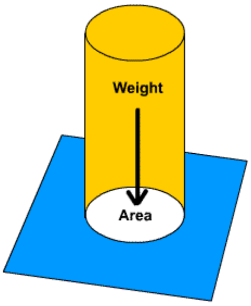
Chapter-1 Fundamental and Basic Concept

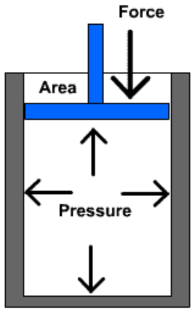
Compressed Air System များကို လေ့လာရန်အတွက် လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ(properties of air) အကြောင်း၊ ဖိအား(pressure) အမျိုးမျိုးအကြောင်း နှင့် ပိုက်အတွင်း၌ လေများ စီးဆင်းခြင်း(fluid flow) အကြောင်း တို့ကို အခြေခံကျကျ ကျွမ်းကျင်စွာ နားလည် သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်သည်။

၁.၁ ဖိအား(Pressure) နှင့် လေဟာနယ်(Vacuum)

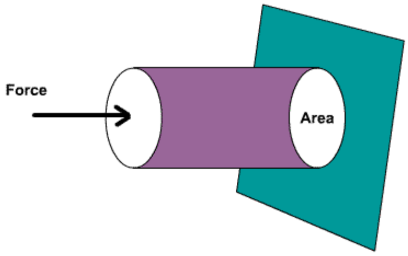
ဖိအား(pressure)ဆိုသည်မှာ တစ်ယူနစ်ဧရိယာပေါ်တွင် သက်ရောက်နေသည့်အား(Force) သို့မဟုတ် အလေးချိန်(weight)ကို ဆိုလိုသည်။ ရေ သို့မဟုတ် လေ (fluid)တစ်မျိုးမျိုး၏ ဖိအား(pressure)သည် ထိစပ်နေသည့် နေရာအားလုံး၏ မျက်နှာပြင်(surface)ပေါ်တွင် သက်ရောက်နေသည့် အား(force) ဖြစ်သည်။



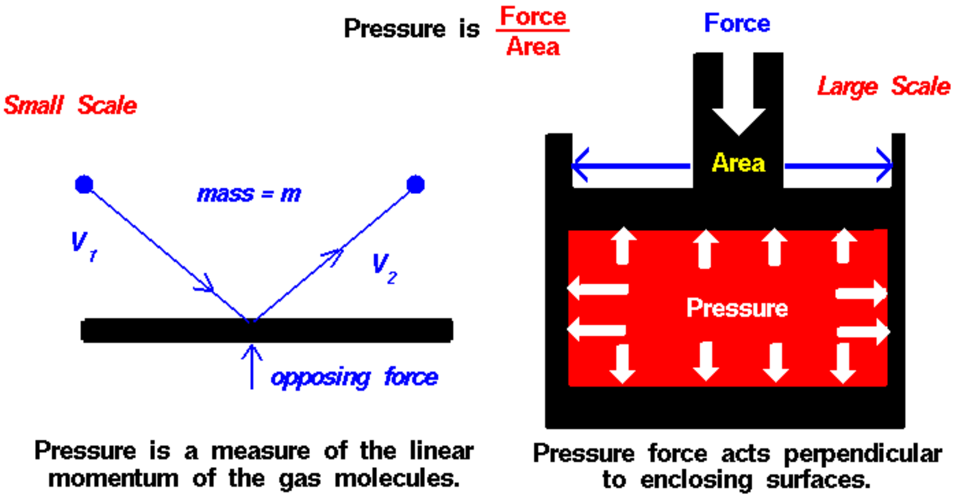
အလေးချိန်ကြောင့်(weight) ဖိအား(Pressure) ဖြစ်ပေါ်ပုံ



နေရာအားလုံးပေါ်သို့ ဖိအား သက်ရောက်သည်။



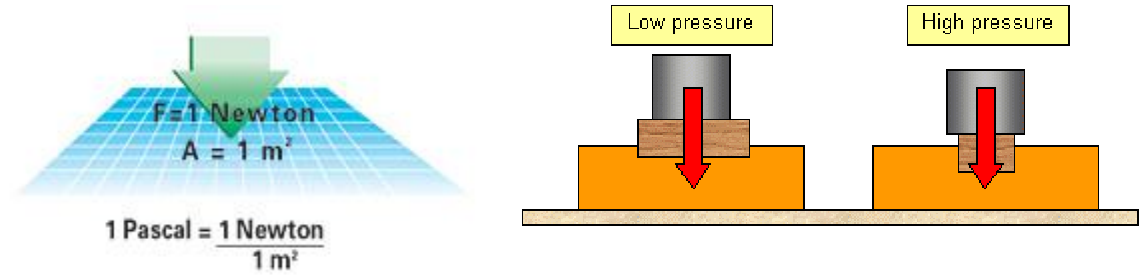
သက်ရောက်သည့်အား(force)ကြောင့် ဖိအား(pressure) ဖြစ်ပေါ်ပုံ



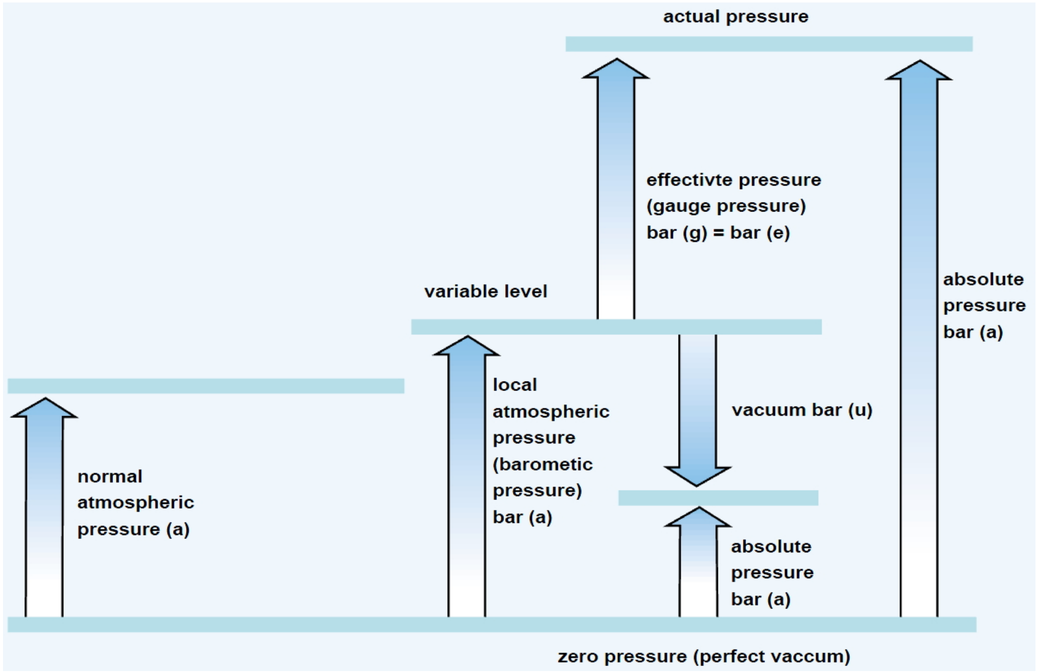
ပုံ ၁-၁ ဖိအား(Pressure) သည် scalar quantity တစ်ခုဖြစ်သည်။
(Direction မရှိ ၊ magnitude သာရှိသည်။)

ဓာတ်ငွေ့ မော်လီကျူးကလေးများ(gas molecules)၏ မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း ဖြစ်သောအဟုန်(linear momentum) ကို ဖိအား(pressure)ဟုလည်း ဆိုနိုင်သည်။

လုံအောင်ပိတ်ထားသည့် နေရာအတွင်းရှိ မျက်နှာပြင်(enclosing surface)ပေါ်သို့ ထောင့်မှန်အတိုင်း (perpendicular) သက်ရောက်နေသည့်အား(force)ကို ဖိအား(pressure)ဟုလည်း ဆိုနိုင်သည်။ ဖိအားတွင် အပေါင်းဖိအား (positive pressure) သို့မဟုတ် တွန်းကန်အား နှင့် အနုတ် ဖိအား(negative pressure) သို့မဟုတ် လေဟာနယ်(vacuum)ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရှိသည်။



ပုံ ၁-၂ ဖိအား 1 pascal ကို ဖော်ပြထားပုံ



ပုံ ၁-၃ ဖိအား အမျိုးမျိုးတို့ကို ဖော်ပြထားပုံ

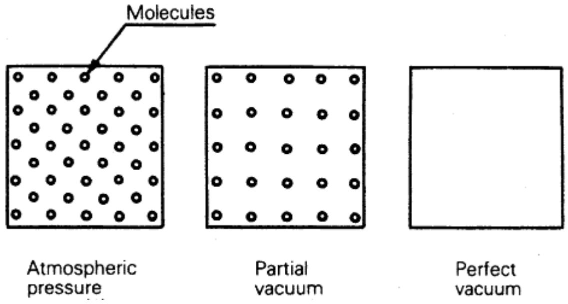
လေထုဖိအား(Atmospheric Pressure)

ပင်လယ် ရေမျက်နှာပြင်(sea level) ပေါ်သို့ သက်ရောက်နေသည့် ဖိအား (theoretical standard barometric pressure)ကို SI ယူနစ် နှင့် IP ယူနစ် တို့ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

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

လေထုဖိအား(Atmospheric pressure)ထက်နိမ့်သည် ဖိအားကို(vacuum pressure[Pvac])ဟု ခေါ်သည်။ ဖိအား လုံး၀ ထပ်ကျအောင် ပြုလုပ်၍ မရနိုင်တော့သည့် လေဟာနယ်(vacuum)ကို "Perfect Vacuum" (Absolute Vacuum) ဟုခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဖိအား လုံး၀မရှိ(zero pressure) ဟု ဆိုလိုသည်။ လေထုဖိအား(Atmospheric Pressure) ထက်နိမ့်ပြီး perfect vacuum ထက်မြင့်သည့် ဖိအား(pressure)ကို partial vacuum ဟုခေါ်သည်။

နေရာတခု(space)တွင် မည်သည့် အငွေ့(gas) သို့မဟုတ် အရည်(liquid)မျှ မရှိသည့် အခြေအနေကို လေဟာနယ်(complete vacuum) ဖြစ်နေသည် ဟုခေါ်သည်။ ထိုအခြေအနေကို ဖိအားလုံး၀မရှိ (zero pressure) ဟုလည်း သတ်မှတ်သည်။ မည်သည့် ဖိအားကိုမဆို ထို complete vacuum သို့မဟုတ် zero pressure မှ စတိုင်း၍ ရရှိသည့်တန်ဖိုး ကို "Absolute Pressure" ဟုသတ်မှတ်သည်။



ပုံ ၁-၄ Partial Vacuum နှင့် Perfect Vacuum

Perfect Vacuum(Absolute Vacuum) သည်

0 kgf/cm2

0 mm Hg

0 Pa

0 psi နှင့်

0 in Hg(0 mm Hg) တို့ဖြစ်သည်။

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

တစ်နည်းအားဖြင့် ဖိအားတစ်ခု၏ ရည်ညွှန်းရာအမှတ်(reference point)သည် complete vacuum သို့မဟုတ် zero pressure ဖြစ်လျှင် ထိုဖိအား၏ တန်ဖိုး ကို absolute pressure(Pabs)တန်ဖိုး ဟုသတ်မှတ်သည်။

ပင်လယ်ရေမျက်နှာပြင်(sea level)၌ရှိသည့် ဖိအားကို လေထုဖိအား(atmospheric pressure)(Patm)ဟု ခေါ်သည်။ Pabs နှင့် Patm ကို နှိုင်းယှဉ်လျှင် Patm သည် Pabs ထက် 14.7 psi ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် Patm သည် 14.7 psi absolute ဖြစ်သည်။ 14.7 psia ဟုရေးလေ့ရှိသည်။

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

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

psig = psi ၏ နောက်တွင် g ဖြင့်ဖော်ပြလျှင် "Guage Pressure" ဖြစ်သည်။ (positive pressure)

psia = psi ၏ နောက်တွင် a ဖြင့်ဖော်ပြလျှင် "Absolute Pressure" ဖြစ်သည်။ (positive 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 နုတ်လျှင် Absolute pressure ကိုရသည်။

ပုံ ၁-၅ Compression Gauge

ပုံ ၁-၆ Compound Gauge

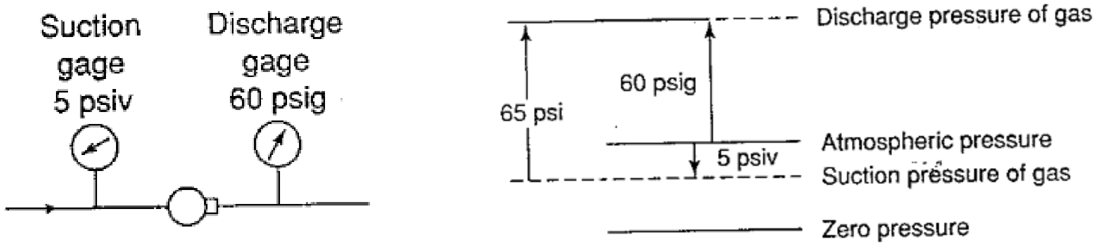
ပုံ ၁-၇ Compound Gauge

တချို့သော pressure gauge များသည် vacuum နှင့် gauge pressure နှစ်မျိုးလုံးကို တိုင်းနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ Compression gauge ဖြင့် gauge pressure ကို သာတိုင်းနိုင်သည်။ Compound gauge ဖြင့် guage pressure နှင့် absolute pressure နှစ်မျိုးလုံးကို တိုင်းနိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် compound gauge ဖြင့် positive pressure နှင့် negative pressure(vacuum pressure) နှစ်မျိုးလုံးကို တိုင်းယူနိုင်သည်။

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

$$Pabs = Patm – Pvac = 60 – (-5) = 65 \text{ psi}$$

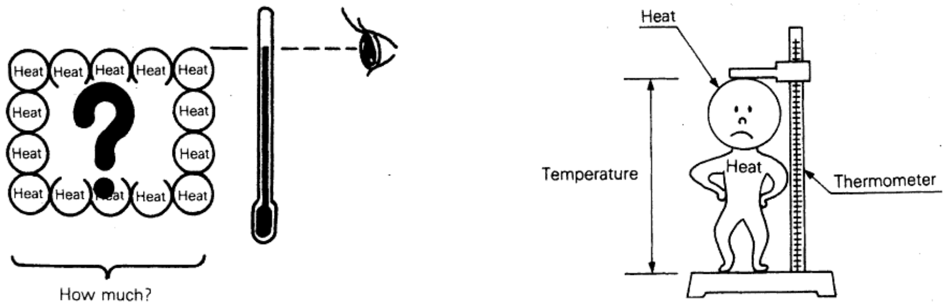
Gauge pressure ဆိုသည်မှာ gauge သို့မဟုတ် instrument ဖြင့် တိုင်း၍ရသော ဖိအားကို ဆိုလိုသည်။ Absolute pressure သည် gauge pressure နှင့် atmospheric pressure တို့ပေါင်း၍ ရသော ဖိအားဖြစ်သည်။ Standard Temperature & Pressure (STP)ဆိုသည်မှာ 14.696 Psia နှင့် 60°F(101.33 kPa absolute နှင့် 15.6°C)တို့ကို ဆိုလိုသည်။



ပုံ ၁-၈ Suction pressure နှင့် Discharge pressure

၁.၂ အပူ(Heat) နှင့် အပူချိန်(Temperature)

အပူ(heat)ဆိုသည်မှာ အပူချိန်(temperature)မြင့်သည့်နေရာမှ အပူချိန်(temperature)နိမ့်သည် နေရာသို့ အလိုလျောက်စီးဆင်း(transfer)သွားသည့် စွမ်းအင်ပုံစံ(form of energy) တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ အပူချိန် (temperature)ဆိုသည်မှာ အရာဝတ္ထုတစ်ခု သို့မဟုတ် ဒြပ်တစ်ခု၏ အပူကြောင့်ဖြစ်သော လှုပ်ရှားမှု (thermal activity)ကို ဖော်ပြခြင်းဖြစ်သည်။ အပူကြောင့်ဖြစ်သောလှုပ်ရှားမှု(thermal activity)သည် ထို ဒြပ်ဝတ္ထုအတွင်း မော်လီကျူးများ၏ အလျင်(molecules velocity) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အပူချိန် (temperature) မြင့်သည့် အရာဝတ္ထုများသည် အပူကြောင့်ဖြစ်သော လှုပ်ရှားမှု(thermal activity) များကြသည်။ သို့သော် ဒြပ်ဝတ္ထု အတွင်းရှိ မော်လီကျူးများ၏အလျင်(molecules velocity)ကို တိုက်ရိုက် တိုင်းတာရန် မဖြစ်နိုင်။ ထိုကြောင့် အပူကြောင့် ဖြစ်သောလှုပ်ရှားမှု(thermal activity) မည်မျှများသည် သို့မဟုတ် နည်းသည်ကို သိနိုင်ရန်အတွက် အပူချိန်(temperature)ဖြင့် တိုင်းတာဖော်ပြ ကြသည်။



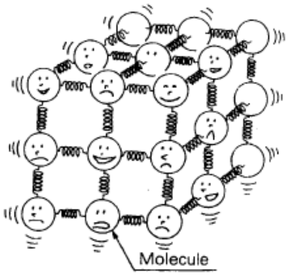
ပုံ ၁-၉ အပူ(heat)ကို အပူချိန်(temperature)ဖြင့်တိုင်းယူပုံ

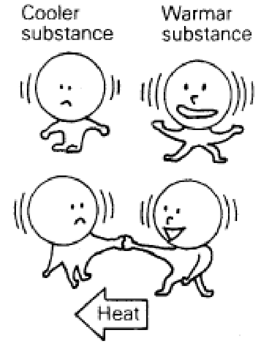
> အပူ(heat)သည် အပူချိန်မြင့်ရာ(high temperature)မှ အပူချိန်နိမ့်ရာ(low temperature)သို့ မည်သည့် အကူအညီမျှမပါဘဲ အလိုအလျောက် စီးဆင်းနိုင်သည်။ အပူချိန်ခြားနားချက်(temperature difference) မရှိလျှင် အပူစီးဆင်းမှု(heat flow) မဖြစ်နိုင်ပေ။

အပူချိန် ၏ ယူနစ်သည် Fahrenheit ၊ Rankine ၊ Celsius နှင့် Kelvin တို့ဖြစ်သည်။

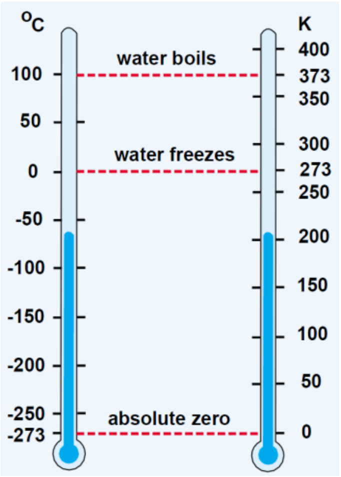
၁.၃ ဒြပ်ဝတ္ထုများ၏ အနိမ့်ဆုံးအပူချိန်(Absolute Zero)

ပုံ ၁-၁၀ အရာဝတ္ထုများအတွင်းရှိ မော်လီကျူးလေးများ





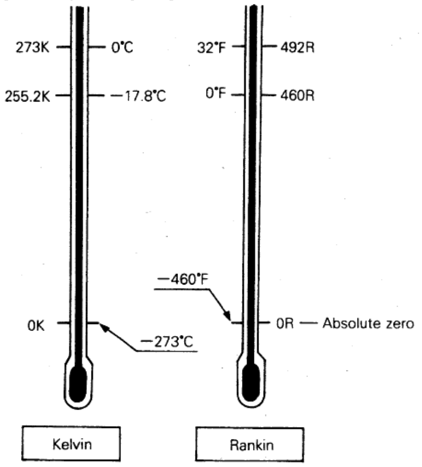
ပုံ ၁-၁၁ Absolute Zero State

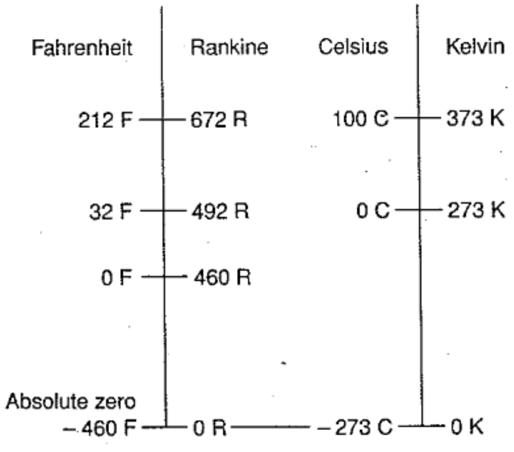


အရာဝတ္ထုများအတွင်းရှိ မော်လီကျူးလေးများသည် လှုပ်ရှားမှု (motion) လုံးဝကင်းမဲ့သည့် အချိန်၊ တုန်ခါမှု(vibration) မရှိတော့သည့် အခိုက်ကို "Absolute Zero"ဟု ခေါ်ဆို သတ်မှတ်သည်။ Absolute Zero အခိုက်တွင် အရာဝတ္ထုတစ်ခုသည် အပူစွမ်းအင်ပိုင်ဆိုင်မှုကင်းမဲ့သွားသည်။

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

ပုံ ၁-၁၂ ဖာရင်ဟိုက် စကေး(Fahrenheit scale) နှင့် စင်တီဂရိတ် စကေး(Centigrade scale)





ပုံ ၁-၁၃ ဖာရင်ဟိုက် စကေး နှင့် စင်တီဂရိတ် စကေး တို့၏ Absolute Zero

၁.၄ Absolute Temperature စကေး(Scale)

Thermodynamic ပုစ္ဆာများဖြေရှင်းရန်နှင့် အပူချိန်အလွန်နိမ့်သည့်(very low temperature) လုပ်ငန်းများအတွက် 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။

$$Rankin = Fahrenheit + 460$$
$$Kelvin = Centigrade + 273$$

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

၁.၅ အပူချိန်(Temperature)ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် ထုထည်(Volume)ပြောင်းလဲခြင်း

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

လေထုထည်(volume)သည် ထိုလေအပူချိန်(temperature)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ ဖိအား(pressure)ကို မပြောင်းလဲအောင် ထိန်းထားနိုင်လျှင် လေသည် သတ်မှတ်ထားသောနှုန်း(definite rate)ဖြင့် ကျယ်ပြန့်ခြင်း(expansion)နှင့် ကျုံ့ခြင်း(contraction) ဖြစ်ပေါ်သည်။

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

၁.၆ ဖိအား(Pressure)ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် လေထုထည်(Volume) ပြောင်းလဲခြင်း

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

ထိုသို့ပြောင်းလဲခြင်းသည် လေအတွက်သာမက ဓာတ်ငွေ့များ(gases) အားလုံး အတွက်လည်း မှန်ကန်သည်။ Superheated steam အတွက်လည်း မှန်ကန်သည်။ လက်တွေ့တွင် မည်သည့် ဓာတ်ငွေ့ကိုမဆို အချိန်အနည်းငယ်အတွင်း လျှင်မြန်စွာ ဖိသိပ်ခြင်း (compression) ပြုလုပ်လျှင် အပူချိန် မြင့်တက် လာသည်။ တွက်ချက်မှုများ လွယ်ကူစေရန် အတွက်သာ အပူချိန်(temperature) ပြောင်းလဲခြင်း မရှိဟု ယူဆတွက်ချက်ခြင်း ဖြစ်သည်။

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

P_1 = Initial Pressure (psia) P_2 = Final Pressure (psia)

ဥပမာ - 3 ft^3 ထုထည်(volume)ရှိသော ဆလင်ဒါ(cylinder)တစ်ခုအတွင်း၌ 14.7 psia ဖိအားရှိသည်။ ထိုဆလင်ဒါ အတွင်းရှိ လေကို 13psig သို့ ရောက်အောင် ဖိသိပ်(compress)လိုက်လျှင် လေထုထည် (volume) မည်မျှ ဖြစ်မည်နည်း။

Initial Absolute Pressure = 14.7psia

Final Absolute Pressure = 14.7+13 = 27.7 psia

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

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

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

Initial Absolute pressure = 14.7 + 25 = 39.7 psia

Final Absolute pressure = 14.7 + 75 = 89.7 psia

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

= 10 x 39.7/89.7 = 4.43 ft^3 Volume @ final pressure 75 psig

၁.၇ Enthalpy

Enthalpy ဆိုသည်မှာ ဒြပ်ဝတ္ထုတစ်ခုက သိုလှောင်ထားသည့် အပူပမာဏ(heat content) ဖြစ်သည်။ Heat content နှင့် Enthalpy သည် အဓိပ္ပာယ်တူသည်။ Heat content သို့မဟုတ် enthalpy သည် ဒြပ်ဝတ္ထုတစ်ခု၏ အပူပိုင်ဆိုင်မှု(property of body)ကို ဖော်ပြသည့် တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။ Enthalpy နှင့် Heat သည် အဓိပ္ပာယ် မတူညီပါ။

တစ်နေရာမှ အခြားတစ်နေရာသို့ ကူးပြောင်း(transfer)သွားနိုင်သည့် စွမ်းအင်(form of energy) ကိုသာ အပူ(Heat)အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ အရာဝတ္ထုတစ်ခု၏ အပူပိုင်ဆိုင်မှု သို့မဟုတ် သိုလှောင် သိမ်းဆည်းထားသည့် အပူကို Enthalpy ဟု သတ်မှတ်သည်။

Enthalpy သည် ဒြပ်ဝတ္ထုတစ်ခုမှ အခြားတစ်ခုသို့ ကူးပြောင်း(transfer) သွားနိုင်သည့် စွမ်းအင် (energy) နှင့် ကျန်ရှိသည့်စွမ်းအင်(energy) နှစ်မျိုးပေါင်းကို ဖော်ပြသည့် အပူပိုင်ဆိုင်မှုပမာဏ ဖြစ်သည်။

ဥပမာ လူတစ်ယောက်၏ ရွှေ့ပြောင်းနိုင်သည့် ပိုင်ဆိုင်မှုသည် အပူ(heat)နှင့် တူသည်။ ရွှေ့ပြောင်းနိုင်သည့် ပိုင်ဆိုင်မှုနှင့် မရွှေ့ပြောင်းနိုင်သည့်အရာ နှစ်ခုပေါင်းသည် Enthalpy ဖြစ်သည်။(အချိန်အခိုက်အတန့် အတွက် ဖြစ်သည်။)

အရာဝတ္ထုတစ်ခု၏ အပူပိုင်ဆိုင်မှု သို့မဟုတ် သိုလှောင် သိမ်းဆည်းထားသည့် Enthalpy အားလုံးကို အခြား တစ်နေရာသို့ ကူးပြောင်း(transfer)နိုင်လျှင် Enthalpy ပမာဏနှင့် Heat ပမာဏ တို့ တူညီကြသည်။ သို့သော် လက်တွေ့တွင် ကူးပြောင်း(transfer)နိုင်သည့် အပူ(heat)ပမာဏသည် သိုလှောင် သိမ်းဆည်းထားသည့် အပူပမာဏ(enthalpy) ထက်နည်း လေ့ရှိသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် သိုလှောင်ထားသမျှ အပူ အားလုံးကို လုံးဝ ကုန်စင်အောင် ကူးပြောင်း(transfer)ပစ်ရန် အလွန်ခဲယဉ်းသည်။ (လူတစ်ယောက်သည် သူ၏ ပိုင်ဆိုင်သမျှ အားလုံးကို တစ်ပြားမကျန် စွန့်လွှတ်ပေးကမ်းရန် ခဲယဉ်းသကဲ့သို့ ဖြစ်သည်။)

အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer) ဖြစ်ရန်အတွက် အပူချိန်ခြားနားချက်(temperature difference) ရှိရန် လိုသည်။ ပိုင်ဆိုင်မှုများသူကသာ ပိုင်ဆိုင်မှု နည်းသူကို ပေးကမ်းစွန့်ကြဲလေ့ ရှိသကဲ့သို့ Enthalpy မြင့်သည့် (temperature မြင့်သည့်)အရာဝတ္ထုကသာ Enthalpy နိမ့်သည့်(temperature နိမ့်သည့်) အရာဝတ္ထုထံသို့ အပူများ(heat) ကူးပြောင်းသွားခြင်း(transfer) ဖြစ်နိုင်သည်။

Temperature ၊ Heat နှင့် Enthalpy တို့ကို ရှင်းလင်း ကွဲပြားစွာ နားလည်ရန် လိုသည်။ Temperature သည် ဒြပ်ဝတ္ထုတစ်ခု၏ "Thermal level" သို့မဟုတ် "Thermal Intensity" ကိုသာ ပြဆိုသည်။ Thermal level မြင့်သည့် ဒြပ်ဝတ္ထုသည် အပူချိန် မြင့်သည်။ အပူချိန်မြင့်သည့် ဒြပ်ဝတ္ထု(high temperature body)သည် အပူပိုင်ဆိုင်မှု(Enthalpy)များသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အပူသိုလှောင်ထားမှုများသည်။ ထိုEnthalpyထဲမှ ကူးပြောင်း (transfer)နိုင်သည့် အပူစွမ်းအင်ကိုသာ "Heat" ဟုပြောဆို ကြသည်။ အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer)ဖြစ်ရန် အပူချိန်မြင့်သည့်(ပေးမည့်)နေရာမှ အပူချိန်နိမ့်သည့်(လက်ခံမည့်)နေရာသို့ စီးဆင်းမည့် အပူပမာဏ(amount of heat)သည် mass ပေါ်တွင်လည်း မူတည်သည်။

၁.၈ Gas laws

Boyle's law အရ အပူချိန် မပြောင်းလဲလျှင်(constant temperature) ဖိအား(pressure)နှင့် ထုထည် (volume) တို့၏ မြှောက်လာဒ် မပြောင်းလဲပေ။ အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$P_1 x V_1 = P_2 x V_2$$

P = Absolute Pressure (Pa)

V = Volume (m^3)

ထိုညီမျှခြင်းအရ အပူချိန်မပြောင်းလဲပဲ(constant temperature)၊ ထုထည်(volume) တစ်ဝက်တိတိ နည်းသွားသည့်အခါ ဖိအား(pressure) နှစ်ဆများ လာလိမ့်မည်။ Charles's law အရ ဖိအား မပြောင်းလဲလျှင် (constant pressure) ဓာတ်ငွေ့ တစ်မျိုးမျိုး၏ ထုထည်(volume)သည် အပူချိန် (temperature)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲသည်။ အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad => \quad \Delta V = \frac{P_1}{T_1} . \Delta T$$

V = volume(m^3)

T = absolute temperature(K)

ΔV = volume difference

ΔT = temperature difference

Boyle's law နှင့် Charles's law နှစ်ခုကို ပေါင်းစပ်သည့်အခါ Gas Laws ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ ဖိအား (pressure)၊ ထုထည်(volume) နှင့် အပူချိန်(temperature)တို့သည် တစ်ခုနှင့် တစ်ခု အပြန်အလှန် ဆက်စပ် နေကြသည်။ ထိုသုံးခုအနက်မှ တစ်ခုခု ပြောင်းလဲလျှင် ကျန်နှစ်ခုသည် လိုက်၍ ပြောင်းလဲသည်။

$$\frac{p x v}{T} = R = gas\ constant$$

p = absolute pressure (Pa)

v = specific volume (m^3/kg)

T = absolute temperature (K)

R = R/M = individual gas constant (J/kg x k)

R ကို ဓာတ်ငွေ့(gas)တစ်ခု၏ ကိန်းသေတန်ဖိုး (individual gas constant)အဖြစ် သတ်မှတ်ထားသည်။ ဓာတ်ငွေ့(gas)တစ်ခု၏ mass (m)ကို v = specific volume (m^3/kg)မှ ထုတ်၍ ညီမျှခြင်းကို ပြောင်းရေးလျှင်

$$P x V = m x R x T$$

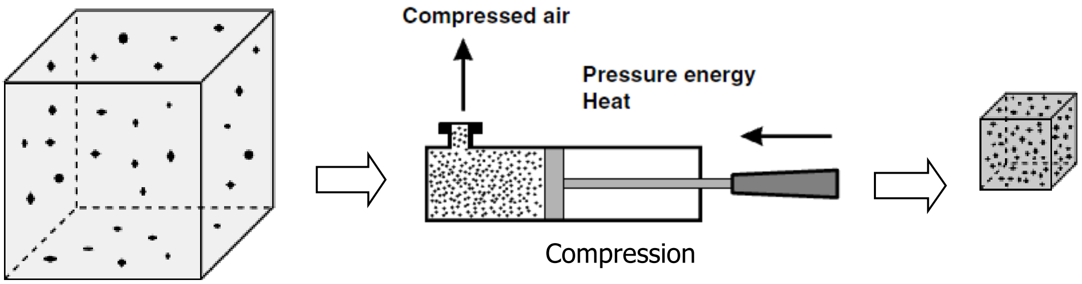
p = absolute pressure (Pa)

V = volume (m^3)

R = universal gas constant = 8314 (J/kmol x °K)

m = mole mass (kmol)

T = absolute temperature (K)



7 m^3 at 1 bar (gauge)

ပုံ ၁-၁၄

1 m^3 at 7 bar(gauge)

၁.၉ အခြေအနေတစ်ခုမှ အခြားအခြေအနေတစ်ခုသို့ ပြောင်းလဲခြင်း(Changes in State)

ဓာတ်ငွေ့(gas) သို့မဟုတ် လေ၏ အခြေအနေတစ်ခုမှ အခြားသော အခြေအနေတစ်ခုသို့ ပြောင်းလဲပုံ (changes in state)ကို Pressure/Volume diagram ဖြင့် ရေးဆွဲ၍ လေ့လာနိုင်သည်။ ဖိအား(pressure)၊ ထုထည်(volume) နှင့် အပူချိန်(temperature) စသည်တို့သည် အချိန်နှင့်အမျှ ပြောင်းလဲနေသောကြောင့် ဝင်ရိုးသုံးခု(three axes)ဖြင့် လေ့လာရန် လိုသည်။ သို့သော် Pressure/Volume plane ၌သာ အဓိက ထား၍ လေ့လာကြသည်။

အကြမ်းအားဖြင့် ဓာတ်ငွေ့တစ်မျိုးမျိုး သို့မဟုတ် လေကို ဖိသိပ်ခြင်း(compression)ကြောင့် အခြေအနေတစ်ခုမှ အခြားသော အခြေအနေတစ်ခုသို့ ပြောင်းလဲပုံ(changes in state)ကို ဖြစ်စဉ် ငါးမျိုးဖြင့် ခွဲခြားလေ့လာနိုင်သည်။

(၁) Isochoric process (constant volume) - ထုထည် မပြောင်းလဲသည့် ဖြစ်စဉ်

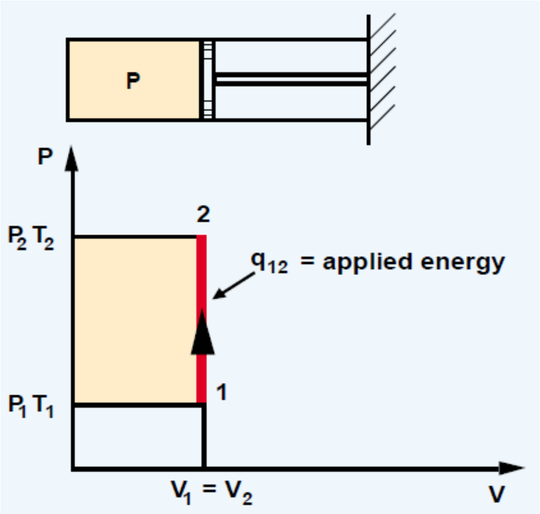
(၂) Isobaric process (constant pressure) - ဖိအား မပြောင်းလဲသည့် ဖြစ်စဉ်

(၃) Isothermic process (constant temperature) - အပူချိန် မပြောင်းလဲသည့် ဖြစ်စဉ်

(၄) Isentropic process (without heat exchange with the surrounding) - အပူစီးကူးခြင်း မရှိသည့် ဖြစ်စဉ် နှင့်

(၅) Polytropic process (where the heat exchange with the surrounding is stated through a simple mathematical function) - အနီးမှ အပူများစီးကူးသည့် ဖြစ်စဉ် တို့ဖြစ်သည်။

၁.၉.၁ Isochoric Process(Constant Volume) - (ထုထည် မပြောင်းလဲသည့်ဖြစ်စဉ်)



ပုံ ၁-၁၅ Isochoric process

ထုထည်ပြောင်းလဲခြင်းမရှိပဲ(constant volume) ဖိအားမြင့်တက်လာခြင်း(pressure increases) ဖြစ်စဉ်ကို "Isochoric Process" ဟုခေါ်ဆိုသည်။ ဥပမာ enclosed container တစ်ခု အတွင်း၌ ဓာတ်ငွေ့(Gas) သို့မဟုတ် လေကို အပူပေး၍ ဖိအား(pressure) မြင့်တက်လာအောင် ပြုလုပ်ခြင်းကို "Isochoric Process" ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ Isochoric process အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$q = m \times Cv \times (T2 - T1)$$

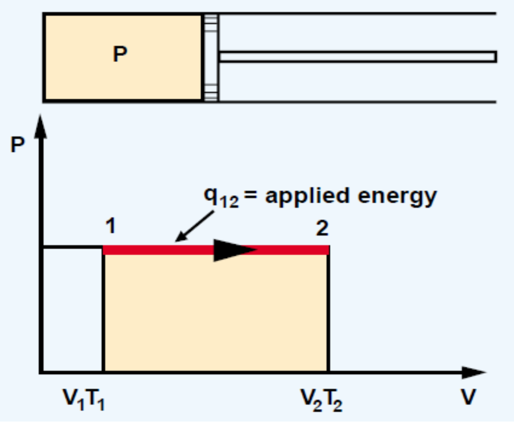
q = quantity of heat (J)

T = absolute temperature (K)

m = mass (kg)

Cv = heat capacity at constant volume (J/kg °K)

၁.၉.၂ Isobaric Process (Constant Pressure) - (ဖိအား မပြောင်းလဲသည့်ဖြစ်စဉ်)



ပုံ ၁-၁၆ Isobaric process (constant pressure)

ဖိအားပြောင်းလဲခြင်းမရှိပဲ(pressure is constant) ထုထည်များလာအောင် (volume increases) ပြုလုပ်ခြင်းကို 'Isobaric Process" ဖြစ်စဉ် ဟု ခေါ်ဆိုသည်။

ဥပမာ ဆလင်ဒါ(cylinder) တစ်ခုအတွင်း၌ Gas သို့မဟုတ် လေကို အပူပေး၍ ထုထည် (volume) မြင့်တက် လာအောင် ပြုလုပ်ခြင်းကို Isobaric process ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ (piston အပေါ်တွင် သက်ရောက် နေသည့် အားကို မပြောင်းလဲစေပဲ)။ Isobaric process ကို အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$q = m \times Cp \times (T2 - T1)$$

q = quantity of heat (J)

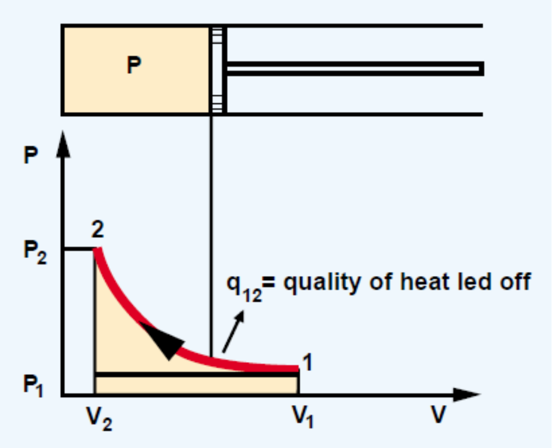
m = mass (kg)

T = absolute temperature (K)

Cp = the heat capacity at constant pressure (J/kg x K)

၁.၉.၃ Isothermic Process(အပူချိန် မပြောင်းလဲသည့် ဖြစ်စဉ်)

ဆလင်ဒါ(cylinder) တစ်ခုအတွင်း၌ ဓာတ်ငွေ့(gas) သို့မဟုတ် လေကို ဖိသိပ်နေစဉ် အချိန်အတွင်း ထည့်ပေးရမည့် အလုပ်(applied work)နှင့် ညီမျှသည့် အပူ(heat)ပမာဏကို တဖြည်းဖြည်းချင်း လျော့နည်းသွားအောင် ပြုလုပ်ခြင်းကို "Isothermic Process" ဟုခေါ်ဆိုသည်။



ပုံ ၁-၁၇ Isothermic process

လက်တွေ့တွင် မဖြစ်နိုင်သည့် process တစ်ခုဖြစ်သည်။ Isothermic process ဖြစ်စဉ်ဖြင့် အခြေအနေတစ်ခုမှအခြားသော အခြေနေတစ်ခုသို့ ပြောင်းလဲ(changes in state) သွားသည့် အခါမျိုးတွင် ဓာတ်ငွေ့(gas) သို့မဟုတ် လေ၏ အပူချိန် မပြောင်းလဲဟု ယူဆ သတ်မှတ်သည်။ ဖိအား (pressure) နှင့် ထုထည်(volume) ပြောင်းလဲသည်။ Isothermic process ကို အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြ နိုင်သည်။

$$q = m \times R \times T \times \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

$$q = p_1 \times V_1 \times \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

q = quantity of heat (J)

m = mass (kg)

T = absolute temperature (K)

V = volume (m3)

p = absolute pressure (Pa)

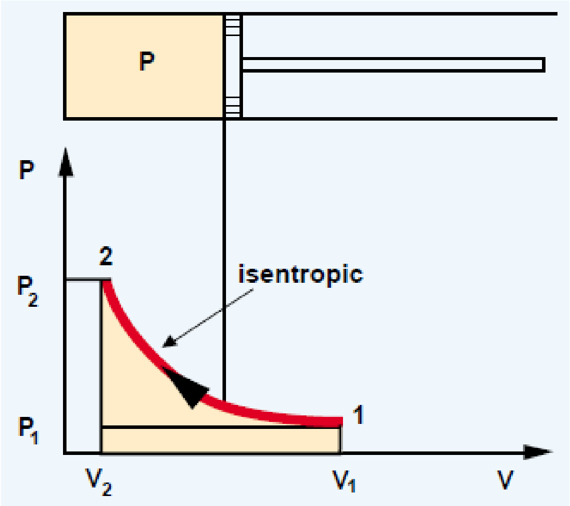
R = individual gas constant (J/kg x °K)

၁.၉.၄ Isentropic Process(အပူ စီးကူးခြင်းမရှိသည့် ဖြစ်စဉ်)

လုံးဝ အပူစီးကူးနိုင်ခြင်း မရှိသည့် ဆလင်ဒါ(cylinder)တစ်ခု အတွင်း၌ ဓာတ်ငွေ့ သို့မဟုတ် လေကို ဖိသိပ်လျှင် 'Isentropic Process" ဖြစ်စဉ် ဖြစ်ပေါ်သည်။ ဆလင်ဒါ(cylinder)သည် လုံးဝ အပူစီးကူးနိုင်ခြင်း မရှိသောကြောင့် အနီးဝန်းကျင်မှ အပူများ ဆလင်ဒါအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ခြင်း သို့မဟုတ် ဆလင်ဒါမှ အပူများ ထွက်သွားခြင်း မဖြစ်နိုင်ပေ။ ဥပမာ နော်ဇယ်(nozzle)တစ်ခုမှ compressed air များ ထွက်သွားသည့် အခါ အလွန် လျင်မြန်လွန်းသောကြောင့် အပူဖလှယ်ခြင်း(heat exchange)မဖြစ်နိုင် ဟုယူဆသည်။ Isentropic process ကို အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa} \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

p = absolute pressure (Pa) T = absolute temperature (K) V = volume (m^3)



ပုံ ၁-၁၈ Isentropic process

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{C_p}{C_v}$$

ဓာတ်ငွေ့ သို့မဟုတ် လေသည် ဖိသိပ်ခြင်း ခံရသည်ဖြစ်စေ(compressed) သို့မဟုတ် ကျယ်ပြန့်(expanded) လာသည်ဖြစ်စေ ထိုဓာတ်ငွေ့ သို့မဟုတ် လေ၏ entropy သည် မပြောင်းလဲဟု ယူဆသည်။ အနီးဝန်းကျင် (surrounding)သို့ အပူဖလှယ်ခြင်း(heat exchange) မဖြစ်နိုင်ဟု ယူဆထားခြင်းဖြစ်သည်။

၁.၉.၅ Polytropic Process(အနီးမှ အပူများစီးကူးသည့် ဖြစ်စဉ်)

Isothermic process တွင် အပူအားလုံး အနီးဝန်းကျင်(surrounding)သို့ ရောက်သွားခြင်း သို့မဟုတ် အပူဖလှယ်ခြင်း(heat exchange) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Isotropic process တွင် အပူဖလှယ်ခြင်း(heat exchange) လုံးဝမဖြစ်နိုင်ပေ။ ထိုဖြစ်စဉ်နှစ်ခုစလုံးသည် လက်တွေ့တွင် မဖြစ်နိုင်လောက်အောင် အစွန်းရောက်လွန်းသည်။ လက်တွေ့ နှင့် နီးစပ်သည့် ဖြစ်စဉ်သည် "Polytropic Process" ဖြစ်သည်။

Polytropic process ကို အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$P \times V^n = Constant$$

p = absolute pressure (Pa) n = 1 means isothermic process
V = volume (m^3) n = κ means isentropic process
n = 0 means isobaric process n = ∞ means isochoric process

Polytropic process အတွက် "n" ဖြင့်သတ်မှတ်လေ့ရှိသည်။ "n" သည် ဖြစ်စဉ်များ အားလုံးအတွက် သတ်မှတ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Isentropic process အတွက် κ (n = κ) ဖြင့် သတ်မှတ် ရေးသားလေ့ရှိသည်ကို သတိပြုပါ။ κ သည် Isentropic process အတွက်သာ သတ်မှတ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

၁.၉.၆ လိုအပ်သော စက်စွမ်းအား(Mechanical Power)

(က) Isothermal ဖြစ်စဉ်သည် လေ၏အပူချိန်မပြောင်းလဲ(constant temperature)ဟု ယူဆထားသော (ideal) Process ဖြစ်သည်။

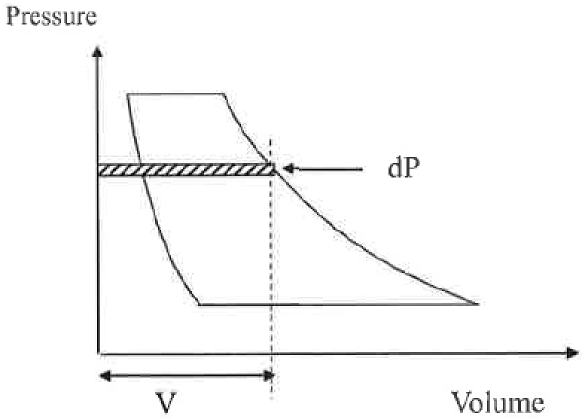
Adiabatic ဖြစ်စဉ်(Process) အတွက် => n = 1.4

(ခ) Adiabatic ဖြစ်စဉ်(Process)သည် အပူစီးကူးခြင်းမရှိ(no heat transfer)ဟု ယူဆထားသော (inefficient) Process ဖြစ်သည်။

Isothermal ဖြစ်စဉ်(Process) အတွက် => n = 1.0

(ဂ) Polytropic ဖြစ်စဉ်(Process)သည် လက်တွေ့ အခြေအနေနှင့် ကိုက်ညီသည့် Process ဖြစ်သည်။ အပူစီးကူးမှု အနည်းငယ်ဖြစ်ပေါ်ပြီး လေ၏အပူချိန် အနည်းငယ်မြင့်တက်လာသည်ဟု ယူဆထားသည့် Process ဖြစ်သည်။

Polytropic ဖြစ်စဉ်(Process) အတွက် => n = 1.2 - 1.3



W = work done (Watt)= J/sec

when m = mass flow rate = kg/s

Work done, W = ∫ V dP

$$W = mRT_1\left(\frac{n}{n-1}\right)\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{n-1}{n}\right)} - 1\right]$$

ပုံ ၁-၁၉ Polytropic ဖြစ်စဉ်ကိုဖော်ပြသည့် Pressure Volume Graph

ဥပမာ

အပူချိန် 30°C ၌ရှိသော ခြောက်သွေ့သည့် လေစီးနှုန်း(dry air flow rate)သည် 1 m^3/s ဖြစ်သည်။ ထိုလေကို ဖိအား 1 barg မှ 7.5 barg သို့ရောက်အောင် နည်းသုံးနည်းဖြင့် ဖိသိပ်ရန်(compress လုပ်ရန်) အတွက် လိုအပ်သော စက်မှုစွမ်းအား(mechanical power)ကို ရှာပါ။ မော်တာ၌ ဖြစ်သော စွမ်းအင် ဆုံးရှုံးမှုများ (motor losses) နှင့် drive ၌ ဖြစ်သော စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှုများ(losses)ကို ထည့်တွက်ရန် မလိုပါ။

နည်းသုံးနည်းဖြင့် ဖိသိပ်ခြင်း(compression) ပြုလုပ်သောကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာမည့် specific power ကိုတွက်ပါ။

(၁) Isothermal (n=1.0) compression

(၂) Polytropic (n=1.3) compression

(၃) Adiabatic (n=1.4) compression

လေ၏ သိပ်သည်းဆ(density of air) သည် 1.2 kg/m^3 ဖြစ်သည်။ လေ၏ Specific gas constant (R)သည် 287 J/kg.K ဖြစ်သည်။

Mass flow rate တွက်ရန် = 1 m^3/s x 1.2 kg/m^3 = 1.2 kg/s

Isothermal (n=1.0) အတွက်လိုအပ်သော စက်မှုစွမ်းအား(mechanical power)

$$\boldsymbol{Work\ Done_{Compression} = m\,R\,T_1\ ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}$$

$$Work\ Done_{\ Compression} = 1.2kg\ x\ \frac{0.287\ kJ}{kg.°K} x\ (273+30)°K\ x\ ln\left(\frac{7.5\ bar}{1.0\ bar}\right)$$

= 210 kW

Adiabatic Process (k= 1.4) အတွက်လိုအပ်သော စက်မှုစွမ်းအား(mechanical power)

$$Work\ Done_{\ Compression} = mRT_1 \left(\frac{k}{k-1}\right)\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{k-1}{k}\right)} - 1\right]$$

$$Work\ Done_{\ Compression} = 1.2kg\ x\ \frac{0.287\ kJ}{kg.°K} x\ (273+30)°K \left(\frac{1.4}{1.4-1}\right)\left[\left(\frac{7.5\ barg}{1\ barg}\right)^{\left(\frac{1.4-1}{1.4}\right)} - 1\right]$$

= 284 kW

Polytropic Process (n= 1.3) အတွက်လိုအပ်သော စက်မှုစွမ်းအား(mechanical power)

$$Work\ Done_{\ Compression} = mRT_1 \left(\frac{n}{n-1}\right)\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{n-1}{n}\right)} - 1\right]$$

$$Work\ Done_{\ Compression} = 1.2kg\ x\ \frac{0.287\ kJ}{kg.°K} x\ (273+30)°K \left(\frac{1.3}{1.3-1}\right)\left[\left(\frac{7.5\ barg}{1\ barg}\right)^{\left(\frac{1.3-1}{1.3}\right)} - 1\right]$$

= 267 kW

Isothermal process ၏ Specific power consumption

Specific power = 210 kW / 1 m^3/s

0.21 kW/(Liter/s) = 10 CFM /kW (10 CFM ရရန်အတွက် 1 kW အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။)

Adiabatic process ၏ Specific power consumption

Specific power = 284 kW / 1 m^3/s

0.28 kW/(Liter/s)= 7.5 CFM /kW (7.5 CFM ရရန်အတွက် 1 kW အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။)

Polytropic process ၏ Specific power consumption (လက်တွေ့ အခြေအနေတွင်ရရှိနိုင်သည်။)

Specific power = 267 kW / 1 m^3/s

0.27 kW/(Liter/s) = 8 CFM /kW (8 CFM ရရန်အတွက် 1 kW အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။)

ဥပမာ - Work Input for Various Compression Processes

Compressor တစ်လုံးသည် ဖိအား 100 kPa နှင့် အပူချိန် 300°K အခြေအနေ(inlet state)ရှိသောလေကို ဖိအား 900 kPa အထွက်ဖိအား(exit pressure) သို့ရောက်အောင် ဖိသိပ်(compress)သည်။ အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော ဖြစ်စဉ်(process) လေးမျိုးကို အသုံးပြု၍ compressor ၏ work per unit mass ကိုတွက်ပါ။

(၁) Isentropic compression with k= 1.4

(၂) Polytropic compression with n= 1.3

(၃) Isothermal compression နှင့်

(၄) Ideal two stage compression with intercooling with a polytropic exponent of 1.3.

အဖြေ

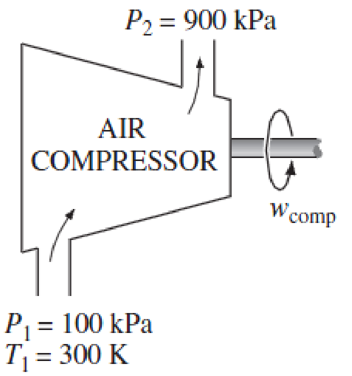
Assumptions –

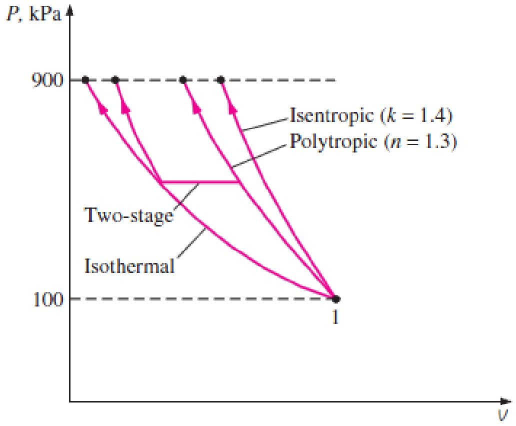
(၁) Steady operating အခြေအနေ(condition)အတွက်သာ တွက်ချက်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Compressor

စမောင်းသည့် အခြေအနေ နှင့် ရပ်တန့်တော့မည့် အခြေအနေ မပါဝင်ပါ။

(၂) လေကို Ideal Gas အဖြစ်ယူဆသည်။ (R = 287)

(၃) အခြေအနေတစ်ခုမှ အခြားသော အခြေအနေသို့ ကူးပြောင်းရာတွင် Kinetic Energy(K.E)နှင့် Potential Energy (P.E)တို့ပြောင်းလဲခြင်း အနည်းငယ်သာ ဖြစ်ပေါ်သည်ဟု ယူဆ၍ ထည့်မတွက်ပါ။





ပုံ ၁-၂၀ Compressor နှင့် Pressure Volume Graph

Analysis – Compressor ကို control volume တစ်ခု အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Process များကို T-S diagram ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ နည်းလေးမျိုးလုံး(four cases)အတွက် steady-flow compression work ကို အောက်ပါတိုင်းတွက်ယူနိုင်သည်။

(က) Isentropic compression with k = 1.4:

$$Work\ Done_{\ Compression} = mRT_1\left(\frac{k}{k-1}\right)\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{k-1}{k}\right)} - 1\right]$$

$$Work\ Done_{\ Compression} = 1.0\ x\ \frac{0.287\ kJ}{kg.°K}\ x\ 300°K\left(\frac{1.4}{1.4-1}\right)\left[\left(\frac{900kPa}{100kPa}\right)^{\left(\frac{1.4-1}{1.4}\right)} - 1\right]$$

= 263.2 kJ/kg

လေ အလေးချိန် တစ်ကီလိုဂရမ်ကို ဖိအား 100 kPa မှ ဖိအား 900 kPa သို့ ရောက်အောင် Isentropic compression နည်း(k = 1.4)ဖြင့် ဖိသိပ်(compress)ရန် အတွက် စွမ်းအင် 263.2 kJ လိုအပ်သည်။

(ခ) Polytropic compression with n = 1.3:

$$Work\ Done_{\ Compression} = mRT_1\left(\frac{n}{n-1}\right)\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{n-1}{n}\right)} - 1\right]$$

$$Work\ Done_{\ Compression} = 1.0\ x\ \frac{0.287\ kJ}{kg.°K}\ x\ 300°K\left(\frac{1.3}{1.3-1}\right)\left[\left(\frac{900kPa}{100kPa}\right)^{\left(\frac{1.3-1}{1.3}\right)} - 1\right]$$

= 246.4 kJ/kg

လေ အလေးချိန် တစ်ကီလိုဂရမ်ကို ဖိအား 100 kPa မှ ဖိအား 900 kPa သို့ ရောက်အောင် Polytropic compression နည်း(n = 1.3) ဖြင့် ဖိသိပ်(compress)ရန်အတွက် စွမ်းအင် 246.4 kJ လိုအပ်သည်။

(ဂ) Isothermal compression n = 1.0:

$$Work\ Done_{\ Compression} = mRT_1\, ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$Work\ Done_{\ Compression} = 1.0\ x\ \frac{0.287\ kJ}{kg.°K}\ x\ 300°K\ x\ ln\left(\frac{900\ kPa}{100\ kPa}\right)$$

= 189.2 kJ/kg

လေ အလေးချိန် တစ်ကီလိုဂရမ်ကို ဖိအား 100 kPa မှ ဖိအား 900 kPa သို့ ရောက်အောင် Isothermal compression နည်း(n = 1.0) ဖြင့် ဖိသိပ်(compress)ရန် အတွက် စွမ်းအင် 189.2 kJ လိုအပ်သည်။

(ဃ) Ideal two-stage compression with intercooling (n 1.3): stage တိုင်းတွင် pressure ratio တူညီကြသည်။

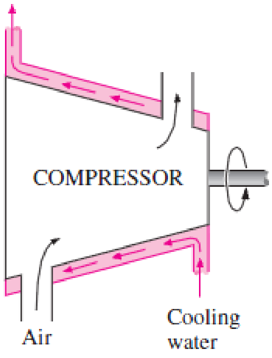
$$P_x = \sqrt{(P_2 x\ P_1)} = \sqrt{[(100kPa)(900\ kPa)]} = 300\ kPa$$

Two-stage compression ဖြစ်သောကြောင့် stage တစ်ခုစီတွင် compress လုပ်ရမည့် ဖိအားသည် 300 kPa ဖြစ်သည်။ stage တစ်ခုစီတွင် တူညီသော work ထည့်ပေးရန် လိုသည်။ Stage တစ်ခု၏ နှစ်ဆဖြစ်သည်။

$$Work\ Done_{\ Compression} = 2x\ Work\ Done = 2\ x\ mRT_1\left(\frac{n}{n-1}\right)\left[\left(\frac{P_X}{P_1}\right)^{\left(\frac{n-1}{n}\right)} - 1\right]$$

$$Work\ Done_{\ Compression} = 2x\ 1.0\ x\ \frac{0.287\ kJ}{kg.°K}\ x\ 300°K\left(\frac{1.3}{1.3-1}\right)\left[\left(\frac{300\ kPa}{100\ kPa}\right)^{\left(\frac{1.3-1}{1.3}\right)} - 1\right]$$

=215.3 kJ/kg



ပုံ ၁-၂၁ Compressor

လေ အလေးချိန် တစ်ကီလိုဂရမ်ကို ဖိအား 100 kPa မှ ဖိအား 900 kPa သို့ ရောက်အောင် Ideal two-stage compression with intercooling compression (n = 1.3)နည်းဖြင့် compress လုပ်ရန်အတွက် စွမ်းအင် 215.3 kJ လိုအပ်သည်။

အထက်ပါတွက်ချက်မှုများအရ

> Compressor များ ကို work input နည်းစေရန်အတွက် သို့မဟုတ် efficiency ကောင်းစေရန်အတွက် အအေးခံပေးရန် သို့မဟုတ် အေးအောင် (intercooling)လုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

၁.၉.၇ Isothermal Efficiency

$$Isothermal\ efficiency = \frac{Isothermal\ power}{Actual\ measured\ power}$$

ဉပမာ ပုစ္ဆာ

အပူချိန် 30°C ၌ရှိသော ခြောက်သွေ့သည့် လေစီးနှုန်း(dry air flow rate)သည် 1 m^3/s ဖြစ်သည်။ ထိုလေကို 1barg မှ 9 barg သို့ ရောက်နေအောင် ဖိသိပ်(compress)ပေးရန်အတွက် 325 kW(measured power consumption)သုံးရန် လိုအပ်လျှင် Isothermal Efficiency မည်မျှဖြစ်မည်နည်း။ လေ၏ သိပ်သည်းဆ (density of air)သည် 1.2 kg/m^3 ဖြစ်သည်။ Specific gas constant (R) သည် 287 J/kg.°K ဖြစ်သည်။

၁.၁၀ နော်ဇယ်(Nozzle) တစ်ခုမှ ဓာတ်ငွေ့(Gas) သို့မဟုတ် လေများ ထွက်သွားခြင်း

နော်ဇယ်(nozzle)တစ်ခုမှ ဓာတ်ငွေ့ သို့မဟုတ် လေများ ထွက်သွားခြင်းသည် ထိုနော်ဇယ်(nozzle)၏ အတွင်းဘက် နှင့် အပြင်ဘက်ရှိ ဖိအားပေါ်တွင် မူတည်သည်။ နော်ဇယ်(nozzle)၏ အပြင်ဘက်ရှိဖိအားသည် အတွင်းဘက်ထက် အလွန်နည်းလျှင် နော်ဇယ်(nozzle)မှ ဓာတ်ငွေ့ သို့မဟုတ် လေများ ထွက်သွားသည့်နှုန်း များလိမ့်မည်။ (အတွင်းဘက်ရှိ ဖိအားသည် အပြင်ဘက်ရှိ ဖိအားထက် နှစ်ဆမက ပိုများမှသာ ထိုကဲ့သို့ ဖြစ်နိုင်သည်။) နှစ်ဆထက်နည်းပါက နော်ဇယ်(nozzle)မှ ဓာတ်ငွေ့ သို့မဟုတ် လေများ ထွက်သွားသည့်နှုန်း များလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ထို critical pressure ratio သည် ဓာတ်ငွေ့ သို့မဟုတ် လေ ၏ isentropic exponent (κ) တန်ဖိုးပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Flow velocity သည် နော်ဇယ်(nozzle)၏ အကျဉ်းဆုံးနေရာ(narrowest section)ရှိ sonic velocity နှင့်တူညီသည့်အခါမှသာ ထို critical pressure ratio ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။ နော်ဇယ်(nozzle)၏ အပြင်ဘက်ရှိဖိအား ဆက်၍ နိမ့်ဆင်းလာပါက လေစီးနှုန်းသည် supercritical ဖြစ်လိမ့်မည်။

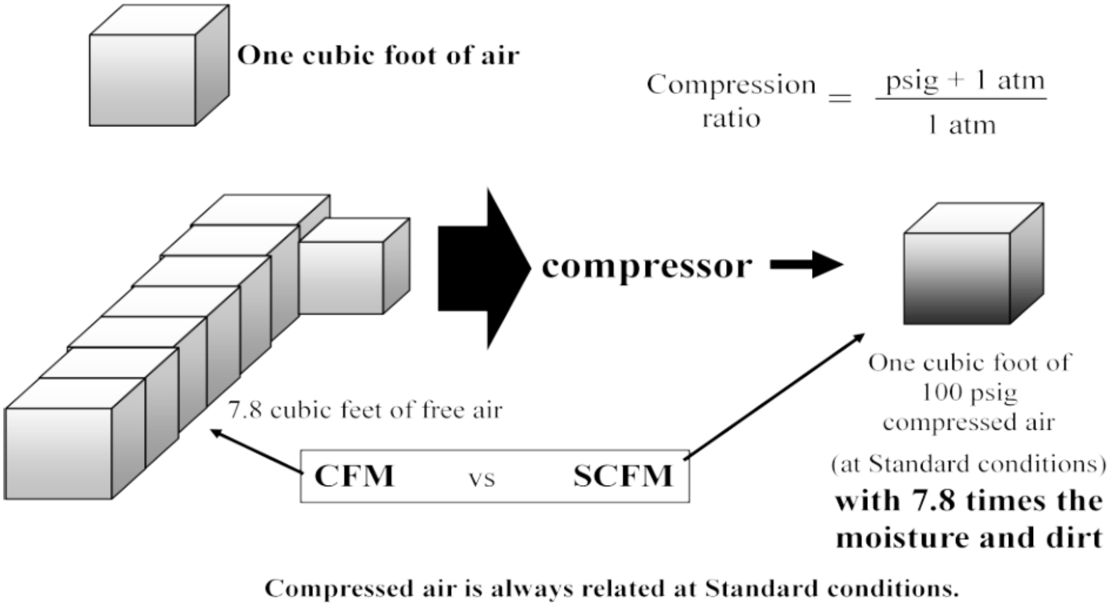
၁.၁၁ Free Air Delivery (FAD)

Compressor များ၏ စွမ်းရည် နှင့် rating ကို Free Air Delivery(FAD)ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ 5 m^3/min Free Air Delivery(FAD) ၏ အဓိပ္ပာယ်သည် air compressor ၏ လေဝင်ပေါက်(inlet)၌ တစ်မိနစ်လျှင် (၅)ကုဗမီတာနှုန်း(5 m^3/min)ဖြင့် လေများ compressor အတွင်းသို့ ဝင်နေသည်ဟု ဆိုလိုသည်။ ဖိသိပ်ခြင်း မပြုလုပ်ခင်က လေဝင်နှုန်းဖြစ်သည်။

Free air delivery

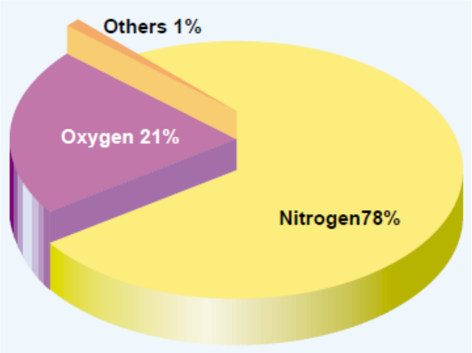
$$V1 = \frac{(V2\ x\ P2\ x\ T1)}{(T2\ x\ P1)}$$

CFM(cubic feet per minute)ဆိုသည်မှာ တစ်မိနစ်လျှင် ဖိသိပ်(compress လုပ်)နိုင်သော လေပမာဏကို ကုဗပေဖြင့် ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။ SCFM ဆိုသည်မှာ standard condition တွင် တိုင်းယူလျှင် ရနိုင်သော cubic feet per minute (CFM @ Standard Temperature & Pressure)ကို ဆိုလိုသည်။ ပင်လယ် ရေမျက်နှာပြင်(sea level)၌ ရှိသော လေထုဖိအား 29.921 in. Hg (atmospheric pressure) နှင့် ၇၀ ဒီဂရီဖာရင်ဟိုက်ရှိသော(70° F)ကို standard condition အဖြစ် သတ်မှတ်ကြသည်။



ပုံ ၁-၁၆ လေကို ဖိသိပ်ခြင်း(compression) လုပ်ပုံ

၁.၁၂ လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(Properties of Air)



ပုံ ၁-၁၈ လေထဲတွင် ပါဝင်သည့် ဓာတ်ငွေ့များ

လေသည် အရောင်မရှိ၊ အနံ့မရှိ၊ အရသာမရှိသည့် ဓာတ်ငွေ့များ ပါဝင်နေသည့် ဓာတ်ငွေ့အရော(gas mixture)ဖြစ်သည်။ ဓာတ်ငွေ့အမျိုးပေါင်း များစွာ ရောနှောနေသော်လည်း အဓိကပါဝင်သည့် ဓာတ်ငွေ့များသည်အောက်စီဂျင်(Oxygen)၂၁%နှင့် နိုက်ထရိုဂျင်(Nitrogen) ၇၈%တို့ ဖြစ်သည်။ တွက်ချက်မှုများ ပြုလုပ်ရာတွင် လွယ်ကူစေရန်အတွက် perfect gas mixture အဖြစ်သတ်မှတ်သည်။ ဓာတ်ငွေ့များ ပေါင်းစပ်ပါဝင်မှုသည် အမြင့်(၂၅) ကီလိုမီတာ(25km) အထိ မပြောင်းလဲပေ။

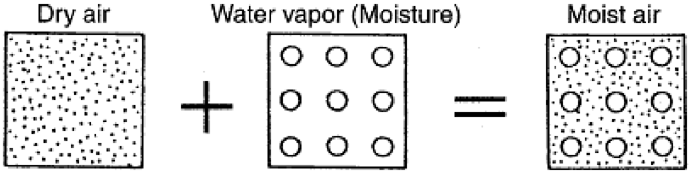
ခြောက်သွေ့သောလေ(dry air)နှင့် ရေခိုးရေငွေ့(water vapor)များရောနှော နေခြင်းဖြစ်သည်။ ရေငွေ့(water vapor)များ ပါဝင်နေသည့်လေကို "Moist Air" ဟုခေါ်သည်။ လေထဲတွင် ရေခိုးရေငွေ့(water vapor) လုံးဝမရှိလျှင် ခြောက်သွေ့သောလေ(dry air)ဟု သတ်မှတ်သည်။ ရေခိုးရေငွေ့(water vapor) များဖြင့် လုံးဝပြည့်ဝနေသည့်လေကို "Saturated Air" ဟုသတ်မှတ်သည်။

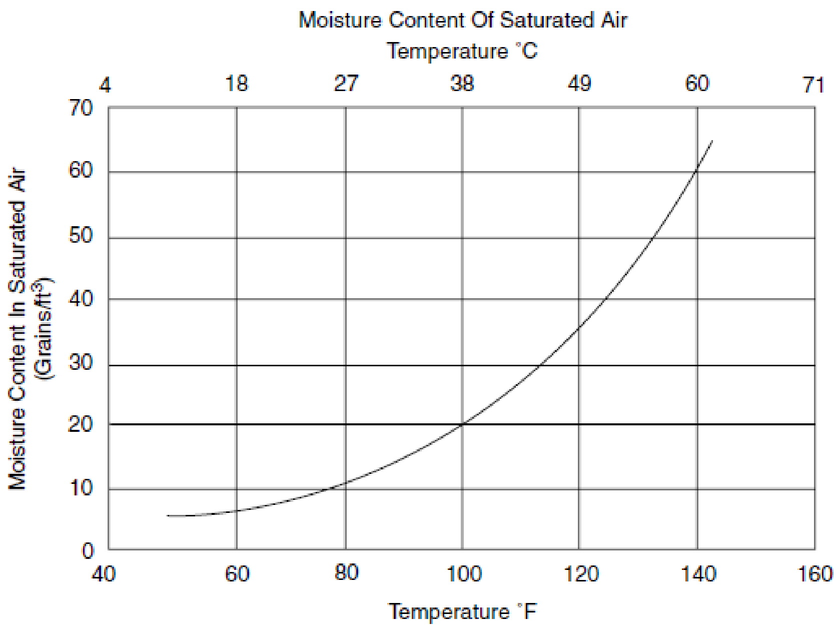
လေ၏ water vapor pressure သည် ထိုလေ၏ အပူချိန်(temperatures)နှင့် သက်ဆိုင်သည်။ တူညီသောအပူချိန်(temperature)တွင် actual partial vapor pressure နှင့် saturated pressure တို့၏ နှိုင်းယှဉ်ချက်ကို relative vapor pressure ဟုသတ်မှတ်သည်။ Relative vapor pressure သည် relative humidity ပင်ဖြစ်သည်။

လေအတွင်းရှိ ရေခိုးရေငွေ့များ စတင်၍ condensation (လေထဲမှထွက်သွားခြင်း) ဖြစ်မည့် အပူချိန်(temperature)ကို "Dew Point" အဖြစ်သတ်မှတ်သည်။

လေထုဖိအား(atmospheric pressure) သက်ရောက်နေသည့်အချိန်တွင် လေထဲမှ ရေခိုးရေငွေ့(water vapour)သည် ရေအဖြစ်သို့ စတင်ပြောင်းလဲသည့် အပူချိန်ကို "Atmospheric Dew Point" ဟုခေါ်သည်။ လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ထက် ပိုမြင့်သည့် ဖိအားတန်ဖိုးတစ်ခု သက်ရောက်နေသည့် အချိန်တွင် လေထဲမှ ရေခိုးရေငွေ့(water vapour)များ ရေအဖြစ်သို့ စတင်ပြောင်းလဲသည့် အပူချိန်ကို Pressure Dew Point(PDP)ဟု ခေါ်သည်။

Pressure Dew Point(PDP)သည် compressed air system တွင် အလွန် အသုံးများသည့် ဝေါဟာရတစ်ခုဖြစ်သည်။ အလိုရှိသည့် လေ(compressed air)ပမာဏ(quantity)၊ ဖိအား(presure)နှင့် အရည်အသွေး(quality)တို့ ရရှိရန်အတွက် လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ(properties of air)အကြောင်းကို အသေးစိတ် နားလည်ရန် လိုအပ်သည်။





ပုံ ၁-၁၈ လေထဲတွင် ရှိနေသည့် ရေခိုးရေငွေ့(water vapor) များ နှင့် ပါဝင်သည့် ပမာဏ

၁.၁၂.၁ လေထဲ၌ရှိသော ရေငွေ့များ(Water Vapor in Air)

နေ့စဉ် ခေါ်ဝေါ်ပြောဆိုနေသည့် "လေ"သည် "Moist Air" ကို ရည်ညွှန်းပြောဆိုခြင်းဖြစ်သည်။ လုံးဝခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) နှင့် ရေခိုးရေငွေ့(water vapor) ရောနေသည့် mixture ကို "Moist Air" ဟု ခေါ်သည်။ ကျွန်ုပ်တို့ အနီးရှိလေသည် "Moist Air" ပင်ဖြစ်သည်။ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air)သည် တွက်ချက်မှု လွယ်ကူစေရန် အတွက်သာ ပြုလုပ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ သဘာဝအရ လုံးဝခြောက်သွေ့လေ(dry air) မရှိသော်လည်း စနစ်တကျ တွက်ချက်မှုများ ပြုလုပ်ရန်အတွက်ဖြစ်သည်။ လက်တွေ့တွင် ခြောက်သွေ့သည့် လေ(dry air)အဖြစ် သီးသန့် တည်ရှိနိုင်သည့် အခြေအနေ မရှိသလောက် နည်းပါးသည်။

လေ(air)က သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေ(water)ကို ပုံသဏ္ဍာန် သုံးမျိုးဖြင့် တွေ့မြင်နိုင်သည်။ လေထဲတွင် ရေ(water)ကို မိုးသီးများ၊ ဆီးနှင်းများ(snow)၊ hail များကဲ့သို့ အစိုင်အခဲ(solid form)အဖြစ် တွေ့မြင်နိုင်သကဲ့သို့ မိုးစက်များ(rain drops)၊ မြူများ(mist)ကဲ့သို့ အရည်(liquid form)အဖြစ်လည်း တွေ့မြင် နိုင်သည်။ သို့သော် အခန်းအတွင်း(indoor)ရှိ လေထဲ၌ ပါဝင်နေသည့် ရေကို ရေခိုးရေငွေ့အဖြစ်(vapor form) သာ တွေ့မြင်နိုင်သည်။

လေကသယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့များသည် "Superheated Low-Pressure Steam"များ ဖြစ်ကြသည်။ လေထု၏ အတွင်းသို့ ရေငွေ့များ မည်ကဲ့သို့ ရောက်ရှိလာသည်ကို နားလည်နိုင်ရန် အတွက် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) နှင့် အငွေ့မှအရည်အဖြစ်သို့ပြောင်းခြင်း(condensation) ဖြစ်စဉ်နှစ်ခုကို လေ့လာရန် လိုအပ်သည်။ Condensation ဖြစ်စဉ် ကို "ငွေ့ရည်ဖွဲ့ခြင်း" ဟုလည်း အဓိပ္ပာယ် ပြန်ဆိုလေ့ရှိသည်။

၁.၁၂.၂ ရေငွေ့ပျံခြင်း(Evaporation)

ပူ၍ပေါ့ပါးနေသည့်လေ(hot air)သည် ရေငွေ့မှုန်ငယ်ကလေးများကို စုပ်ယူသိုလှောင်ထားနိုင်သော စွမ်းရည်ရှိသည်။ ရေအဖြစ်မှ ရေငွေ့မှုန်ငယ်ကလေးများ အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည့် ဖြစ်စဉ်ကို ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ဟုခေါ်သည်။ ထိုဖြစ်စဉ်သည် အပေါ်ယံရေမျက်နှာပြင်တွင်ဖြစ်လေ့ရှိသည်။ ရေကို ဆူပွက်အောင် ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော ရေငွေ့ပျံခြင်းသည်လည်း evaporation ဖြစ်စဉ် တစ်မျိုးပင်ဖြစ်သည်။

ကျောက်စားပွဲမျက်နှာပြင်ကို ရေစိုအဝတ်ဖြင့် သုတ်လိုက်သည့်အခါ မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ရေများစိုသွားလိမ့်မည်။ ထိုရေများ ခြောက်သွေ့သွားခြင်းသည် evaporation ဖြစ်စဉ်ကြောင့် ရေငွေ့ပျံသွားခြင်း ဖြစ်သည်။ Vaporization ဖြစ်သွားခြင်းဖြစ်သည်။

၁.၁၂.၃ အငွေ့မှ အရည်အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်း (Condensation)

အပူချိန် ကျဆင်းလာ၍ အေးလာသည့်လေသည် ၎င်း၌ သယ်ဆောင်ထားသော ရေငွေ့များကို ဆက်လက် မသယ်ဆောင်နိုင်တော့ သောကြောင့် စွန့်ထုတ်ပစ်ရသည်။ ထိုသို့ လေထဲ၌ ရှိသော ရေငွေ့များ ရေအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားစေခြင်းကို condensation ဖြစ်စဉ်(evaporation ၏ ပြောင်းပြန်ဖြစ်စဉ်) ဟုခေါ်သည်။

> လေထုထဲတွင်ပါဝင်နေသည့် ရေခိုးရေငွေ့ပမာဏ(water vapor content)သည် လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ တစ်နည်း လေကသယ်ဆောင်ထားနိုင်သည့် ရေခိုးရေငွေ့ပမာဏ(water vapor content)သည် ထိုလေ၏ Dry Bulb အပူချိန်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေ၏ Dry Bulb အပူချိန် မြင့်လေ ရေခိုးရေငွေ့ပမာဏများများ သယ်ဆောင်နိုင်လေဖြစ်သည်။ လေ၏ Wet Bulb အပူချိန် မြင့်လေ လေထဲတွင် သယ်ဆောင်ထားပြီးဖြစ်သည့် ရေခိုးရေငွေ့ပါဝင်မှု(water vapor content)များ လေဖြစ်သည်။

လေသည် အပူချိန်တစ်ခု၌ သယ်ဆောင်နိုင်စွမ်းရှိသည့် အများဆုံး ရေခိုးရေငွေ့ပမာဏ(water vapor content)ကို သယ်ဆောင်ပြီးဖြစ်၍ နောက်ထပ် လက်မခံနိုင်တော့လျှင် "Saturated Air" ဟုသတ်မှတ်သည်။ လေသည် ရေငွေ့(water vapor)ကို ထပ်မံ လက်ခံနိုင်သေးလျှင် "Unsaturated Air" ဟုခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရေခိုးရေငွေ့(water vapor)ကို ထပ်မံ လက်ခံနိုင်သည့်(စုပ်ယူနိုင်သည့်)လေကို unsaturated air ဟုခေါ်သည်။

> လေမှ ရေခိုးရေငွေ့(water vapor)ပမာဏမည်မျှ သယ်ဆောင်ထားနိုင်သည်ကို လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်က ဆုံးဖြတ်ပေးသည်။ လေမှ ရေခိုးရေငွေ့ပမာဏ(water vapor)မည်မျှ သယ်ဆောင်ထားပြီး ဖြစ်သည်ကို လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်က ဖော်ပြပေးသည်။

၁.၁၂.၄ Standard Air Condition

လူသားများ အသက်ရှင်ရန်အတွက် ရှူသွင်းနေသည့်လေထဲတွင် နိုက်ထရိုဂျင် ၇၈%၊ အောက်စီဂျင် ၂၁%၊ အခြားဓာတ်ငွေ့များ ၁% နှင့် ရေငွေ့များ ပါဝင်သည်။ လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ(properties of air)သည် နေရာဒေသ၊ အချိန်၊ ရာသီဥတု ပေါ်တွင် မူတည်၍ ပြောင်းလဲနေတတ်သောကြောင့် သင်ကြားမှုများ နှင့် တွက်ချက်မှုများ ပြုလုပ်ရာတွင် တူညီမှု ရှိစေရန် အများနားလည် လက်ခံသည့်စံ(standard)တစ်ခု သတ်မှတ်ရန် လိုအပ်သည်။

ပင်လယ်ရေမျက်နှာပြင်(sea level)အမြင့်၌ ရှိသော လေထုဖိအား 29.921 in.Hg (atmospheric pressure)နှင့် ၇၀ ဒီဂရီဖာရင်ဟိုက်ရှိသော(70°F) လေကို စံ("Standard conditions at Sea Level")အဖြစ် သတ်မှတ်ခဲ့ကြသည်။ Standard atmospheric pressure 1013.25 mbar သို့မဟုတ် 101 325 Pa အခြေအနေတွင်ရှိသော လေ၏မော်လီကျူလာ(molecular) mass သည် 28.97 ဖြစ်သည်။ လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ (Specific Properties)ကို ခြောက်သွေ့သောလေ၏ သတ်မှတ်ထားသောယူနစ်တစ်ခု(unit weight of dry air) ပေါ်တွင် အခြေခံ၍ ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။

၁.၁၂.၅ Dry Bulb အပူချိန်(Temperature)

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

၁.၁၂.၆ Wet Bulb အပူချိန်(Temperature)

Wet Bulb အပူချိန်(temperature)ကို ရေဆွတ်ထားသည့် ဝါဂွမ်း သို့မဟုတ် အဝတ်စဖြင့် ပတ်ထားသော သာမိုမီတာဖြင့် တိုင်းယူရသည်။ မိမိတိုင်းယူသည့် အပူချိန်သည် Wet Bulb အပူချိန် (temperature) ဖြစ်စေရန် သာမိုမီတာသည် ရေစိုစွတ်နေရန် လိုအပ်ပြီး၊ လေတိုက်နေရန်(moving air) လိုအပ်သည်။ ရေဖြင့် စိုစွတ်နေမှသာ Wet Bulb temperature ဖြစ်နိုင်သည်။ ရေ၏ စိုစွတ်မှုကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော cooling effect သည် Wet Bulb အပူချိန်(temperature)ကို Dry Bulb အပူချိန် (temperature) ထက်နိမ့်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ WB ဟု အတိုခေါက် ရေးသားဖော်ပြလေ့ ရှိသည်။

Wet Bulb အပူချိန်(temperature)သည် ရေများ evaporation ဖြစ်ရန်အတွက် လိုအပ်သည့် အပူများကို စုပ်ယူလိုက်သောကြောင့် အပူချိန်နိမ့်သွားခြင်း ဖြစ်သည်။ Wet Bulb အပူချိန်(temperature)သည် လေထဲ၌ရှိသော ရေငွေ့ပမာဏ(amount of moisture)ကို ဖော်ပြသည်။

Dry Bulb အပူချိန်(temperature) နှင့် Wet Bulb အပူချိန်(temperature)တို့၏ ခြားနားချက်သည် လေထု၏ စိုထိုင်းစ(humidity)ကို ဖော်ပြသည်။ ခြားနားချက်နည်းလျှင် စိုထိုင်းဆများ၍ ခြားနားချက်များလျှင် စိုထိုင်းဆနည်းသည်။

Dry Bulb အပူချိန်(temperature)သည် Wet Bulb အပူချိန်(temperature)ထက် အမြဲမြင့်(များ)လေ့ရှိသည်။ လေထုထဲ၌ ရေငွေ့မှုန်ယံကလေးများ(Water Vapor) ရာနှုန်းပြည့် (၁၀၀%) ရှိနေသည့် အခိုက်အတန့်၌သာ Dry Bulb အပူချိန်(temperature) နှင့် Wet Bulb အပူချိန်(temperature)တို့ တူညီကြသည်။ Dry Bulb အပူချိန်(temperature)သည် Wet Bulb အပူချိန်(temperature)ထက် နည်းရန်(နိမ့်ရန်) မဖြစ်နိုင်ပေ။

Dry Bulb အပူချိန်(temperature) နှင့် Wet Bulb အပူချိန်(temperature)တူလျှင် စိုထိုင်းဆသည် ရာနှုန်းပြည့်(၁၀၀%) ဖြစ်သည်။ ဆိုလိုသည်မှာ လေထုထဲ၌ ရေငွေ့မှုန်ယံကလေးများ(water vapor) များပြားစွာ ရှိနှင့်ပြီးလျှင်(စိုထိုင်းဆများလျှင်) evaporation သိပ်မဖြစ်နိုင်သောကြောင့် cooling effect နည်းကာ Dry Bulb အပူချိန်(temperature) နှင့် Wet Bulb အပူချိန်(temperature)တို့၏ ကွာခြားမှု နည်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။

၁.၁၂.၇ လေတစ်ယူနစ်၏ ထုထည်(Specific Volume)

Specific Volume ဆိုသည်မှာ ခြောက်သွေ့သည့်လေ(dry air) အလေးချိန်တစ်ယူနစ်၏ ထုထည် (Volume)ကို ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်း dry air အလေးချိန် တစ်ယူနစ်သည် လေထုထည်(volume)မည်မျှနှင့် ညီသည်ကို ဖော်ပြသည်။ Specific Volume ၏ SI ယူနစ်သည် m^3/kg ဖြစ်သည်။ Dry air အလေးချိန် တစ်ကီလိုတွင် ရှိသည့် လေထုထည်(volume)ကို ကုဗမီတာ(m^3)ဖြင့် ဖော်ပြခြင်းဖြစ်သည်။ Specific Volume ၏ IP ယူနစ်သည် ft^3/lb ဖြစ်သည်။ Dry air အလေးချိန် တစ်ပေါင်(1 lb)တွင်ရှိသည့် လေထုထည်(volume)ကို ကုဗပေ(ft^3)ဖြင့် ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။

၁.၁၂.၈ Relative Humidity

Relative Humidity ဆိုသည်မှာ လေထဲတွင် ရေခိုးရေငွေ့များ ပါဝင်နေသည့် saturation ရာခိုင်နှုန်း (percentage) ဖြစ်သည်။ ထို saturation ရာခိုင်နှုန်း(percentage)သည် Dry Bulb အပူချိန်ပေါ်တွင် မှီနေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် relative to Dry Bulb အပူချိန် ဖြစ်သည်။ ဖော်ပြသည့် အချိန်တွင် ရှိသည့်လေ၏ Dry Bulb အပူချိန် ပေါ်တွင် မူတည်၍ ရာခိုင်နှုန်းမည်မျှ saturation ဖြစ်နေသည်ကို ဖော်ပြသည်။

လေသည်လက်ရှိ Dry Bulb အပူချိန်၌ ရာခိုင်နှုန်းမည်မျှ saturation ဖြစ်ပြီးသည်ကို ဖော်ပြသည်။ 100% မှ saturation ဖြစ်ပြီးသည့် ရာခိုင်နှုန်းကို နှုတ်လျှင် ရာခိုင်နှုန်းမည်မျှ saturation ဖြစ်ရန် လိုသေးသည်ကို သိနိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လက်ရှိ Dry Bulb အပူချိန်၌ ရေငွေ့ပမာဏ ရာခိုင်နှုန်း မည်မျှကို သယ်ဆောင်ပြီး ဖြစ်သည်။ နောက်ထပ် ရာခိုင်နှုန်းမည်မျှ ထပ်မံသယ်ဆောင်နိုင်သေးသည်ကို ဖော်ပြသည်။

လေထုထဲတွင် ရေခိုးရေငွေ့အလေးချိန်(weight) မည်မျှပါဝင်နေသည်ကို abolute တန်ဖိုးဖြင့် တိုက်ရိုက် မဖော်ပြပါ။ Relative Humidity သည် လေထဲတွင် ရေခိုးရေငွေ့ မည်မျှပါဝင်နေသည်ကို ရာခိုင်နှုန်းဖြင့် ညွှန်ပြသည်။ Relative humidity သည် water vapor density (mass per unit volume) နှင့် saturation water vapor density ၏အချိုးဖြစ်ပြီး ရာခိုင်နှုန်းဖြင့် ဖော်ပြသည်။

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

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

Relative humidity သည် actual vapor pressure နှင့် the saturation vapor pressure တို့၏ အချိုး ဖြစ်သည်။

၁.၁၂.၉ Dew Point အပူချိန်(Temperature)

လေထဲ၌ရှိသော ရေငွေ့များ(water vapor)သည် ရေ(liquid water)အဖြစ်သို့ စတင် ပြောင်းသည့် အပူချိန်ကို (constant barometric pressure အောက်တွင်) Dew Point အပူချိန် ဟုသတ်မှတ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ ပြောင်းသွားသည့် ရေများကို condensed water သို့မဟုတ် Dew ဟုခေါ်သည်။ Dew Point သည် water-to-air saturation temperature ဖြစ်သည်။ Dew Point သည် relative humidity နှင့်သက်ဆိုင်သည်။

Relative Humidity မြင့်လေ Dew Point နှင့် လက်ရှိအပူချိန် (current air temperature)တို့နီးကပ်လေဖြစ်သည်။ Relative Humidity 100% ဖြစ်လျှင် Dew Point နှင့် လက်ရှိအပူချိန် (current air temperature)တို့ တူညီကြသည်။

ထိုအချိန်၌ လေသည် သယ်ဆောင်စုပ်ယူနိုင်သမျှ ရေငွေ့(water vapor)ပမာဏ အားလုံးကို သယ်ဆောင်ထားပြီး ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ လေ၏ အပူချိန်(temperature) နှင့် ဖိအား(pressure) ပိုများလာလျှင် (ပိုမြင့်လာလျှင်) Dew Point အပူချိန်(temperature) ပိုများလာ လိမ့်မည်။ မြင့်လာ လိမ့်မည်။ သို့သော် relative humidity နိမ့်ဆင်းလာ လိမ့်မည်။ အပူချိန် 80°F DB နှင့် 100% relative humidity အခြေအနေ နှင့်

အပူချိန် 100°F Dry Bulb နှင့် 100% relative humidity အခြေအနေတွင် အပူချိန်များသည့် 100°F Dry Bulb လေသည် အပူချိန်နည်းသည့် 80°F Dry Bulb လေထက် ပိုများသည့် ရေငွေ့ပမာဏကို သယ်ဆောင်ထားသည်။

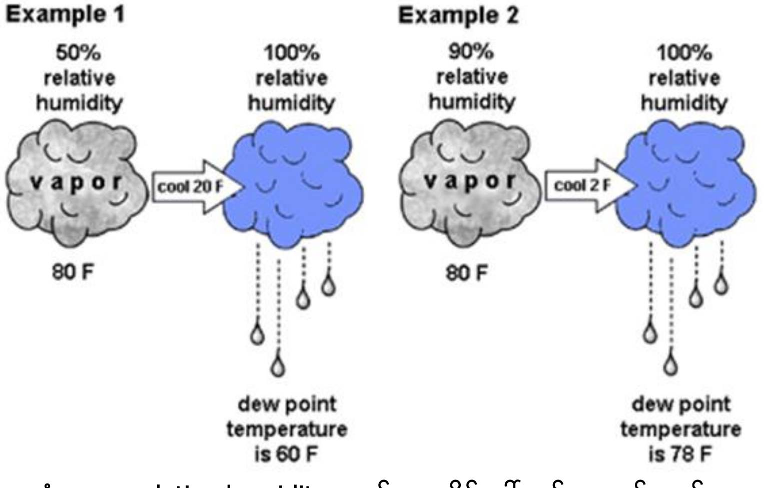
Dew Point အပူချိန်(temperature)တွင် လေသည် သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့မှုန်ကလေးများကို ဆက်လက်မသယ်ဆောင်နိုင်တော့ပဲ ရေအဖြစ်သို့ စတင်ပြောင်းလဲသွားကာ condensation ဖြစ်စဉ် ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

Condensation ဖြစ်စဉ် စတင်သည့်အပူချိန်(temperature) သည် Dew Point Temperature ပင် ဖြစ်သည်။

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

Dry Bulb အပူချိန်(temperature) နှင့် Web Bulb အပူချိန်(temperature)တို့ တူညီသည့်အခိုက်မှ အပူချိန်ကို Dew Point အပူချိန်(temperature) ဟုခေါ်ဆိုသည်။ ထိုအခိုက်၌ Dry Bulb ၊ Web Bulb နှင့် Dew Point အပူချိန်(temperature)တို့အားလုံး တူညီကြသည်။ ထိုအခိုက်၌ Relative Humidity (RH)သည် 100% ဖြစ်သည်။ လေသည် သယ်ဆောင်နိုင်သမျှ ရေငွေ့ပမာဏ အားလုံးကို သယ်ဆောင်ပြီး ဖြစ်သည်။

Dew Point အပူချိန်(temperature) ဆိုသည်မှာ ရေခိုးရေငွေ့(water vapor)များ လေထဲမှ စတင်ထွက်ခွာသွားသည့် လေ၏ အပူချိန်ကို ဆိုလိုသည်။ လေထဲမှ ရေငွေ့များသည် Dew Point အပူချိန်(temperature)ထက်နိမ့်သည့် မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် condensation ဖြစ်ပေါ်စေသည်။



ပုံ ၁-၁၉ relative humidity သည် အပူချိန်ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

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

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

၁.၁၂.၁၀ အမြင့်ကိုလိုက်၍ လေ၏သိပ်သည်းဆပြောင်းလဲခြင်း(Elevation Correction Factor)

ပင်လယ်ရေမျက်နှာပြင်(sea level)ထက် ပိုမြင့်လာလေလေ လေထုသည် ပို၍သိပ်သည်းဆ(density) နည်းလာလေ ဖြစ်သည်။

Elevation Correction Factor		
Altitude (ft)	**Altitude (Meters)**	**Correction factor**
0	0	1.00
1600	480	1.05
3300	990	1.11
5000	1500	1.17
6600	1980	1.24
8200	2460	1.31
9900	2970	1.39

ပင်လယ်ရေမျက်နှာပြင်(sea level)ထက် ပိုမြင့်သည့်နေရာ၌ မောင်းသည့် compressor သည် သိပ်သည်းဆ(density)နည်းသည့် လေကို ဖိသိပ်ခြင်း(compression) ပြုလုပ်ရသည်။ ဖိအားတူညီလျှင် ပိုများသည့် လေထုထည်ကို ဖိသိပ်ရသည်။ တူညီသည့် လေထုထည်(equivalent volume of air)ရရန်အတွက် elevation correction factor ကို အသုံးပြုရန် လိုသည်။ အမြင့် တစ်နေရာတွင် ရှိသည့် standard air ၏ equivalent volume ကို ရရန်အတွက် volume of standard air at sea level ကို elevation correction factor နှင့်မြှောက်ရန် လိုသည်။ အမြင့်ပေ(၁၆၀၀) သို့မဟုတ် မီတာ(၄၈၀)၌ရှိသော လေ၏ အလေးချိန်(mass) သည် ပင်လယ်ရေ မျက်နှာပြင်(sea level)၌ရှိသော ထုထည်တူညီသည့် လေ၏အလေးချိန်(mass)ထက် ၅%ခန့် လျော့နည်းသောကြောင့် တူညီသည့် လေထုထည်(equivalent volume of air)ရရန် Elevation Correction Factor 1.05 ဖြင့် မြှောက်ရခြင်း ဖြစ်သည်။

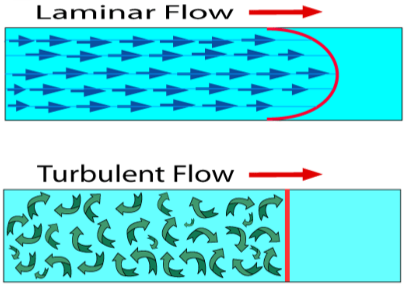
၁.၁၂.၁၁ အပူချိန်ကိုလိုက်၍ လေ၏သိပ်သည်းဆ ပြောင်းလဲခြင်း(Temperature Correction Factor)

အပူချိန်မြင့်သည့်(higher temperature) free air ၏ ထုထည်သည်ပိုမြင့်သည့်ဖိအား သက်ရောက်ခြင်း ခံရသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဖိအားတူညီလျှင် အပူချိန်မြင့်သည့်(higher temperature) free air ၏ ထုထည် ပိုများသည်။ လေ၏အပူချိန်(temperature)မြင့်လျှင် လေ၏သိပ်သည်းဆများသောကြောင့် Correction Factor သည် 1.0 ထက် ပိုများသည်။

Temperature of intake (°F)	(°C)	Correction factor	Temperature of intake (°F)	(°C)	Correction factor
—50	46	0.773	40	4	0.9430
—40	40	0.792	50	10	0.9620
—30	34	0.811	60	18	0.9810
—20	28	0.830	**70**	**22**	**1.0000**
—10	23	0.849	80	27	1.0190
0	18	0.867	90	32	1.0380
10	9	0.886	100	38	1.0570
20	5	0.905	110	43	1.0760
30	1	0.925	120	49	1.0950

၁.၁၃ စီးဆင်းမှု အမျိုးမျိုး(Type of Flows)

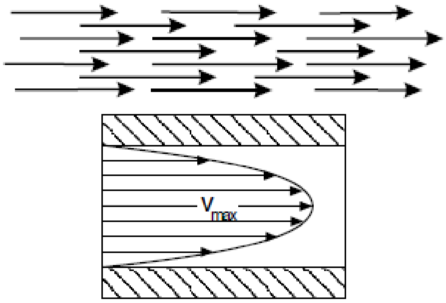
Fluid တစ်မျိုးမျိုး ပိုက်ထဲတွင်စီးနေသည့်အခါ laminar flow (low velocity) နှင့် turbulent (high velocity) flow ဟူ၍ region နှစ်မျိုး ဖြစ်ပေါ်သည်။ Low velocity ဟူ၍လည်း သတ်မှတ်၍ မရ၊ high velocity ဟူ၍လည်း သတ်မှတ်၍မရသည့် နှစ်ခုကြား၌ velocity of transition ဆိုသည့် critical zone တစ်မျိုး ဖြစ်ပေါ်သည်။



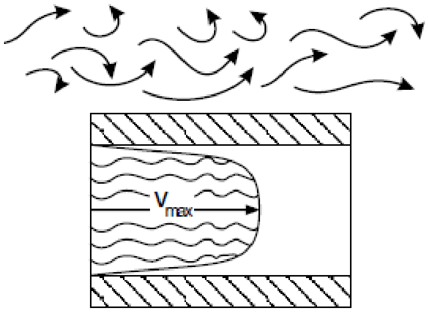
ထို critical zone (velocity of transition) ထက်နိမ့်သည့် velocity အားလုံးသည် low velocity (laminar flow) ဖြစ်ပြီး critical zone(velocity of transition) ထက်မြင့် သည့် velocity များ အားလုံးသည် high velocity (turbulent flow) များဖြစ်သည်။ Low velocity ကြောင့် laminar flow ဖြစ်ပေါ်လာခြင်း ဖြစ်သည်။ Laminar flow ကြောင့် ခုခံအား အနည်းငယ် (low resistance)ကိုသာ ဖြစ်စေသည်။

ပုံ ၁-၂၀ Laminar flow နှင့် Turbulent flow

Laminar flow ဆိုသည်မှာ fluid အတွင်းရှိ particle လေးများသည် တစ်ခုကို တစ်ခု ကျော်တက်ခြင်း၊ ရောထွေးခြင်းမရှိပဲ တစ်ညီတစ်ညာတည်း သူတို့ လမ်းကြောင်းအတိုင်း အနီးရှိ particle လေးများနှင့် အပြိုင် ရွေ့လျားသွားနေကြခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁-၂၁ Laminar flow (even flow)



ပုံ ၁-၂၂ Turbulent flow (whirl flow)

Laminar flow (even flow) ၏ ဂုဏ်သတ္တိ နှစ်မျိုး

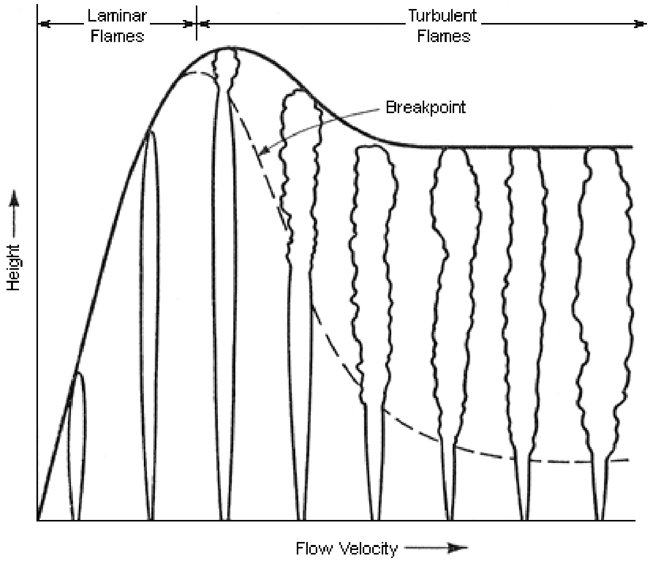
(က) ဖိအားဆုံးရှုံးမှု နည်းသည်။ (low pressure loss)

(ခ) Heat transition နည်းသည်။ Laminar flow သည် အလွှာလိုက်ပုံစံမျိုး(even-layered flow) ဖြစ်သည်။ အနီးရှိအလွှာမှ မော်လီကျူးများ(molecules) အားလုံးသည် အပြိုင်ပုံစံဖြင့် ရွေ့လျား နေသည်။

Turbulent flow (whirl flow) ၏ ဂုဏ်သတ္တိ နှစ်မျိုး

(က) ဖိအားဆုံးရှုံးမှု များသည်။(high pressure loss)

(ခ) Heat transition များသည်။
Turbulent flow ဆိုသည်မှာ fluid အတွင်းရှိ particle ကလေးများသည် ဗရမ်းဗတာ ရွေ့လျားနေခြင်း ဖြစ်သည်။ Fluid particle များ တစ်ခု နှင့် တစ်ခု ရောနှောရှုပ်ထွေးစွာ ရွေ့လျား နေကြသည်။



ထို့ကြောင့် Laminar flow သို့မဟုတ် Turbulence ဟု ခွဲခြား သတ်မှတ်ရန် အတွက် ပထမဦးစွာ critical zone(velocity of transition) ကို သတ်မှတ်ရန် လိုအပ်သည်။ Critical velocity သည် ပိုက်၏ internal diameter နှင့် fluid ၏ viscosity ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Reynolds numbers (Re) ၏ တန်ဖိုးဖြင့် flow အမျိုးအစားကို ခွဲခြားခြင်းသည် ပိုမိုရှင်းလင်းစွာ နားလည် သဘောပေါက်စေသည်။

ပုံ ၁-၂၃ Laminar flow မှ တစ်ဆင့် Turbulent flow အဖြစ် ပြောင်းလဲသွားပုံ

Reynolds number ဆိုသည်မှာ

$$Re = \frac{V.D.w}{\mu}$$

Where V = velocity ft/s (m/s)

D = internal pipe diameter, ft (m)

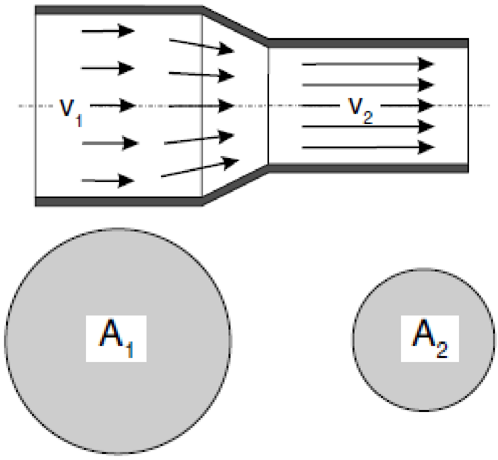
μ = dynamic viscosity lb/ft.s (Pu.S)

Reynolds number (Re) 2100 ထက်နည်းလျှင် Liminar flow အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။

Reynolds number (Re) 4000 ထက်များလျှင် Turbulent flow အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။

Reynolds number (Re) 2100 နှင့် 5000 ကြားဖြစ်လျှင် Transition flow အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။

ဧရိယာ(area) နှင့် အလျင်(velocity) ကိုမြှောက်လျှင် volume flow rate ရသည်။



$$V = A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

V = Volume flow rate

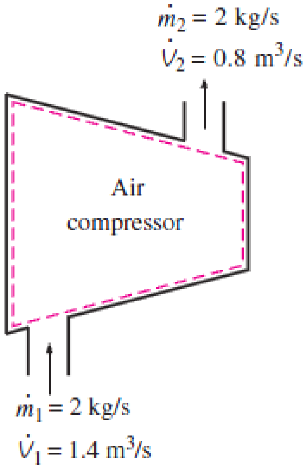
A_1, A_2 = Cross sectional Area

V_1, V_2 = Velocity

The speed of flow is inversely proportional to the cross section.

ပုံ ၁-၂၄ ဧရိယာ(area) နှင့် velocity သည် ပြောင်းပြန် အချိုးကျသည်။

၁.၁၄ Air Compressor အဝင်နှင့်အထွက်တွင် Mass Flow Rate တူညီပြီး Volume Flow Rate မတူညီခြင်း



ပုံ ၁-၂၅

Steady-flow ဖြစ်စဉ်(process)အတွင်း သို့မဟုတ် steady-flow ဖြစ်နေစဉ် mass flow rate မပြောင်းလဲပေ။ တစ်နည်းအားဖြင့် အဝင်mass flow rate နှင့် အထွက် mass flow rate တူညီရမည်။ သို့သော် volume flow rate တူညီချင်မှ တူညီပေလိမ့်မည်။ အထူးသဖြင့် air compressor များတွင် volume flow rate မတူညီကြပေ။

အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် compressor အထွက်တွင် လေ၏ သိပ်သည်းဆပိုများ(higher density of air) သောကြောင့်ဖြစ်သည်။ သို့သော် အရည်များ(liquids)အတွက် အဝင်နှင့် အထွက်တွင် volume flow rate နှင့် mass flow rate မပြောင်းလဲပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အဝင် နှင့် အထွက်တွင် သိပ်သည်းဆ(density) တူညီကြသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

အရည်များသည် incompressible ဖြစ်သောကြောင့် အဝင် နှင့် အထွက် တို့၌ သိပ်သည်းဆ(density) တူညီကြသည်။

Compressor များ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို ဖော်ပြသည့်အခါတွင် volume flow rate ဖြင့် ဖော်ပြကြသည်။ ထိုကြောင့် Volume flow rate ကို Free Air Delivery (FAD) သို့မဟုတ် SCFM ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။ FAD သို့မဟုတ် SCFM ကို ဖိအား(pressure)ဖြင့် တွဲ၍ ဖော်ပြရမည်။

၁.၁၅ ယူနစ်တစ်ခုမှ တစ်ခုသို့ပြောင်းရန်ပုံသေနည်းများ(Conversion Formulas)

Volume:				
cubic feet/minute	=	0.472	x	liter/second
gallons	=	0.134	x	cubic feet
liters/minute	=	0.2642	x	gallons/minute
cubic meters	=	35.315	x	cubic feet
Pressure:				
inches mercury	=	0.4912	x	psi
inches water	=	25.4	x	mm water
psi	=	27.68	x	inches water
bar	=	14.504	x	Psi
Density:				
pint water	=	1.042	x	pounds water
gallon water	=	8.336	x	pounds water
pounds water	=	7000	x	grains water
Power:				
horsepower	=	0.7457	x	kilowatts
horsepower	=	2544.43	x	Btu/hour

-End-