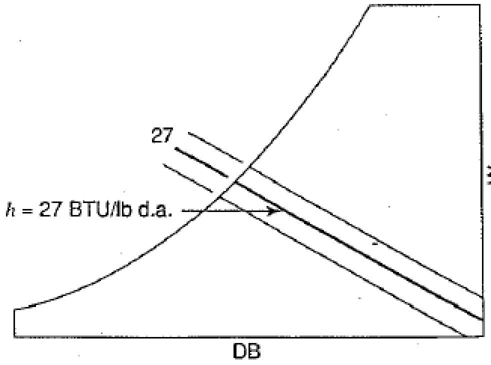
ပုံ(b)တွင် ရေ၏အပူချိန် 25°C ထက်နိမ့်သည့် အခိုက်တွင် လေ၏ အပူချိန်ပိုမြင့် နေသော ကြောင့် အပူချိန် 25°C လေမှ ရေသို့ sensible heat ကူးပြောင်းခြင်း(transfer) ဖြစ်ပေါ်သည်။ ရေသည် sensible heat ရရှိသည့် အခါ အသွင်(state)ပြောင်းလဲခြင်းဖြစ်ရန်အတွက် လိုအပ်သော latent heat အဖြစ်သို့ ရောက်စေပြီး ရေမှ ရေငွေ့(water vapour)အဖြစ်သို့ပြောင်းလဲစေသည်။

ထိုသို့ဖြစ်ခြင်းကို ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ဟုခေါ်သည်။ ရေသည် အရည်(liquid)အခြေအနေမှ ရေငွေ့(water vapour)အခြေအနေ သို့ရောက်ရန်အတွက် latent heat လိုအပ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် phase ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်ပေါ်ရန် အတွက် latent heat လိုအပ်သည်။

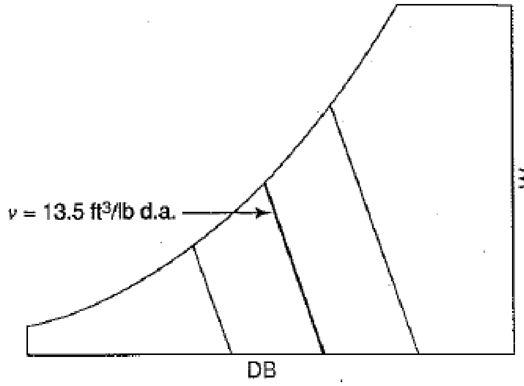
Relative Humidity(percent)နည်းလာလေလ Wet Bulb အပူချိန် နှင့် Dew Point အပူချိန် သည် Dry Bulb အပူချိန် ထက်နည်းလာလေလေဖြစ်သည်။ Relative Humidity (percent)နည်းလာလေလ Wet Bulb depression များလာလေလေ သို့မဟုတ် လေသည် ပို၍ ခြောက်သွေ့ လာလေလေ ဖြစ်သည်။

၂.၅.၇ လေတစ်ယူနစ်၏ ထုထည်(Specific Volume)

Specific volume ဆိုသည်မှာ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) အလေးချိန် တစ်ယူနစ်သည် လေထုထည်(volume)မည်မျှနှင့် ညီသည်ကို ဖော်ပြသည်။ Specific volume ၏ SI ယူနစ် သည် m^3/kg ဖြစ်သည်။ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) အလေးချိန် တစ်ကီလိုတွင်ရှိသည့် ထုထည်(volume)ကို ကုဗမီတာ(m^3) ဖြင့် ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။ Specific volume ၏ IP ယူနစ် မှာ ft^3/lb ဖြစ်သည်။ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) အလေးချိန် တစ် ပေါင်တွင်ရှိသည့် ထုထည်(volume)ကို ကုဗပေ(ft^3)ဖြင့် ဖော်ပြခြင်းဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၃၈ Constant Enthalpy လိုင်းများ

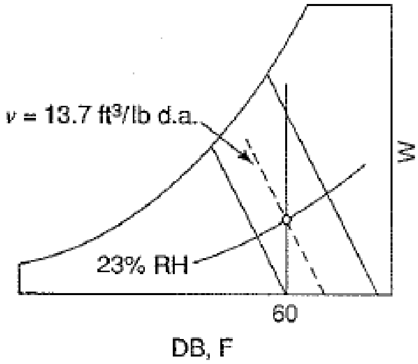


ပုံ ၂-၃၉ Constant specific volume လိုင်းများ

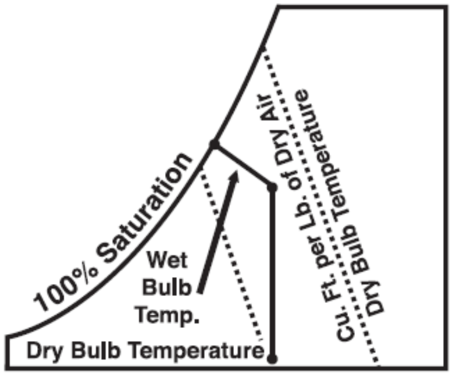
Specific volume လိုင်းများသည် ဘယ်ဘက်သို့စောင်းနေသည့် လိုင်းများဖြစ်သည်။ Specific volume လိုင်း နှင့် constant enthalpy line လိုင်း နှစ်မျိုးစလုံးသည် ဘယ်ဘက်သို့ စောင်းနေကြသည့် လိုင်းများ ဖြစ်ကြသည်။ သို့သော် specific volume လိုင်းများသည် ပို၍မတ်ဆောက်ကြသည်။ မှား၍မဖတ်မိစေရန် သတိပြုသင့်သည်။

Psychromatic chart ပေါ်တွင် ညာဘက်သို့ရောက်လေလေ Dry Bulb များလေလေ (ပိုပူလေလေ) ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ညာဘက်၌ရှိသည့် specific volume လိုင်းများသည် ပို၍ specific volume တန်ဖိုးမြင့်ကြသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် လေသည် ပူလျှင်ပွလာသောကြောင့် အလေးချိန်တူသော်လည်း 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)

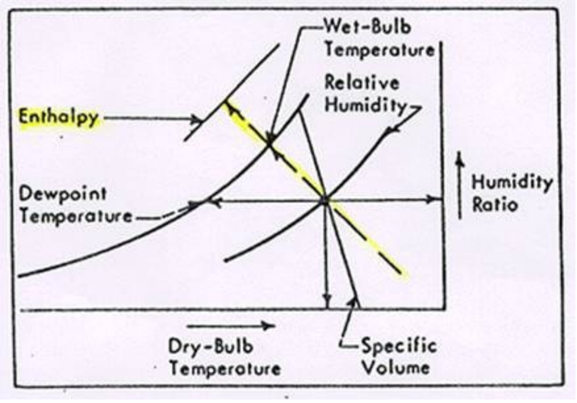
Enthalpy ၏ အဓိပ္ပာယ်ဖွင့်ဆိုချက်များ အလွန်များပြားသည်။ အတိအကျ အသေးစိတ် ရှင်းပြရန် ခက်ခဲလှသည်။ ဂျက်အင်ဂျင်၊ ဒုံးပျံအင်ဂျင်တို့၏ တွန်းကန်အားတွက်ချက်ရာမှစ၍ အက်တမ်နှင့် မော်လီကျူးများ ဓာတုဗေဒနည်းဖြင့် ပေါင်းစပ်ခြင်း၊ ပြိုကွဲခြင်း တို့ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသည့် အပူစွမ်းအင် ပမာဏရရှိရန် enthalpy ကို အခြေခံ၍ တွက်ချက်ကြသည်။

Enthalpy ဆိုသည်မှာ thermodynamic system တစ်ခု ၏ စွမ်းအင်စုစုပေါင်း(total energy)ဖြစ်သည်။ စွမ်းအင် စုစုပေါင်း(total energy)တွင် internal energy လည်းပါဝင်သည်။ Thermodynamic system ဆိုသည်မှာ မိမိလေ့လာမည့် နယ်နမိတ်ကို ကန့်သတ်ထားသည့် အတိုင်းအတာ(control volume)တစ်ခု ဖြစ်သည်။ မိမိက တာဘိုင် (gas burbine) ကိုလေ့လာနေသည်ဆိုလျှင် တာဘိုင် (gas burbine)သည် thermodynamic system တစ်ခုဖြစ်သည်။ မိမိက ရေမော်လီကျူး ၏ thermodynamic ကိုလေ့လာနေသည်ဆိုလျှင် ရေမော်လီကျူး သည် မိမိ၏ thermodynamic system တစ်ခု ဖြစ်သည်။

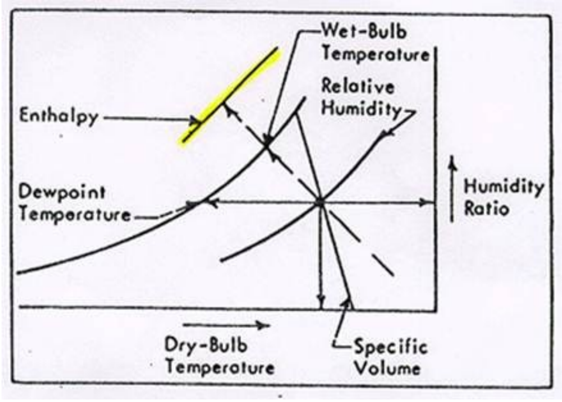
Enthalpy ဆိုသည်မှာ thermodynamic potential ဖြစ်သည်။ Thermodynamic potential ဆိုသည်မှာ အရာဝတ္ထုတစ်ခု သို့မဟုတ် system တစ်ခုက သိုလှောင်ထားသည့် အပူစွမ်းအင်ပင်ဖြစ်သည်။ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) မှ သိုလှောင်ထားသည့် အပူစွမ်းအင် သို့မဟုတ် enthalpy သည် sensible heat ဖြစ်သည်။ ရေငွေ့များ(water vapor)သိုလှောင်ထားသည့်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

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

ရေခဲအဖြစ်မှ ရေ အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲရန် လိုအပ်သောစွမ်းအင်သည် "Enthalpies of Fusion of Ice" ဖြစ်သည်။ System တစ်ခုအတွင်း ပါဝင်သည့် အပူပမာဏ(heat content)ကို Enthalpy ဟုလည်းခေါ်သည်။ ဓာတ်ပြုခြင်း(chemical reaction) သို့မဟုတ် physical process အတွင်းပြောင်းလဲသွားသည့် အပူပမာဏကို Enthalpy ဟုလည်းခေါ်ပြီး ΔH သို့မဟုတ် Δh ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။



ပုံ ၂-၄၂ Enthalpy လိုင်း



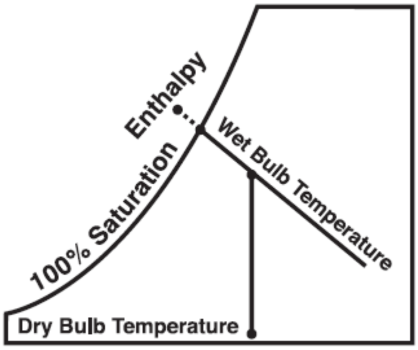
ပုံ ၂-၄၃ Enthalpy လိုင်း

Constant Enthalpy လိုင်းများသည် constant Wet Bulb လိုင်းများနှင့် အနီးစပ်ဆုံးတူညီကြသည်။ ထို့ကြောင့် လိုင်းတစ်ကြောင်းတည်းကိုပင် scale (Enthalpy scale နှင့် Wet Bulb scale)နှစ်မျိုးဖြင့် ဖတ်၍ အသုံးပြုကြသည်။

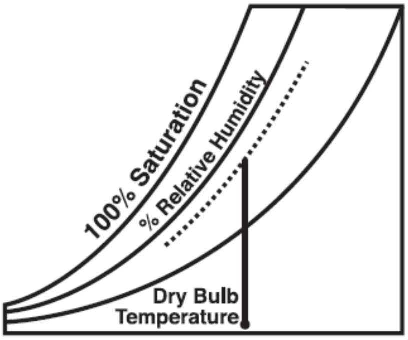
အောက်ပုံတွင်ဖော်ပြထားသော လိုင်းများမှာ constant enthalpy လိုင်းများဖြစ်သည်။

အနည်းငယ်သော အမှား(error)ရှိသော်လည်းမပြောပလောက်ပေ။ Wet Bulb ၏တန်ဖိုးများကို ၁၀၀%RH လိုင်း အနီးတွင်ဖော်ပြထားပြီး 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



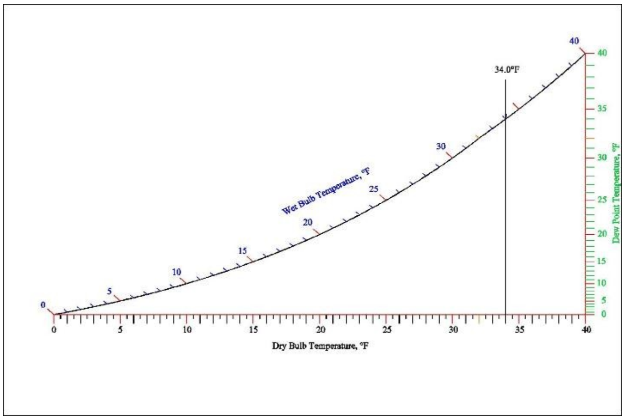
ပုံ ၂-၄၅ Relative Humidity (%) လိုင်း

Dry Bulb နှင့် Wet Bulb ဖြတ်မှတ်မှ Enthapy ကိုဖတ်ယူနိုင်သည်။

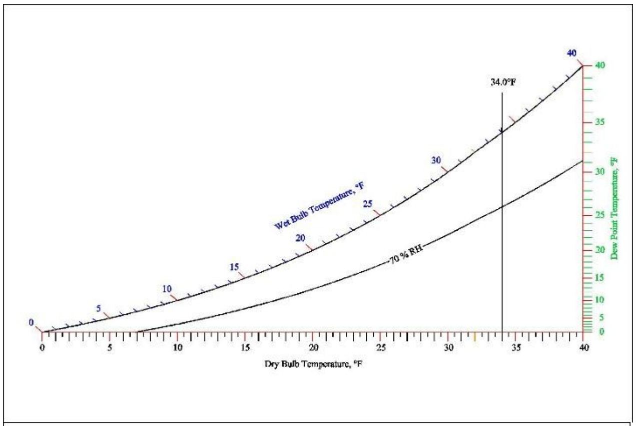
ဥပမာ

အပူချိန် 30°C Dry Bulb နှင့် 65%RH ရှိသော လေ၌ သိုလှောင်ထားသောအပူစွမ်းအင်(Enthalpy)မှာ 75 kJ/kg ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ ထိုလေသည် 25°C သို့အပူချိန်ကျဆင်းသွားပါက 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 အပူစွမ်းအင်ပမာဏကို ဖယ်ထုတ်ရမည်။

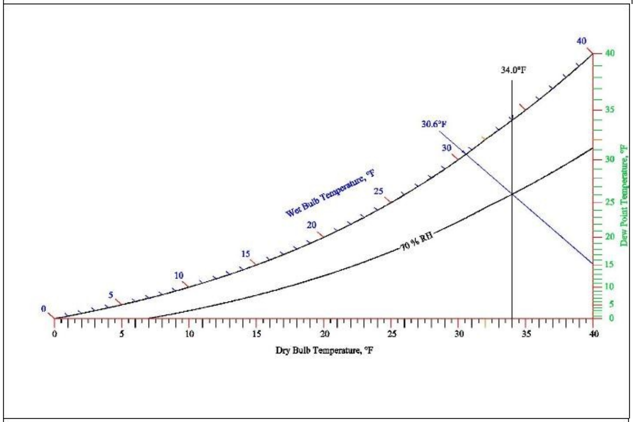
ဥပမာ(IP ယူနစ်)34°F Dry Bulb နှင့် 70% RH တို့မှ လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများကို Psychrometric chart မှ ဖတ်ယူနည်းကို ဖော်ပြ ထားသည်။



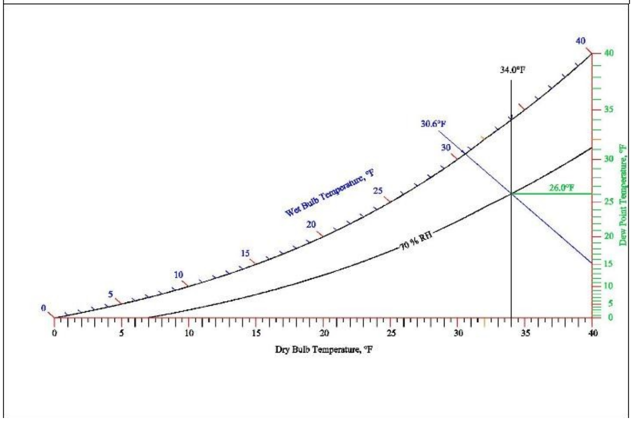
psychrometric chart ပေါ်တွင် Dry Bulb အပူချိန်လိုင်းမှ 34°F နေရာတွင် မျဉ်းမတ် (vertical line)တစ်ကြောင်း ထောင်ပါ။



RHလိုင်းမျဉ်းကွေးများမှ 70% RH line ကို ရှာ၍ 34°F Dry Bulb အပူချိန်လိုင်းနှင့် ဖြတ်သော နေရာတွင် ဖြတ်မှတ် (intersection point) တစ်ခုရမည်။



34°F Dry Bulb အပူချိန်လိုင်း နှင့် 70% Relative Humidity(RH) လိုင်း ၏ ဖြတ်မှတ် (intersection point)မှစ၍ Wet Bulb လိုင်းများ နှင့် ပြိုင်သည့် မျဉ်းပြိုင်တစ်ကြောင်းကို ကို ဆွဲပါ။ Wet Bulb လိုင်း၏တန်ဖိုး ကိုရှာပါ။



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။

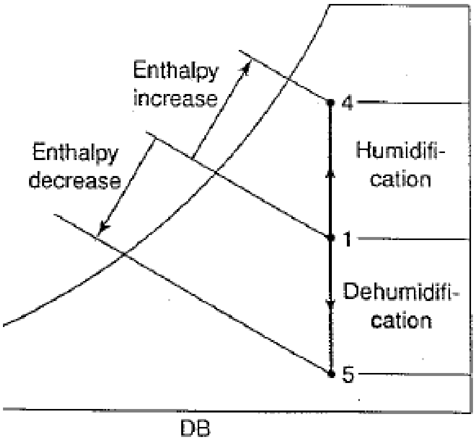
(ဂ) လေထုအတွင်းရှိရေငွေ့ပါဝင်မှု(water vapour content) ပမာဏသည် ပြောင်းလဲခြင်းမရှိပေ။

(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။

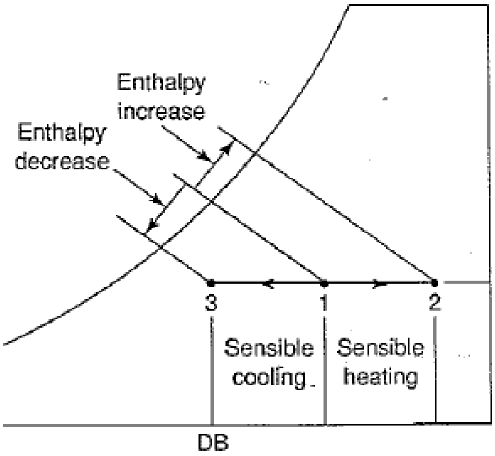
Parameters	Sensible heating (heat gain ဖြစ်ခြင်းကြောင့်)	Sensible cooling (heat loss ဖြစ်ခြင်းကြောင့်)
Dry Bulb Temperature	များလာသည်။(increases)	နည်းသွားသည်။(decreases)
Enthalpy	များလာသည်။(increases)	နည်းသွားသည်။(decreases)
Humid Volume	များလာသည်။(increases)	နည်းသွားသည်။(decreases)
Wet Bulb Temperature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

၂.၇ Latent Heat ပြောင်းလဲခြင်း (Humidification နှင့် Dehumidification)

လေထုအတွင်းသို့ ရေငွေ့များဝင်ရောက်သွားခြင်း(water vapour addition) ဖြစ်စဉ်ကို "Humidification" ဖြစ်စဉ် ဟုခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေထုသည် ရေငွေ့များက စုပ်ယူသယ်ဆောင်သွားခြင်း ကို "Humidification" ဖြစ်စဉ်ဟု ခေါ်သည်။ လေထုထဲမှ ရေငွေ့များ(water vapor)ကို စွန့်ထုတ် ပစ်ခြင်း (remove)ပြုလုပ်လျှင် ရေငွေ့ဖယ်ထုတ်ခြင်း(dehumidification)ဖြစ်စဉ် ဟုခေါ်သည်။



ပုံ ၂-၄၆ Humidification နှင့် dehumitification

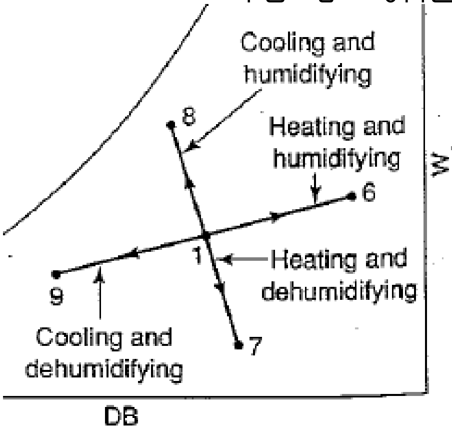


ပုံ ၂-၄၇ Sensible heating နှင့် sensible cooling process

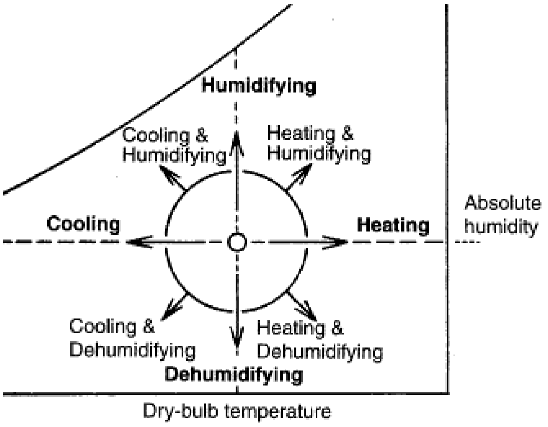
လက်တွေ့ ဖြစ်စဉ်(process)များတွင် အနည်းဆုံး ဖြစ်စဉ်(process)နှစ်မျိုး မက ပါဝင်ကြသည်။ Cooling နှင့် Dehumidifying ဖြစ်စဉ်သည် cooling coil များတွင်ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။ Cooling နှင့် humidifying

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

ရေငွေ့(water vapor)များ လေထဲကို ထည့်ခြင်းကြောင့် humidification ratio တက်လာသည်။ Enthalpy လည်း တက်လာသည်။ Latent heat တန်ဖိုးပြောင်းလဲခြင်း 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 water vapour ၏ sensible heat ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်သည်။

Sensible heat ပြောင်းလဲခြင်း process တွက်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည့် IP ယူနစ် ပုံသေနည်းမှာ

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

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

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

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

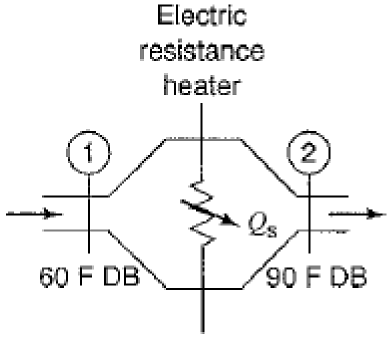
Mw=Mass of water vapour = weight of water vapour(lb/hr)

$\Delta t = t_2 - t_1$= temperature change in(°F)

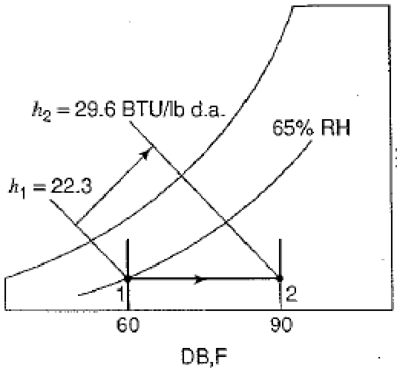
ဥပမာ- အခန်းတစ်ခုအတွင်းမှ အပူချိန် 60°F Dry Bulb ရှိသော လေကို 90°F Dry Bulb သို့ရောက်အောင် လျှပ်စစ်အပူပေးစက်(electric heater)ဖြင့် အပူပေးရန် လိုသည်။ ထိုအခန်းအတွက် လေစီးနှုန်း(air flow rate) 400 lb/hr လိုအပ်လျှင် ထိုအပူပေးစက်(heater)၏ capacity ကိုရှာပါ။

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

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



ပုံ ၂-၅၀ Electric resistance heater



ပုံ ၂-၅၁ Heating process

လေထဲတွင် ရေငွေ့(water vapor) မည်မျှပါဝင်နေသည်ကို တွက်ရန် အချက်အလက် မပေးထားပါ။ ရေငွေ့(water vapor)၏ sensible heat ပမာဏမှ အလွန် နည်းပါးသောကြောင့် 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 1kw/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

ထို့ကြောင့်water vapour 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(90-60)+ 0.45 x 2.9 x(90-60)

= 2880 + 39 = 2919 Btu/hr

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

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 သို့ပြောင်းလိုလျှင် →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 ထက်ပို များသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် mass flow rate သာ တူညီပြီး volume matric flow rate မတူညီသောကြောင့်ဖြစ်သည်။

ဝင်လေ နှင့် ထွက်လေတို့၏ CFM မတူညီကြသောကြောင့် air con equipment များ ရွေးချယ်ရာတွင် မှားယွင်းမှုများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် CFM သတ်မှတ်ဖော်ပြသည့် နေရာ၏ အပူချိန်နှင့် ဖိအား(pressure) တို့ကိုဖော်ပြပေးရန် လိုအပ်သည်။ သို့သော် ထုတ်လုပ်သူများ အနေနှင့် အသုံးပြုသူများသည် မည်သည့်အမြင့်၊ ရာသီဉတုတွင် အသုံးပြုကြမည်ကို မသိနိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturer) သည် standard air condition ၏ CFM ကို ဖော်ပြကြရသည်။

"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 အင်ဂျင်နီယာ များ အသုံးများသော ပုံသေနည်းများမှာ

$$\boldsymbol{Qs\ (Btu/h) = 1.1\ x\ CFM\ x\ \Delta t(℉)(IP\ Unit)}$$

$$\boldsymbol{Qs\ (Watt) = 1.232\ x\ Liter/Sec\ x\ \Delta t(℃)(SI\ Unit)}$$

အထက်ပါ ပုံသေနည်းသည် လုပ်ငန်းခွင်တွင် အသုံးပြုရန် အလွန်အဆင်ပြေသည်။ တိုင်းတာခဲ့သည့် CFM နှင့် အပူချိန်ကို တိုက်ရိုက်ထည့်၍ တွက်ယူနိုင်သည်။

ဥပမာ- cooling coil တစ်ခုသည် sensible cooling capacity 50,000 Btu/hr ကိုပေးနိုင်သည်။ 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 သတ်မှတ် ထားသည့် အတိုင်း ဖြစ်မဖြစ် စစ်ဆေးပေးပါ။

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

$$\boldsymbol{Qs\ \left(\frac{Btu}{h}\right) = 1.1\ x\ CFM\ x\ \Delta t(℉)(IP\ Unit)}$$

$$\boldsymbol{\Delta t\ (℉) = \frac{Q}{1.1\ x\ CFM} = \frac{5000}{1.1\ x\ 2000}}$$

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

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

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

$$\boldsymbol{Q\ latent\ heat\ (But/hr) = 0.68\ x\ CFM(W2' - W1')}$$

$$\boldsymbol{Q\ latent\ heat\ (Watt) = 3012\ x\ L/s\ x(W2' - W1')}$$

Q_L = Latent heat Change, Btu/hr or Watt

$W_2' - W_1'$ = Humidity Ration Change, grw/ lb da

၂.၈ Sensible နှင့် Latent Process နှစ်မျိုး တစ်ပြိုက်နက် ဖြစ်ပေါ်ခြင်း

Air conditioning system များ အားလုံးလိုလို၏ process များ၌ sensible heat နှင့် latent heat နှစ်ခုစလုံး တပြိုင်နက်ပြောင်းလဲခြင်းဖြစ်ပေါ်သည်။

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 ပုံသေနည်းဟုလည်းခေါ်သည်။

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-t_1)	**Q_S (Watt)**= 1.232 x L/s x(t_2-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-h_1)	**Q_{Total}(Watt)**= 1.2 x L/s x(h_2-h_1)

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

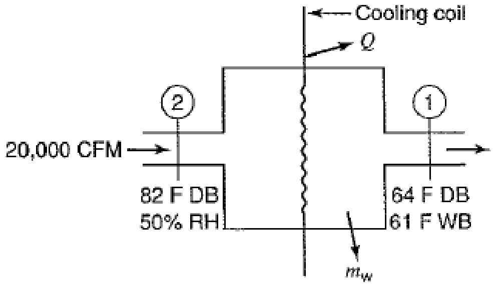
CFM သို့မဟုတ် L/s = Volume Flow Rate of Air being process.

h_2-h_1(Δh) = Enthalpy Change(Btu/lb °F) သို့မဟုတ် (kJ/kg °K)

t_2-t_1 (Δt) = temperature Change(˚C) သို့မဟုတ် (˚F)

$w_2 - w_1$(Δw) = Humidity Ration Change(lbw/lb d.a) သို့မဟုတ် (kg/kg d.a)

ဥပမာ



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။ supply air သို့မဟုတ် ထွက်သွားသော လေ(supply air)သည် 64˚F Dry Bulb နှင့် 61˚F WB ဖြစ်သည်။

ပုံ ၂-၅၂ Cooling process

အောက်ပါ တို့ကိုရှာပါ။

(၁) Sensible cooling capacity

(၂) Latent cooling capacity

(၃) Total cooling capacity နှင့်

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

အဖြေ

$$Q_{Sensible}(\text{Btu/hr}) = 1.1 \text{ x CFM x } \Delta t(°F)$$

$$= 1.1 \text{ x } 20{,}000 \text{ x } 18$$

$$= 396{,}000 \text{ Btu/hr}$$

Psychrometric Chart မှ W_1 နှင့် W_2 ကို ဖတ်ယူပါ။ w2 – w1 =82-75 = 7.0 gr w/lb da

$$Q_{Latent} = 0.68 \text{ x CFM x}(W2 - W1)$$

$$= 0.68 \text{ x } 20{,}000 \text{ x } 7.0$$

= 95,000 Btu/hr

စုစုပေါင်းဖယ်ထုတ်လိုက်သည့် အပူပမာဏ (total heat Removed)

$$Q_{Total} = Q_{Sensiblel} + Q_{Latent}$$

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

Total heat ကို Enthalpy မှ တွက်ယူနည်း?

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

h1 နှင့် h2 ကို Psychrometric မှ ဖတ်ယူပါ။

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

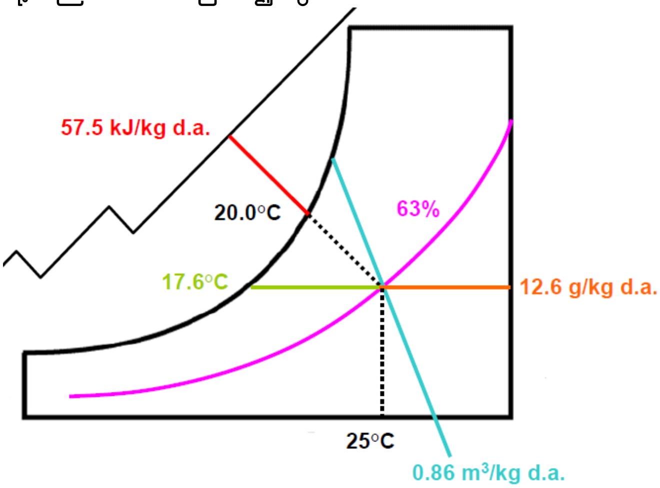
1 Refrigeration Ton = 12,000 Btu/hr = 3.517 kWthermal

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

လေထဲမှ ရေခိုးရေငွေ့များသည် cooling coil ၏ အေးသည့် fin များနှင့် ထိက condensation ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို condensation ဖြစ်ပေါ်သည့် ရေပမာဏ မှာ

$$W = \frac{\text{CFM}(W_2 - W_1)}{1556} \ x \frac{2000x7}{1556} = 90 \ \text{lb/hr}$$

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



ဥပမာ(SI unit)

Question - အဆောက်အဦးတစ်ခု အတွင်းမှ လေထု အပူချိန်သည် 25°C Dry Bulb နှင့် 20°C WB ဖြစ်လျှင် ထို လေထု၏ ဂုဏ်သတ္တိများ(properties)ကို ရှာပါ။ (SI ယူနစ်)

ပုံ ၂-၅၃

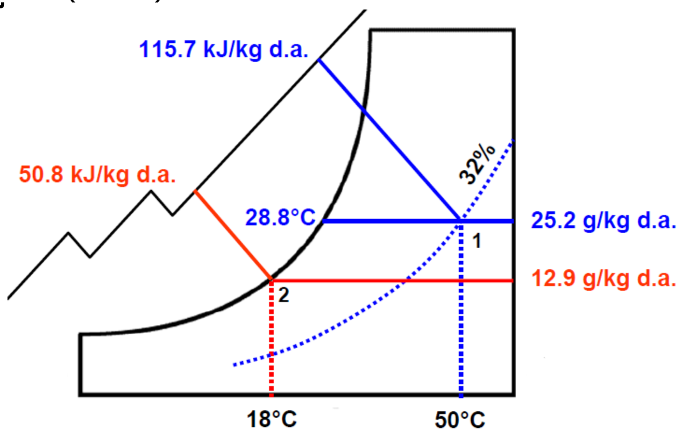
(က) 25° C Dry Bulb တန်ဖိုးများ မှ 25° C နေရာတွင် မျဉ်းမတ်တစ်ကြောင်းကို ထောင်ပါ။ ထို မျဉ်းမတ်သည် 25°C Dry Bulb လိုင်း ဖြစ်သည်။ အနက်ရောင် Dotted Vertical Line ဖြစ်သည်။

(ခ) 20° C Wet Bulb တန်ဖိုးများ မှ 20° C နေရာတွင် Wet Bulb မျဉ်းစောင်းအတိုင်းဆင်းပါ။ ထို မျဉ်းစောင်းသည် 20° C Wet Bulb လိုင်း ဖြစ်သည်။ အနက်ရောင် Dotted Slopping လိုင်း ဖြစ်သည်။

(ဂ) 25°C Dry Bulb လိုင်း နှင့် 20°C Wet Bulb လိုင်း တို့ဖြတ်သွားသော နေရာတွင် ဖြတ်မှတ်(intersection point)ကိုရမည်။ ထိုဖြတ်မှတ်(intersection point)မှ ကျန်ရှိသော အောက်ပါ ဂုဏ်သတ္တိများ(properties) ကို ဖတ်ယူ နိုင်သည်။

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)



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

Psychrometric chart သုံး၍ ဖတ်ယူရသည့် ဥပမာဖြစ်ကြသည်။ Psychrometric chart ပေါ်တွင် လေ၏ဂုဏ်သတ္တိ(air propertie)များကို လိုင်းအသီးသီးဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ http://www.acmv.org/ebook.html မှ PDF ဖိုင်တွင် အရောင်များဖြင့် လေ့လာနိုင်သည်။

EAT သည် Entering air temperature ကို ဆိုလိုသည်။
LAT သည် Leaving air temperature ကို ဆိုလိုသည်။

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

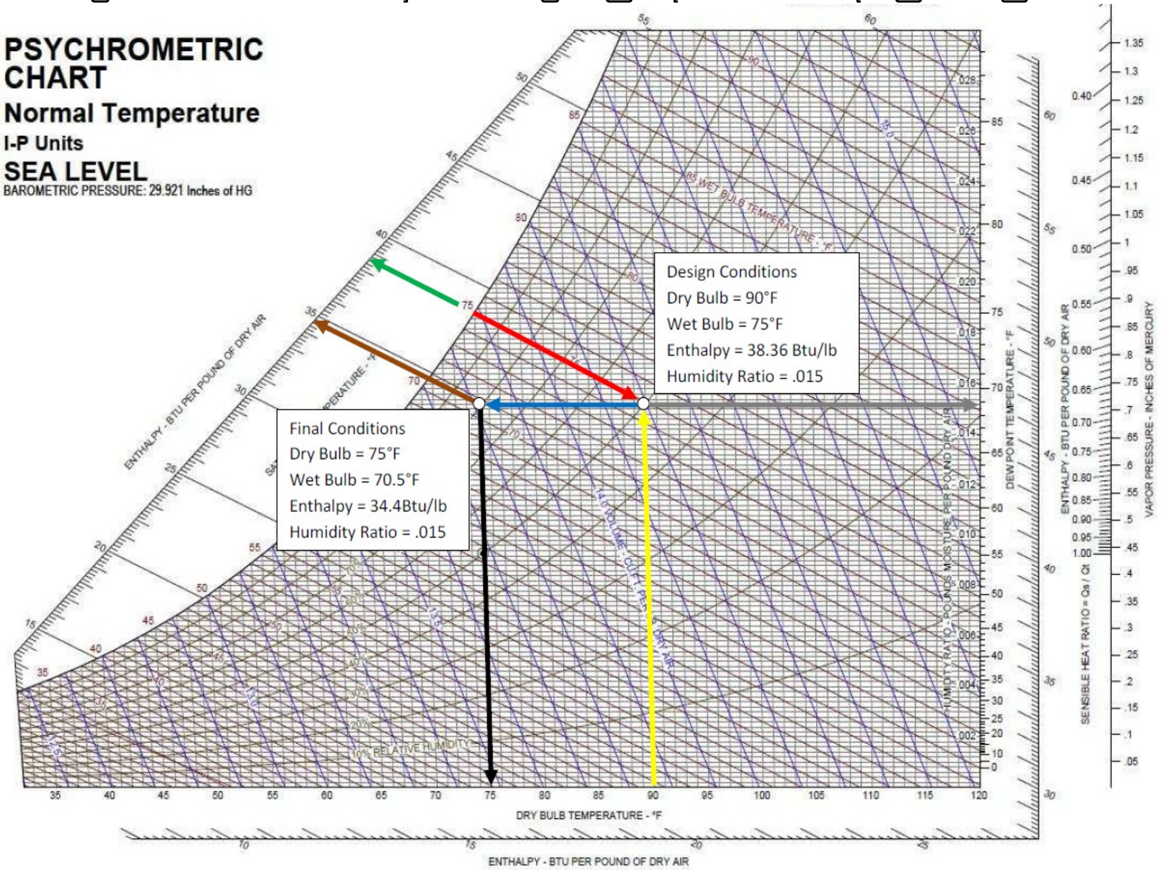
ဥပမာ 90°F Dry Bulb ၊ 75°F WB နှင့် 2000 CFM ပြင်ပလေ(outside air) ကို 75°F Dry Bulb နှင့် 70.5°F WB ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(design condition) သို့ရောက်အောင် sensible cooling လုပ်ရန်ဖြစ်သည်။

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

(က) ဒီဇိုင်း Dry Bulb အပူချိန်ကို အောက်ခြေမျဉ်း(bottom horizontal axis)ပေါ်တွင် ရှာပါ။ ဤ ဥပမာတွင် ဒီဇိုင်း Dry Bulb အပူချိန် မှာ 90°F ဖြစ်ပြီး အဝါရောင်မျဉ်းဖြစ်သည်။

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

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



ပုံ ၂-၅၅

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

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

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

cooling သာရှိပြီး latent cooling မဖြစ်ပေ။

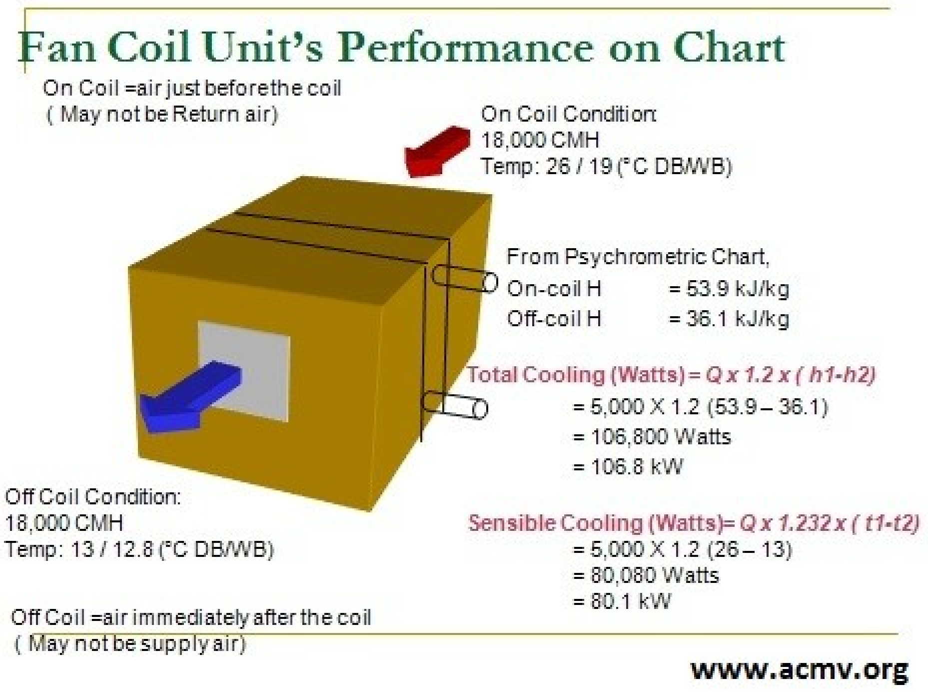
နောက်ဆုံးအခြေအနေ(final conditions) LAT Point, leaving air condition Dry Bulb = 75°F နှင့် Wet Bulb = 70.5°F ကို အသုံးပြုပြီး ပထမ EAT point ကဲ့သို့ နေရာ(locate)ချပါ။

LAT ၏ enthalpy လိုင်းမှာ အညိုရောင်လိုင်း(brown line)ဖြစ်ပြီး တန်ဖိုးမှာ 26.41 Btu/lb.

LAT ၏ humidity ratio လိုင်းမှာ ပန်းရောင်လိုင်း(purple line)ဖြစ်ပြီး တန်ဖိုးမှာ 0.011ဖြစ်သည်။

Air con အင်ဂျင်နီယာတစ်ယောက်သည် လက်ရှိ မောင်းနေသည့်(runing) Fan Coil Unit(FCU) သို့မဟုတ် Air Handling Unit(AHU) တစ်လုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကောင်းမကောင်း ကျွမ်းကျင်းစွာ စစ်ဆေး နိုင်ရမည်။ AHU သို့မဟုတ် FCU စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကောင်းမကောင်း စစ်ဆေး ရန်အတွက် 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

ဤဥပမာတွင် အခန်းမှပြန်ယူသည့်လေ(return air) နှင့် On-Coil condition တို့ တူညီသည်ဟု ယူဆထားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပြင်ပမှဝင်လာသည့်လေ(outdoor air)၏ အပူ(heat) ထည့်မတွက်ထားပေ။ ပြင်ပလေ(outdoor air) မထည့်ဟု ယူဆထားသည်။ Supply air နှင့် Off-coil Condition တို့ တူညီသည်ဟု ယူဆထားသည်။

စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကောင်းမကောင်း စစ်ဆေးရန်အတွက် အောက်ပါ အချက်အလက်(data) များ လိုအပ်သည်။

(၁) Return air ၏ ဂုဏ်သတ္တိ(propety)နှစ်ခု အနည်းဆုံး လိုအပ်သည်။ Dry Bulb အပူချိန် သို့မဟုတ် Wet Bulb အပူချိန် သို့မဟုတ် RH ဖြစ်သည်။။ Dry Bulb အပူချိန် နှင့် Wet Bulb အပူချိန်သည် တိုင်းယူရန် အလွယ်ကူဆုံး ဂုဏ်သတ္တိ(propety)နှစ်ခု ဖြစ်ပြီး သာမာန် sling thermometer ဖြင့် ခဏအတွင်း တိုင်းယူနိုင်သည်။

(၂) Supply air ၏ ဂုဏ်သတ္တိ(propety)နှစ်ခု အနည်းဆုံးလိုအပ်သည်။

(၃) လေစီးနှုန်း(air flow rate) လိုအပ်ပါသည်။ SI ယူနစ်ဖြင့်တွက်မည့် ပုံသေနည်း(formula)သည် Liter per Second ဖြစ်သည်။ IP ယူနစ်ပုံသေနည်းဖြင့် တွက်လျှင် လေစီးနှုန်း(flow rate)သည် Cube Feet per Minute (CFM)ဖြစ်သည်။

FCU မှ တိုင်းယူ၍ရသော Data များ	FCU မှ တိုင်းယူ၍ရသော Data များ
On Coil Condition:= Return Air	Off Coil Condition= Supply Air
18,000 CMH	18,000 CMH
Temp: 26 / 19(°C Dry Bulb/WB)	Temp: 13 / 12.8(°C Dry Bulb/WB)
Psychometrics chart မှဖတ်ယူ၍ရသော data များ	Psychometrics chart မှဖတ်ယူ၍ရသော data များ
Enthalpy(h)= 53.9 kJ/kg	**Enthalpy(h)= 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

ပုစ္ဆာကိုမတွက်မီ latent cooling capacity နှင့် total cooling capacity တို့ကို နားလည်ရန် လိုအပ်ပါသည်။

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

ပုံတွင်ပြထားသည့် အတိုင်း before point (point 1)သည် ဝင်လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ(entering air properties) ကို ဆိုလိုသည်။ After point(Point 2)သည် ထွက်လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ(leaving air properties)ကို ဆိုလိုသည်။

Before Point (Point 1) **ဝင်လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(entering air properties)**	**After Point (Point 1)** **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)

18,000 CMH ကို ယူနစ်ပြောင်းလိုပါက

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

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

= 5,000 X 1.2(53.9 – 36.1)

= 106,800 Watts

= 106.8 kW(106.8/3.517

= 30.37RT)

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

= 5,000 X 1.2(26 – 13)

= 80,080 Watts

= 80.1 kW(80.1/3.517= 22.77RT)

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

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 in(kW)တို့ကိုရှာပါ။

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(lair properties)ကို ရှာယူနိုင်သည်။ လွယ်ကူ ရှင်းလင်းပြီး အလွန်အသုံးဝင်သည့် နည်းကောင်း တစ်ခုဖြစ်သည်။ http://www.sugartech.co.za/psychro/index.php တွင် လေ့လာနိုင်သည်။

အသုံးပြုနည်းမှာ

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

(၂) မိမိရွေးထားသည် ယူနစ် နှင့်သက်ဆိုင်သည့် parameter နှစ်ခု၏ တန်ဖိုးများကို ထည့်ပါ။ Dry Bulb တန်ဖိုး မရှိမဖြစ်ထည့်ရမည့် တန်ဖိုးတစ်ခုဖြစ်သည်။ Calculate Button ကို နိပ်ပါ။

Supply Air Properties

Unit Chosen: ⦿ SI ○ IP

Inputs: Parameter Name	Value	Unit	Outputs		
Dry Bulb Temp.:	26.7	C	Atmospheric Press	1.0132387597	bar
Wet Bulb Temp.: ⦿	19.5	C	Sat. Vapor Press.	35.049448002	mbar
Relat. Humidity: ○	51.266175616	%	Partial Vapor Press.	17.968511565	mbar
Dew Point Temp ○	15.842582128	C	Humidity Ratio	0.0112295270	kg/kg
Altitude	0.0	m	Enthalpy	55.471416050	kJ/kg
			Specific Volume	0.8639290139	m3/kg

Calculate

Return Air Properties

Unit Chosen: ⦿ SI ○ IP

Inputs: Parameter Name	Value	Unit	Outputs		
Dry Bulb Temp.:	13.4	C	Atmospheric Press	1.0132387597	bar
Wet Bulb Temp.: ⦿	13.03	C	Sat. Vapor Press.	15.374581088	mbar
Relat. Humidity: ○	96.038042146	%	Partial Vapor Press.	14.765446665	mbar
Dew Point Temp ○	12.815953335	C	Humidity Ratio	0.0091981505	kg/kg
Altitude	0.0	m	Enthalpy	36.711486795	kJ/kg
			Specific Volume	0.8229661815	m3/kg

Calculate

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

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 (m^3/hr)	6,856 (11650.000)
TOTAL PRESSURE	in. Wg (Pa)	2.62 (656)

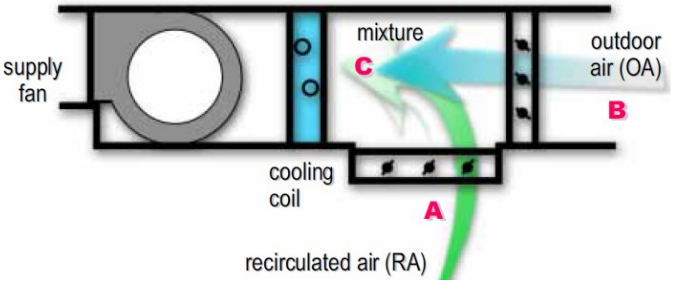
COOLING COIL SPECIFICATION (1)		
ALTITUDE	ft	
COIL TYPE		BDW
TUBE / FIN MATERIAL		Cu / Alu
TUBE HEIGHT / FIN LENGTH		28 / 60
ROWS / FPI / CIRCUIT		6 / 12 / B
COIL AREA	ft^2 (m^2)	14.53 (1.35)
AIR ON DB / WB	°F (°C)	80 (26.67) / 67 (19.44)
AIR OFF DB / WB	°F (°C)	56.17 (13.43) / 55.45 (13.03)
FACE VELOCITY	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 (m^3/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

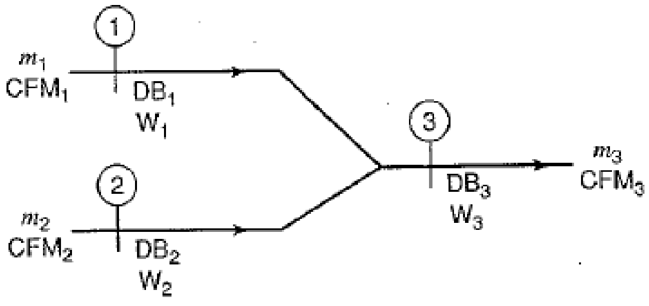
Air conditioning process များတွင် လေနှစ်မျိုး ရောနှောခြင်းဖြစ်စဉ်(air mixing process)လည်း ပါဝင်သည်။ Air mixing process ဆိုသည်မှာ မတူညီသည့် လေအမျိုးအစား နှစ်မျိုးပေါင်းပြီး နောက်ထပ် လေအမျိုးအစားတစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာခြင်း ဖြစ်သည်။ ဥပမာ ပြင်ပလေ(outdoor air)နှင့် return air တို့ပေါင်းစပ်ပြီး supply air ဖြစ်ပေါ်လာခြင်း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



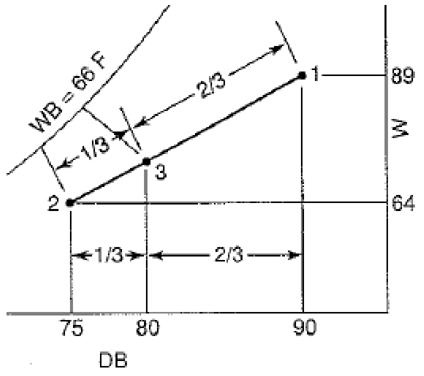
ပုံ ၂-၅၇ FCU တစ်ခုအတွင်း mixed air ဖြစ်ပေါ်ပုံ

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

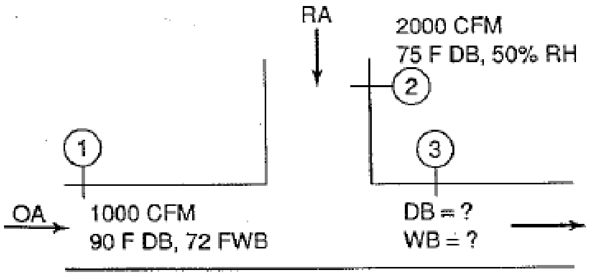
$$\mathrm{DB_3}\ \frac{(\mathbf{m_1}\ \mathbf{x}\ \mathbf{DB_1}) + (\mathbf{m_2}\ \mathbf{x}\ \mathbf{DB_2})}{\mathbf{m3}}$$



ပုံ ၂-၅၈



ပုံ ၂-၅၉



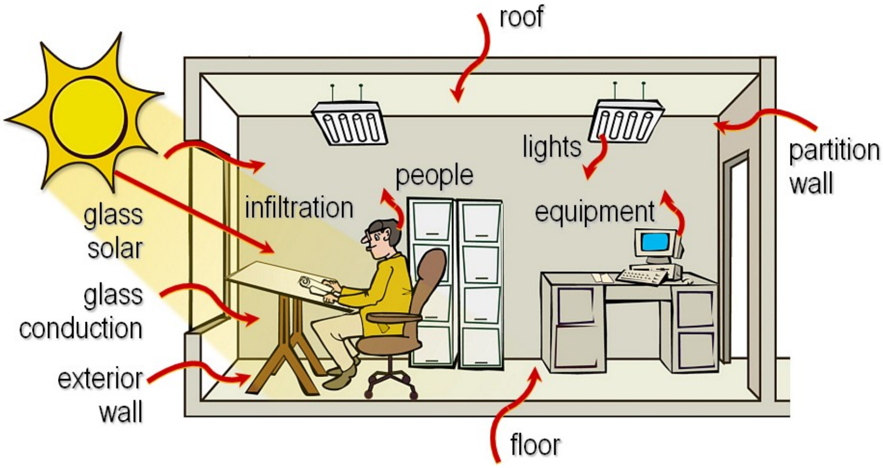
ပုံ ၂-၆၀

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

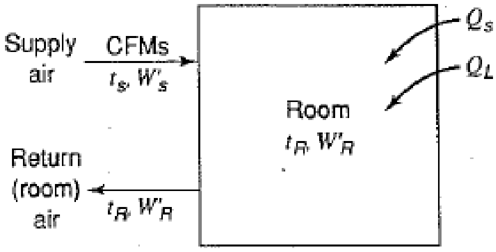
အခန်းတစ်ခု၏ အပူချိန်သည် ပြင်ပအပူချိန်ထက် နိမ့်နေလျှင် ထိုအခန်းအတွင်းသို့ ပြင်ပမှ အပူများ စီးဝင်သည်။ ထိုအခန်းအား လိုအပ်သောအပူချိန်တွင် ထိန်းထားနိုင်ရန် အတွက် အခန်းအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသော အပူ(heat)များကို အဆက်မပြတ် ဖယ်ထုတ်ပေးနေရန် လိုအပ်သည်။ အခန်းအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသော အပူများကြောင့် အခန်းအတွင်း၌ အပူတိုးလာခြင်း(heat gain) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Cooling load

သို့မဟုတ် heat load ဟုခေါ်သည်။ Cooling load သည် cooling ထုတ်ပေးသည့် equipment များအတွက် အသုံးပြုလေ့ ရှိသည်။ Heat load သည် အဆောက်အဦးများ၏ 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

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



ထိုသို့ အပူများကို စဉ်ဆက်မပြတ် ဖယ်ထုတ်နေရန် အတွက် အပူချိန်နိမ့်(low temperature air)ပြီး RH(%) နည်းသည့် supply air ကို အမြဲမပြတ် ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ထိုသို့ ပြုလုပ်ခြင်းကို အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း (heat extraction) ဟုလည်း ပြောလေ့ရှိသည်။

ပုံ ၂-၆၁

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 ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည်။ ထိုအခန်းအတွက် လိုအပ်သော လေစီးနှုန်း(air flow rate) သည် 2000 CFM ဖြစ်လျှင် supply air ၏ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb ကို ရှာပါ။

$$Q_{Latent}\ (Btu/hr)\ or\ Room\ Latent\ Cooling\ Load(RLCL) = \ 0.68\ \ x\ CFM\ x(W2 - W1)$$

$$W_R - W_S = \frac{RLCL}{0.68\ x\ CFM} = \frac{22{,}000}{0.68\ x\ 2000}$$

$$\textit{Total Cooling Load}\ (RTCL)\ (Bty/hr) = \ 1.1\ \ x\ CFM\ x(t_r - t_s)$$

Supply air အပူချိန်(temperature)

$$t_S = 78\text{-}25 = 53°F$$

Supply air ၏ humidity ratio သည်

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

$$RLCL\ (Btu/h) = 0.68\ x\ CFM\ x(W_R - W_S)$$

Chart မှ W_R = 71 gr w/lb d.a

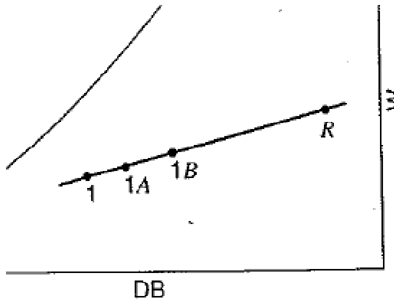
Supply air volume flow rate သည်

W_S = 71-16 = 55 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 ပြောင်းပေးရသည်။

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 Psychometric chart ပေါ်တွင် နေရာချလိုက်လျှင် ထို အမှတ်များ(points) အားလုံးတို့သည် လိုင်းအပေါ်တွင် တည်ရှိနေသည်။ ထိုလိုင်းပေါ်တွင် အခန်း၏ အခြေအနေ(condition) နှင့် ကိုက်ညီ ပြေလည်စေ(sastified)မည့် supply air ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ (properties) တည်ရှိ နေသည်။

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)လိုင်းဟု ခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် Psychometric chart ပေါ်တွင် RSHR လိုင်းကို ဆွဲရန်အတွက်

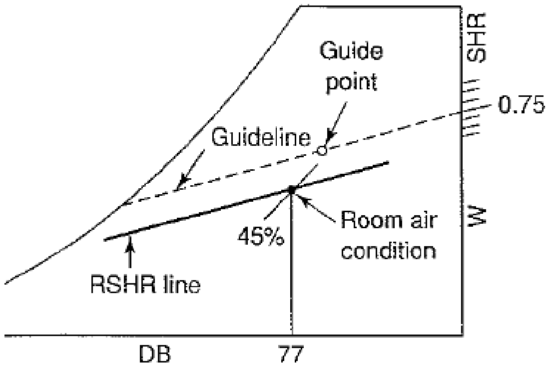
(က) Room condition (အခန်းလိုအပ်ချက်ကို အဆင်ပြေစေသည့် Dry Bulb သို့မဟုတ် Wet Bulb သို့မဟုတ် %RH တို့ ဖြစ်သည်။)

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

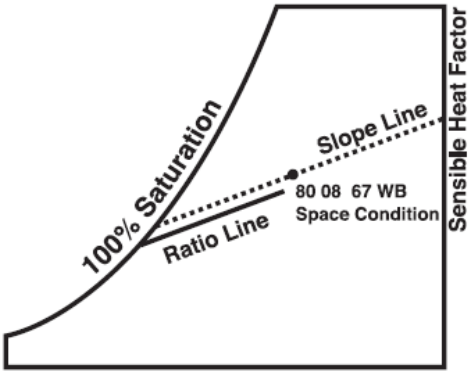
ထို RSHR slop လိုင်းကို room condition ပေါ်တွင် ဖြတ်ဆွဲလျှင် RSHR လိုင်းကို ရသည်။ Supply air condition အမျိုးမျိုးကို အသုံးပြုနိုင်သော်လည်း ထိုအခန်းကို ပေးမည့် supply air condition သည် RSHR လိုင်းပေါ်တွင် ကျရောက်နေရန် အလွန်အရေးကြီးသည်။

Sensible Heat Ratio (SHR) သို့မဟုတ် Room Sensible Heat Ratio (RSHR) ဆိုသည်မှာ sensible heat နှင့် latent heat အချိုးဖြစ်သည်။

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



ပုံ ၂-၆၃



ပုံ ၂-၆၄

ထိုအခန်း၏ အခြေအနေ(condition)ကို ပြေလည်စေ(sastified)မည့် မည်သည့် supply condition (CFM ၊ Dry Bulb ၊ %RH ၊ WB) မဆို ထို SHR လိုင်းပေါ်တွင် ကျရောက်ရန် လိုအပ်သည်။
RSHR Line ၏ အဓိပ္ပာယ် အတိအကျသည် ဒီဇိုင်းလုပ်မည့် Room Design Condition ကိုဖြတ်သွားမည့် Room Sensible Heat Ratio Slop(RSHR)လိုင်းသည် RSHR လိုင်းဖြစ်သည်။

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 Psychometric 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) 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 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 လိုင်းဖြစ်သည်။

ထိုအခန်းကို အေးစေမည့် supply air condition ကို ကြိုက်သလိုရွေးချယ်နိုင်သော်လည်း 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 ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။

ဥပမာ-ဂျူလိုင်လ၏ နေ့တစ်နေ့တွင် စားသောက်ခန်းတစ်ခုတွင် စားသုံးသူများက အခန်းသည် စိုထိုင်းထိုင်း စေးကပ်ကပ်(sticky)ဖြစ်နေသည်ဟု ပြောကြသည်။ ထို့ကြောင့် ဆိုင်မန်နေဂျာက အခန်း၏ အပူချိန်ကို လျှော့ချရန် သာမိုစတက်တွင် temperature setting ကို နိမ့်ချလိုက်သည်။ ထို့နောက် ဖောက်သည် (customer)များ

အားလုံးလိုလိုသည် ပါလာသည့် အနွေးထည်ကို ဝတ်ဆင်ကြသည်။ ထို့နောက် ဖောက်သည် (customer)များ အားလုံး လိုလို စားသောက်ခန်းအတွင်းမှ ထွက်ခွာသွားကြသည်။ ဆိုင်မန်နေဂျာမှ သင့်အား တိုင်ပင် ဆွေးနွေး လိုသောကြောင့် အောက်ပါ data များကို ပေးသည်။

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

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

Design supply air = 62°F Dry Bulb

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

အဖြေ။

(က) တိုင်းတာရယူထားသည့် supply air condition မှာ 61°F Dry Bulb နှင့် 59°F WB ဖြစ်သည်။

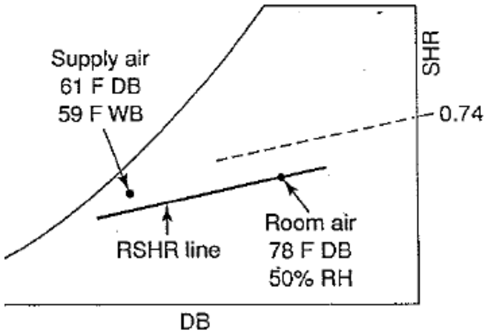
(ခ) RSHR equation အရ

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

(ဂ) "Guide Point" ကို ဗဟိုထားပြီး၍ slop တန်ဖိုး 0.74 ရှိသော RSHR လိုင်းကို ဆွဲပါ။ ထို RSHR လိုင်း ပေါ်တွင် အခန်း၏ ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(design condition) ဖြစ်သော 78°F Dry Bulb နှင့် 50%RH point ကိုနေရာချ (locate) ပါ။

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

ထို့ကြောင့် တပ်ဆင်ထားသည့် air condition unit က အခန်း condition ကို ပြေလည်(satisfied)အောင် မလုပ်နိုင်သည်ကို တွေ့ရမည်။



62°F Dry Bulb အပူချိန်ကို ရရှိရန် thermostat setting ကို adjust လုပ်နိုင်၍ အခန်းအပူချိန် ကျဆင်း စေနိုင်သော်လည်း လိုအပ်သည့် humidity level ကို မရောက်နိုင်ပေ။ Air condition unit သည် လိုအပ်သော latent heat ကို ကောင်းစွာ မဖယ်ရှားပေးနိုင်ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် supply air condition point သည် RSHR လိုင်းပေါ်တွင် မကျရောက်ပဲ အခြားလိုင်းအပေါ်တွင် တည်ရှိ နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

ပုံ ၂-၆၅

လက်တွေ့တွင် ကြုံတွေ့ရတတ်သော ပြဿနာများမှာ -

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

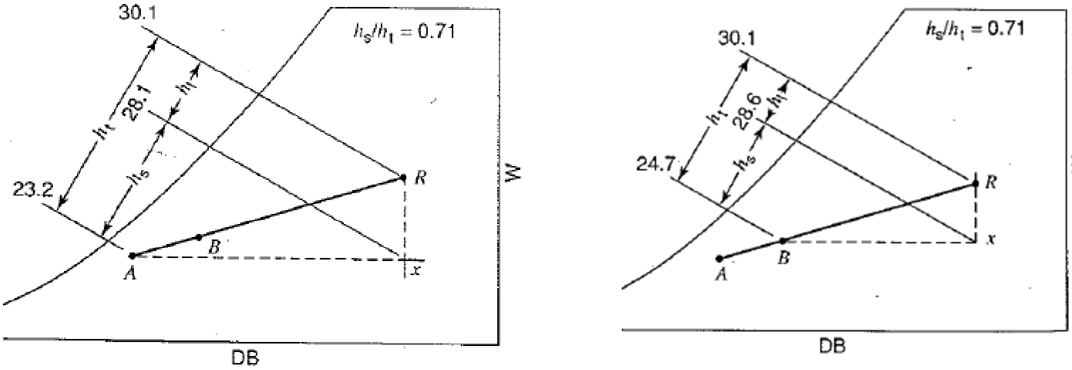
(ခ) Refrigerant temperature သည် လိုအပ်သည် အပူချိန် ထက်ပိုမြင့် နေခြင်း

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

ထို အခြေအနေ ပြဿနာများကို ဖြေရှင်းရန် psychometric chart ပေါ်တွင် graphical နည်းဖြင့် ဆန်းစစ်ခြင်း(analysis)ခြင်းသည် အကောင်းဆုံး သောနည်းလမ်း ဖြစ်သည်။

၂.၁၁ Coil Process လိုင်းများ

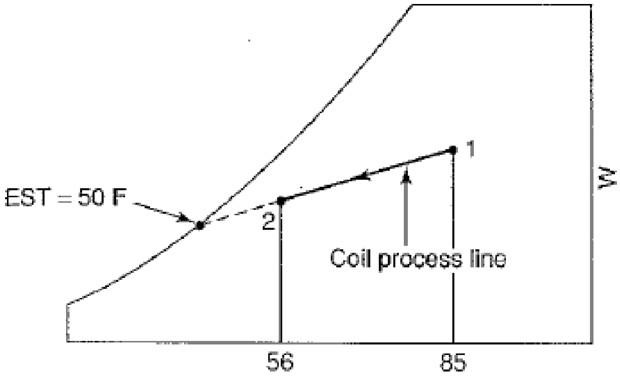
Cooling နှင့် Dehumidifying လုပ်ပေးသည် coil ကို အတိုခေါက် အားဖြင့် cooling coil ဟုခေါ်သည်။ Cooling coil အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် လေကို ဝင်လေ(entering air) ဟုခေါ်ပြီး cooling coil မှ ထွက်သွားသည့် လေကို ထွက်လေ(leaving air) ဟုခေါ်သည်။



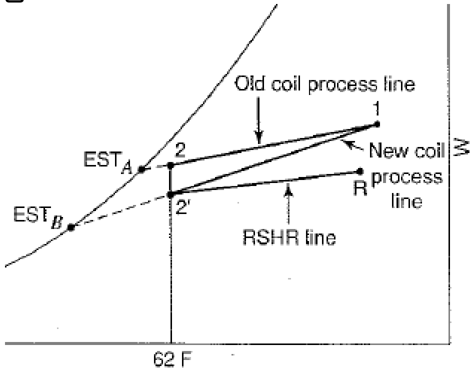
ပုံ ၂-၆၆ မတူညီသည့် supply air condition နှစ်မျိုးဖြင့် sensible cooling နှင့် latent cooling လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

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

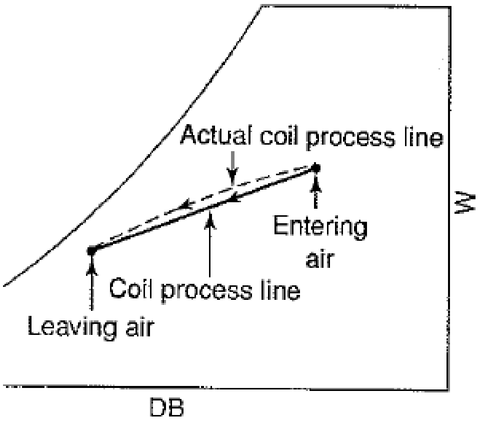
လိုင်း၏ဦးတည်ရာ(direction)သည် coil ၏ configuration ၊ air velocity နှင့် refrigerant သို့မဟုတ် chilled water ၏ အပူချိန်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Coil ၏ အတွင်းတွင် လေ၏ condition များ အမှန်တကယ် ဖြစ်ပေါ်သွားသော ပြောင်းလဲမှုများမှာ curve အတိုင်းဖြစ်ပြီး အတိအကျ ဆွဲရန် အလွန်ခက်ခဲသည်။ Coil ၏ process line သည် straight line ဖြစ်စေ သို့မဟုတ် curve ဖြစ်စေ၊ ဝင်လေအမှတ်(entering air point) နှင့် ထွက်လေအမှတ်(leaving air point)တို့ ၏ condition များမှာ မပြောင်းလဲပေ။



ပုံ ၂-၆၇ EST Point



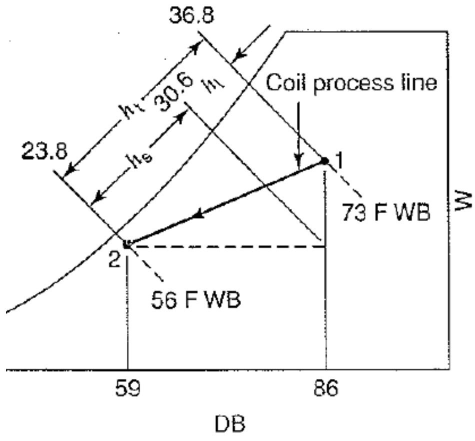
ပုံ ၂-၆၈ Cooling coil process



Coil ၏ process line သည် လက်တွေ့တွင် မျဉ်းဖြောင့်(straight line) အတိုင်းမဖြစ်သော်လည်း cooling coil များကို ရွေးချယ်ရန်၊ cooling coil တစ်ခု ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)များကို စစ်ဆေးရန် နှင့် ချို့ယွင်းချက် ရှာဖွေခြင်း(trouble shooting) ပြုလုပ်သည့် အခါတွင် coil ၏ process line ကို မျဉ်းဖြောင့်(straight line) အဖြစ် ယူဆ တွက်ချက်ကြသည်။

ဥပမာ။ Cooling coil တစ်ခုတွင် လေစီးနှုန်း24,000 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 ၏ capacity ကို ရှာပါ။



Enterign 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

ပုံ ၂-၆၉

Total Capacity ကိုလည်း enthalpy(h)ကို အသုံးပြု၍ တိုက်ရိုက်ရှာ နိုင်သည်။

Q_{total} = 4.5 x CFM(h_1-h_2)

= 4.5 x 24,000(36.8-23.8)= 1,404,000 Btu/hr

အောက်ပါ ပုံသေနည်းများဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

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)

ယူနစ်(Unit)သတိပြုပါ။

၂.၁၂ Psychometric 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 (တည်နေရာကိုလိုက်၍ကွဲပြားသည်။ Weather data မှ ရရှိနိုင်သည်။)

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

(၄) Supply Air ၏ CFM သို့မဟုတ် Dry Bulb တို့ဖြစ်သည်။

ဒီဇိုင်းလုပ်ရမည့် အခန်းအမျိုးအစား၊ အသုံးပြုပုံ(application)ကိုမူတည်၍ supply air CFM နှင့် Dry Bulb တို့ကို သတ်မှတ်ရွေးချယ်ရသည်။ သက်ဆိုင်ရာ application ကိုလိုက်၍ ကန့်သတ်ချက်များ(limitation) ရှိတတ်ကြသည်။ Supply air CFM အပေါ်တွင် မူတည်၍ duct အရွယ်အစား(size)ရွေးချယ် ရသည်။ Duct အရွယ်အစား(size) အရွယ်အစားကြီးမားပါက တပ်ဆင်ရန်နေရာ အခက်အခဲ ဖြစ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် staleness သို့မဟုတ် draft စသည့် discomfort ဖြစ်မှုများကို ရှောင်ရန် မများလွန်း၊ မနည်းလွန်းသော သင့်လျော်သည့် CFM ကို ရွေးချယ်ရသည်။ လက်တွေ့တွင် ASHRAE ၊SMACNA ၊ ANSI နှင့် AISI မှ data များ၊ recommendation များကို မှီငြမ်းကိုးကားနိုင်သည်။

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

RSCL မှာ 740,000 Btu/h ဖြစ်ပြီး RLCL သည် 150,000 Btu/h ဖြစ်သည်။

အခန်းပြင်ပရှိ (outside) design condition သည် 94°F Dry Bulb နှင့် 75°F Wet Bulb ဖြစ်သည်။

အခန်းအတွင်းရှိ (inside) 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။

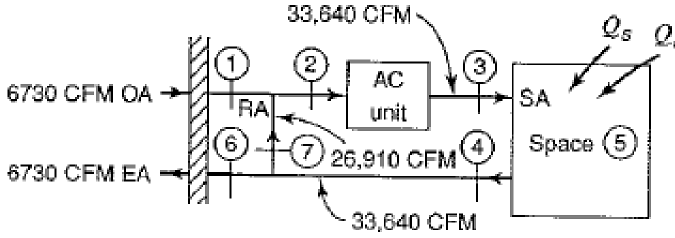
(က) Supply air CFM

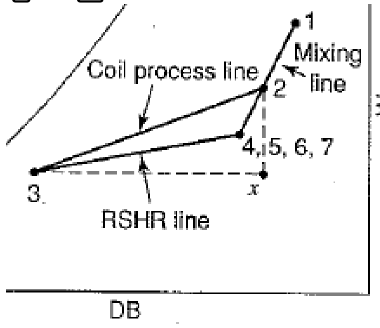
(ခ) Supply air conditioning

(ဂ) Conditioning entering cooling coil

(ဃ) Cooling coil sensible ၊ latent and total load

Psychometric နှင့်သက်ဆိုင်သည့်ပြဿနာ(problem)များကို ပုံသေနည်းများဖြင့် တွက်ယူနိုင်သလို schematic diagram များရေးဆွဲ၍လည်း တွက်ယူနိုင်သည်။ နည်းနှစ်နည်း စလုံးကို ကျွမ်းကျင်စွာ အသုံးပြုနိုင်ခြင်း၊ ဆန်းစစ်ခြင်း(analyze)သည် အလေ့ အကျင့်ကောင်း("Good Practice")ဖြစ်သည်။





ပုံ ၂-၇၀

အခန်းအတွင်းသို့ ပြင်ပလေ(outside air)ထည့်ခြင်းကြောင့် တူညီသည့် ပမာဏရှိသည့် Exhaust Air ကို ဖယ်ထုတ်ရန် လိုအပ်သည်။ လက်တွေ့တွင် ထို exhaust Air အတွက် သီးသန့် duct တပ်ဆင်ထားလေ့မရှိပေ။

(က) RSCL = 1.1 x $CFM_3(t_4-t_3)$

$$CMH_3 = \frac{RSCL}{1.1(t4-t3)} = \frac{740{,}000}{1.1\,x(20)} = 33{,}640\ CFM$$

(ခ) Dry Bulb3 = 78-20 =58°F ကျန်သည့် supply air condition ကို ရှာရန်အတွက် RSHR လိုင်းကို chart ပေါ်တွင် ဆွဲရန် လိုအပ်သည်။ လိုင်း ၏ slop 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 မှာ 56.3°F ဖြစ်သည်။

(ဃ) Cooling coil ၏ အတွင်းသို့ ဝင်လာသောလေ(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။ ထို Line နှင့် 81.2°F Dry Bulb ဖြတ်မှတ်သည် Point 2 ဖြစ်သည်။ Point 2 သည် cooling coil အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့်လေ(entering air)၏ အခြေအနေ(condition)ဖြစ်သည်။ WB_2 = 67.2°F

(c) Point 2 သည် ဝင်လေ(entering air) ၏ point ဖြစ်ပြီး Point 3 သည် အထွက်လေ(leaving air)၏ point ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့် Point 2 နှင့် Point 3 ကိုဆက်လျှင် coil process လိုင်းကိုရသည်။

Coil sensible load မှာ

$Qs = 1.1 \times CFM_2(\text{Dry Bulb}_2 - \text{Dry Bulb}_3)$
$= 1.1 X 33,640(81.2-58)$
$= 858,500$ Btu /hr

Coil latent load မှာ

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

Total cooling load

$Qt = Qs + Q_L = 1,145,000$ Btu/ hr
$= 95.4$ Refrigeration Ton (RT)

ရရှိသည် အဖြေများကို တစ်ခြားနည်းဖြင့်လည်း ပြန်စစ်နိုင်သည်။

Q_S(Coil sensible load)သည် h_x မှ h_3 အထိ အကွာအဝေး(horizational distance) ဖြစ်သည်။

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

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

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

$Q_{t(}$Total cooling load)သည် h_2 မှ h_3 အထိ အကွာအဝေး(distance) ဖြစ်သည်။

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

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

ဤ ဥပမာ အရ cooling coil ၏ load သည် room heat load ထက်ပို၍ 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)ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော coolig load ကို ရှာပါ။

Q_{Total}(Outside Air)= 4.5 x CFM_{OA} x(h1-h5)

= 4.5 x 6730(38.6 – 30.1)

= 257,400 Btu/hr

Cooling coil မှလုပ်ဆောင်ရမည့် total cooling load သည် အခန်းအတွင်းသို့ စီးဝင်နေသည့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(room load) နှင့် အခန်းအတွင်းသို့ ထည့်ပေးရမည့် ပြင်ပမှလေမှ သယ်ဆောင်လာသည့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(outside air load) နှစ်ခုပေါင်းတန်ဖိုး 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(ETS).

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

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

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

Mixed air အားလုံးသည် cooling coil ၏အေးနေသည့် မျက်နှာပြင်(surface)ကို ထိ၍ ဖြတ်သန်းသွားလျှင် CF = 1 ဖြစ်သည်။ ထို့အတွက် cooling coil မှ ဖြတ်သန်းသွား သည့် အဆိုပါ mix air အားလုံးသည် Effective Surface Temperature(EST)ဖြင့် ထွက်ခွာသွားသည်။ အကယ်၍ EST သည် Dew Point အပူချိန်ထက် နိမ့်ခဲ့လျှင် အထွက်လေ(leaving air)သည် saturated air ဖြစ်သည်။ အဘယ့်ကြောင့်ဆိုသော် ရေငွေ့(moisture)ကို cooling coil က ဖယ်ထုတ် လိုက်သောကြောင့်ဖြစ်သည်။ Dry Bulb အပူချိန်ကျဆင်းသောကြောင့်ဖြစ်သည်။

သို့သော် ဝင်လာသော လေအားလုံးသည် cooling surface ကိုထိရန် လက်တွေ့တွင် လုံးဝ မဖြစ်နိုင်ပေ။ (လက်တွေ့အခြေအနေတွင် မည်သည့်အခါမျှ CF = 1 မဖြစ်နိုင်ပေ။)

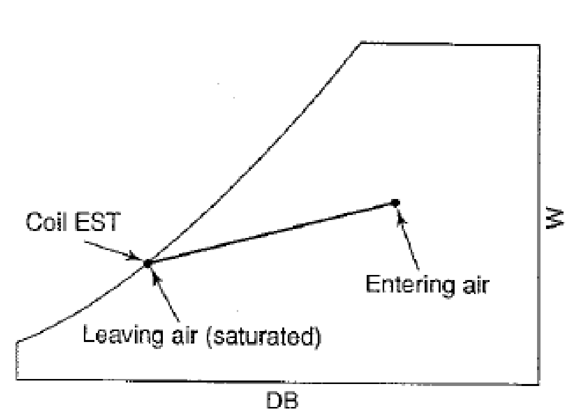
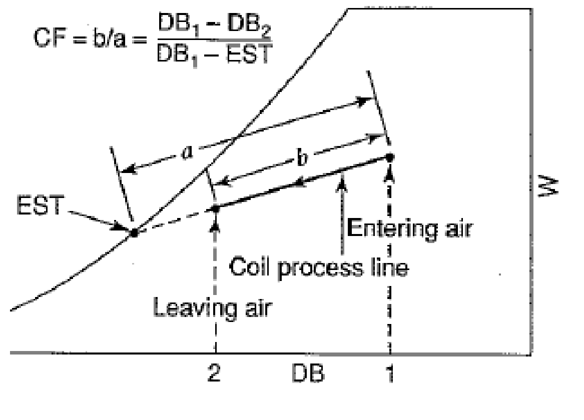
လေအားလုံးသည် coil ၏ မျက်နှာပြင်(surface)ကို တိုက်ရိုက် ထိတွေ့မှု မရှိနိုင်သောကြောင့် cooling coil တိုင်းလိုလိုတွင် Bypass Factor(BF) ရှိမြဲဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် အထွက်လေ(leaving air)သည် saturated air မဖြစ်နိုင်ပေ။ Cooling surface ကို bypass ဖြစ်သွားသည့် အထွက်လေ(leaving air)၏ ပမာဏသည် cooling coil ၏ tube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

CF တန်ဖိုးသည် coil process line ၏ အရှည်ပမာဏကို ထို coil process line ၏ ETS အထိရောက်အောင် ဆွဲဆန့်၍ ရသည့် အရှည်ပမာဏနှင့် စားထားသည့် အချိုးပင် ဖြစ်သည်။

ပုံ (၂-၇၁)တွင်ပြထားသည့် အတိုင်း $CF = \frac{b}{a}$ ဖြစ်သည်။

Coil EST သည် Coil process line နှင့် saturated line (100% RH လိုင်း) တို့၏ ဖြတ်မှတ်(intersection point) ဖြစ်သည်။

Contact Factor(CF) ၏တန်ဖိုးကို chart ပေါ်တွင် ဂရပ်နည်းဖြင့်(graphically)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 cooling coil (CF=1)	ပုံ ၂-၇၂ Determining CF for a cooling coil.

အထက်ပါပုံအရ CF သည် အပူချိန်(temperature) အချိုးပေါ်တွင် မူတည်သည်။

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

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) ကို 56˚F DB နှင့် 54˚F WB leaving condition သို့ရောက်အောင် ပြုလုပ်နိုင်လျှင် Effective Surface Temperature(EST) ၊ Contact Factor(CF) နှင့် Bypass Factor(BF) တို့ကို ရှာပါ။

(က) Chart ပေါ်တွင် ဝင်လေအမှတ်(entering air)ကို Point 1 အဖြစ် ထွက်လေအမှတ်(leaving air)ကို Point 2 အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး coil process line ကိုဆွဲပါ။

(ခ) Coil process line ကို saturated line သို့မဟုတ်100% RH Line သို့ရောက်အောင် ဆန့်၍ ဆွဲပါ။

(ဂ) Contact Factor(CF)ကို equation မှ တွက်ယူနိုင်ပါသည်။

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

$$= \mathbf{0.83}$$

ထို့ကြောင့် Bypass Factor(BF) သည် BF = 1- CF = 1-0.83 = 0.17

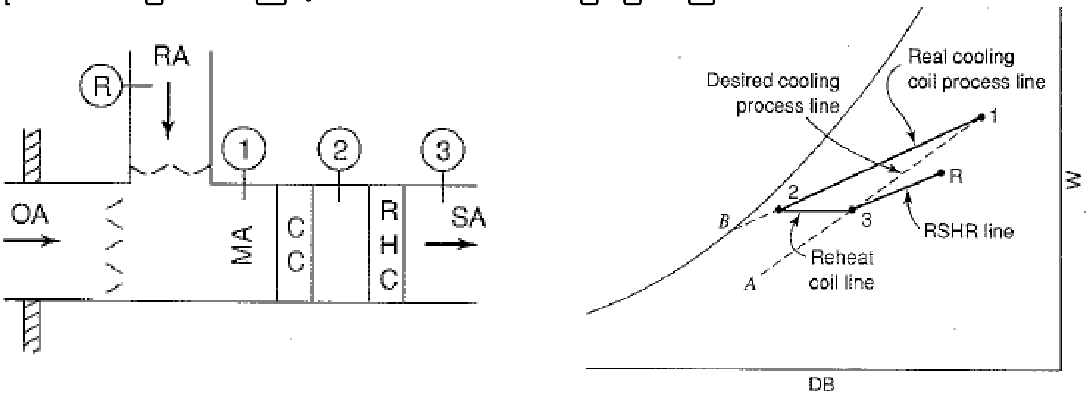
Coil ထုတ်လုပ်သူများသည် coil selection ဇယားတွင် CF ၊ BF နှင့် EST တန်ဖိုးများကို ဖော်ပြ ထားလေ့ ရှိသည်။ Cooling coil ရွေးချယ်နည်းများကို အခန်း-၃(Chapter-3)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

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

၂.၁၄ Reheat လုပ်ခြင်း

Cooling coil တစ်ခုမှ ထွက်လာသည့်လေ(leaving air)ကို အခန်းတွင်းသို့ မထည့်ပေးခင်(supply မလုပ်ခင်) အပူပေးခြင်း(heating) ကို reheat လုပ်ခြင်းဟု ခေါ်ဆိုသည်။

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



ပုံ ၂-၇၃ Reheat coil used to provide satifactory supply air condition

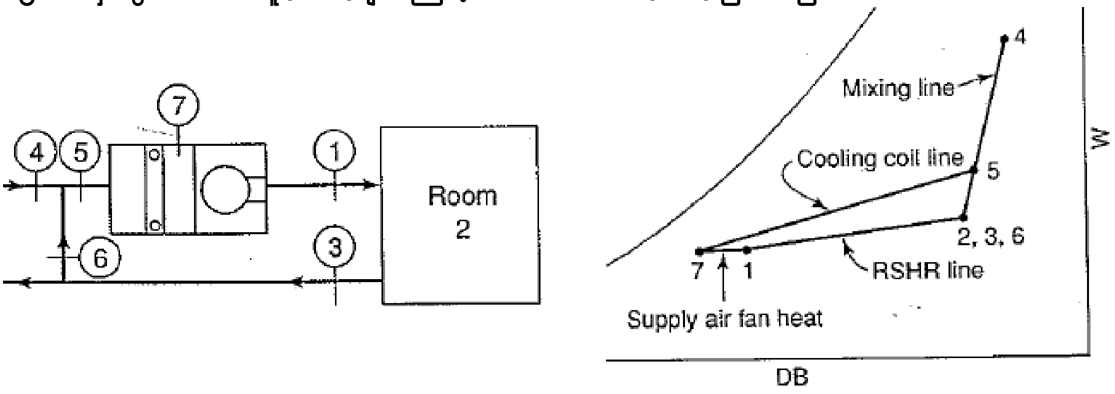
လိုအပ်သော supply air condition ကို ရရှိရန် အတွက် reheat ပြုလုပ်လေ့ရှိကြသည်။

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

(၂) Cooling coil အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့်လေများ အားလုံးနီးပါးသည် 100% Outside air ဖြစ်လျှင်သော်လည်းကောင်း၊ Humidity level မြင့်လျှင်သော်လည်းကောင်း သို့မဟုတ် မတ်စောက်သည့် (steep) RSHR လိုင်း ဖြစ်နေသည့် အခါတွင် reheat လုပ်ရန် လိုအပ်ကောင်း လိုအပ်နိုင်သည်။ အချို့သော စက်မှုလုပ်ငန်း(industrial application) များသည် 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 အလွန်နိမ့်လေ့ရှိသည်။ 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



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

Supply air fan နှင့် return air fan တို့မှ ဖြစ်ပေါ်လာသော အပူကြောင့် လေတွင် အပူတိုးခြင်း(heat gain)ကို Psychrometric analysis တွင် ထည့်သွင်းတွက်ချက်မှု မပြုလုပ်ကြပေ။ ဖြစ်ပေါ်လာသော heat gain သည် cooling coil ၏ total cooling capacity နှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် မပြောပလောက်ပေ။ သင့်လျော်သော ခန့်မှန်းမှု

ပြုလုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။ Fan မော်တာ၏ စွမ်းအား(power)ကြီးမားလေလေ၊ fan မှ ဖြစ်ပေါ်လာသော heat gain များလာလေပင် ဖြစ်သည်။ သို့သော် အရွယ်အစား သေးငယ်သော fan များအတွက် fan heat gain ကို ထည့်သွင်းတွက်ချက်ရန် မလိုအပ်ပေ။ Fan heat gain ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော အပူချိန်မြင့်တက်မှုသည်(1°F) ထက်ပိုများပါမှ Psychrometric analysis တွင် ထည့်သွင်းတွက်ချက်ရန် လိုအပ်သည်။

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 ဖြတ်သန်းစီးဆင်းလာသော လေ၏အပူချိန်ကို မြင့်တက်စေသည်။ ထိုကဲ့သို့ သော AHU မျိုးအတွက် FHG ကို Psychrometric analysis တွင် ထည့်သွင်းတွက်ချက်ရန် 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 အပူချိန်ရှိသောလေကို 34°C Dry Bulb အပူချိန် သို့ရောက်အောင် hot water heating coil ဖြင့် အပူပေးရန်လိုသည်။ အပူပေးရမည့် လေ၏လည်ပတ်နှုန်းသည် 68 kg/s ဖြစ်လျှင် heat input နှင့် hot water mass flow ကို ရှာပါ။ hot water coil အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် entering hot water အပူချိန်သည် 85°C ဖြစ်ပြီး ထွက်သွားသည့် leaving hot water အပူချိန်သည် 74°C ဖြစ်သည်။ Indoor air ၏ specific heat capacity ကို 1.02 kJ/kg K ဖြင့်တွက်ပါ။

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

$$Heat\ Loss\ from\ Hot\ water\ (1{,}248\ kW) = Heat\ Gain\ by\ the\ Air(1{,}248\ kW)$$

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

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

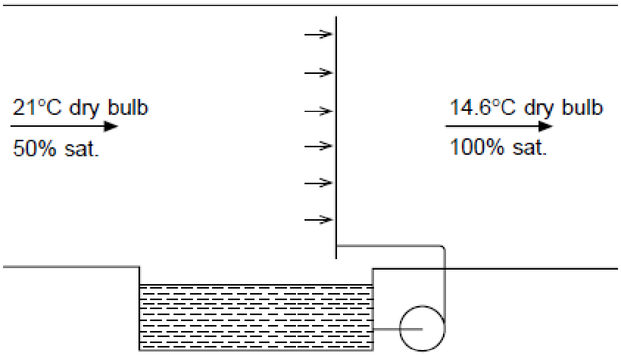
ဥပမာ အဆောက်အဦး တစ်ခုအတွင်းရှိ အခန်းတစ်ခုကို 500 kW အပူပေးရန်(heating) လိုအပ်သည်။ Heater coil သို့ ရောက်ရှိလာသည် လေ၏အပူချိန်သည် 19°C Dry Bulb ဖြစ်ပြီး လည်ပတ်နှုန်းမှာ 68 kg/s ဖြစ်လျှင် heater မှ ထွက်သွားသည့်လေအပူချိန်(air supply temperature)ကို ရှာပါ။

$$Heat\ Gain\ by\ Air(Q) = m \times Cp \times \Delta t = 68 \times 1.02 \times (t - 19) = 500\ kW$$
$$Supply\ air\ Temperature\ (C) = 19 + \frac{500}{68\ x\ 1.02} = 19 + 7.2 = 26.2\ °C$$

၂.၁၆ Water Spray into Air Steam (Adiabatic Saturation)

Saturated မဖြစ်သေးသည့် airstream ထဲသို့ ရေမှုန်များဖြန်းပေးခြင်း(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) မပြုလုပ် သောကြောင့် လေ၏ Enthalpy တန်ဖိုးမှာ မပြောင်းလဲပေ။ အောက်တွင် ဥပမာဖြင့် psychometric chart ကို အသုံးပြု၍ ရှင်းပြထားသည်။

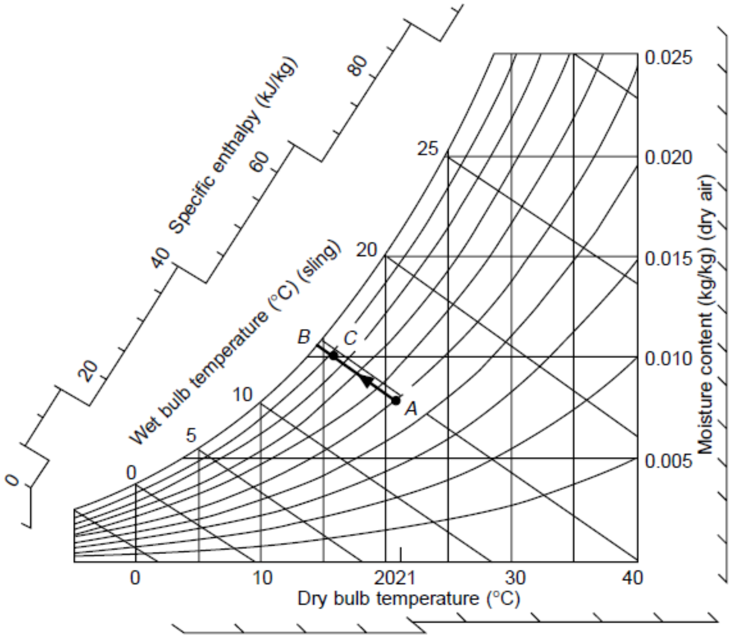


အပူချိန် 21°C Dry Bulb နှင့် 50% saturation အခြေအနေရှိသော လေ(airstream)ထဲသို့ ရေများကို ပက်ဖြန်းခြင်း(spray) ပြုလုပ်သည့်အခါ ထိုရေ နှင့်လေ အရော(mixture)သည် မည်သည့် ultimate condition သို့ရောက်ရှိနိုင်မည်နည်း။ အပူထည့်ခြင်း(heat adding) သို့မဟုတ် အပူထုတ်ယူခြင်း(heat removal) မပြုလုပ်သောကြောင့် enthalpy သည် ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

ပုံ ၂-၇၅ Water Spray into Air Steam

ထို့ကြောင့် psychometric chart ပေါ်တွင် ချ၍ကြည့်လျှင် process လိုင်းသည် constant enthalpy(41.08 kJ/kg)လိုင်း တစ်လျှောက်တွင် သာရှိနေရမည်။ လေမှ အပူဆုံးရှုံးခြင်း(sensible heat loss)သည် ရေတွင် အပူတိုးခြင်း(latent heat gain) ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေမှ sensible heat ကို latent heat အဖြစ် ရေမှ စုပ်ယူသွားခြင်းဖြစ်သည်။

ထိုရေနှင့်လေအရော(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။



ပုံ ၂-၇၆

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 ဖြစ်နိုင်သည့် အခြေအနေမှာ saturation point နှင့် အနီးဆုံးနေရာ ဖြစ်သည်။ ပုံတွင် ပြထားသည့် အမှတ်(point C) နေရာ ဖြစ်သည်။

AC/AB အချိုးသည် spray system ၏ effectiveness အဖြစ်သည်။

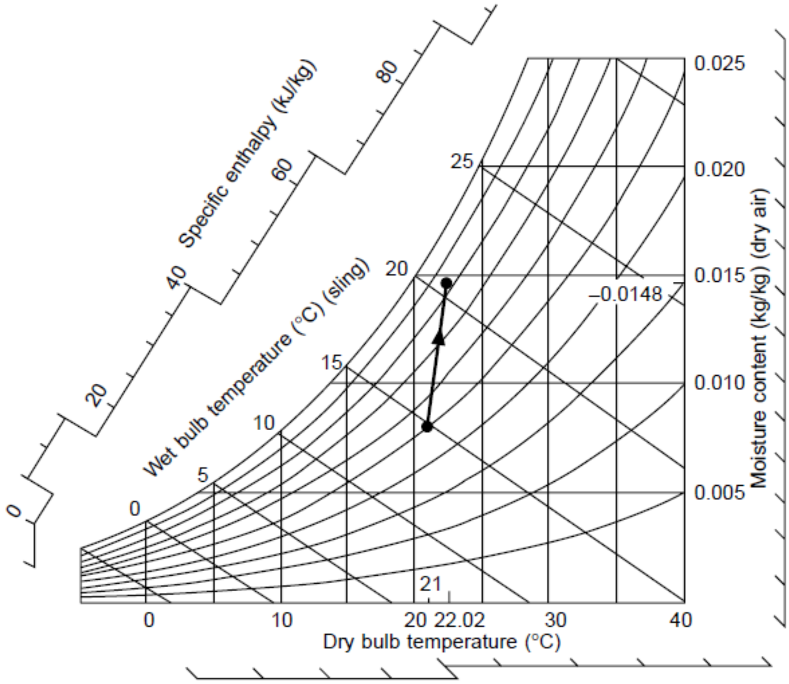
Adiabatic (constant enthalpy) လိုင်း AC သည် constant Wet Bulb လိုင်းနှင့် အနီးဆုံး အပြိုင် ဖြစ်နေသည်။ 0.2K ခန့် အမှား(error) ရှိနိုင်သည်။ သို့သော် constant Wet Bulb ဟုသတ်မှတ်ပြီး မြန်ဆန်လွယ်ကူစွာ တွက်ယူ နိုင်သည်။ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) နှင့် ရေငွေ့(water vapour)တို့၏ mixture အတွက် သာမှန်သည်။ Gas mixture များအတွက် တွက်ရန် မသင့်လျော်ပေ။

၂.၁၇ Steam Injection

လေထဲသို့ ရေငွေ့(moisture)များကို ထည့်ရန်အတွက် ရေမှုန်းဖြန်းခြင်း(water spraying) ပြုလုပ်နိုင်သကဲ့သို့ ရေနွေးငွေ့ထည့်ခြင်း(steam injection)လည်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Steam သည် ရေငွေ့(water vapour 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။ ထိုကြောင့် ထွက်လေ၏ နောက်ဆုံး အပူချိန်သည် ဝင်လေ၏အပူချိန် ပိုမြင့်လိမ့်မည်။

Steam injection ဥပမာ

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



moisture content of air before = 0.0079 kg/kg

moisture added, 1 kg/150 kg = 0.0067 kg/kg

Final moisture content = 0.0148 kg/kg

ပုံ ၂-၇၇ Steam injection ဥပမာ

နောက်ဆုံးအခြေအနေတွင်ရှိမည့် Dry Bulb အပူချိန်ကို steam ၏ specific heat capacity အသုံးပြု၍ အကြမ်းဖျင်း ခန့်မှန်းနိုင်သည်။ အပူချိန် 20°C –100°C အတွင်းရှိ steam ၏ specific heat capacity သည် 1.972 kJ/kg ဖြစ်သည်။

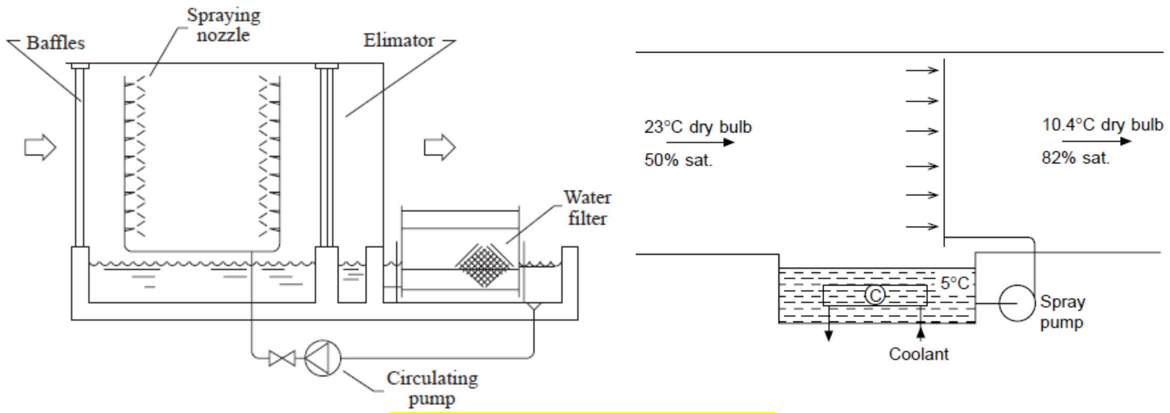
$$\textit{Heat lost by steam} = \textit{Heat gained by air}$$

$$0.0067 \times 1.972(100 - t) = 1.006(t - 21)$$
$$t = 22.02\,℃$$

ရေနွေးငွေ့(steam)ကိုအသုံးပြုခြင်းကြောင့် humidity တန်းဖိုး နှင့် Dry Bulb အပူချိန် တန်းဖိုး 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 spray လုပ်လျှင် လေထဲမှ ရေငွေ့(moisture)အချို့ကို condensation ဖြစ်စေကာ ဖယ်ထုတ်ပစ်နိုင်သည်။ (Moisture will condense out of the air.)။ ထိုကြောင့် 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 ဖြင့်ပြုလုပ်ထားသည့် air washer ၏ ဖြစ်နိုင်သော saturation efficiency မှာ AC/AB အချိုးဖြစ်သည်။ ၅၀% မှ ၈၀% အထိသာဖြစ်နိုင်သည်။ Double spray banks air washer များ၏ဖြစ်နိုင်သော saturation efficiency သည် AC/AB အချိုး ဖြစ်သည်။ ၈၀% မှ ၉၅% အထိဖြစ်နိုင်သည်။

ဥပမာ 23°C Dry Bulb ၊ 50% saturation အပူချိန်ရှိသောလေသည် 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။

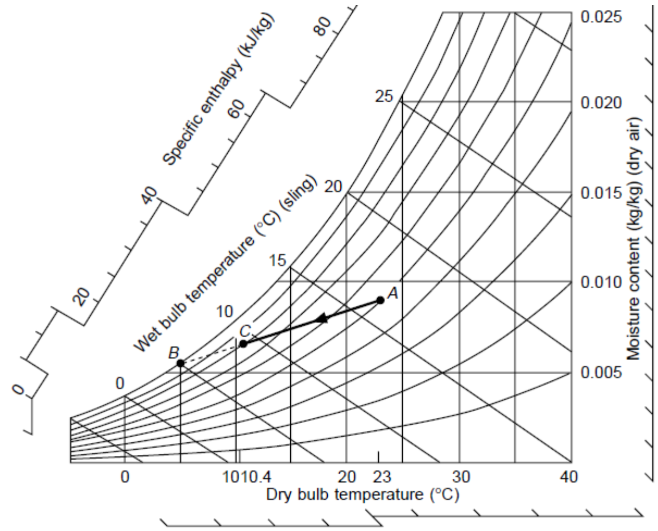
(a) Chart မှ ရရှိသည့် နောက်ဆုံးအခြေအနေ (final condition) သည် 10.4°C Dry Bulb နှင့် 82% saturation ဖြစ်သည်။

(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။

$$23 - [0.7(23 - 5)] = 10.4\,℃$$

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)

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



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

ပုံ ၂-၈၁

$$Enthalpy\ of\ air\ before\ =\ 45.79\ kJ/kg$$
$$Enthalpy\ of\ air\ after\ =\ 26.7\ kJ/kg$$
$$Heat\ lost\ per\ kilogram\ air\ =\ 45.79\ kJ/kg\ -\ 26.7\ kJ/kg\ =\ 19.09\ kJ$$
$$Heat\ gain\ per\ kilogram\ water\ =\frac{19.09}{4}$$
= 4.77 kJ
$$Temperature\ rise\ of\ water\ =\frac{4.77}{4.187}$$
= 1.1 K

၂.၁၉ လေ့ကျင့်ရန် ပုစ္ဆာများ

(၁) Psychometric 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)	ft^3/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။ Psychometric chart ပေါ်တွင် process လိုင်းကို ဆွဲပါ။

(၃) အဆောက်အဦးတစ်ခုအတွင်း၌ မျက်နှာပြင်(surface)အပူချိန် 52°F ရှိသော ရေအေးပိုက်(cold water) သည် 75°F Dry Bulb အပူချိန်ရှိသော အခန်းတစ်ခု အတွင်းတွင် ရှိနေသည်။ အခန်း၏ RH% သည် မည်သည့် တန်ဖိုးသို့ ရောက်လျှင် ပိုက်မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ရေသီးခြင်း(condensation) ဖြစ်ပေါ်မည်နည်း။

(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) 58°F Dry Bulb နှင့် 56.5°F WBသို့ 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 ကို 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 မှာ 77°F Dry Bulb နှင့် 50% RH ဖြစ်သည်။ Supply air ၏ အပူချိန်မှာ 58°F Dry Bulb ဖြစ်သည်။ Supply air flow rate (CFM) နှင့် supply air ၏ Wet Bulb ကို 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 ၏ BF(bypass factor) ၊ CF(contact factor) နှင့် Effective Surface Temperature(EST) တို့ကို ရှာပါ။

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

(၁၂) A/C unit တစ်ခုကို 55°F Dry Bulb နှင့် 55% RH အခြေအနေ ရှိသောအခန်းအတွက် အသုံးပြုထားသည်။ 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 ပေးပို့နိုင်သည်။ ထို air con unit သည် အခန်း၏ ဒီဇိုင်း Dry Bulb နှင့် Wet Bulb ကို ထိန်းထားနိုင်စွမ်းရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးပါ။ အနီးစပ်ဆုံး မည်သည့် အပူချိန်တွင် ထိန်းထားနိုင် မည်နည်း။

(၁၄) အခန်းတစ်ခုသည် 76°F Dry Bulb နှင့် 50% RH အခြေအနေ တွင်ရှိနေရန် 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) အဆောက်အဦး 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၍ point များကို နာမည်ပေးပါ။

(၁၆) Air conditioning unit တစ်ခုအတွင်းသို့ 20,000 CFM နှုန်းရှိသောလေသည် 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 ရောက်လာသည် supply air ၏ အပူချိန်သည် 58°F Dry Bulb ဖြစ်သည်။

(က) Equipment နှင့် duct arrangement ကို ရှာရေးဆွဲပါ။
(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 မည်မျှလျော့ နည်းသွားမည်နည်း။ 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 ထိန်းထားလိုသည် ပြင်ပလေဝင်နှုန်း(outside air flow rate)သည် 1200 CFM ဖြစ်သည်။ ပြင်ပလေ(outdoor air)၏ condition မှာ 95°F Dry Bulb နှင့် 76°F Wet Bulb ပြင်ပလေ(outdoor air)သည် အခန်းမှ Return air နှင့် ရောနှော(mix)ကာ mixed air သို့မဟုတ် entering air အဖြစ် air con unit အတွင်း သို့ ဝင်ရောက်သည်။

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

(ခ) Room Sensible heat ratio (RSHR)ကိုတွက်ပါ။

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

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

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

(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 Ton)

(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 ဖြင့်ဖော်ပြပါ။

-End-