FUNDAMENTAL AND BASIC CONCEPT

မာတိကာ

၁.၁ ယူနစ်များ(Units of Measurement)	1-1
၁.၂ ဖိအား(Pressure) အမျိုးမျိုး	1-1
၁.၂.၁ Pressure of Liquid Column သို့မဟုတ် Head	1-4
၁.၃ အပူ(heat)နှင့် အပူချိန်(temperature)	1-7
၁.၃.၁ ဒြပ်ဝတ္ထုများ၏ အနိမ့်ဆုံးအပူချိန်(Absolute Zero)	1-7
၁.၃.၂ Absolute Temperature စကေး(Scale)	1-8
၁.၄ အပူချိန်(Temperature)ပြောင်းခြင်းကြောင့် လေထုထည်(Volume)ပြောင်းလဲခြင်း	1-8
၁.၅ ဖိအား(Pressure)ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် လေထုထည်(Volume)ပြောင်းလဲခြင်း	1-10
၁.၆ Enthalpy	1-12
၁.၇ Sensible Heat and Latent Heat	1-14
၁.၈ အပူ(heat)ကို တိုင်းတာသည့် ယူနစ်များ	1-18
၁.၉ Phase change of water	1-20
၁.၁၀ စတင် အရည်ပျော်သည့် အပူချိန် (Melting Temperature)	1-21
၁.၁၁ စတင်ဆူပွက်သည့် အပူချိန်(Boiling Point)	1-21
၁.၁၂ Condensation Temperature	1-21
၁.၁၃ Solidification Temperature	1-21
၁.၁၄ Saturated, Subcooled နှင့် Superheated	1-27
၁.၁၅ Saturated Property Table (Steam Table)	1-28

Chapter-1 Fundamental and Basic Concept

၁.၁ ယူနစ်များ(Units of Measurement)

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

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသောပုံ၌ အနက်ရောင်ဖြင့် ဖော်ပြထားသောနိုင်ငံ လေးနိုင်ငံသည် US ယူနစ် သို့မဟုတ် Imperial system ကိုသုံးသော နိုင်ငံများဖြစ်ကြသည်။

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

SI ယူနစ် ကို Metric system ဟုလည်း ခေါ်ဆိုကြသည်။ SI ယူနစ်ကို နိုင်ငံအများစုက အသုံးပြုကြသည်။ Air conditioning equipment များကို ထုတ်လုပ်သောကုမ္ပဏီ အများစုသည် အမေရိကန်ကုမ္ပဏီ (US company)များ ဖြစ်ကြသောကြောင့် ACMV နှင့် HVAC လုပ်ငန်းခွင်တို့၌ English system(Imperial system)ဖြင့် မကင်းနိုင်ပေ။

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

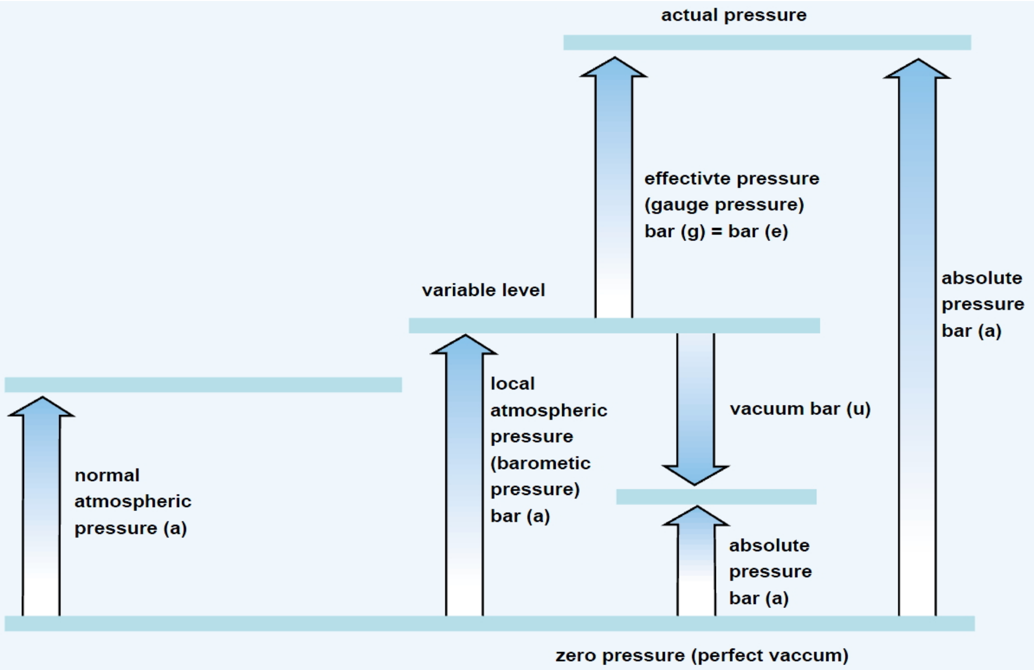
၁.၂ Atmospheric Pressure ၊ Absolute Pressure ၊ Gauge Pressure and Vacuum Pressure

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

လေထုဖိအား(Atmospheric Pressure)

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

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



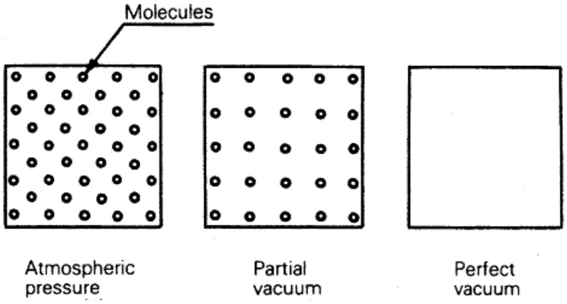
ပုံ ၁-၂ ဖိအား အမျိုးမျိုးတို့ကို ဖော်ပြထားပုံ

အထက်ပါပုံသည် Absolute pressure၊ Gauge pressure နှင့် Absolute pressure တို့၏ ဆက်စပ်မှုကို ပြသောပုံ ဖြစ်သည်။

Vacuum

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

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



Perfect vacuum(absolute vacuum)သည်

0 kgf/cm2

0 mm Hg

0 Pa

0 psi နှင့်

0 in Hg(0 mm Hg)တို့ ဖြစ်သည်။

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

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

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

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

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

Gauge pressure ဆိုသည်မှာ gauge သို့မဟုတ် instrument ဖြင့်တိုင်း၍ရသော ဖိအားကို ဆိုလိုသည်။ Absolute pressure သည် gauge pressure နှင့် atmospheric pressure တို့ပေါင်း၍ရသော ဖိအားဖြစ်သည်။

psig	psi ၏ နောက်တွင် g ဖြင့်ဖော်ပြလျှင် "Guage Pressure" ဖြစ်သည်။	Positive pressure
psia	psi ၏ နောက်တွင် a ဖြင့်ဖော်ပြလျှင် "Absolute Pressure" ဖြစ်သည်။	Positive pressure or Negative pressure
psiv	psi ၏ နောက်တွင် v ဖြင့်ဖော်ပြလျှင် "vacuum Pressure" ဖြစ်သည်။	Negative pressure

Absolute ၊ atmospheric နှင့် vacuum pressure တို့ ၏ ဆက်သွယ်ချက်မှာ

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

Atmospheric pressure မှ vacuum pressure ကို နှုတ်လျှင် Absolute pressure ကိုရသည်။

ပုံ ၁-၄ Compression Gauge

ပုံ ၁-၅ Compound Gauge

ပုံ ၁-၆ Compound Gauge

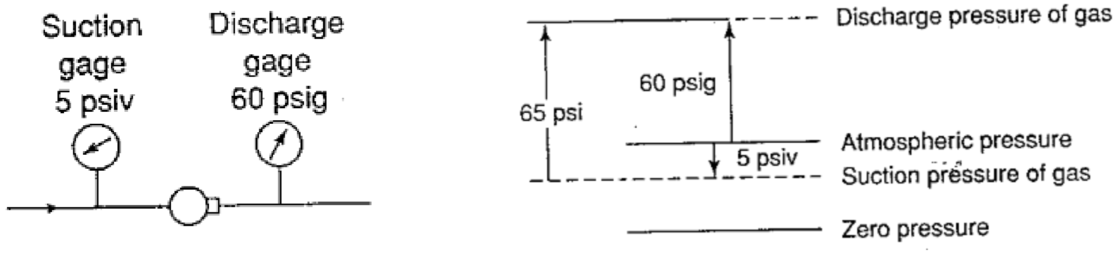
တချို့သော pressure gauge များသည် vacuum pressure နှင့် gauge pressure နှစ်မျိုးလုံးကို တိုင်းနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။

Compression gauge ဖြင့် gauge pressure ကို သာဖတ်နိုင်သည်။ Compound gauge ဖြင့် guage pressure နှင့် absolute pressure နှစ်မျိုးလုံးကို ဖတ်နိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် compound gauge ဖြင့် positive pressure နှင့် negative pressure (vacuum pressure) နှစ်မျိုးလုံးကို ဖတ်ယူနိုင်သည်။

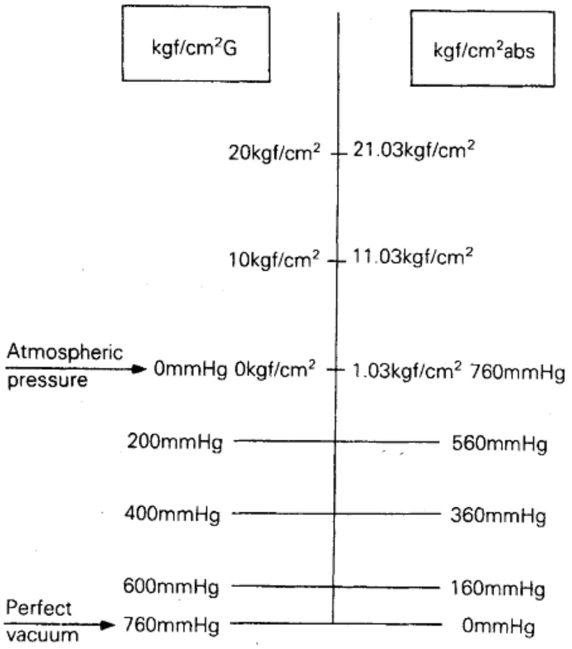
ဥပမာ - Compressor တခု၏ အဝင်ဘက်ရှိဖိအား(suction pressure)သည် 5 psiv ဖြစ်ပြီး အထွက်ဖက်ရှိ (discharge pressure)သည် 60 psig ဖြစ်သည်။ ထို compressor သည် ဖိအား မည်မျှတိုးအောင် ပြုလုပ်နိုင်သနည်း။

Pabs = Patm – Pvac = 60 – (-5) = 65 psi

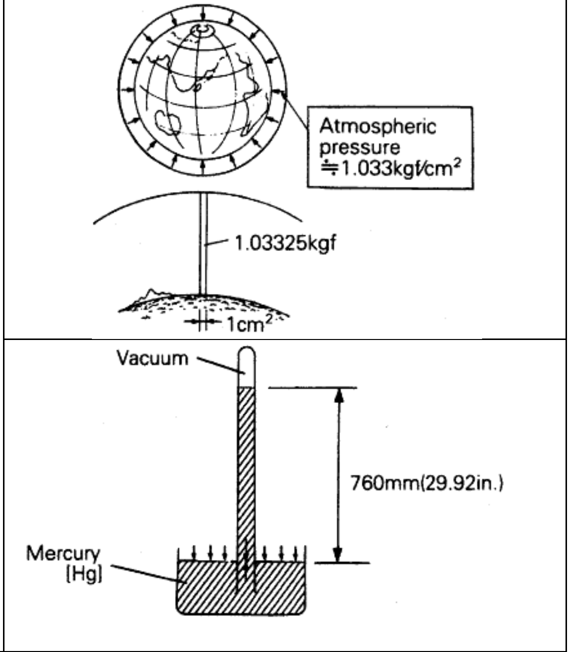
Standard Temperature & Pressure (STP)ဆိုသည်မှာ 14.696 Psia နှင့် 60°F(101.33 kPa absolute နှင့် 15.6°C)တို့ကို ဆိုလိုသည်။



ပုံ ၁-၇ Suction pressure နှင့် Discharge pressure



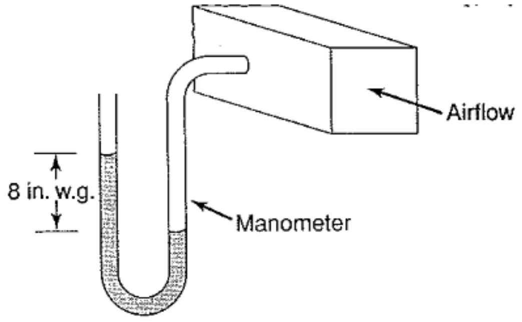
ပုံ ၁-၈ လေထုဖိအား(Atmospheric Pressure)



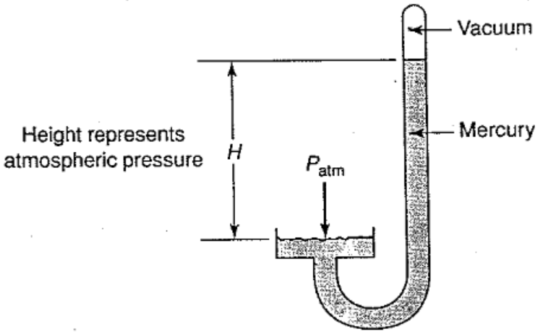
ပုံ ၁-၉ Atmospheric Pressure တိုင်းပုံ

၁.၂.၁ Pressure of Liquid Column သို့မဟုတ် Head

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



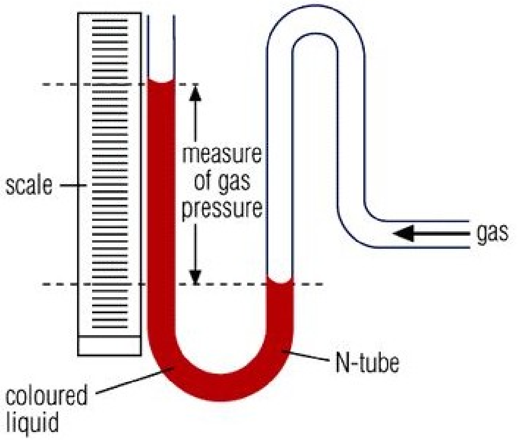
ပုံ ၁-၁၀ Positive pressure



ပုံ ၁-၁၁ Atmospheric Pressure တိုင်းပုံ

ACMV equipment များဖြစ်သော fan များနှင့် pump များအတွက် "Head" ဆိုသည့် နည်းပညာဝေါဟာရ (technical term)ကို အမြဲသုံးလေ့ရှိသည်။ Head ဆိုသည်မှာ အရည်၏ဒေါင်လိုက်အမြင့် (height of liquid

colum)ပင်ဖြစ်သည်။ ဖိအား(pressure)ကို Head ဖြင့် ဖော်ပြခြင်းဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဖိအားများကို အရည်၏ အမြင့်ဖြင့် ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁-၁၂ Manometer

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

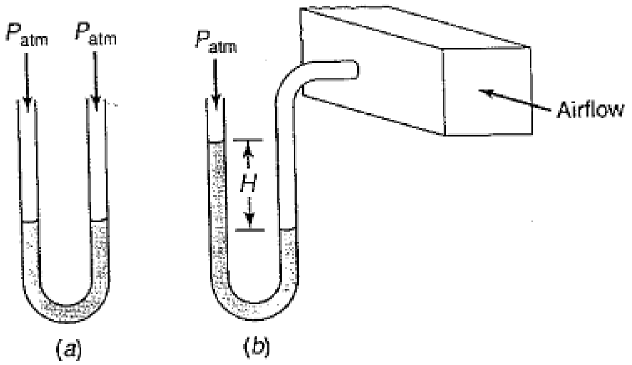
$$P = d \times H$$

P = pressure exerted by a liquid

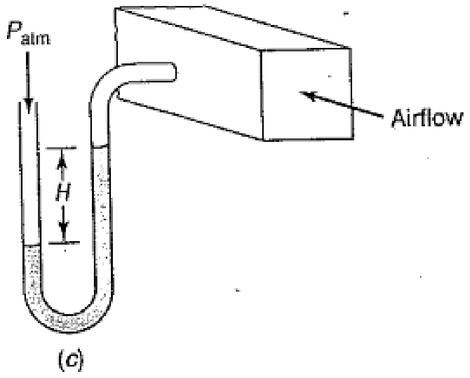
d = density of liquid(lb/ ft^3)

H = height of liquid(ft)

$$P = \rho g H$$



ပုံ ၁-၁၃ Positive pressure



ပုံ ၁-၁၄ Negative pressure

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

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

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

ပုံ(c) တွင် manometer ၏ အဝ တစ်ဖက်သည် လေထုဖိအား(atmospheric pressure) သက်ရောက်နေပြီး ကျန် အဝတတစ်ဖက်သည် duct အတွင်း ရှိ negative pressure (atmospheric pressure ထည်နည်းသည့်)ဖိအား သက်ရောက်နေသောကြောင့် duct ဘက် ရှိအရည်၏ အမြင့်သည့် duct အတွင်းရှိ negative pressure ပမာဏ ကို ဖော်ပြသည်။

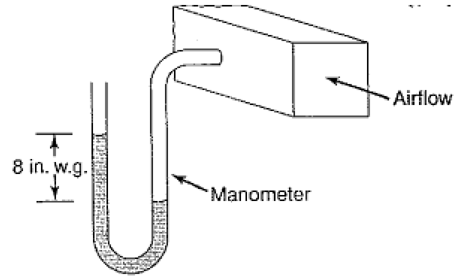
ဥပမာ - ပေ(၃၀၀)မြင့်သည့် အဆောက်အဦးတစ်ခု၌ရှိသော ဒေါင်လိုက်ထောင်ထားသည့်ပိုက်(vertical pipe) တစ်ချောင်း သည် chilled water တို့ဖြင့် ပြည့်နေသည့်အခါ အောက်ခြေ၌ရှိသော ဘား(valve) သည် ဖိအား(pressure) မည်မျှ သက်ရောက်ခြင်း ခံရမည်နည်း။ ရေ၏ သိပ်သည်းဆသည် 62.4 lb/ft^3 ဖြစ်သည်။

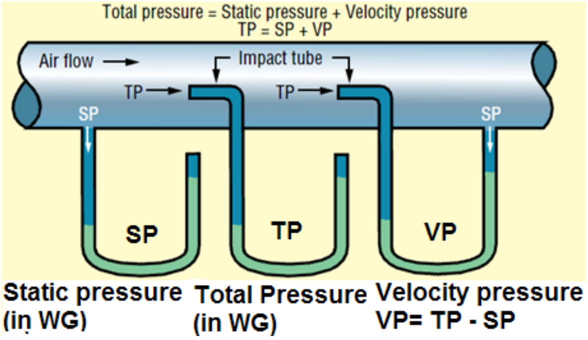
$$P = d \times H = 62.4 \text{ lb/ ft}^3 \times 300 \text{ ft} = 18{,}720 \text{ lb/ ft}^2 = 130 \text{ psig}$$

ထိုကြောင့် ပေ(၃၀၀)ကျော်မြင့်သည့် အဆောက်အဦး၏ အောက်ခြေတွင်ရှိသော ဒေါင်လိုက်ထောင်ထားသည့် chilled water riser ပိုက်၌ တပ်ဆင်ထားသော ဘား(valve)သည် ဖိအား 130 psig သက်ရောက်ခြင်း ခံရမည်။

> အဆောက်အဦးမြင့်လေလေ အောက်ခြေ၌ရှိသော ဘား(valve)များ နှင့် compoment များသည် ရေဖိအား ပိုများများ သက်ရောက်ခြင်းခံရလေ ဖြစ်သည်။

ထိုကြောင့် မိုးပျံတိုက်များ(high raise buildings)၏ chiller water circuit များတွင် အဆောက်အဦး၏ အမြင့်ကိုလိုက်၍ ပိုင်းခြား(break) ထားရသည်။ အထပ်မြင့်လွန်းလျှင် အောက်ခြေရှိ ဘား(valve)များနှင့် ကိရိယာများသည် အလွန်များသည့် ရေ၏ ဖိအားသက်ရောက်ခြင်းခံကြရသည်။ ထိုကြောင့် ဖိအား တူညီအောင် chiller water circuit များကို ခွဲခြားထားခြင်း(break) ဖြစ်သည်။





ပုံ ၁-၁၅ Manometer ပုံ၁-၁၆ Total pressure=Static Pressure+Velocity Pressure

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

$$H = \frac{8 \text{ in Wg}}{12} = 0.667\ ft\ of\ Wg$$

$$P = d\ x\ H = 62.4\ lb\ per\ ft^3\ x\ 0.667\ ft$$

$$= 41.6\ \text{ lb per } ft^3\ \text{x}\ \frac{1\ ft^2}{144} = 0.29 \text{ psig}$$

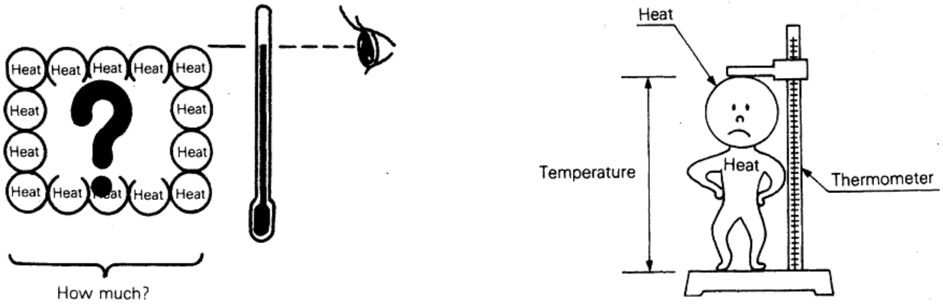
Duct ထဲတွင် ရှိသည့် လေဖိအား(air pressure) သည် 0.29 psig ဖြစ်သည်။လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ထက် 0.29 psi ပိုမြင့် သည်။

ရေ၏ သိပ်သည်းဆ(density)သည် မာကြူရီ(mercury)၏ သိပ်သည်းဆ (density)ထက် ပိုများသောကြောင့် အလွန်နည်းသည့် ဖိအား(pressure)ကို တိုင်းရန်အတွက် မာကြူရီ(mercury)ကို အသုံးပြုကြသည်။ ထို့ကြောင့် အလွန်နိမ့်သည့် ဖိအား(low pressure)ကို တိုင်းရန်အတွက် ပြုလုပ်ထားသည့် manometer ထဲတွင် သိပ်သည်းဆ (density) နည်းသည့် mercury(Hg)ကို အသုံးပြုရသည်။

၁.၃ အပူ(heat)နှင့် အပူချိန်(temperature)

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

activity)ကို ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။ အပူကြောင့်ဖြစ်သော လှုပ်ရှားမှု(thermal activity)သည် ထို ဒြပ်ဝတ္ထုအတွင်း မော်လီကျူး(molecules)များ၏ အလျင်(velocity)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အပူချိန်(temperature) မြင့်သည့် အရာဝတ္ထုများတွင် အပူကြောင့်ဖြစ်သောလှုပ်ရှားမှု(thermal activity) များကြသည်။ သို့သော် ဒြပ်ဝတ္ထုအတွင်းရှိ မော်လီကျူးများ၏ အလျင်(velocity)ကို တိုက်ရိုက်တိုင်းတာရန် မဖြစ်နိုင်။ ထို့ကြောင့် အပူကြောင့်ဖြစ်သော လှုပ်ရှားမှု(thermal activity) မည်မျှများသည် သို့မဟုတ် နည်းသည်ကို သိနိုင်ရန်အတွက် အပူချိန် (temperature)ဖြင့် တိုင်းတာဖော်ပြကြသည်။

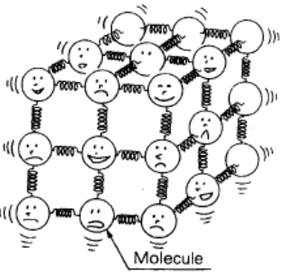


ပုံ ၁-၁၇ အပူ(heat)ကို အပူချိန်(temperature)ဖြင့် တိုင်းယူပုံ

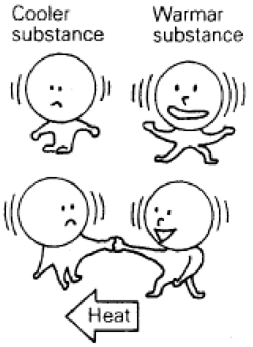
> အပူ(heat)သည် အပူချိန်မြင့်ရာ(high temperature)မှ အပူချိန်နိမ့်ရာ(low temperature)သို့ မည်သည့် အကူအညီမျှမပါဘဲ အလိုအလျောက် စီးဆင်းနိုင်သည်။ အပူချိန်ခြားနားချက်(temperature difference) မရှိလျှင် အပူစီးဆင်းခြင်း(heat flow) မဖြစ်နိုင်ပေ။

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

၁.၃.၁ ဒြပ်ဝတ္ထုများ၏ အနိမ့်ဆုံးအပူချိန်(Absolute Zero)



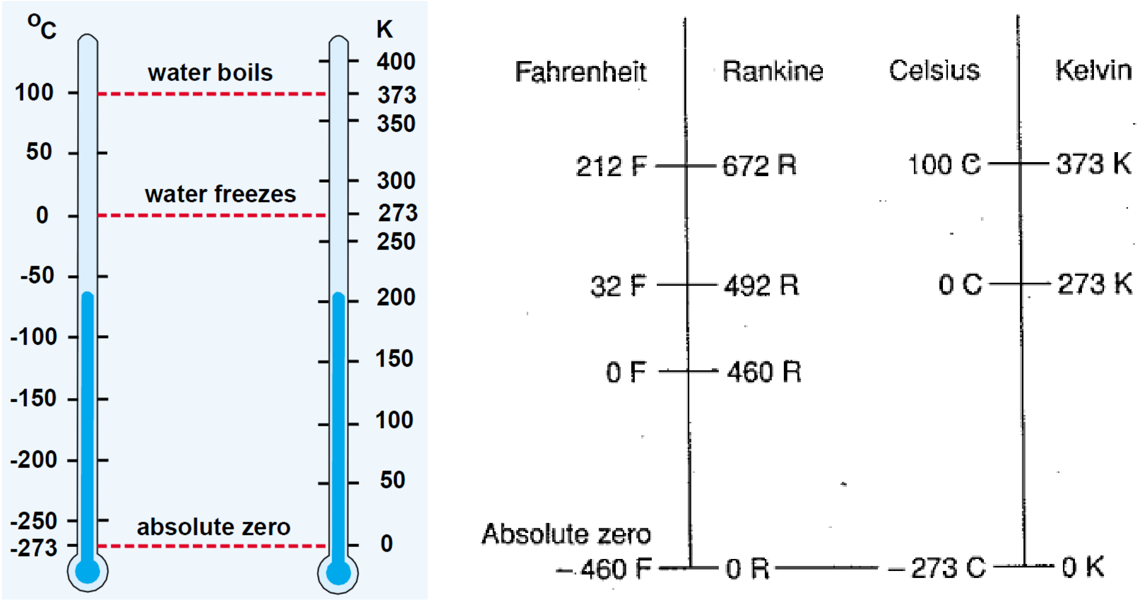
ပုံ ၁-၁၈ အရာဝတ္ထုများအတွင်းရှိ မော်လီကျူးလေးများ



ပုံ ၁-၁၉ Absolute Zero State

အရာဝတ္ထုများအတွင်းရှိ မော်လီကျူးလေးများသည် လှုပ်ရှားမှု(motion) လုံးဝကင်းမဲ့သည့်အချိန်၊ တုန်ခါမှု (vibration)မရှိတော့သည့် အခိုက်ကို “Absolute Zero” ဟု သတ်မှတ်သည်။ Absolute Zero အခိုက်တွင် အရာဝတ္ထုတစ်ခုသည် အပူစွမ်းအင် ပိုင်ဆိုင်မှု ကင်းမဲ့နေသည်။

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



ပုံ ၁-၂၇ ဖာရင်ဟိုက် စကေး နှင့် စင်တီဂရိတ် စကေး တို့၏ Absolute Zero

၁.၃.၂ Absolute Temperature စကေး(Scale)

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

$$\textbf{\textit{Rankin}} = \textbf{\textit{Fahrenheit}} + 460$$

$$\textbf{\textit{Kelvin s}} = \textbf{\textit{Centigrade}} + 273$$

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

၁.၄ အပူချိန်(Temperature)ပြောင်းခြင်းကြောင့် လေထုထည်(Volume)ပြောင်းလဲခြင်း

"လေ(air)၌ အလေးချိန်ရှိသည်။ လေသည် နေရာယူသည်။" ဆိုသည်ကို တစ်ခါတစ်ရံ လက်ခံရန် ခက်ခဲတတ်သည်။ လွယ်ကူသည့် စမ်းသပ်မှုများ ကိုယ်တိုင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် နားလည် သဘောပေါက်နိုင်သည်။

လေ၏ထုထည်(volume)သည် ထိုလေ၏ အပူချိန်(temperature)ကိုလိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ ဖိအားကိုမပြောင်းလဲအောင်ထိန်းထားနိုင်လျှင်(under constant pressure)လေသည် သတ်မှတ်ထားသောနှုန်း (definite rate)ဖြင့် ကျယ်ပြန့်ခြင်း(expansion)နှင့် ကျုံ့ခြင်း(contraction) ဖြစ်ပေါ်သည်။

volume ∝ temperature(pressure = Constant)

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

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

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

သီအိုရီအရ မည်သည့် အရာဝတ္ထု(substance)ကိုမဆို -460°F အထိ အေးအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် -460°F ကို absolute zero temperature ဟုခေါ်သည်။ -460°F ကို ရည်ညွှန်းရာအမှတ်(reference) အဖြစ်သတ်မှတ်၍ ရောက်ရှိနေသော အပူချိန်ကို ဖော်ပြလျှင် "Absolute Temperature" ဟုခေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် 100°F တွင် ရှိသည့်လေ၏ absolute temperature သည် 100°F +460 = 560°R ဖြစ်သည်။ 20°F တွင်ရှိသောလေ၏ absolute temperature မှာ 20°F + 460 = 480°R ဖြစ်သည်။

Absolute temperature ၏ သဘော(concept)သည် လေ၏ ထုထည်ကို ဖော်ပြရန်အတွက် အသုံးဝင်ရုံ သာမက air con နှင့်သက်ဆိုင်သော သဘောတရား(theory)များကိုလည်း နားလည် သဘောပေါက်စေသည်။ ဖိအားမပြောင်းလဲလျှင်(constant pressure) လေထုထည်(volume) နှင့် အပူချိန်(temperature)တို့သည် အောက်ပါ ပုံသေနည်း အတိုင်းဆက်သွယ်မှုရှိသည်။

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

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

V_1 = Initial volume of air T_1 = Initial absolute temperature

V_2 = Final volume of air T_2 = Final absolute temperature

ဥပမာ။ လေသည် အပူချိန် 45°F တွင် ထုထည်(volume) 2100 ft^3 ရှိလျှင် ထိုလေကို 125°F သို့ရောက်အောင် အပူပေးလိုက်လျှင် ထုထည်(volume) မည်မျှဖြစ်သွားမည်နည်း။

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

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

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

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

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

Initial absolute temperature = 460 + 110°F = 570

Final absolute temperature = 460 + 70°F = 530

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

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

ဥပမာ- အပူချိန် 100°F တွင်ရှိသော လေ၏ထုထည်(volume)သည် 20°F အပူချိန်တွင်ရှိသော လေ၏ထုထည်ထက် ရာခိုင်နှုန်းမည်မျှများမည်နည်း။

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

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

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

အပူချိန်တစ်ခုတည်းကိုသာသိလျှင် ထုထည်(volume)ကို အထက်ပါ ပုံသေနည်း(formula)ဖြင့် တွက်ယူနိုင်ပါသည်။ ထိုသို့အမြဲပြောင်းလဲနေသည့်လေကို တစ်ညီတစ်ညွတ်တည်း ရည်ညွှန်းပြောဆိုရန်အတွက် reference point တစ်ခု သတ်မှတ်ထားသည်။ ထို reference point သည် Standard Air Condition ဖြစ်သည်။

> Standard air condition ဆိုသည်မှာ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air)တစ်ပေါင်သည် အပူချိန် 70°F နှင့် ဖိအား 14.7 psia အောက်တွင် 13.34 ft^3 ထုထည်ရှိသည်။

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

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

$V_2 = 13.34 \times T_2 / 530$

အထက်ပါပုံသေနည်းအရ T_2 ကိုသိလျှင် V_2 ကိုတွက်ယူနိုင်သည်။ V_2 ကိုသိလျှင် T_2 ကိုတွက်ယူနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ဖိအား(pressure) 14.7 psia တွင် လေတစ်ပေါင်၏ ထုထည်(volume) နှင့် အပူချိန်(temperature)၏ ဆက်သွယ်မှုမှာ

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

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

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

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

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

၁.၅ ဖိအား(Pressure)ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် လေထုထည်(Volume)ပြောင်းလဲခြင်း

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

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

> လေထဲတွင်ရှိနေသည့် ရေခိုးရေငွေ့သည် ဖိအား အလွန်နိမ့်သည့် (low pressure) superheated steam ဖြစ်သည်။

လက်တွေ့တွင် ဓာတ်ငွေ့များ(gases)ကို အချိန်တိုတိုအတွင်း လျှင်မြန်စွာ ဖိသိပ်(compress)လျှင် အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။ တွက်ချက်မှုများ ရှင်းလင်းရန်အတွက်သာ အပူချိန်ပြောင်းလဲခြင်း(temperature changes) မရှိ ဟု ယူဆတွက်ချက်ကြခြင်း ဖြစ်သည်။

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

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

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

Initial absolute pressure = 14.7psia

Final absolute pressure = 14.7+13 = 27.7 psia

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

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

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

Initial absolute pressure = 14.7 + 25 = 39.7 psia

Final absolute pressure = 14.7 + 75 = 89.7 psia

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

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

Air con ဘာသာရပ်တွင် လေ(air) နှင့်ပတ်သက်သည့် တွက်ချက်မှုများ အများဆုံး ပြုလုပ်ကြသည်။ ထို့ကြောင့် လေ၏ ထုထည် (volume)နှင့် ဖိအား(pressure)ဆက်သွယ်မှုများသည် Standard air တစ်ပေါင်(1 lb)၏ 14.7 psia ၊ 70°F ၊ 13.34 ft ကိုအခြေခံသည်။

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

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

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

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

Absolute pressure = 14.7 + 82 = 96.7psia

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

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

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

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

Initial absolute pressure = 14.7 psia

Final absolute pressure = 14.7 + 30 = 44.7 psia

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

= 10 x 14.7/44.7 = 3.29 ft^3

(၂) ထို့နောက် အပူချိန်တက်လာမှုကြောင့် final temperature ပြောင်းလာသည်။ ထုထည်(volume)ကိုရှာရန်

Initial absolute temperature = 460 + 85 = 545°R

Final absolute temperature = 460 + 125 = 585°R

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

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

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

အထက်ပါပုံသေနည်းမှ လေတစ်ပေါင်၏ ထုထည်(volume)ကို ထိုလေ၏ အပူချိန်(temperature)နှင့် ဖိအား (pressure)ကိုသိလျှင် တွက်ယူနိုင်သည်။

၁.၆ Enthalpy

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

> တစ်နေရာမှ အခြားတစ်နေရာသို့ ကူးပြောင်း(transfer)သွားနိုင်သည့် စွမ်းအင်(form of energy)ကိုသာ "Heat" အဖြစ်သတ်မှတ်သည်။ အရာဝတ္ထုတစ်ခု၏ အပူပိုင်ဆိုင်မှု သို့မဟုတ် သိုလှောင် သိမ်းဆည်း ထားသည့် အပူကို Enthalpy ဟုသတ်မှတ်သည်။ Enthalpy သည် ဒြပ်ဝတ္ထုတစ်ခု၏ ကူးပြောင်း(transfer)နိုင်သည့် စွမ်းအင်(energy) နှင့် ကျန်သည့် စွမ်းအင်(energy) အားလုံးကိုပါ ဖော်ပြသည့် ပိုင်ဆိုင်မှု တန်ဖိုးဖြစ်သည်။

ဥပမာ လူတစ်ယောက်၏ ရွှေ့ပြောင်းနိုင်သည့် ပိုင်ဆိုင်မှုသည် Heat နှင့် တူသည်။ ရွှေ့ပြောင်းနိုင်သည့် ပိုင်ဆိုင်မှု နှင့် မရွှေ့ပြောင်းနိုင်သည့် အရာအားလုံးတို့သည် "Enthalpy" ဖြစ်သည်။ (အချိန် အခိုက်အတန့် အတွက် ဖြစ်သည်။)

အရာဝတ္ထုတစ်ခု၏ အပူပိုင်ဆိုင်မှု သို့မဟုတ် သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားသည့် အပူ(Enthalpy)အားလုံး ကို အခြား တစ်နေရာရာသို့ ကူးပြောင်း(transfer)နိုင်လျှင် Enthalpy တန်ဖိုးနှင့် Heat တန်ဖိုးတို့ တူညီကြသည်။ သို့သော် လက်တွေ့တွင် ကူးပြောင်း(transfer)နိုင်သည့် အပူ(heat)ပမာဏသည် Enthalpy (သိုလှောင် သိမ်းဆည်းထားသည့် အပူပမာဏ)ထက် နည်းလေ့ရှိသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် သိုလှောင်ထားသမျှ အပူအားလုံးကို လုံးဝကုန်စင်အောင် ကူးပြောင်း(transfer)သွားအောင်လုပ်ရန် အလွန်ခဲယဉ်းသည်။ (လူတစ်ယောက်သည် သူ့၏ ပိုင်ဆိုင်သမျှအားလုံးကို တပြားမကျန် စွန့်လွှတ် ပေးကမ်းရန် မဖြစ်နိုင်သကဲ့သို့ ဖြစ်သည်။)

> အပူကူပြောင်းခြင်း(heat transfer) ဖြစ်ရန်အတွက် အပူချိန်ခြားနားချက်(temperature difference) ရှိရန်လိုသည်။ ပိုင်ဆိုင်မှုများသူကသာ ပိုင်ဆိုင်မှု နည်းသူကို ပေးကမ်းစွန့်ကြဲလေ့ရှိသကဲ့သို့ Enthalpyမြင့်သည့် (temperature မြင့်သည့်)အရာဝတ္ထုကသာ Enthalpy နိမ့်သည့်(temperature နိမ့်သည့်) အရာဝတ္ထုထံသို့ အပူများ(heat)ကူးပြောင်းခြင်း(transfer)ဖြစ်နိုင်သည်။

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

အပူချိန်မြင့်သည့် ဒြပ်ဝတ္ထု(high temperature body)သည် အပူပိုင်ဆိုင်မှု(Enthalpy)များသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အပူ သိုလှောင်ထားမှု များသည်။ ထို Enthalpy ထဲမှ ကူးပြောင်း(transfer)သွားနိုင်သည့် အပူစွမ်းအင်ကိုသာ "Heat" ဟုပြောဆို ကြသည်။ အပူကူပြောင်းခြင်း(heat transfer)ဖြစ်ရန် အပူချိန်မြင့်သည့်

(ပေးမည့်)နေရာမှ အပူချိန်နိမ့်သည့် (လက်ခံမည့်) နေရာသို့ စီးဆင်းမည့် အပူပမာဏ(amount of heat)သည် ဒြပ်ဝတ္ထု(mass) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

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

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

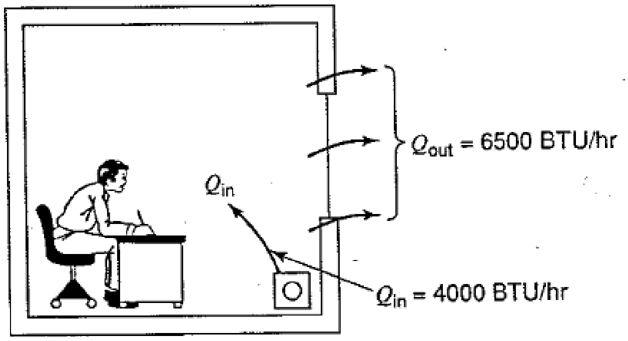
System တစ်ခုအတွင်းရှိ စွမ်းအင်(energy) ပြောင်းလဲမှုသည် ထို system ထဲသို့ ထည့်သည့် စွမ်းအင်(E_{in})ပမာဏ မှ ထို system ထဲမှ ထုတ်လိုက်သည့် စွမ်းအင်(E_{out})ပမာဏ ကိုနုတ်ခြင်း နှင့် ညီမျှသည်။

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

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

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

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



အခန်းအတွင်းမှ အပူသည် အပြင်ဘက်သို့ 6500 Btu/hr နှုန်းဖြင့် ထွက်သွားသည်။ အခန်းသည် မည်သည့် အခြေအနေ ဖြစ်လာမည်နည်း ။ မည်သို့ ကာကွယ်ရမည်နည်း။

$$Ech = Ein - Eout$$

= 4000 Btu/ hr - 6500 Btu/ hr

= - 2500 Btu/ hr

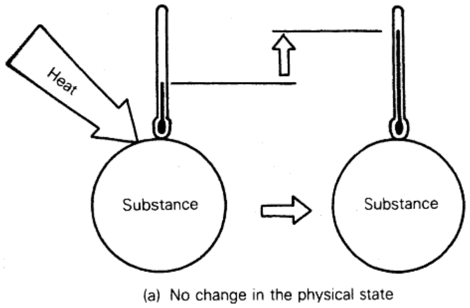
ပုံ ၁-၂၁

Air con ဘာသာရပ်တွင် လေ နှင့် ရေ တို့၏ သဘာဝ(nature)ကို အသေးစိတ်လေ့လာရန်လိုသည်။

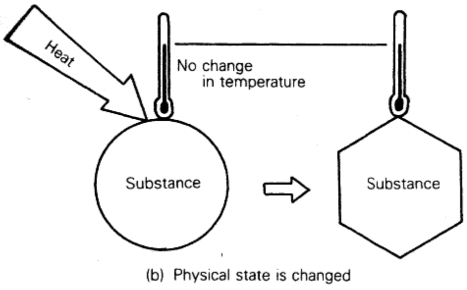
အနုတ်လက္ခဏာသည် အခန်းအတွင်းမှ အပူများ ဆုံးရှုံး နေသည်ကို ဖော်ပြသည်။ အခန်းအတွင်းမှ ထွက်သွားသည်အပူ ပမာဏသည် အပူပေးစက်(heater)မှ ထုတ်ပေးသည့် အပူ ပမာဏထက် များသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

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

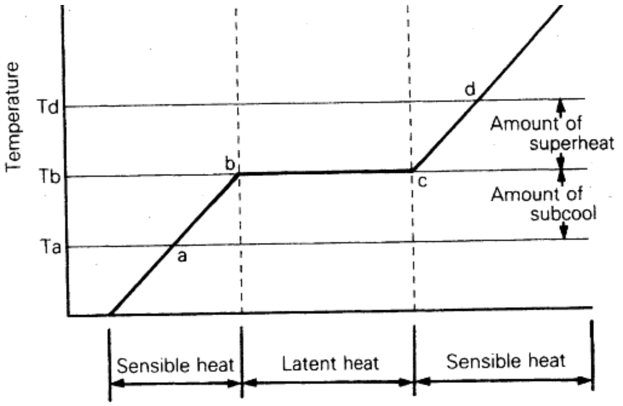
၁.၇ Sensible Heat and Latent Heat



ပုံ ၁-၂၂ (a) Sensible Heat



ပုံ ၁-၂၂ (b) Latent Heat



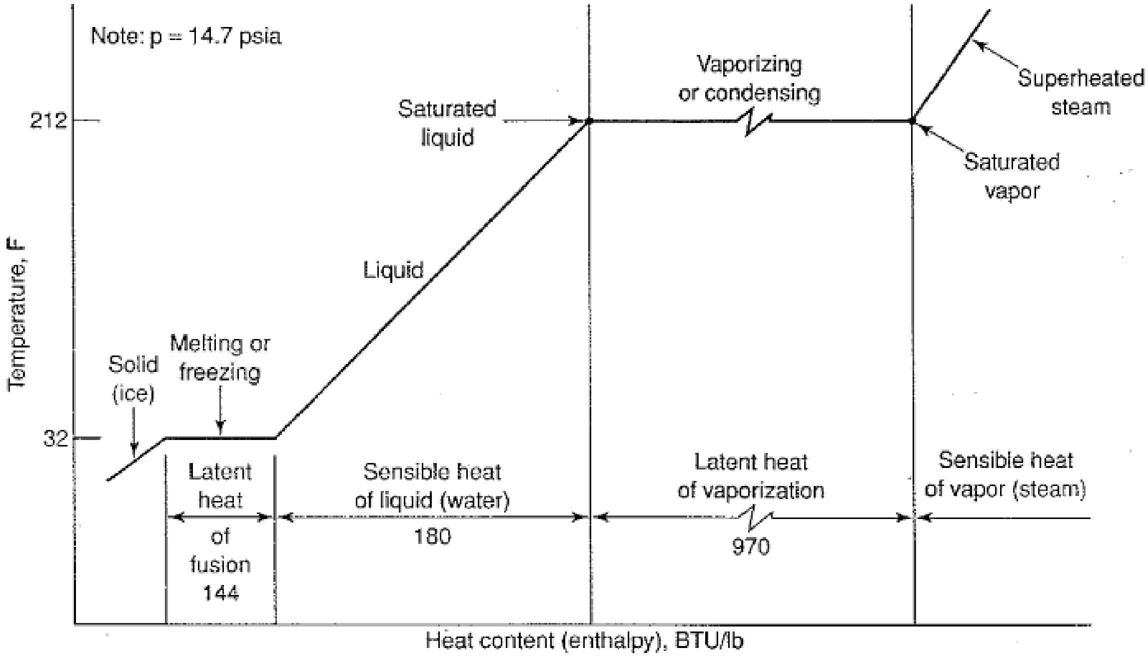
ပုံ ၁-၂၃ Sensible Heat and Latent Heat

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

ဒြပ်ထုများကို အပူပေးသည့်အခါ(heat added)သည့်အခါ အခြေအနေ နှစ်မျိုး ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

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

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



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

Sensible Heat

Sensible heat Equation:

$$Q_s = m\ x\ C_p\ x\ \Delta t = m\ x\ C_p\ (t_2 - t_1)$$

Q_s = rate of sensible heat added or removed trum Substance(Btu/hr)

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

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

$\boldsymbol{\Delta t = m\,x\,C_p\,(t_2 - t_1)}$ = temperature change or substance(°F)

Air conditioning process များတွင် sensible heat squation ကို အလွန်အသုံးများသည်။ Air Con process များတွင် အပူချိန်ပြောင်းလဲခြင်း(temperature change)သာ ဖြစ်လေ့ရှိပြီး state ပြောင်းလဲခြင်း သို့မဟုတ် phase ပြောင်းလဲခြင်း သည် မဖြစ်သလောက် နည်းသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

ဥပမာ Refrigeration plant တစ်ခုတွင် chilled water flow rate သည် ၁ မိနစ်လျှင် ဂါလံ ၅၀၀ နှုန်း(500 GPM)ဖြင့် လည်ပတ်နေသည်။ Chilled water သည် 55°F မှ 43°F အထိ ရောက်အောင် chiller မှ အေးအောင် လုပ်နိုင်စွမ်းရှိလျှင် chiller ၏ cooling capacity ကို ရှာပါ။ Btu/hr ၊ ton of refrigeration ၊ kW တို့ဖြင့် ဖော်ပြပါ။

Refrigeration chiller တစ်လုံး၏ cooling capacity ဆိုသည်မှာ ရေမှ အပူများကိုဖယ်ထုတ်လိုက်သည့် ပမာဏ (amount of heat removed from water)ဖြစ်သည်။

$$\boldsymbol{Q_s = m\,x\,C_p\,x\,\Delta t}$$

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

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

= 250,000 lb/hr

တစ်မိနစ်လျှင် တစ်ဂါလံ(1 GPM)ကို lb/hr သို့ ပြောင်းလျှင် 500 lb/hr နှင့် ညီမျှသည်။

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

=-3,000,000 Btu/hr

အနှုတ် လက္ခဏာသည် အပူ(heat)များကို ရေမှ ဖယ်ထုတ်လိုက်သည် ဟုဆိုလိုသည်။ ထို့ကြောင့် ရေသည် နွေးရာမှ ပို၍အေးသွားသည်။

Btu/hr မှ Refrigeration သို့ပြောင်းရန် 1 RT (Refrigeration Tom) 12,000 Btu/hr = 3.517KW

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

cooling capacity ကို kW(kilowatt)ဖြင့် ဖော်ပြရန်

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

Chilled water circuit သို့မဟုတ် chiller water တွင် sensible heat transfer သာဖြစ်ပေါ်သည်။ မည်သည့်အခါမှ later heat transfer မဖြစ်ပေါ်ပေ။ [$\boldsymbol{Q_s = m\,x\,C_p\,x\,\Delta t}$]

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

ပထမဦးစွာ လောင်စာဆီ(fuel oil) ၏ GPM ကို lb/hr သို့ ပြောင်းရန်လိုအပ်သည်။

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

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

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

$$T_2 = 42 + t_1 = 42 + 60 = 102F$$

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

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

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

1kW = 3,410 Btu/hr

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

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

$C_p = 0.24\frac{Btu}{lb\ ℉}$

$$\boldsymbol{Q_3 = m\ x\ Cp\ x\ \Delta t}$$

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

(၃) CFM သို့ပြောင်းရန်

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

Latent Heat

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

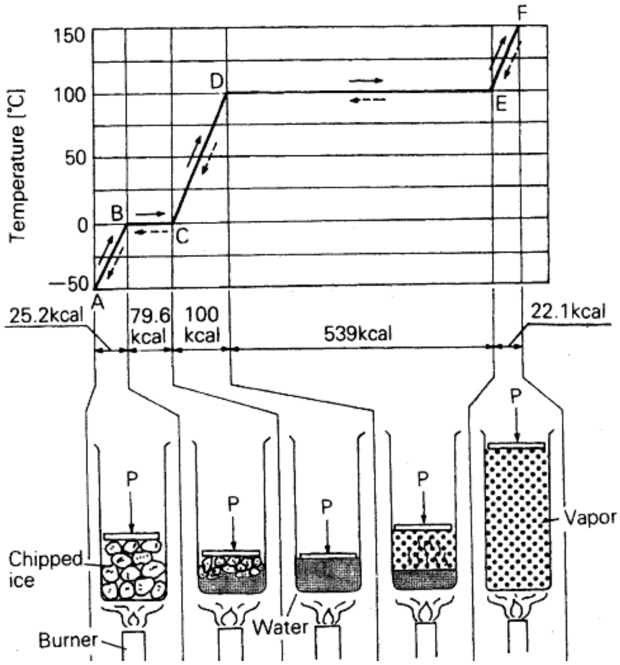
ရေ၏ latent heat of vaporization နှင့် latent heat of condensation တန်ဖိုး တူညီကြသည်။ 970 Btu/lb (2257 kJ/Kg)ဖြစ်သည်။

အစိုင်အခဲ(solid) အဖြစ်မှ အရည်(liquid)အဖြစ်သို့ ပြောင်းရန်အတွက် ထည့်ပေးရသည့်အပူကို latent heat of solidification ဟုခေါ်သည်။ အရည်(liquid) အဖြစ်မှ solid အဖြစ်သို့ ပြောင်းရန်အတွက် ထုတ်ယူရသည့်အပူကို "Latent Heat of Fusion" ဟုခေါ်သည်။

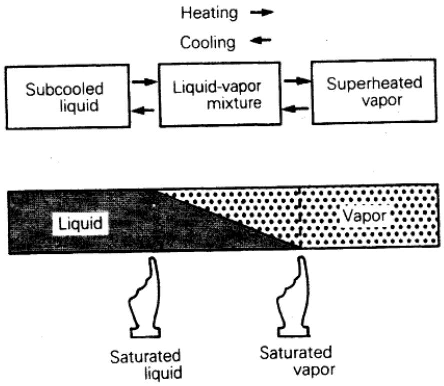
ရေ၏ latent heat of solidification နှင့် latent heat of fusion သည် တူညီကြသည်။ 144 Btu/lb (334 kJ/Kg) ဖြစ်သည်။

ဒြပ်ထု (substance) အမျိုးအစားကို လိုက်၍ saturation temperature ကွဲပြားကြသည်။ လေထုဖိအား(atmospheric pressure)အောက်တွင် ရေသည် အပူချိန် 100°C ၌ ဆူပွက်ခြင်း(boiling)ဖြစ်ပြီး အရက်ပျံ(alcohol)သည် 78°C တွင် စတင်ဆူပွက်ခြင်း(boiling) ဖြစ်သည်။ R-22 ဓာတ်ငွေ့သည် -40.8 °C တွင် ဆူပွက်ခြင်း(boiling) ဖြစ်သည်။

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



ပုံ ၁-၂၅



ပုံ ၁-၂၆

Latent heat of vaporization (condensation)

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

Latent Heat Formual

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

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

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

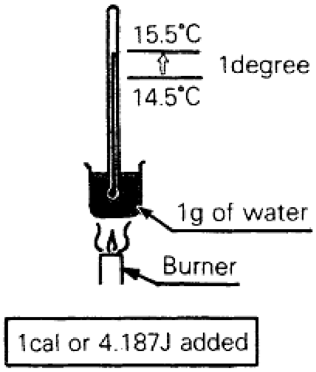
Q = 10 kg x 2257 kJ/kg = 22,570 kJ လိုအပ်သည်။

၁.၈ အပူ(heat)ကို တိုင်းတာသည့် ယူနစ်များ

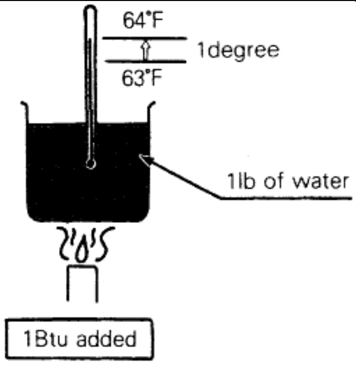
အပူချိန်တိုင်းသည့် သာမိုမီတာ(thermometer) သည် intensity of heat ကိုသာတိုင်းနိုင်သည်။ အပူပမာဏ (quantity of heat)ကို မတိုင်းတာနိုင်ပေ။ လက်တွေ့တွင် အပူပမာဏ(quantity of heat)မည်မျှနည်းသည် သို့မဟုတ် မည်မျှများသည်ကို တွက်ချက်ပြောဆိုရန် လိုအပ်သည်။ အပူပမာဏ(quantity of heat)ကိုတိုင်းယူသည့် ယူနစ် များစွာရှိသည်။

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

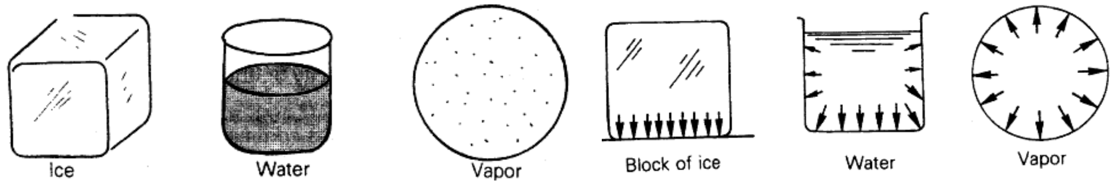
ယူနစ်	ရေ၏အလေးချိန်	အပူချိန်(တက်/ကျ)	အပူပမာဏ(amount of heat)
Kilocalorie [kcal]	1kg	1°C	1kcal
Joule [J]	1g	1°C	4.187J
Kilojoule[kJ]	1kg	1°C	4.187kJ
British thermal Unit [Btu]	1lb	1°F	1Btu.



ပုံ ၁-၂၇ 1 cal or 4.187J ထည့်ပေးခြင်း



ပုံ ၁-၂၈ 1 Btu ထည့်ပေးခြင်း

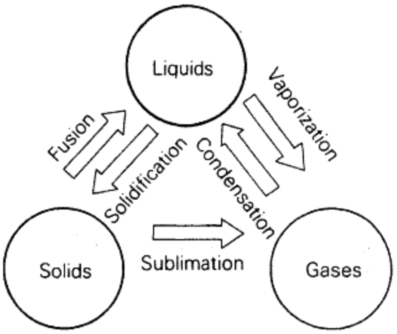


ပုံ ၁-၂၇ ရေခဲ(ice)၊ ရေ(water) နှင့် ရေငွေ့(vapor)တို့မှ သက်ရောက်နေသည့် ဖိအားအမျိုးမျိုး

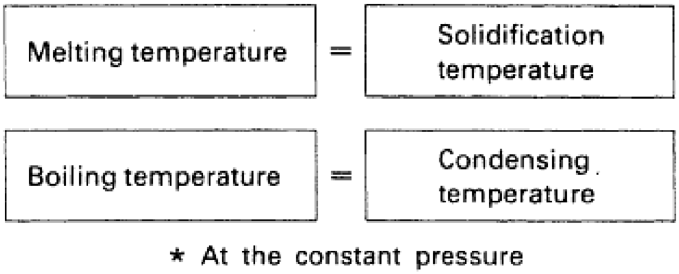
အပူ(heat)၏ ယူနစ်တစ်ခု မှ တစ်ခုပြောင်းယူရန်ဆက်သွယ်ချက်

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

အပူပေးခြင်း(heat addition)ကြောင့် အစိုင်အခဲ(solid)မှအရည်(liquid) အဖြစ်သို့ပြောင်းလဲခြင်းကို "Fusion" ဟုခေါ်သည်။ အရည်(liquid)အဖြစ်မှ အငွေ့(vapor)အဖြစ်သို့ပြောင်းလဲခြင်းကို "Vaporization" ဟုခေါ်သည်။



ပုံ ၁-၂၉



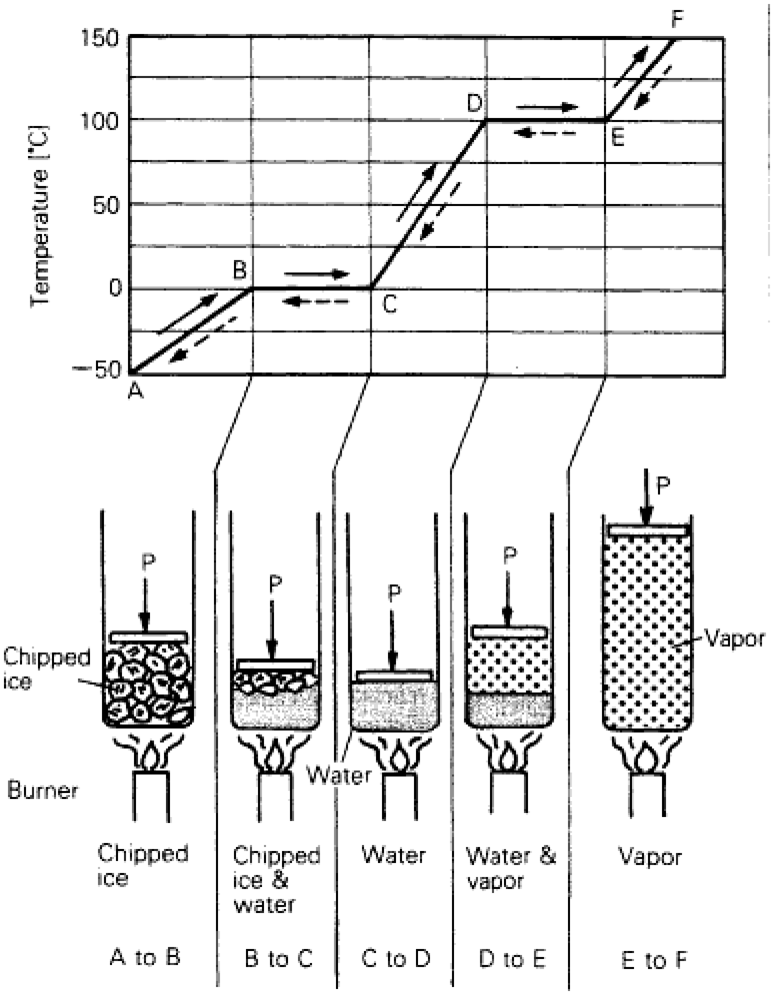
ပုံ ၁-၃၀

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

၁.၉ Phase change of water

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

B မှ C 0°C(32°F)အပူချိန်သို့ရောက်ရှိလျှင် ရေခဲတုံးကလေးများ စတင် အရည်ပျော်လာမည်။ ရေခဲတုံးကလေးများအဖြစ် ရှိနေသမျှ အပူချိန်သည် 0°C (32°F)မှ မြင့်တက်လာလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ အချိန်ခဏကြာလျှင် ရေခဲတုံးများအားလုံးသည် အရည်အဖြစ်သို့ ရောက်ရှိသွားလိမ့်မည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် 0°C(32°F) ရေ(liquid) အဖြစ်သို့ ရောက်သွားသည်။ ထိုအချိန်တွင် မီးဖိုမှ အပူပေးနေပြီး ရေခဲတုံးများ၏ အပူချိန်သည် မြင့်တက်လာခြင်းမရှိလျှင် မီးဖိုမှ ပေးနေသည့် အပူများသည် မည်သည့် နေရာသို့ ရောက်ရှိကုန်သနည်း။ ထိုအပူများသည် 0°C(32°F) ရေခဲတုံး(ice)အဖြစ်မှ 0°C(32°F) ရေ(liquid) အဖြစ်သို့ အသွင်(phase) ပြောင်းရန် အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအင်အဖြစ်သို့ ရောက်ရှိသွားသည်။



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

C မှ D ရေခဲအားလုံးအရည်ပျော်ပြီးနောက် အပူချိန် 0°C(32°F) မှ 100°C(212°F) သို့ရောက်အောင် တဖြည်းဖြည်း အပူချိန် တိုးလာသည်။

D မှ E 100°C(212°F)အပူချိန်သို့ရောက်ပြီးနောက် အပူချိန်ဆက်မတက်တော့ဘဲ ရေများစတင် ဆူလာကာ ရေနွေးငွေ့ 100°C(vapour)အဖြစ်သို့ စတင်ပြောင်းလဲလာသည်။ အချိန်ခဏအကြာတွင် ရေ(water) အားလုံးသည် 100°C ရေနွေးငွေ့အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။

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

၁.၁၀ စတင် အရည်ပျော်သည့် အပူချိန် (Melting Temperature)

အစိုင်အခဲ(solid)အဖြစ်မှ အရည်(liquid)အဖြစ်သို့ပြောင်းသည့် အပူချိန်ကို စတင်အရည်ပျော်မည့် အပူချိန်(melting temperature) သို့မဟုတ် အရည်ပျော်မှတ်(melting point) ဟုခေါ်သည်။ လေထုဖိအား

(atmospheric pressure)အောက်တွင် ရေ(water)၏ အရည်ပျော်မှတ်(melting point) သည် 0°C(32°F) ဖြစ်သည်။

၁.၁၁ စတင်ဆူပွက်သည့် အပူချိန်(Boiling Point)

အရည်(liquid)အဖြစ်မှ အငွေ့(vapor) အဖြစ်သို့ ပြောင်းသည့် အပူချိန်ကို စတင်ဆူပွက်သည့် အပူချိန် (boiling temperature) သို့မဟုတ် ရေဆူမှတ်(boiling point) သို့မဟုတ် evaporation temperature သို့မဟုတ် vaporization temperature သို့မဟုတ် saturation temperature ဟု အသုံးပြုပုံကိုလိုက်၍ အမျိုးမျိုးရေးသား ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ လေထုဖိအား(atmospheric pressure) အောက်တွင် ရေ၏ ရေဆူမှတ် (boiling point) သည် 100°C(212°F)ဖြစ်သည်။

အထက်ပါ ဖြစ်စဉ်များသည် အပူပေးခြင်း(heat adding) အတွက် ဖြစ်သည်။

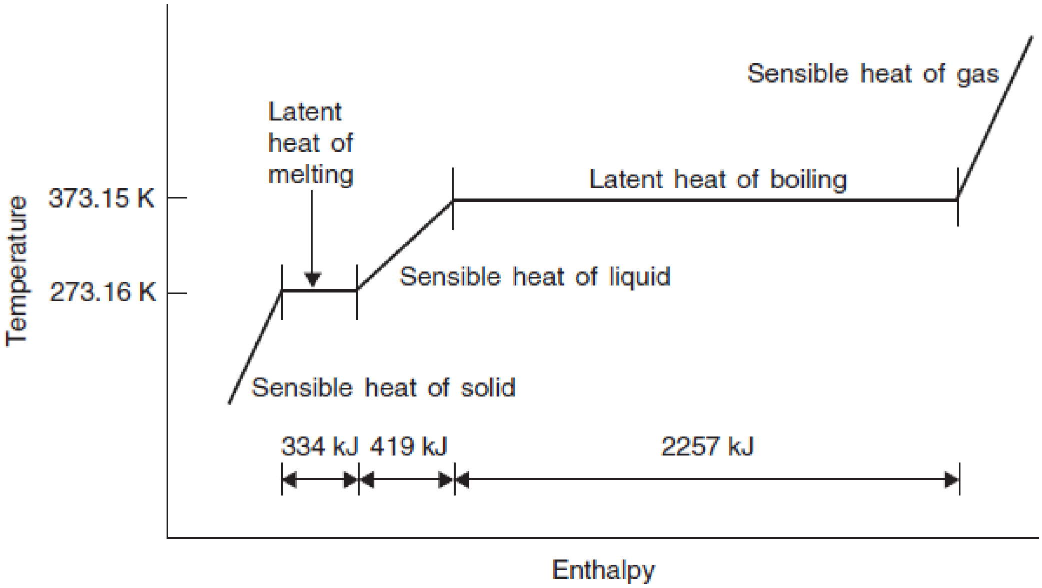
၁.၁၂ Condensation Temperature

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

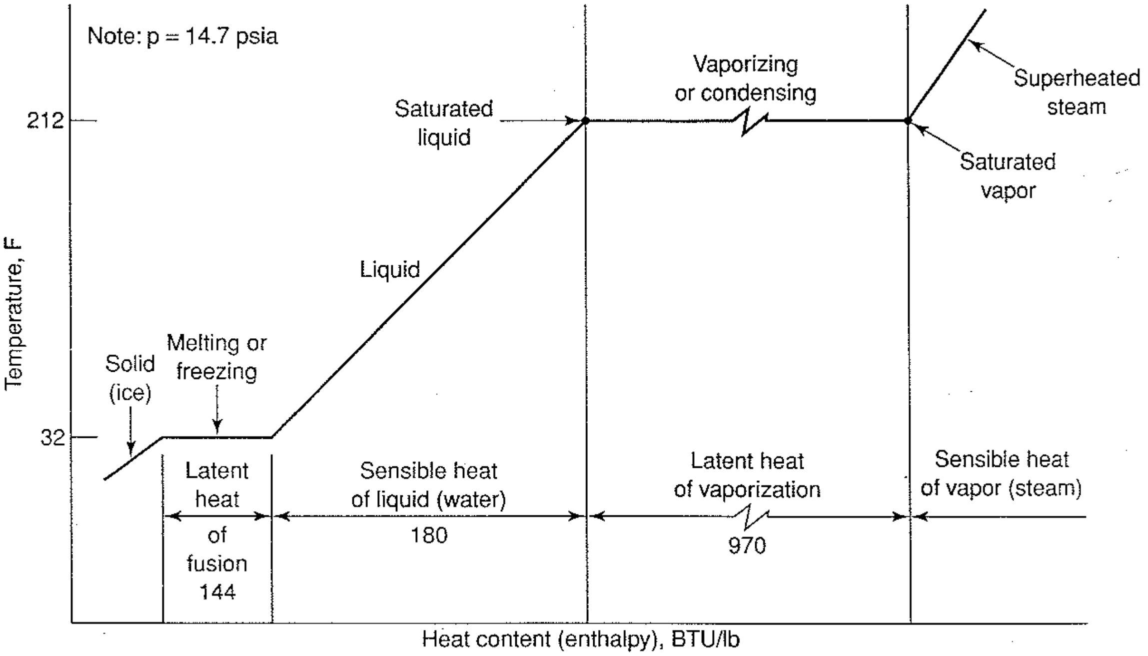
၁.၁၃ Solidification Temperature

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

အထက်ပါ ရေဆူမှတ်(boiling point) နှင့် အရည်ပျော်မှတ်(melting point) တို့သည် လေထုဖိအား (atmospheric pressure)တွင်သာမှန်သည်။ ရေ(water)၏ ရေဆူမှတ်(boiling point)လည်း ထိုရေ အပေါ်တွင် သက်ရောက်နေသော ဖိအားကို မူတည်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။



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



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

IP ယူနစ် တွင်

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

ရေခဲအဖြစ်မှ ရေအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်း(melting)ကို Latent Heat of Fusion ဟုခေါ်သည်။ ရေအဖြစ်မှ ရေခဲအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်း Freezing Latent Heat of Solidification ဟုခေါ်သည်။ Latent heat ဆိုသည်မှာ အပူချိန်(temperature) ပြောင်းလဲခြင်းမရှိဘဲ အသွင်(phase) ပြောင်းလဲရန်အတွက် လိုအပ်သော အပူ(heat)ကို ဆိုလိုသည်။ ရေ၏ latent heat of fusion နှင့် latent heat of solidification တန်ဖိုးတို့ တူညီကြသည်။ 144 Btu/lb (334 kJ/Kg)ဖြစ်သည်။ ရေတစ်ပေါင်ကို အရည်အဖြစ်မှ ရေခဲအဖြစ်သို့(freezing) phase ပြောင်းရန်အတွက် 144 Btu ပမာဏရှိသော အပူကို ရေမှ ဖယ်ထုတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ပြောင်းပြန်အားဖြင့် ရေခဲတစ်ပေါင် အရည်ပျော်လျှင် (melting) 144 Btu ပမာဏရှိသော အပူကို ရေခဲမှ စုပ်ယူသွားသည်။

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

(0°C)32°F တွင် ရေခဲများအားလုံး အရည်ပျော်ပြီးနောက် ရေ၏အပူချိန် 32°F မှ တဖြည်းဖြည်း တက်လာသည်။ အပူချိန်(temperature) ပြောင်းလဲပြီး၊ အသွင်(phase)ပြောင်းလဲမှုမရှိလျှင် sensible heat ဟု သတ်မှတ်သည်။ ရေ ၏ sensible heat သည် IP ယူနစ် တွင် 32°F မှ 212°F အတွင်း၌ သာဖြစ်နိုင်သည်။ ရေ တစ်ပေါင်ကို 1°F တက်ရန်အတွက် 1 Btu ပမာဏရှိသော အပူ(heat)ကိုပေးရန် လိုအပ်သည်။ ရေ တစ်ပေါင်ကို 1°F ကျဆင်းရန်အတွက် ရေမှ 1 Btu အပူပမာဏကို ဖယ်ထုတ် ပေးရမည်။

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

ရေသည် အပူချိန် 212°F သို့ရောက်လျှင် အပူချိန်ဆက်မတက်တော့ဘဲ စတင်ဆူပွက်လာသည်။ အပူချိန်ပြောင်းလဲမှုမရှိဘဲ liquid phase မှ vapour phase သို့ပြောင်းလဲခြင်းဖြစ်သောကြောင့် latent heat ဖြစ်သည်။ 212°F ရေ(liquid)အဖြစ်မှ ရေငွေ့(vapour) အဖြစ်သို့ ပြောင်းရန်အတွက် လိုအပ်သောအပူကို "Latent Heat of Vaporization" ဟုခေါ်သည်။ Latent heat of vaporization ၌ အရည်(liquid)တွင် အပူစုပ်ယူခြင်း(heat gain) ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့နည်းတူ ရေငွေ့(vapor)အဖြစ်မှ ရေအဖြစ်(liquid)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲရန် အတွက် ဖယ်ထုတ်ရမည့် အပူပမာဏကို "Latent Heat of Condensation" ဟုခေါ်သည်။

ရေ(water)အဖြစ်မှ ရေနွေးငွေ့အဖြစ်သို့ပြောင်းလျှင် latent heat of vaporization ဖြစ်ပြီး ရေတစ်ပေါင်လျှင် 970 Btu အပူပမာဏကို စုပ်ယူသည်။ ရေနွေးရေငွေ့(vapor)မှ ရေအဖြစ်သို့ ပြောင်းလျှင် latent heat of condensation ဖြစ်ပြီး ရေငွေ့မှ တစ်ပေါင်လျှင် 970 Btu အပူပမာဏကို စွန့်ထုတ်သည်။ (ဖယ်ထုတ် ပေးရသည်)။ 970 Btu/ lb ဖြစ်သည်။

အထက်ပါဖြစ်စဉ်များအားလုံးသည် ဖိအား(pressure)14.7 psia atmospheric pressure at sea level အခြေအနေအတွက်သာ မှန်သည်။ ရေနှင့် ရေငွေ့တို့ကို 14.7 psia ထက်မြင့်သည် ဖိအားသက်ရောက်ထားပါက ရေဆူမှတ်(boiling point) မြင့်တက်သွားပြီး ပေးရမည့် အပူပမာဏ Btu/lb ပိုများ လိမ့်မည်။

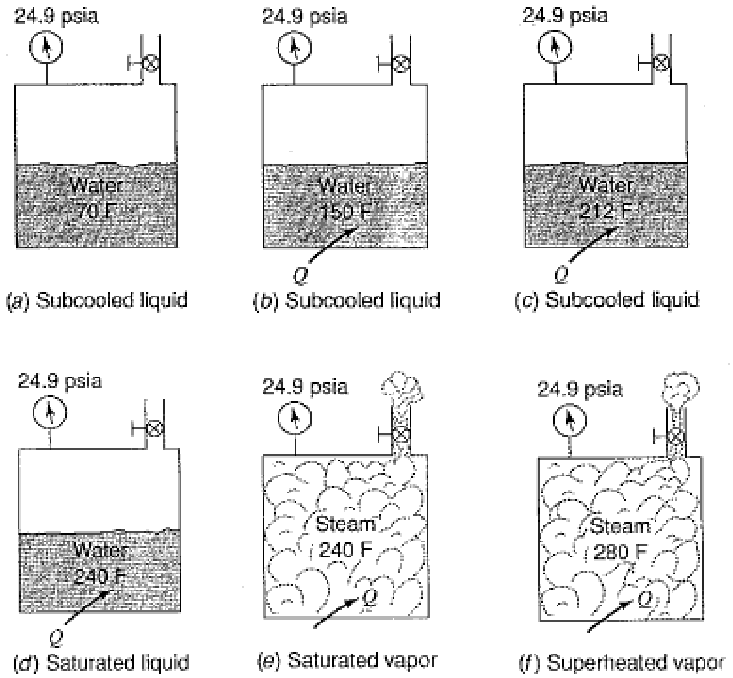
ရေဆူမှတ်(boiling point)နှင့် condensing temperature တို့သည် ဖိအား(pressure) ပေါ်တွင် မူတည်နေသည်။ ရေသည် ဖိအား 14.7 psia အောက်တွင် အပူချိန် 212°F သို့ရောက်လျှင် စတင် ဆူပွက်သည်။

အကယ်၍ ရေကို 24.9 psia ဖိအားပေးလျှင် ထိုရေသည် 212°F အပူချိန်တွင် ရေဆူလိမ့်မည်မဟုတ်။ ရေသည် အပူချိန် 240°F ရောက်မှသာ စတင် ဆူပွက်လိမ့်မည်။ ဖိအား 24.9 psia အောက်တွင် ရေဆူမှတ်(boiling point) သို့မဟုတ် စတင်ဆူပွက်မည့်အပူချိန်(boiling temperature)သည် 240°F ဖြစ်သည်။

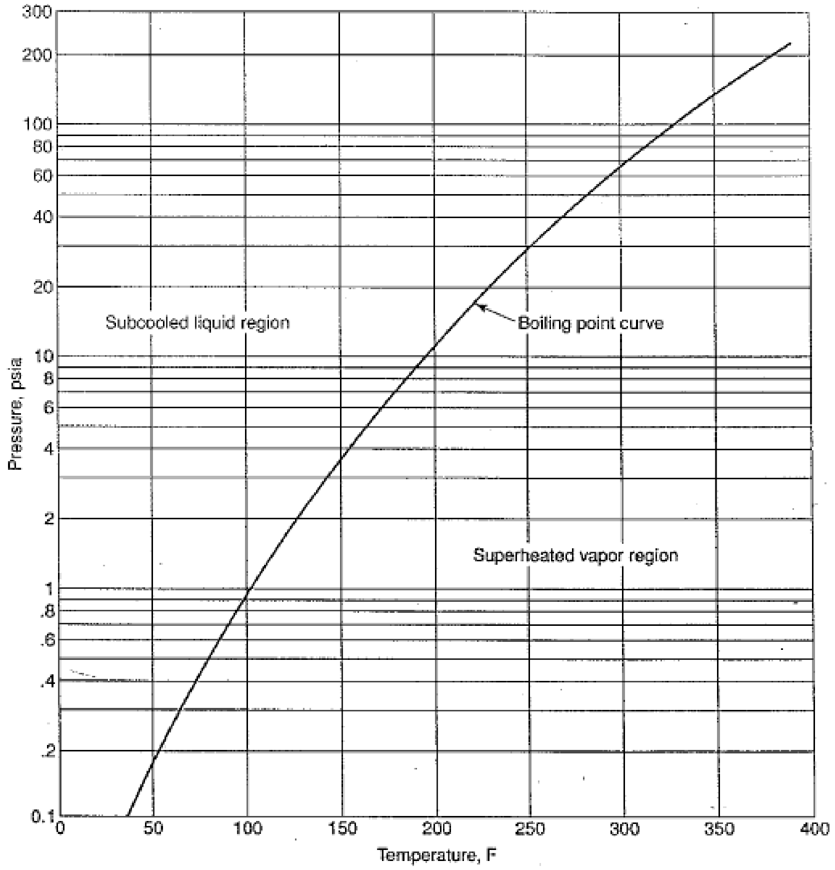
ရေသည် ရေဆူမှတ်(boiling point)သို့ရောက်ပြီး ရေငွေ့(vapor) မဖြစ်သေးခင်(ရေငွေ့မပျံသေးခင်) အခြေအနေကို "Saturated Liquid" ဟုခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် 100% liquid အခြေအနေကို ဆိုလိုသည်။ ရေများအားလုံး ရေငွေ့ပျံပြီး ရေတစ်စက်မှ မကျန်တော့သည့် အခြေအနေကို "Saturated Vapor" ဟုခေါ်သည်။ 100% vapor အခြေအနေကို ဆိုလိုသည်။
အရည်အခြေအနေတွင် ရှိနေသည့်အခိုက် ပိုင်ဆိုင်သည့် Enthalpy တန်ဖိုးကို h_f (Enthalpy of fluid)ဖြစ် ဖော်ပြသည်။

အငွေ့အခြေအနေတွင် ရှိနေသည့်အခိုက် ပိုင်ဆိုင်သည့် Enthalpy တန်ဖိုးကို h_g (Enthalpy of gas) ဖြင့် ဖော်ပြသည်။ အရည်နှင့် အငွေ့ရောနှော(fluid and gas mixture)နေသည့် အခြေအနေတွင် ရှိနေသည့်အခိုက် ပိုင်ဆိုင်သည့် Enthalpy တန်ဖိုးကို h_{fg}(Enthalpy of fluid and gas mixture) ဖြစ်ဖော်ပြသည်။

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



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



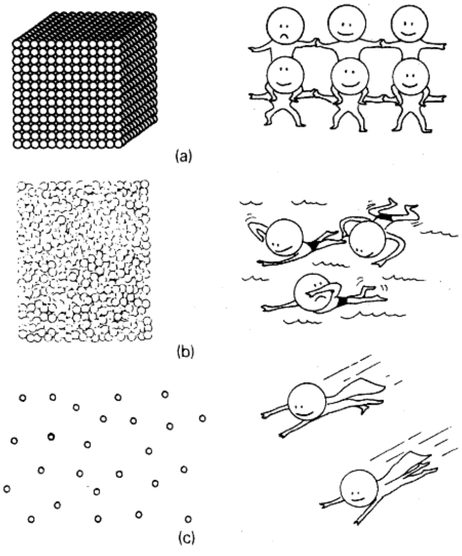
ပုံ ၁-၃၅ boiling point pressure-temperature curve for water(saturation vapor pressure curve)

ရေသည် ဖိအား(pressure) 6 psia အောက်တွင် အပူချိန် 170°F(67.7°C) ရောက်လျှင် စတင် ဆူပွက်သည်။ အထက်ပါပုံသည် ရေဖိအား(pressure)နှင့် သက်ဆိုင်သည့် boiling point curve သို့မဟုတ် saturation vapor pressure curve ကို ဖော်ပြထားသည်။ လိုင်း(curve)၏ ဘယ်ဘက်တွင် ရေသည် အရည်(liquid phase)အဖြစ်ရှိပြီး လိုင်း(curve)၏ ညာဘက်တွင် ရေသည် ရေငွေ့(vapor phase)အဖြစ် တည်ရှိသည်။ ထိုလိုင်းပေါ်တွင် ရေသည် အရည်(liquid)အဖြစ်၊ ရေငွေ့(vapor)အဖြစ်နှင့် ရောနေသည့် liquid vapor mixture အဖြစ် တည်ရှိနိုင်သည်။ သတ်မှတ်ထားသည့် ဖိအားအတွက် လိုင်း(curve)ပေါ်ရှိ အမှတ်(point) များသည် boiling temperature နှင့် condensation temperature များဖြစ်ကြသည်။

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

Fluid အားလုံးသည် ဖိအား(pressure)ကို လိုက်၍ ရေဆူမှတ်(boiling point) ပြောင်းလဲနေသည်။ ဖိအား (pressure) မြင့်လာလေလေ fluid အားလုံး၏ boiling point သို့မဟုတ် condensing point မြင့်လာလေလေ ဖြစ်သည်။ ဖိအားနည်းလာလေလေ boiling point သို့မဟုတ် condensing point နိမ့်လာလေလေ ဖြစ်သည်။

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



ပုံ ၁-၃၆ မော်လီကျူး များ

အရာဝတ္ထု များအားလုံးကို မော်လီကျူး(molecules) လေးများဖြင့် ဖွဲ့စည်းထားသည်။ မော်လီကျူး ကလေးများသည် လှုပ်ရှားနေကြပြီး(in motion) တစ်ခုနှင့် တစ်ခု ဆွဲငင်အား ပိုများလေလေ၊ တစ်ခုနှင့် တစ်ခုနီးကပ်စွာ တည်ရှိလေလေ ဖြစ်သည်။ အရည်(liquid) အခြေအနေတွင်ရှိသော ဆွဲငင်အား (attractive force)သည် အငွေ့(vapor) အခြေအနေတွင် ရှိသော ဆွဲငင်အား(attractive force)ထက် ပိုများသည်။

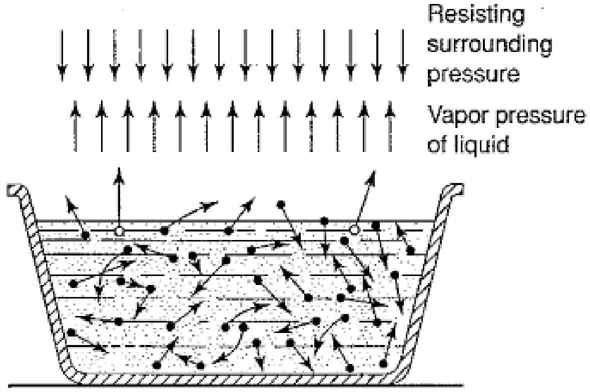
ထို့ကြောင့် အရည်(liquid) အခြေအနေတွင် မော်လီကျူး များသည် gases အခြေအနေ ထက်စာလျှင် တစ်ခုနှင့် တစ်ခု ပိုမိုနီးကပ်စွာ တည်ရှိကြသည်။
အငွေ့(vapor) အခြေ အနေတွင် ရှိသော မော်လီကျူးများသည် အရည်(liquid) အခြေအနေ တွင်ရှိသော မော်လီကျူးများထက် ပိုမို လျင်မြန်စွာ လှုပ်ရှား နေကြသည်။

အငွေ့အခြေအနေ(gases state)တွင်ရှိသော မော်လီကျူးများသည် အရည်အခြေအနေ(liquid state)တွင်ရှိသော မော်လီကျူးများထက် အပူစွမ်းအင်(heat energy)ပိုင်ဆိုင်မှုပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် အရည်(liquid)ကို အငွေ့(vapor)အဖြစ် ပြောင်းသွားစေရန်အတွက် အပူပေးရခြင်းဖြစ်သည်။ ထိုပေးလိုက်သည့် အပူသည် မော်လီကျူးလေးများ အချင်းချင်း ဆွဲငင်အား(attractive force) ထက်ပိုများမှသာ(ပိုများမှသာ) အရည်(liquid) အဖြစ်မှ အငွေ့(vapor) အဖြစ်သို့ ရောက်နိုင်သည်။

အရာဝတ္ထုများ၏အပူချိန်သည် မော်လီကျူးများ၏ ပျမ်းမျှအလျင်(average velocity) ပင်ဖြစ်သည်။ မော်လီကျူးများ၏ ပျမ်းမျှအလျင်(average velocity) များလာလေလေ ထိုအရာဝတ္ထု၏ အပူချိန်(temperature) မြင့်လေလေ ဖြစ်သည်။ အချို့မော်လီကျူးကလေးများသည် ပို၍မြန်မြန်၊ အချို့မော်လီကျူးကလေး များသည် ခပ်နှေးနှေး လှုပ်ရှား နေကြသော ပျမ်းမျှအလျင်(average velocity) ဖြင့် ရည်ညွှန်း ပြောဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

ရေ၏ အပူချိန်မြင့်တက်လာလျှင် ရေ၏အပေါ်ယံမျက်နှာပြင်တွင် အလွန်နှေးသောနှုန်းဖြင့် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ဖြစ်ပေါ်သည်။ နေ့အခါ အပူချိန်မြင့်မားသည့်အခါ ပင်လယ်ရေမျက်နှာပြင်၊ ကန်ရေပြင်နှင့် ရေလှောင်ကန် မျက်နှာပြင်တို့၌ ဤကဲ့သို့ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်ပေါ်သည်။ နွေရာသီတွင် ကန်ရေများ ခမ်းခြောက် သွားရသည့် အကြောင်းမှာ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ကြောင့်ပင်ဖြစ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်ခြင်းကြောင့် အနည်းငယ်သော အအေးဓာတ်(slight cooling effect)ကို ရရှိနိုင်သည်။ ထိုကဲ့သို့ ဖြစ်၍ ရသည် အအေးဓာတ်(cooling effect)ကို "Evaporative Cooling" ဟုခေါ်သည်။

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



ပုံ ၁-၃၇ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) ဖြစ်ပုံ

ဖိအား 14.7 psia တွင် အပူချိန် 70°F ရှိသော ရေခွက်တစ်ခွက်အတွင်းရှိ မော်လီကျူးများ၏ ပျမ်းမျှအလျင် (average velocity)သည် သိပ်မမြင့်မားသောကြောင့် ရေမှ ထွက်ခွာ(escape) မသွားနိုင်ပေ။

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

အနီးအနား(surrounding)မှအပူများကို ရေမော်လီကျူးလေးများက စုပ်ယူသွားသည်။ ဝါဂွမ်းကို အရက်ပျံ(alohol)စွတ်၍ လူ့အရေပြားကို သုတ်လိုက်လျှင် အေးသည့် ခံစားမှုမျိုးကို ရနိုင်သည်။ အရက်ပျံ(alohol)မှ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporate) ဖြစ်ရန်အတွက် လိုအပ်သော အပူစွမ်းအင်ကို အရေပြားမှ စုပ်ယူလိုက်ခြင်းကြောင့် အရေပြား၌ အပူဆုံးရှုံးခြင်း(heat loss)ဖြစ်ကာ အေးသည့် ခံစားမှုကို ရခြင်းဖြစ်သည်။

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

ပိုမြင့်သည့် အပူချိန်သို့ရောက်မှ မော်လီကျူးများ၏ အားကောင်းသော velocity ကြောင့် အရည်၏ bond ကို ကျော်လွန်ကာ အငွေ့(vapor)အဖြစ် လွတ်မြောက်သွားသည်။ ထိုမော်လီကျူးများ လွတ်မြောက်သွားသည့်

အခြေအနေတွင် vapor pressure of liquid သည် အနီးဝန်ကျင်မှဖိအား(surrounding pressure)ထက် များသည့် အခြေအနေ ဖြစ်သည်။

အနီးဝန်းကျင်မှ ဖိအား(surrounding pressure)များလာလေလေ ဆူပွက်(boil)ရန် သို့မဟုတ် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ဖြစ်ရန်အတွက် vapor pressure of liquid များများရရန် လိုအပ်လေလေ ဖြစ်သည်။ Vapor pressure များရန်အတွက် မော်လီကျူးများ၏ အလျင်(velocity)များရမည် ဖြစ်ပြီး အရည်(liquid) ၏ အပူချိန်(temperature)လည်း များရမည်ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ရေဆူမှတ်(boiling point) သို့မဟုတ် boiling pressure များလာခြင်းဖြစ်သည်။

မော်လီကျူးအချင်းချင်း ဆွဲငင်ထားသော molecular bond ကိုပြိုဖျက်ရန် အတွက် boiling process ဖြစ်နေစဉ်အတွင်း အပူ(heat)များကို ဆက်ထည့်ပေးရသည်။ ထိုအချိန်တွင် အပူချိန်(temperature) မြင့်တက်လာခြင်း မရှိသလို မော်လီကျူးများ၏ အလျင်(velocity) မြင့်တက်မလာပေ။

၁.၁၄ Saturated, Subcooled နှင့် Superheated

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

ရေဆူမှတ်(boiling point)ကို နည်းပညာဝေါဟာရဖြင့် ပြောဆိုသုံးနှုန်းသည့် စကားလုံးသည် saturation temperature နှင့် saturation pressure ဖြစ်သည်။ Substance များသည် အရည်(liquid)၊ အငွေ့(vapor) နှင့် အရည်နှင့်အငွေ့အရော‌(liquid-vapor mixture) စသဖြင့် တည်ရှိသောကြောင့် saturated liquid နှင့် saturated vapor ဟူ၍ နှစ်မျိုးခွဲခြား ပြောဆိုရခြင်း ဖြစ်သည်။

Saturated vapor ဆိုသည်မှာ boiling temperature ၌ လုံးဝအငွေ့(100% vapor) အခြေအနေ ဖြစ်နေခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ Saturated liquid ဆိုသည်မှာ boiling temperature ၌ လုံးဝအရည်(100% liquid) အခြေအနေ ဖြစ်နေခြင်းကို ဆိုလိုသည်။

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

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

၁.၁၅ Saturated Property Table (Steam Table)

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

ရေ၏ saturated property table ကို saturated steam table သို့မဟုတ် steam table ဟုခေါ်သည်။ steam table ကို အသုံးပြုရသည့် တွက်ချက်မှု များစွာရှိသည်။ Air con လေ့လာသူများအတွက် saturation temperaturation ကို steam table မှဖတ်ယူရန်လိုအပ်သည်။ Saturation temperature နှင့် corresponding pressure သည် အမြဲတမ်း ပုံသေတွဲထားသောကြောင့် saturation temperature သိလျှင် corresponding pressure ကို ဖတ်ယူနိုင်သည်။ Corresponding pressure ကိုသိလျှင် saturation temperature ကို ဖတ်ယူ နိုင်သည်။

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

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

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

-End-