AIR MOVING DEVICES (FANS AND BLOWERS)

၆.၁ Total Pressure ၊ Static Pressure နှင့် Velocity Pressure	6-1
၆.၂ Positive Pressure Duct နှင့် Negative Pressure Duct	6-3
၆.၃ Duct အတွင်းရှိ လေ၏ Velocity Profile	6-3
၆.၄ Fan နှင့်သက်ဆိုင်သည့်ဝေါဟာရများ	6-4
၆.၅ Fan Equations - (IP ယူနစ်)	6-5
၆.၅.၁ Fan Pressure နှင့် Velocity Relationship	6-6
၆.၅.၂ Fan Efficiency	6-7
၆.၆ Fan အမျိုးအစားများ	6-8
၆.၆.၁ Fan နှင့် Blower တို့၏ ခြားနားချက်	6-8
၆.၆.၂ Fan Rating နှင့် အဆင့်အတန်း(Class)	6-9
၆.၆.၃ Overloading Fan နှင့် Non Overloading Fan	6-10
၆.၇ Axial Fan များ	6-11
၆.၇.၁ Axial Fan များ အလုပ်လုပ်ပုံ(Principle of Operation)	6-11
၆.၇.၂ Axial Fan ၏ Impeller Design များ	6-12
၆.၇.၃ Axial Fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(Performance)	6-13
၆.၈ Centrifugal fan များ	6-14
၆.၈.၁ Centrifugal Fan များ အလုပ်လုပ်ပုံ(Principle of Operation)	6-15
၆.၈.၂ Centrifugal Fan များ၏ Impeller နှင့် Blade Design များ	6-19
၆.၈.၃ Centrifugal Fan ၏ Velocity Triangle	6-24
၆.၈.၄ Centrifugal Fan Arrangement	6-24
၆.၉ Stall ဖြစ်ခြင်း ၊ Stall Region နှင့် Stall Characteristics	6-26
၆.၁၀ System အတွင်း၌ ဖြစ်ပေါ်သော လေခုခံအား (System Resistance)	6-28
၆.၁၀.၁ System Resistance Curve ပြောင်းလဲပုံ	6-29
၆.၁၀.၂ Duct System ရှိ Damper များပွင့်ခြင်း ၊ ပိတ်ခြင်းကြောင့် System Curve ပြောင်းလဲပုံ	6-29
၆.၁၀.၃ Air Filter များ ကြောင့် System Curve ပြောင်းလဲပုံ	6-30
၆.၁၁ Fan Performance Curve သို့မဟုတ် Pressure - Volume Curve	6-32
၆.၁၂ Fan Law (သို့မဟုတ်) Law Of Fan Performance	6-34
၆.၁၃ Fan Curves နှင့် System Resistance Curves	6-37
၆.၁၄ Design Operating Point နှင့် Actual Operating Point	6-40
၆.၁၅ Fan Control	6-41
၆.၁၅.၁ မြန်နှုန်း(Speed) ပြောင်း၍ Control လုပ်ခြင်း(Flow Control by Speed Regulation)	6-42
၆.၁၅.၂ System Damper ဖြင့် Control လုပ်ခြင်း(Flow Control by System Damper Regulation)	6-44
၆.၁၅.၃ Inlet Louver Damper နှင့် Inlet Guide vane ဖြင့် Control လုပ်ခြင်း	6-45
၆.၁၆ Multiple Fan Systems - Fans in Series and Parallel	6-46
၆.၁၆.၁ Two Fans in Series (Fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(series)ပုံစံဖြင့် တွဲဆက်ထားခြင်း)	6-48
၆.၁၆.၂ Two Fans in Parallel (Fan နှစ်လုံးကို ပြိုင်ဆက်(parallel)ပုံစံဖြင့် တွဲဆက်ထားခြင်း)	6-48
၆.၁၆.၃ Additional Consideration တစ်ခြားသော လိုအပ်ချက်များ	6-50
၆.၁၆.၄ Isolation damper အမျိုးအစားများ	6-51
၆.၁၆.၅ Review	6-51
၆.၁၇ လေ၏ သိပ်သည်းဆကြောင့် Fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(Performance)ပြောင်းလဲခြင်း	6-52
၆.၁၈ Noise Consideration	6-54
၆.၁၉ Fan Selection Criteria	6-55
၆.၂၀ မေးခွန်း နှင့် အဖြေများ	6-55

Chapter-6 Air Moving Devices (Fan and Blower)

ခေတ်မှီအဆောက်အဦးများတွင် နေထိုင်ကြသည့် လူများ၏ ကျန်းမာရေးသည် ထိုအဆောက်အဦးများတွင် ရှိသည့် လေဝင်လေထွက်(ventilation)ကောင်းခြင်းပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေအရည်အသွေး (quality)၊ အပူချိန် (temperature) နှင့် လေများရွေ့လျားခြင်း(air movement)တို့အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အဆောက်အဦးအတွင်း condensation ဖြစ်ပေါ်ခြင်းကြောင့် မှို(mold)များ နှင့် ဗက်တီးရီးယားများ ပေါက်ဖွားလာကာ နေထိုင်သူများ၏ ကျန်းမာရေးကို ထိခိုက်စေနိုင်သည်။ လေသန့်ရှင်းလတ်ဆတ်မှု(air freshness)သည် အနံ့ဆိုးများဖယ်ထုတ်နိုင်မှု၊ ညစ်ညမ်းသည့်လေများ ဖယ်ထုတ် နိုင်မှုနှင့် လိုအပ်သည်ထက်ပိုများနေသည့်(excessive) ရေငွေ့များ(moisture)ဖယ်ထုတ်နိုင်မှု အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

သင့်လျော်သည့် air movement ရရှိရန်အတွက် fan များကို အရွယ်အစားမှန်ကန်စွာ ရွေးချယ်ခြင်း၊ duct များကို စနစ်တကျတပ်ဆင်ခြင်း၊ control system များကောင်းစွာ ပုံမှန်အလုပ် လုပ်စေခြင်း၊ system တစ်ခုလုံး ပုံမှန်လည်ပတ်နေခြင်း စသည့် အချက်များပေါ်တွင် မူတည်သည်။

၆.၁ Total Pressure ၊ Static Pressure နှင့် Velocity Pressure

Fan တစ်လုံးသည် ဒလက်များလည်နေသည့်ကိရိယာ(rotating device) တစ်ခုဖြစ်ပြီး ဖိအားကွာခြားချက်(pressure difference)ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ ထိုဖိအားကွာခြားချက်ကြောင့် လေကို ရွေ့လျားစေသည်။ လေကို တစ်နေရာမှ အခြားတစ်နေရာသို့ ရောက်သွားအောင် ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည့် air moving device များကို "Fan" သို့မဟုတ် "Blower" ဟုခေါ်သည်။

Fan နှင့်သက်ဆိုင်သည့် ဖိအား(pressure) သုံးမျိုးရှိသည်။

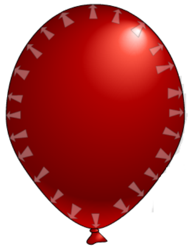
(၁) Static Pressure

(၂) Velocity Pressure နှင့်

(၃) Total Pressure တို့ ဖြစ်သည်။

$$\textbf{Total pressure} = \textbf{Static pressure} + \textbf{Velocity pressure}$$

Velocity pressure နှင့် static pressure ပေါင်းလျှင် total pressure ရသည်။ Static pressure ကို fan များ ရွေးချယ်ရာတွင် အသုံးပြုသည်။ Total pressure ကို Velocity pressure ရရန်(ရှာရန်) အတွက် အသုံးပြုသည်။ Velocity pressure ကို လေစီးနှုန်း(air flow rate) နှင့် duct အတွင်းရှိ Velocity တို့ကို ခန့်မှန်းရန် အတွက် အသုံးပြုသည်။ ထို ဖိအား(pressure)များသည် $TP = VP + SP$ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဆက်သွယ်နေကြသည်။ ဖိအား(pressure)၏ IP ယူနစ်သည် inches of Water Gauge(in WG) သို့မဟုတ် inch of Water Colum (in WG) ဖြစ်သည်။ ဖိအား(pressure) ၏ SI ယူနစ် သည် Pascal(Pa) ဖြစ်သည်။



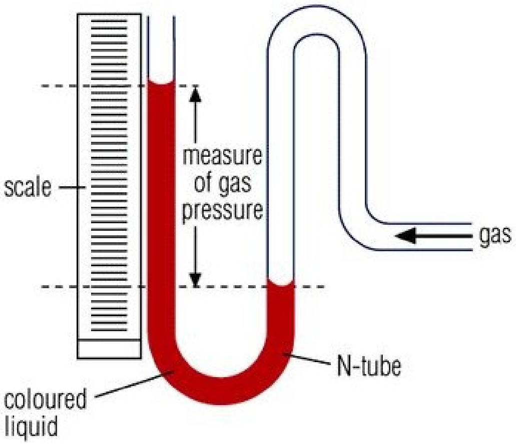
Static Pressure

Static ဆိုသည်မှာ "ရွေ့လျားနေခြင်းမရှိ" သောလေကို ဆိုလိုသည်။ Static pressure ကို နားလည်ရန် ဘောလုံးအတွင်း၌ရှိသော လေ၏ ဖိအားဖြင့် ဥပမာပေးနိုင်သည်။ လေများ ရွေ့လျားသွားရန်အတွက် ခုခံထားသောအား(resistance to flow)ဖြစ်သည်။ နေရာ အားလုံးအတွက် သက်ရောက်နေသော static pressure ၏ ဖိအားပမာဏ တူညီကြသည်။ (equal in all direction)။ Static pressure သည် Positive pressure လည်းဖြစ်နိုင်သည်။ Negative pressure လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။

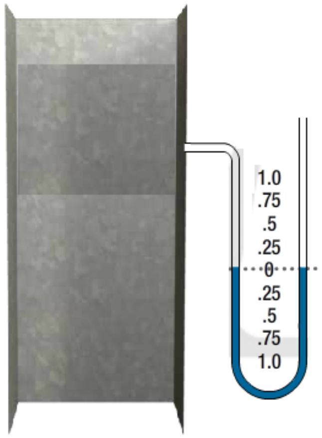
Manometer ကို အသုံးပြု၍ static pressure ကို တိုင်းယူနိုင်သည်။ ပုံ(၃-၆) တွင်ပြထားသည့်အတိုင်း U tube တွင် ရေဖြည့်ပြီး အဝ တစ်ဖက်ကို air steam နှင့် ထောင့်မှန်ကျအောင်ထားပါ။ ကျန်တစ်ဘက်ကို အနီးရှိ လေထုဖိအား (atmospheric pressure)နှင့် ထိအောင်ဖွင့်ထားပါ။ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ဒေါင်လိုက်အမြင့်(vertical

difference)သည် static pressure ပင်ဖြစ်သည်။ ဒေါင်လိုက်အမြင့်(vertical difference)ကို inches of Water Gauge(in WG) ဖြင့် တိုင်းယူခြင်း ဖြစ်သည်။

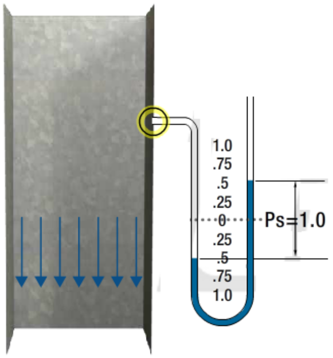
ပုံ ၃-၆(ခ) တွင်ပြထားသည့်အတိုင်း total pressure ကိုတိုင်းယူရန်အတွက် အဝ တစ်ဖက်ကို လေလာရာ ဘက်သို့မျက်နှာမူ(facing into the air flow)ထားပါ။ Duct အတွင်းရှိ ဖိအား နှင့် ရွေ့လျားနေသည့်လေ(moving air)တို့ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော total pressure သည် static pressure ထက်များ လေ့ရှိသည်။



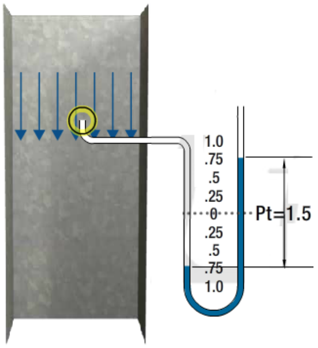
ပုံ ၆-၁ Manometer



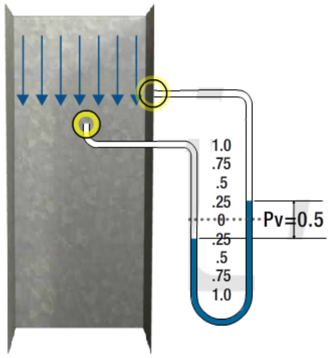
ပုံ ၆-၂ No Air flow



ပုံ ၆-၃ (က) Static Pressure



ပုံ ၆-၃ (ခ) Total pressure



ပုံ ၆-၃ (ဂ) Velocity Pressure

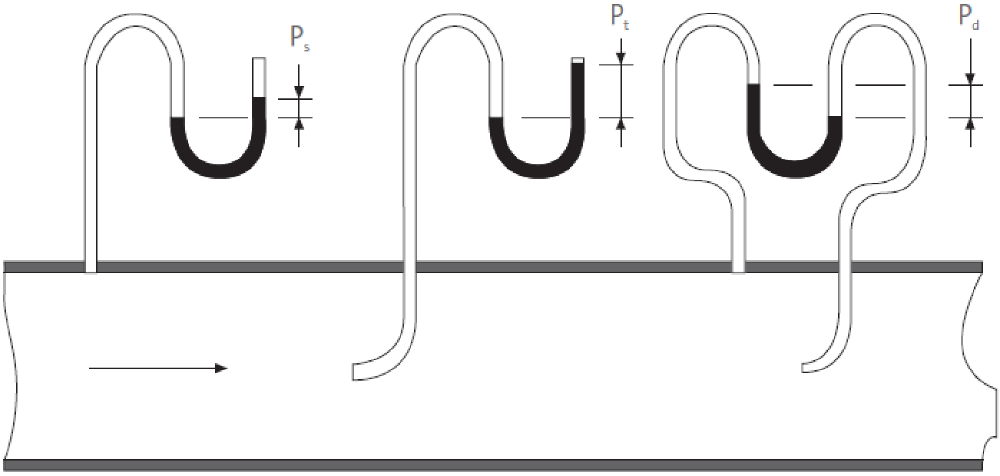
Pitot tube ကိုအသုံးပြု၍ velocity pressure ကိုတိုင်းယူနိုင်သည်။ ပုံ ၆-၃(ဂ) Pitot tube တွင် ထိပ်ဝနှစ်ဘက် ရှိသည့်အနက် အဝတစ်ဖက်ကို total pressure တိုင်းသည့်အတိုင်း လေစီးရာလမ်းကြောင်း(air flow direction) ကို မျက်နှာမူပြီးထားပါ ကျန်အဝတစ်ဖက်ကို static pressure တိုင်းယူသည့်အတိုင်း လေစီးကြောင်း(air steam) နှင့် ထောင့်မှန်ကျအောင် ထားပါ။ ဒေါင်လိုက်အမြင့်(vertical difference)သည် total pressure တန်ဖိုး ထဲမှ static pressure တန်ဖိုးကို နုတ်ထားသည့် velocity pressure ၏ တန်ဖိုးဖြစ်သည်။ Velocity pressure သည် duct အတွင်း လေအလျင်(velocity)ပမာဏနှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။ အောက်ပါ ပုံသေနည်းကို အသုံးပြု၍ velocity(FPM) မှ velocity pressure(in WG)ကိုတွက်ယူနိုင်သည်။ ကိန်းသေတန်ဖိုး (contant value) 4005 သည် standard air density အတွက်သာဖြစ်သည်။

$$\textit{Velocity Pressure}(\textit{inches of water gauge}) = \left(\frac{V(\textit{feet per minute})}{4005}\right)^2$$

Velocity (fpm) ကို 4005 ဖြင့်စား၍ နှစ်ထပ်ကိန်းတင်လျှင် "Velocity Pressure" (in of wg) ကိုရသည်။ Standard air အခြေအနေ အတွက်သာ မှန်သည်။

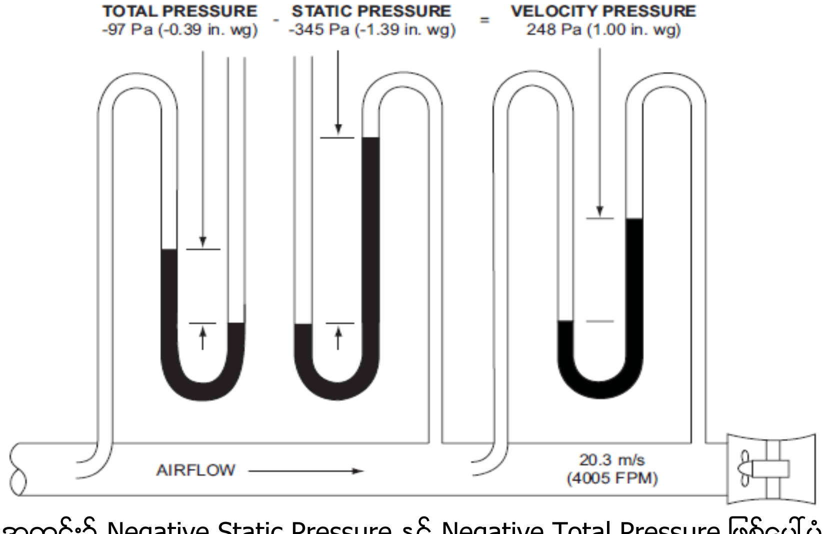
Velocity pressure ကိုတိုင်းပြီး duct အတွင်းရှိ လေအလျင်(velocity)ကို အထက်ပါ ပုံသေနည်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။ Duct အတွင်း ၌ လေအလျင်(velocity)သည် နေရာကို လိုက်၍ ကွဲပြားကြသည်။

၆.၂ Positive Pressure Duct နှင့် Negative Pressure Duct



ပုံ ၆-၄ Static Pressure Total Pressure Velocity Pressure

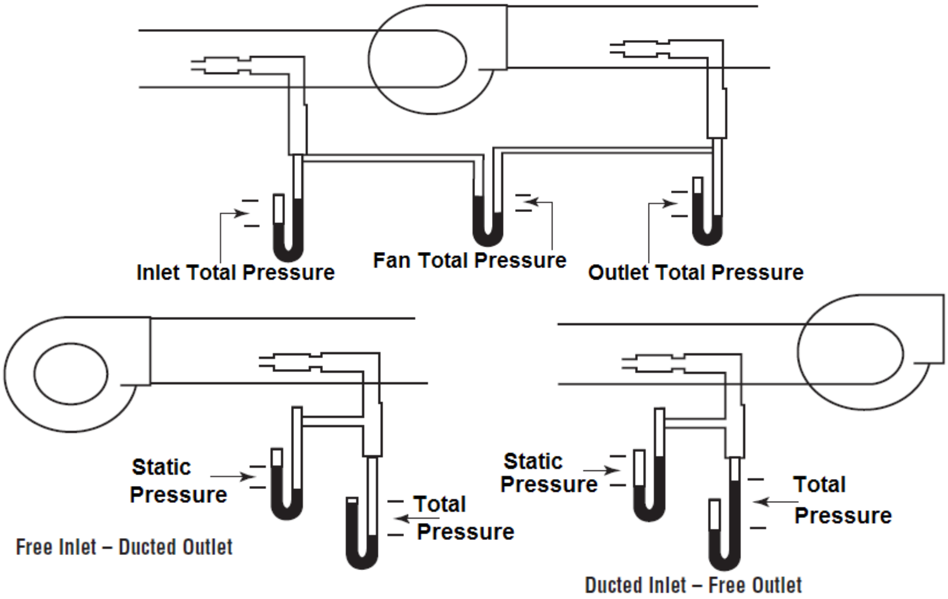
အထက်ပါပုံတွင်ဖော်ပြထားသော duct အတွင်း၌ "Positive Pressure" ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် "Static Pressure" သည် "Positive Pressure" ဖြစ်သည်။ Static Pressure ၊ Total Pressure နှင့် Dynamic Pressure တို့ကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၆-၅ Duct အတွင်း၌ Negative Static Pressure နှင့် Negative Total Pressure ဖြစ်ပေါ်ပုံ

အထက်ပုံတွင် duct အတွင်း၌ "Negative Pressure" ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် static pressure သည် negative pressure ဖြစ်သည်။ Static Pressure ၊Total Pressure နှင့် Dynamic Pressure တို့ကို ဖော်ပြထားသည်။ Negative pressure duct ဖြစ်သည်။

Negative pressure duct ဖြစ်စေ၊ Positive pressure duct ဖြစ်စေ၊ velocity pressure သည် မည်သည့် အခါမှ အနုတ်တန်ဖိုး(negative valve)မဖြစ်နိုင်ပေ။ အမြဲ အပေါင်းတန်ဖိုးသာ ဖြစ်လိမ့်မည်။

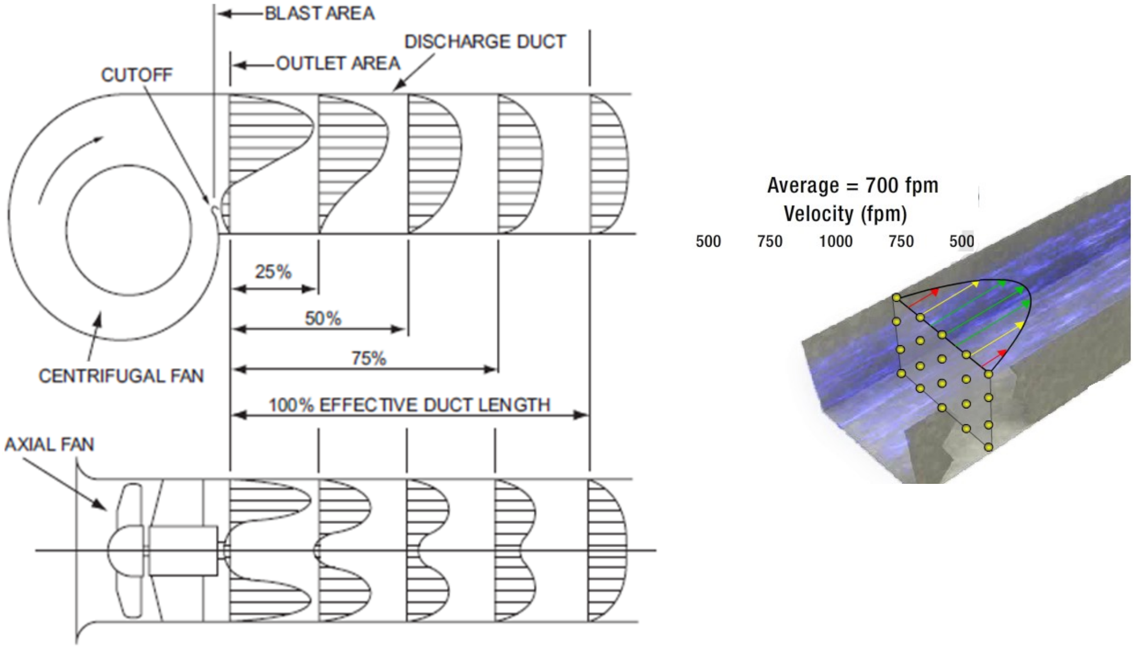


ပုံ ၆-၇

၆.၃ Duct အတွင်းရှိ လေ၏ Velocity Profile

မြစ်အတွင်းတွင် ရေများစီးဆင်းနေသည့် ဉပမာဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။ မြစ်အလယ်တွင် ရေစီးပိုသန်၍ (velocity ပိုများ၍) မြစ်ကမ်းဘေး၌ ရေစီးအားနည်း(velocity နည်း)သည်။ ထို့ကြောင့် duct အတွင်းရှိ velocity ကိုတိုင်းယူသည့်အခါတွင် နေရာများများတိုင်း၍ ပျမ်းမျ(average) တန်ဘိုးကို တွက်ယူရန် လိုအပ်သည်။

အောက်ပုံသည် axial fan နှင့် centrifugal fan တို့၏ velocity profile ဖြစ်ပေါ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ 100 % effective duct length သည် duct အရွယ်အစား(diameter)နှင့် လေအလျင်(air velocity) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။



ပုံ ၆-၆ Velocity profile in duct

(၁) Fan outlet velocity သည် 2,500 fpm ထက်နည်းလျှင်

$$100\ percent\ effective\ duct\ length\ =\ 2.5\ x\ Duct\ diameter$$

(၂) Fan outlet velocity သည် 2,500 fpm ထက်များလျှင် 100 % effective duct length သည်

$$100\ percent\ effective\ duct\ length\ =\frac{fpm}{1000}\ x\ Duct\ diameter$$

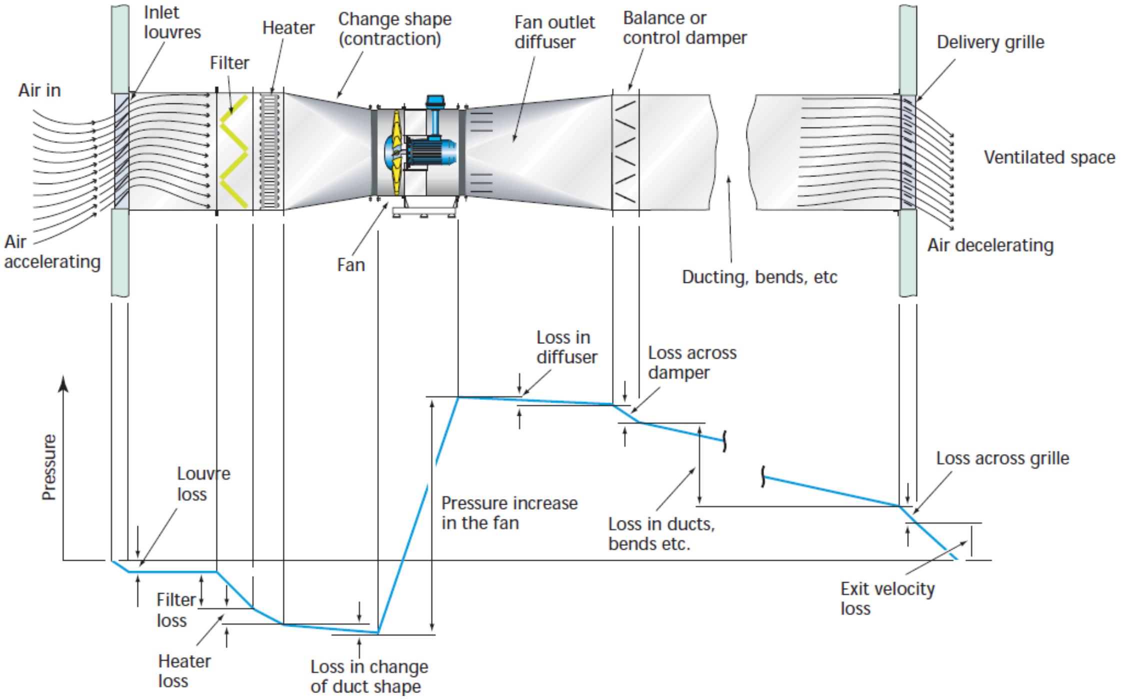
Duct သည် လေးထောင့်ပုံကျွန်(rectangular) ဖြစ်လျှင် "Duct Hydraulic Diameter" (D) ကို တွက်ရန် ပုံသေနည်းမှာ

$$D=\frac{2wh}{w+h}$$

h သည် duct height ဖြစ်သည်။ w သည် duct width ဖြစ်သည်။

Centrifugal fan နှင့် axial fan တို့ ၏ velocity profile သည် 100% effective duct lengths နေရာသို့ရောက်မှသာ ပုံမှန် velocity profile ပုံသဏ္ဍာန်သို့ရောက်သည်။

ထို့ကြောင့် fan ၏ outlet 100% effective duct length မရောက်ခင်အတွင်း velocity တိုင်းယူပါက ရရှိသည့် တန်ဖိုးသည် စိတ်မချရပေ။ မမှန်ကန်နိုင်ပေ။



ပုံ ၆-၈ အထက်ပါပုံတွင် axial fan တစ်လုံးတပ်ဆင်ပုံ နှင့် duct system မှ ဖိအား(pressure)များ အဆင့်ဆင့် ပြောင်းလဲပုံ ကို ဖော်ပြထားသည်။(static and dynamic losses through a notional system)

၆.၄ Fan နှင့်သက်ဆိုင်သည့်ဝေါဟာရများ

National Association of Fan Manufacturers (NAFM)မှ သတ်မှတ်ထားသော fan နှင့်သက်ဆိုင်သည့် အသုံးအနှုန်းများမှာ

Volume Fan ၏ outlet မှ ထွက်လာမည့်လေထုထည် Cubic Feet per Minute(CFM) သို့မဟုတ် Cubic Meter per Hour(CMH)ဖြစ်သည်။

Total Pressure Fan ၏ inlet pressure နှင့် fan outlet pressure တို့ ခြားနားချက်။

Velocity Pressure Fan outlet ၌ လေများထွက်နေချိန်တွင် average velocity ဖြစ်ပေါ်စေသော pressure ဖြစ်သည်။ ထွက်နေသည့်လေ၏ average velocity နှင့်ညီမျှသော ဖိအား(pressure) တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။

Static Pressure Fan ၏ total pressure မှ velocity pressure ကို နှုတ်၍ရသော ဖိအား(pressure) ဖြစ်သည်။

Power output Fan မှ လေသို့ ပေးနိုင်သည့် စွမ်းအင်ဖြစ်သည်။ လေထုထည်(air volume)နှင့် fan total pressure တို့ကို horsepower(HP) သို့မဟုတ် kilowatt(kW) ဖြင့် ဖော်ပြထားသည့် စွမ်းအင် ဖြစ်သည်။

Power input Fan ၏ shaft ကို မောင်းရန်အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအင်ဖြစ်ပြီး horsepower(HP) သို့မဟုတ် kilowatt(kW) ဖြင့်ဖော်ပြသည်။

Mechanical efficiency Fan ၏ power output ကို power input ဖြင့်စားထားသော အချိုးဖြစ်သည်။

Static efficiency Fan ၏ mechanical efficiency ဖြစ်ပြီး static pressure နှင့် total pressureတို့၏ အချိုးဖြင့် မြှောက်ထားခြင်းဖြစ်သည်။

Fan-outlet area Fan outlet ၏ ဧရိယာဖြစ်သည်။

Fan-inlet area Inlet collar ၏ ဧရိယာဖြစ်သည်။

၆.၅ Fan Equations - (IP ယူနစ်)

Standard air density တန်ဖိုးသည် 0.075 lb/ft^3(I-P ယူနစ်)၊ 1.201 kg/m^3(metric ယူနစ်)၊ 1.201 kg/m^3 (SI ယူနစ်)ဖြစ်သည်။

$$\boldsymbol{Total\ Pressure(TP) = Static\ Pressure(SP) + Velocity\ Pressure(VP)}$$

TP = Total Pressure(standard conditions) ATP = Actual Total Pressure

SP = Static Pressure(standard conditions) ASP = Actual Static Pressure

VP = Velocity Pressure(standard conditions) AVP = Actual Velocity Pressure

ဖိအား(pressure) များ၏ ယူနစ် သည် inch of Water Gauge(WG) ဖြစ်သည်။

Fan များသည် standard air condition မဟုတ်သည် အခြေအနေများတွင် မောင်းသည့်(operate)အခါ

$\boldsymbol{ATP = ASP + AVP}$ ညီမျှခြင်းဖြင့်တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\boldsymbol{Actual\ Total\ Pressure(ATP) = Actual\ Static\ Pressure(ASP) + Actual\ Velocity\ Pressure(AVP)}$$

$$\boldsymbol{Total\ Pressure\ (TP) = Actual\ Total\ Pressure\ (ATP)\ x\ \frac{1}{Density\ Ratio}}$$

$$\boldsymbol{Density\ Ratio = \frac{Acutal\ Density}{Standard\ Condition\ Density}}$$

$$Static\ Pressure(SP) = Actual\ Static\ Pressure\ (ASP) x\ \frac{1}{Density\ Ratio}$$

ACFM = Actual ft^3/min

BHP = Break Horse Power

$$Breakhorsepower(BHP) = \frac{Actual\ Total\ Pressure\ (ATP) * \text{ Actual CFM}}{\text{6346 x TOTAL Efficiency}}$$

$$Efficiency\ \ TOTAL\ = \frac{Actual\ Total\ Pressure\ (ATP) * \text{ Actual CFM}}{\text{6346 x BHP}}$$

$$Efficiency\ \ STATIC\ = \frac{Actual\ Static\ Pressure\ (ASP) * \text{ Actual CFM}}{\text{6346 x BHP}}$$

6346 သည် ကိန်းသေ(constant)တန်ဖိုး တစ်ခုဖြစ်သည်။

Pressure နှင့် horsepower တို့သည် တူညီသည့်(standard density ဖြစ်စေ သို့မဟုတ် actual density ဖြစ်စေ) density condition မှ ရယူရန်ဖြစ်သည်။

$$Velocity\ \left(\frac{ft}{min}\right) = \frac{\text{Actual CFM}(\text{ft}^3/\text{min})}{\text{Net Free Area}(\text{ft}^2)}$$

NFA သည် "Net Free Area of the fan" ကို ဆိုလိုသည်။

$$Velocity\ Pressure\ for\ Standard\ Air = \left(\frac{V}{4005}\right)^2$$

အထက်ပါ velocity pressure ပုံသေနည်းသည် standard air အတွက်ဖြစ်သည်။ Velocity(fpm)ကို 4005 ဖြင့်စား၍ နှစ်ထပ်ကိန်းတင်လျှင် velocity pressure ကိုရသည်။ ယူနစ်သည် inch of water colum သို့မဟုတ် inch wg ဖြစ်သည်။ Fan သည် standard air တွင် မဟုတ်သည့်အခြေအနေတွင် မောင်းလျှင် အောက်ပါ ပုံသေနည်းကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

$$Acturl\ Velocity\ Pressure\ = \left(\frac{V}{4005}\right)^2 x \left(\frac{Air\ \text{density at the fan}}{Standard\ \text{air density}(0.075\ \text{lb/ft3})}\right)$$

၆.၅.၁ Fan Pressure နှင့် Velocity Relationship

Bernoulli's equation ကိုအသုံးပြု၍ air stream ၏ ဖိအား(pressure) နှင့် လေအလျင်(velocity) ဆက်စပ်မှု (relationship) ကို ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$P1 = Inlet\ pressure \qquad P2 = Outlet\ pressure$$
$$V1 = Inlet\ Velocity \qquad V2 = Outlet\ Velocity$$

$$\frac{P1 - P2}{\rho_{air}} = \frac{(V_2)^2 - (V_1)^2}{2g}$$

initial velocity သည် 0 ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့်

$$\frac{P1 - P2}{\rho_{air}} = \frac{(V_2)^2}{2g}$$

$$\Delta P = \rho_{air}\ x \left(\frac{(V_2)^2}{2g}\right)$$

pressure သည်

$$\rho_{air} = 0.075 \frac{lb}{ft^3} (Denisty\ of\ Air\ at\ Sea\ Level - IP\ unit)$$

$$g = 32.17\ \frac{ft}{Sec^2}(Gravitational\ Constant - IP\ unit)$$

$$\boldsymbol{\Delta P = 0.075\frac{lb}{ft^3}\ x\left(\frac{(V_2)^2}{2\ x\ 32.17\ \frac{ft}{Sec^2}}\right)}$$

40°F အပူချိန်၌ ရှိသော ရေ ၏သိပ်သည်းဆ(density)သည် 62.4 lb/ft³ ဖြစ်သည်။ water column 1 ft သည် 62.4 lb/ft² နှင့်ညီမျှသည်။

62.4 lb/ft³ = 62.4 lb/ft² per foot height of water. ပေ မှ လက်မသို့ပြောင်းရန် (၁၂)ဖြင့်စားလျှင်

$$\boldsymbol{62.4\frac{lb}{ft^3}\ per\ foot\ height\ ft\ wg\ \ x\left(\frac{1\ ft.wg}{12\ in.wg}\right) = 5.2\frac{lb}{ft^2}\ per\ in.wg}$$

Water column တစ်လက်မ ဖိအားသည် $5.2\frac{lb}{ft^2}$ pressure နှင့်ညီသည်။

Velocity pressure သို့မဟုတ် pressure drop ကို ရရန် ပုံသေနည်းတွင် အစားထိုးလျှင်

$$\Delta P = \frac{\frac{0.075\ lb/ft^3}{\left(\frac{5.2\ lb/ft^2}{in.\ wg}\right)}\cdot V^2}{2(32.17\ ft/sec^2)\left(\frac{3600\ sec^2}{min^2}\right)} = \left(\frac{V}{4005}\right)^2$$

Velocity pressure သည် moving air ၏ dynamic velocity pressure component ဖြစ်သည်။

အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။ (sea level, standard air condition 0.075 lb/ft³) fan သည် standard air အခြေအနေတွင်မောင်းလျှင် အောက်ပါ ပုံသေနည်းကို အသုံးပြု နိုင်သည်။

$$\boldsymbol{\Delta P_v = \left(\frac{V}{4005}\right)^2}$$

၆.၅.၂ Fan Efficiency

Fan ၏ static efficiency သို့မဟုတ် mechanical efficiency ကို တွက်ရသည့်ရည်ရွယ်ချက်သည် ထို fan ကို အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည် သို့မဟုတ် မသင့်လျော်သည်ကို ဆုံးဖြတ်ရန် နှင့် အလွန်ညံ့ဖျင်းသည့် စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ရှိသည့် fan များကို မရွေးချယ်မိစေရန်အတွက် ဖြစ်သည်။ လိုအပ်သည့် လေစီးနှုန်း(air flow) နှင့် ဖိအား(pressure) ကို ရရန်အတွက် စွမ်းအင်(energy)သုံးစွဲမှု နည်းနိုင်သမျှနည်းအောင် ပြုလုပ်ရန် ဖြစ်သည်။

Fan mechanical efficiency မှာ

$$\boldsymbol{Efficiency = \frac{CFM\ x\ Pressure}{Power} = \frac{\left(\frac{ft^3}{min}\right)\cdot\left(\frac{lb}{ft^2}\right)}{\left(\frac{ft.lb}{min}\right)} = Dimensionless}$$

1 inch WG သည်ဖိအား 5.2 lb/ft² နှင့်ညီမျှသည်။ Motor power ကို horsepower(HP) ဖြင့်သာ ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ ft .lb/ min ဖြင့်ဖော်ပြလေ့မရှိပေ။ (1 hp = 33,000 ft .lb/min) ညီမျှခြင်းကို inch WG နှင့် HP တို့ဖြင့်ဖော်ပြရန်အတွက် inch WG နှင့် HP တို့ ၏ သက်ဆိုင်သည့် ပမာဏများကို အထက်ပါညီမျှခြင်းတွင် အသီးသီး အစားသွင်းလျှင်

$$\boldsymbol{Efficiency = \frac{\left(\frac{ft^3}{min}\right)\cdot\left(\frac{5.2\ lb/ft^2}{in.Wg}\right)}{33,000\frac{\left(\frac{ft.lb}{min}\right)}{HP}} = Dimensionless}$$

Fan Static Efficiency မှာ

$$\textit{Static Efficiency} = \frac{CFM\ (feet\ per\ minute)\ x\ Static\ Pressure(in\ wg)}{6346\ x\ Hp}$$

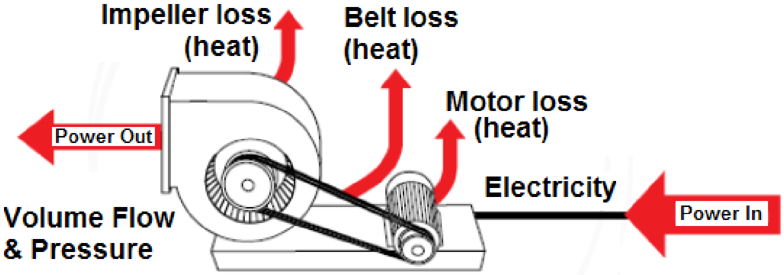
Static efficiency သည် static pressure ကိုသည်ထည့်တွက်ခြင်းဖြစ်သည်။

ပန်ကာကြိုး(belt)ဖြင့်မောင်းသော fan ၏ ဆုံးရှုံးမှု(loss)များကို ဖော်ပြထားသောပုံဖြစ်သည်။ ပန်ကာကြိုး(belt) ဖြင့် မောင်းသော fan တွင်ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် ဆုံးရှုံးမှု(loss) သုံးမျိုးမှာ

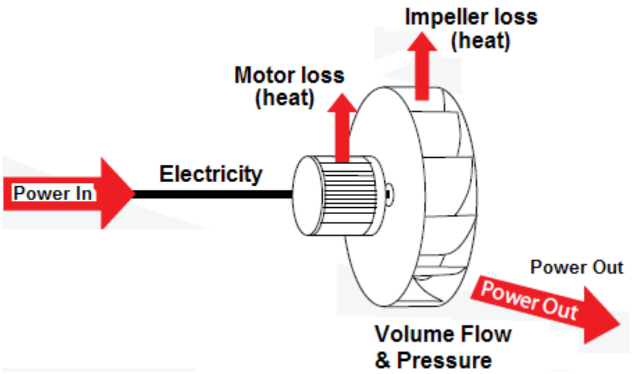
(၁) Imperller loss (heat)

(၂) Belt loss (heat)

(၃) Motor loss (heat) တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၆-၇ ပန်ကာကြိုးဖြင့်မောင်းသော fan တစ်လုံးပုံ (belt driven fan)



ပုံ ၆-၈ Direct driven fan

Direct driven fan ၌ဖြစ်ပေါ်သော ဆုံးရှုံးမှု (loss)များကို ဖော်ပြ ထားသောပုံ ဖြစ်သည်။ Direct driven fan တွင်ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် ဆုံးရှုံးမှု (loss) နှစ်မျိုးမှာ

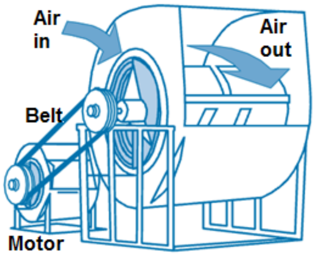
(၁) Imperller loss (heat) နှင့်

(၂) Motor loss (heat)တို့ ဖြစ်သည်။

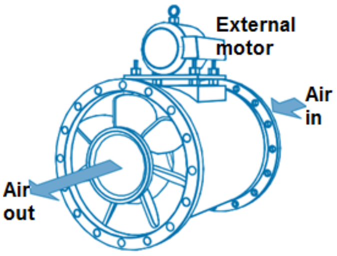
အထက်ပါပုံများတွင် ပြထားသည့်အတိုင်း direct drive ကို အသုံးပြု၍ slippage သို့မဟုတ် belt loss(heat) တို့ကို ဖယ်ရှားနိုင်သည်။

၆.၆ Fan အမျိုးအစားများ

"Centrifugal Fan" နှင့် "Axial Fan" တို့ကို ACMV လုပ်ငန်းများတွင် အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။



ပုံ ၆-၉ Centrifugal Fan



ပုံ ၆-၁၀ Axial Fan

၆.၆.၁ Fan နှင့် Blower တို့၏ ခြားနားချက်

Fan နှင့် blower တို့၏ ခြားနားချက်သည် "Pressure Ratio" ဖြစ်သည်။ ယေဘူယျအားဖြင့် blower သည် fan ထက်ပို၍ "Pressure Ratio" ပိုများသည်။ American Society of Mechanical Engineers (ASME)မှ သတ်မှတ် ပေးထားသည့် specific ratio ၏ အဓိပ္ပာယ်သည် အထွက်ဖိအား(discharge pressure) ကို အဝင်ဖိအား(suction pressure) နှင့် စားထားသည့်အချိုး ဖြစ်သည်။ ထို specific ratio ကို fan နှင့် blower ခွဲခြားရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။

Equipment	Pressure Ratio	Pressure rise (mm Hg)
Fans	Upto 1.1	1136 mm
Blowers	1.1 to 1.2	1136-2066 mm
Compressors	more than 1.20	

အထွက်ဖိအား(discharge pressure)သည် အဝင်ဖိအား(suction pressure)ညီလျှင် သို့မဟုတ် ငယ်လျှင် "Fan" ဟုသတ်မှတ်နိုင်ပြီး အထွက်ဖိအား(discharge pressure)သည် အဝင်ဖိအား(suction pressure) များလျှင် "Blower" ဟုခေါ်ဆိုနိုင်သည်။ Suction pressure သည် "Positive Pressure" လည်းဖြစ်နိုင်သည်။ "Negative Pressure" လည်းဖြစ်နိုင်သည်။

၆.၆.၂ Fan Rating နှင့် အဆင့်အတန်း(Class)

Centrifugal fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ဇယား နှင့် curve များသည် standard air flow rate (SCFM)ကို အခြေခံ၍ ပြုစုထားကြသည်။

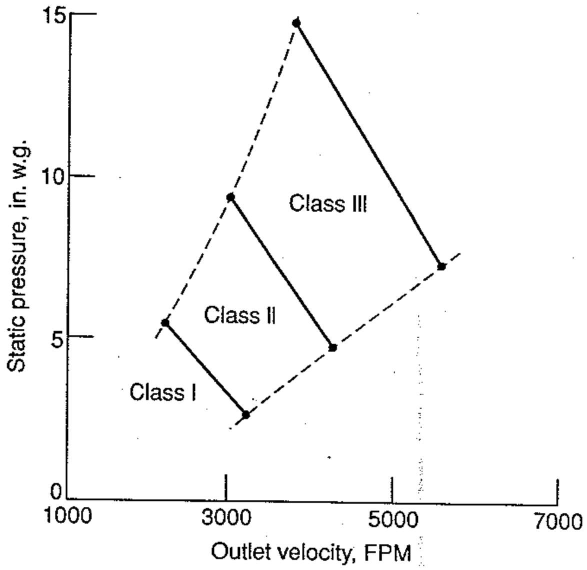
Fan ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturer)၏ သတ်မှတ်ချက်အရ ပင်လယ်ရေမျက်နှာပြင်အမြင့် (sea level)၌ ရှိသော လေထုဖိအား(barometric pressure) 29.92 inches of mercury(101.325 kPa) နှင့် အပူချိန်(temperature) 70°F(21°C)တွင်ရှိသော လေကို "Standard Air" အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ ထို standard air condition ၌ရှိသော သန့်ရှင်း၍ ခြောက်သွေ့သည့် လေ၏သိပ်သည်းဆ(density)သည် 0.075 lb/ft^3 (1.2 kg/m^3)ဖြစ်သည်။

Fan ထုတ်လုပ်သူများ(fan manufacturer)ပေးသည့် centrifugal fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည် (performance)သည် standard air အခြေအနေ(condition) အတွက်သာ ဖြစ်သည်။ Fan ကို မောင်းသည့်နေရာသည် standard အခြေအနေမှ အလွန်ကွာခြားနေလျှင် အမှန်တကယ်ရှိမည့် စွမ်းဆောင်ရည် (performance)ကို air density correction factor သုံးပြီး၍ တွက်ယူရသည်။

ဥပမာ အပူချိန် 200°F(93°C)လေသည် 70°F(21°C)တွင် ရှိသောလေ၏ အလေးချိန်(weight)၏ ၈၀%သာ ရှိသည်။ ထိုအခြေ အနေတွင် centrifugal fan သည် ဖိအား(pressure)နိမ့်နိမ့်ကိုသာ ပေးနိုင်ပြီး စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု(power consumption) လည်းနည်းလိမ့်မည်။ လေအပူချိန် 200°F(93°C)တွင် အမှန်တကယ် လိုအပ်သော ဖိအား (pressure)ကို ရရန် air density correction factor 1.25(1.0/0.8)ကို အသုံးပြုရမည်။ လေအပူချိန် 200°F(93°C)တွင် သုံးစွဲမည့် စွမ်းအင်(power)ကို ရရန် 70°F(21 °C) အခြေအနေရှိ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု (power consumption)ကို air density correction factor 1.25 (1.0/0.8) ဖြင့် စားရမည်။

Fan အဆင့်အတန်းများ (Fan Classes)

အောက်ပါ ဇယားသည် Air Movement and Control Association International (AMCA) standard မှ centrifugal fan များအတွက် ဖိအား(pressure)ကို အခြေခံ၍ သတ်မှတ်သော fan အဆင့်အတန်း (fan class) များ ဖြစ်သည်။ Centrifugal fan များ တည်ဆောက်ထားပုံ အဆင့် အတန်း(class of construction)ကို အောက်တွင် ဇယားဖြင့်ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၆-၁၁ Class of fan construction

Fan ၏ total pressure သည် 3 3/4 လက်မ(water colum)ထက်နည်းလျှင် "Class I" ဟု သတ်မှတ်သည်။

Fan ၏ total pressure သည် 3 3/4 လက်မ(water colum)မှ 6 3/4 လက်မ(water colum)အတွင်း ဖြစ်လျှင် "Class II" ဟု သတ်မှတ်သည်။

Class of Construction for Centrifugal Fan

Class	Maximum Total Pressure
I	3 ¾ in. wg - standard
II	6 ¾ in. wg - standard
III	12 ¾ in. wg - standard
IV	More than - 12 ¾ in. wg - recommended

Total pressure များလာလေလေ fan တည်ဆောက်ထားပုံ အဆင့်အတန်း(fan class of construction) မြင့်လာလေလေ ဖြစ်ပြီး ပို၍ ဈေးများလိမ့်မည်။

၆.၆.၃ Overloading Fan နှင့် Non Overloading Fan

Fan များကို "Overloading Type" နှင့် "Non Overloading Type" ဟူ၍ အမျိုးအစား နှစ်မျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။ Backward curved blade centrifugal fan အမျိုးအစားသည် "Non Overloading" အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ Forward curved နှင့် radial blade centrifugal fan များသည် "Overloading" အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ Axial flow fan များသည် "Non Overloading" သို့မဟုတ် "Overloading" အမျိုးအစား အဖြစ် နှစ်မျိုးလုံး ရှိနိုင်သည်။

Non-overloading	Overloading
Backward curved blade centrifugal fan	Forward curved
	Radial blade centrifugal fans
Axial flow fans	Axial flow fans

Air Moving Device များနှင့် ပက်သက်လျှင်ကိုးကားရမည့် standard သည် "*The AMCA standard Test Code for Air Moving Device*"ဖြစ်သည်။

Power characteristic တွင် "Non Overloading" နှင့် "Overloading" ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ "Non Overloading" ဆိုသည်မှာ absorbed power သည် အမြင့်ဆုံးတန်ဖိုး(maximum value)သို့ ရောက်ပြီးသည့်နောက် လေစီးနှုန်း(air flow)များလာလေလေ စွမ်းအင်(power)နည်းသွားလေလေဖြစ်သည်။ Overloading characteristic တွင် လေစီးနှုန်း(volume flow rate) များလာသည်နှင့်အမျှ စွမ်းအား(power) လည်း လိုက်များလာသည်။ Power characteristic သည် impeller အမျိုးအစား(type)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

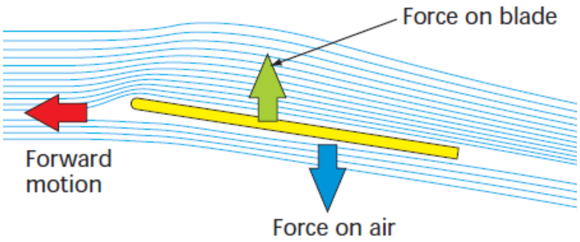
၆.၇ Axial Fan များ

၆.၇.၁ Axial Fan များ အလုပ်လုပ်ပုံ(Principle of Operation)

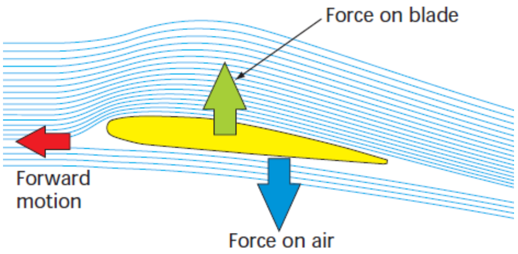
လေထဲတွင် အပြားတစ်ပြားကို ခပ်ဆောင်းဆောင်းထား၍ တွန်းလိုက်သည့်အခါတွင် လေပေါ်တွင် အားသက်ရောက်ခြင်း(force on air) ဖြစ်ပေါ်သည်။။ ထိုအတူ အပြားပေါ်တွင်လည်း လေမှတန်ပြန်သက်ရောက်သည့်အား(reaction force)ဖြစ်ပေါ်သည်။ ပန်ကာဒလက်များ(blades) အပေါ်တွင် သက်ရောက်သည့် upward lift force သည် downwards air flow ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ Axial fan မှ လည်နေသည့် ပန်ကာဒလက်များ(rotating blades)သည် aerodynamic lift ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ Blade lift force ဖြင့် လေစီးကြောင်း(air steam)ကို ယိုင်သွား(deflect)အောင် ပြုလုပ်နိုင်သောကြောင့် ဖိအားမြင့်ပြီး velocity များသည့် လေများဖြစ်ပေါ်လာသည်။

Axial Fan - များ၌လေထွက်ရာ(discharge)လမ်းကြောင်း နှင့် လေဝင်ရာလမ်းကြောင်းတို့သည်

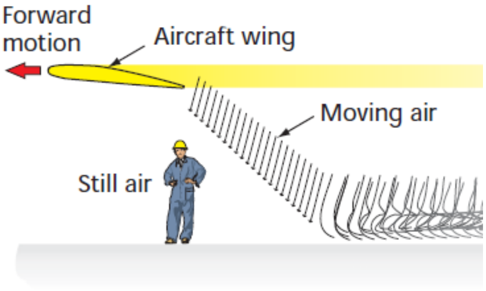
လည်နေသည့် ဝင်ရိုးနှင့် အပြိုင်(parallel) ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေစီးနှုန်း(air flow)သည် impeller ကို ဝင်ရိုးအတိုင်း (axial direction) ဖြတ်သွားသောကြောင့် "Axial Fan" ဟုသတ်မှတ်သည်။



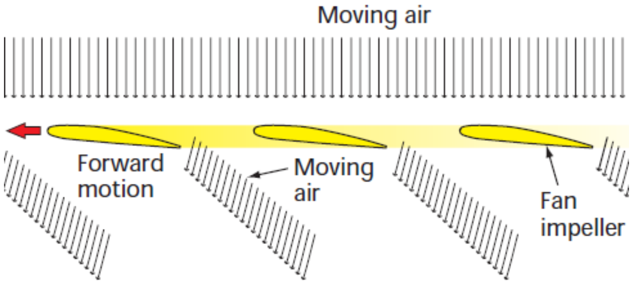
ပုံ ၆-၁၂ Forces on a flat plate in a moving airstream



ပုံ ၆-၁၃ Forces on an aerofoil in a moving airstream



ပုံ ၆-၁၄ Downwash from aircraft wing



ပုံ ၆-၁၅ Air movement for basic axial fan

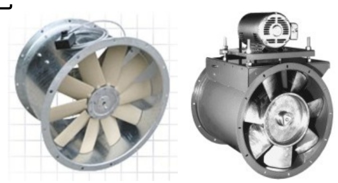
Axial fan များကို လေထုထည်များများ(high volume) နှင့် ဖိအားနိမ့်နိမ့်(low pressure)ရရန် လိုသည့်အခါများတွင် အများဆုံး အသုံးပြုသည်။

Hub ပေါ်တွင် ပန်ကာဒလက်(blade)များကို တပ်ဆင်ထားသည်။ Hub နှင့် blade များ တွဲလျက်ကို "Impeller"ဟုခေါ်သည်။ Axial fan အမျိုးအစားများကို wheel၏ ပန်ကာဒလက်(blade)ပုံသဏ္ဍာန်အပေါ်

အခြေခံ၍ propeller (disc)၊ tubo axial နှင့် vane axial ဟူ၍ ခွဲခြားသတ်မှတ်ကြသည်။ လေများများရရန် လိုအပ်သည့် လုပ်ငန်းများ(large air volume applications) အတွက် axial flow fan များကို အသုံးပြုကြသည်။ သို့သော် မောင်းသည့်အခါ ဆူညံသံမြင့်မား(higher noise level) လေ့ရှိသည်။

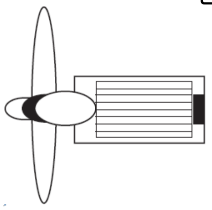
ပုံ ၆-၁၇ Propeller fans

ပုံ ၆-၁၇ Tube axial fan

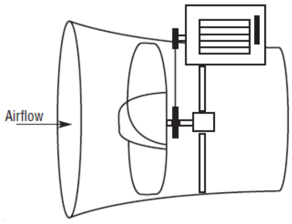


ပုံ ၆-၁၈ Vane axial fan

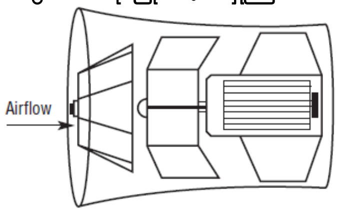
ထို့ကြောင့် comfort application များထက် industrial air conditioning and ventilation များအတွက် axial fan များကို ပို၍ အသုံးပြုကြသည်။ Axial fan များ မောင်းသည့်အခါ ဆူညံသံမြင့်မား(higher noise level) သောကြောင့် comfort air conditioning application များတွင် အသုံးပြုလေ့ မရှိကြပေ။



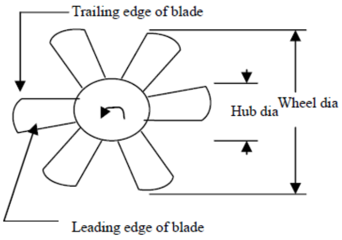
ပုံ ၆-၁၉ Propeller fan



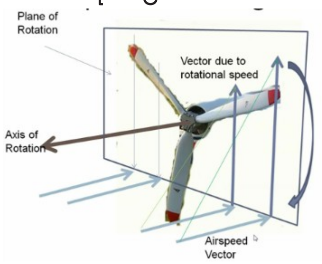
ပုံ ၆-၂၀ Propeller fan



ပုံ ၆-၂၁ Vane axial fan



ပုံ ၆-၂၂ Hub and Blade

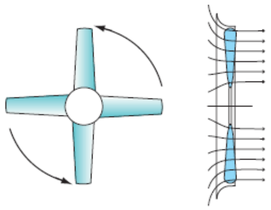


ပုံ ၆-၂၃ “Plane of Rotation”

Axial fan ၏ ဝင်ရိုးသည် “Axial of Rotation” ဖြစ်သည်။ ပန်ကာဒလက်များသွားရာ လမ်းကြောင်းကို “Plane of Rotation” ဟုခေါ်သည်။ ပန်ကာဒလက်၏ထောင့်(blade angle)ကို “Pitch Angle”ဟုလည်းခေါ်သည်။

၆.၇.၂ Axial Fan Impeller Design

(က) Propeller Fan

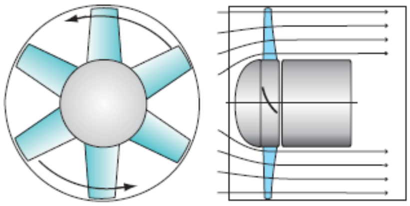


Propeller fan ကို ဖိအားနိမ့်သည့်လုပ်ငန်းများ(low pressure applications) တွင် အသုံးပြုကြသည်။ Efficiency နိမ့်သည်။ Propeller impeller များကို အကုန်အကျနည်းစွာဖြင့် ပြုလုပ် တည်ဆောက်နိုင်သည်။ Small hub တွင် ပန်ကာဒလက်များ(blades) တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။

မော်တာမှ စက်မှုစွမ်းအား (mechanical power)သည် လေ(fluid) ထဲသို့ velocity pressure အဖြစ် စွမ်းအင် ကူးပြောင်းသွားခြင်း(energy transfer) ဖြစ်သည်။ ဖိအားနိမ့်နိမ့်(low pressure)နှင့် လေထုထည် များများ(high air volume air)ရရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ Duct များနှင့်တွဲ၍ တပ်ဆင်ထားလေ့မရှိ။ နံရံများကို ဖောက်၍ တပ်ဆင် ထားလေ့ရှိသည်။

(ခ) Tube Axial

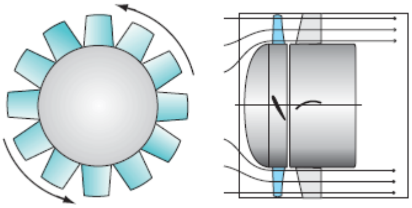
Tube axial fan သည် propeller impeller ဒီဇိုင်းများ ထက်စာလျှင်ပို၍ efficiency ကောင်းသည်။ အသုံးများသည့် static pressure range ကိုလည်းထုတ် ပေး နိုင် စွမ်းရှိသည်။ Hub တွင် ပန်ကာဒလက်(blade) (၄)ခု မှ (၈)ခု အထိတပ်ဆင်ထားလေ့ ရှိသည်။



Hub ၏ အရွယ်သည် ပန်ကာဒလက်များ(blade) ၏ အချင်း တစ်ဝက်ကျော်အထိ ရှိနိုင်သည်။ ပန်ကာဒလက်များ(blade)သည် airfoil ပုံစံမျိုးလည်းရှိနိုင်သည်။ ပန်ကာဒလက်များ (blade) အထူသည် တစ်ညီတည်း လည်းဖြစ်နိုင်သည်။(single thickness cross section)။ HVAC နှင့် ACMV လုပ်ငန်းများတွင် tube axial fan ကို အများဆုံး အသုံးပြုသည်။

လေစီးနှုန်း နည်းခြင်း၊ များခြင်း အလွန်တိကျရန် မလိုသည့် low pressure နှင့် medium pressure လုပ်ငန်းများအတွက် အသုံးပြုသည်။ အခြောက်ခံရုံများ(drying ovens)၊ ဆေးမှုတ်ရုံများ(paint spray booths)နှင့် fume များစုပ်ထုတ်သည့် system များ စသော စက်မှုလုပ်ငန်းများတွင် အသုံးပြုကြသည်။

(ဂ) Vane Axial



Vane Axial များသည် ဖိအားအသင့်အတင့်(medium pressure) နှင့် ဖိအားမြင့်မြင့်(high pressure) ကို အကောင်းဆုံး efficiency ဖြင့်ထုတ်ပေးနိုင်စွမ်းရှိသည်။ Airfoil ပုံစံ ပန်ကာဒလက်များ (blade) သုံးထားသည့် vane axial ၏ efficiency သည် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ ဖိအား(pressure)အနိမ့်အမြင့် အားလုံးအတွက် အသုံးပြု နိုင်သည်။ Downstream ၌ air distribution ကောင်းသည်။

HAVC နှင့် ACMV လုပ်ငန်းများတွင် vane axial fan ကိုအများဆုံး အသုံးပြုသည်။ တခြားသော fan အမျိုးအစားများထက်စာလျှင် အလွန်သေးငယ်သည်။ လေထွက်နှုန်း(capacity) တူသော centrifugal fan နှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် အရွယ်အစား အလွန်သေးငယ်သည်။

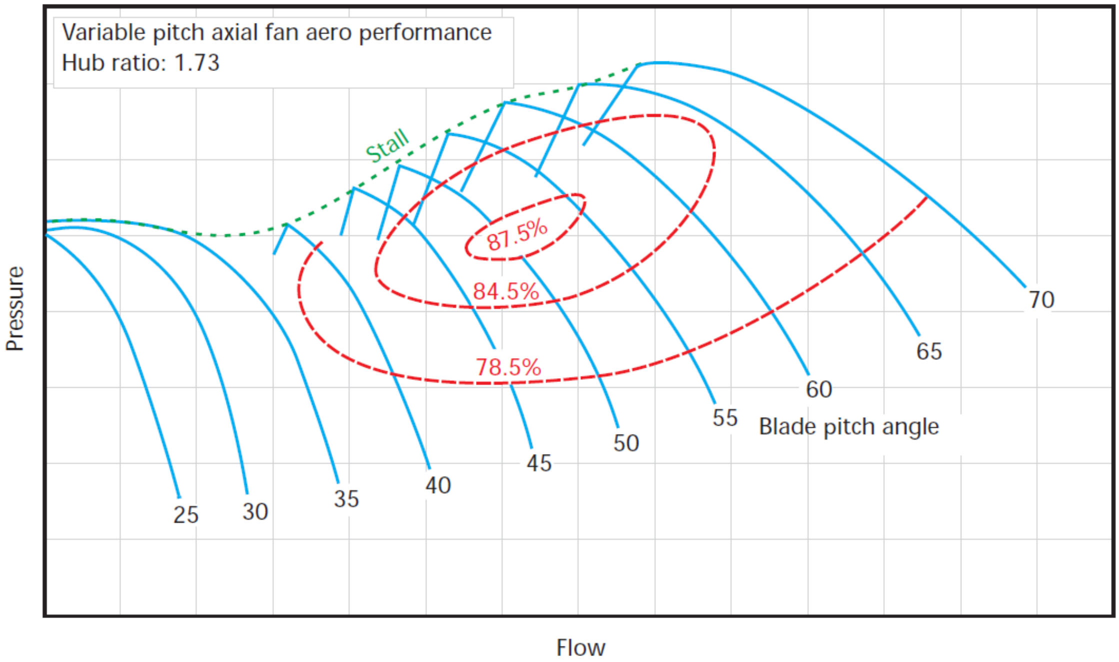
၆.၇.၃ Axial Fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(Performance)

Axial fan များသည် လေထုထည်(volume)များများ နှင့် ဖိအား အသင့်အတင့်(medium pressure) လိုအပ်သည့် system များအတွက် သင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။ Efficiency ကောင်းကောင်းလည်းရနိုင်သည်။

ပုံ(၆-၂၂) သည် variable pitch ဖြင့် မောင်းသည့် axial fan ၏ performance characteristic ဖြစ်သည်။ Variable pitch များတပ်ဆင်ထားသော axial fan တစ်လုံးကို ဖော်ပြထားသည်။

Bland pitch angle များလေလေ လေစီးနှုန်း(air flow) များလေလေ ဖြစ်သည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု (power consumption) များလိမ့်မည်။

Axial fan များ၌ aerodynamic stall ဖြစ်နိုင်သည်။ Stall ဆိုသည်မှာ အမြင့်ဆုံး peak pressure အထိတက်ပြီး ရုတ်တရက်ချက်ချင်း ဖိအား(pressure)ကျဆင်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။ ပန်ကာဒလက်များကို စောင်းထားသည့် ထောင့်(blade angle) အားလုံးနီးပါးတွင် ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Stall operation သည် အချိန်ကြာမြင့်စွာ ဖြစ်ပေါ် နေလျှင် ပန်ကာဒလက်များ(blades) တုန်ခါလာပြီး ပျက်စီးခြင်း(fatigue failure)ဖြစ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် axial fan များကိုရွေးချယ်သည့်အခါ stall condition အနီးအနားတွင် မောင်းခြင်း (operation)ကို သတိကြီးစွာဖြင့် ရှောင်ရှားလေ့ရှိသည်။

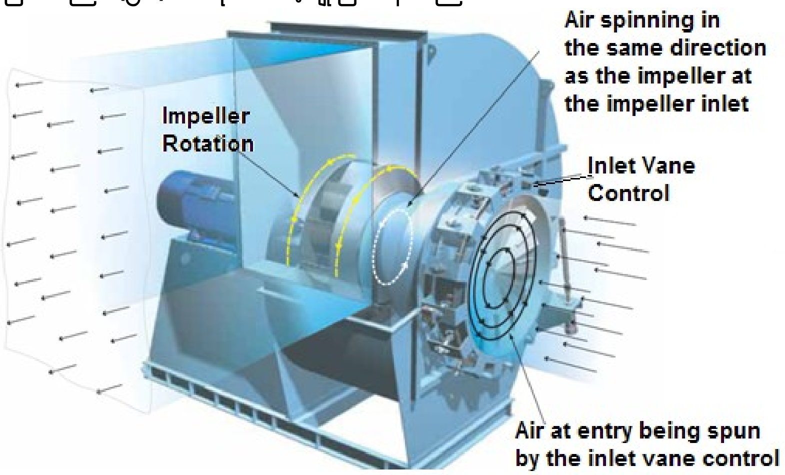


ပုံ ၆-၂၄ Efficiency contour ဖြင့် peak efficiency ရနိုင်သည့် operating conditioning ကိုဖော်ပြထားသည်။

၆.၈ Centrifugal fan များ

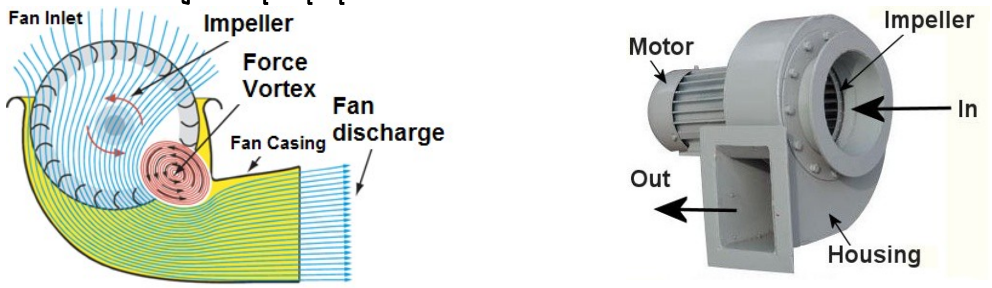
Axial fan များသည် aerodynamic lift ဖြင့် လေများကို ဖိအား(pressure)များအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Centrifugal fan များသည် လေများကို ဆွဲမွှေပြီး centrifugal force ဖြစ်စေကာ ဖိအား(pressure) များအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် centrifugal fan များသည် axial fan များထက်ပို၍ ဖိအား(pressure) များအောင် ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည်။

Centrifugal impeller များသည် လေများကို အရှိန်ရအောင် ပြုလုပ်ပေးကာ(accelerating the air) စက်မှုစွမ်းအင်(mechanical energy)များကို လေစီးကြောင်း(air steam)ထဲသို့ ထည့်ပေးသည်။ Air flow သည် impeller ကို radial direction အတိုင်း ဖြတ်သွားလျှင် centrifugal fan သို့မဟုတ် blower ဟု သတ်မှတ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေထွက်ရာ(discharge)လမ်းကြောင်းသည် လည်နေသည့် ဝင်ရိုး(shaft) နှင့် ထောင့်မှန် (perpendicular) ဖြစ်သည်။ (၉၀) ဒီဂရီ ထောင့်ချိုးဖြစ်နေသည်။



ပုံ ၆-၂၆ Centrifugal Fan အတွင်းသို့ လေများဝင်ရောက်လာပုံ

၆.၈.၁ Centrifugal Fan များ အလုပ်လုပ်ပုံ(Principle of Operation)



ပုံ ၆-၂၅ Centrifugal fan impeller အလုပ်လုပ်ပုံ

Centrifugal fan ၏ impeller အတွင်းသို့ လေများသည် ဝင်ရိုး(shaft)အတိုင်း ဝင်လာပြီး impeller ကိုဖြတ်ကာ radial direction (၉၀)ဒီဂရီထောင်ချိုး၍ အတိုင်းထွက်သွားသည်။ ထိုလေများသည် impeller ကိုဖြတ်ပြီးနောက် volute casing အတွင်းတွင် စုဝေးနေပြီးနောက်(ဝင်လာသည့် လေ လမ်းကြောင်းမှ) (၉၀)ဒီဂရီ ထောင့်ချိုးကာ ထွက်သွားသည်။

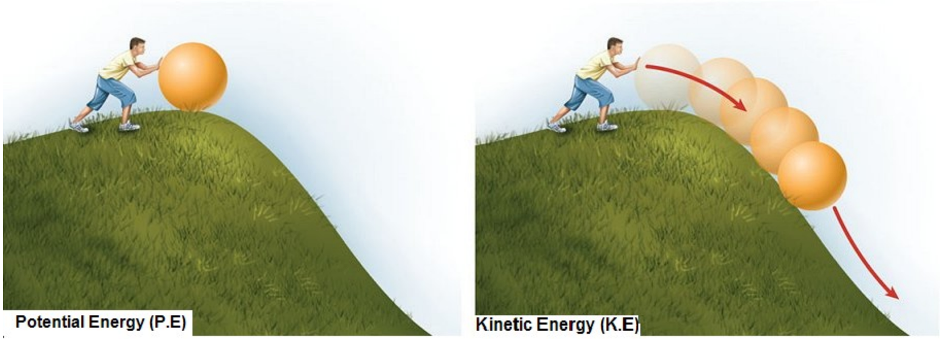
Impeller များ လည်နေသော ကြောင့် ပန်ကာဒလက်(blade)တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အကြား၌ရှိနေသော လေများ အပေါ်၌ centrifugal force သက်ရောက်ခြင်းခံရကာ လေများအပြင်သို့ ထွက်သွားရန် တွန်းထုတ်ခြင်း ခံရသည်။ ထိုအခါ ပန်ကာဒလက်(blade)အကြားမှ လေများသည် အရှိန်ပြင်းပြင်းဖြင့် impeller အပြင်သို့ ထွက်သွားသည်။ Impeller လည်နေသမျှ ကာလပတ်လုံး ထိုကဲ့သို့ လေများ အမြဲမပြတ် စီးဆင်း(continuous flow)နေလိမ့်မည်။ Centrifugal fan ၏ impeller ထဲတွင် လေဖိအား(pressure)မြင့်လာပုံကို အဆင့် (၃)ဆင့်ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

အဆင့်(၁)- လေများသည် centrifugal effect ကြောင့် radial direction အတိုင်းတွန်းထုတ်ခြင်းခံရသည်။

> Impeller ၏ အရွယ်အစား(diameter)ကြီးလေလေ လေအပေါ်တွင် သက်ရောက်သည့် centrifugal force များလေလေ ဖြစ်သည်။ Central force များလေလေ pressure gradient ပိုများလာ လေလေဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ပန်ကာဒလက်များအကြားနေရာ(blade passage)အတွင်း၌ radius များလာသည်နှင့်အမျှ static pressure လည်း လိုက်များလာသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် impeller အရွယ်အစား(diameter)ကြီးလေလေ static pressure များ လာလေလေဖြစ်သည်။

အဆင့်(၂) ပုံမှန်အားဖြင့် ပန်ကာဒလက်(blade) တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အကြား(blade passage)ရှိ ထွက်ပေါက်ဧရိယာ (outlet area)သည် ဝင်ပေါက်ဧရိယာ(inlet area)ထက်ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် ပန်ကာဒလက်များ အကြားနေရာ (blade passage) သည် diffuser ကဲ့သို့ပြုမူ ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ ထို့ကြောင့် လေစီးနှုန်း(air flow) ၏ relative velocity သည် အထွက်(outlet)ဘက်သို့ ရောက်သွားသည့်အခါ ဧရိယာ(outlet area) ကျယ်လာသောကြောင့် လေအလျင်(velocity)နှေးသွားသည်။ လေအလျင်(velocity)နှေးသွားသောကြောင့် static pressure ပိုများ လာရသည်။

အဆင့်(၃) လည်နေသည့် impeller များပေါ်၌ရှိသော ပန်ကာဒလက်(blade)သည် ရွေ့လျားနေကာ rotational momentum ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ Tangential directional အတိုင်းသွားနေသည့် velocity ပိုများလာသည်။ လေများသည် impeller ကိုဖြတ်ကာ radial direction အတိုင်း ရွေ့လျားနေသောကြောင့် flow ၏ absolute ပမာဏ ပိုများလာသည်။ Impeller အထွက်(outlet)၌ အမြင့်ဆုံး(maximum)absolute velocity ဖြစ်ပေါ်သည်။ လေ၏ absolute velocity များလာခြင်းကြောင့် Kinetic Energy(KE) ပိုများလာသည်။ Impeller အဝင်နှင့် အထွက်အကြား(across the impeller)ရှိ dynamic pressure လည်း ပိုများလာသည်။



ပုံ ၆-၂၇ Potential Energy(P.E) and Kinetic Energy(K.E)

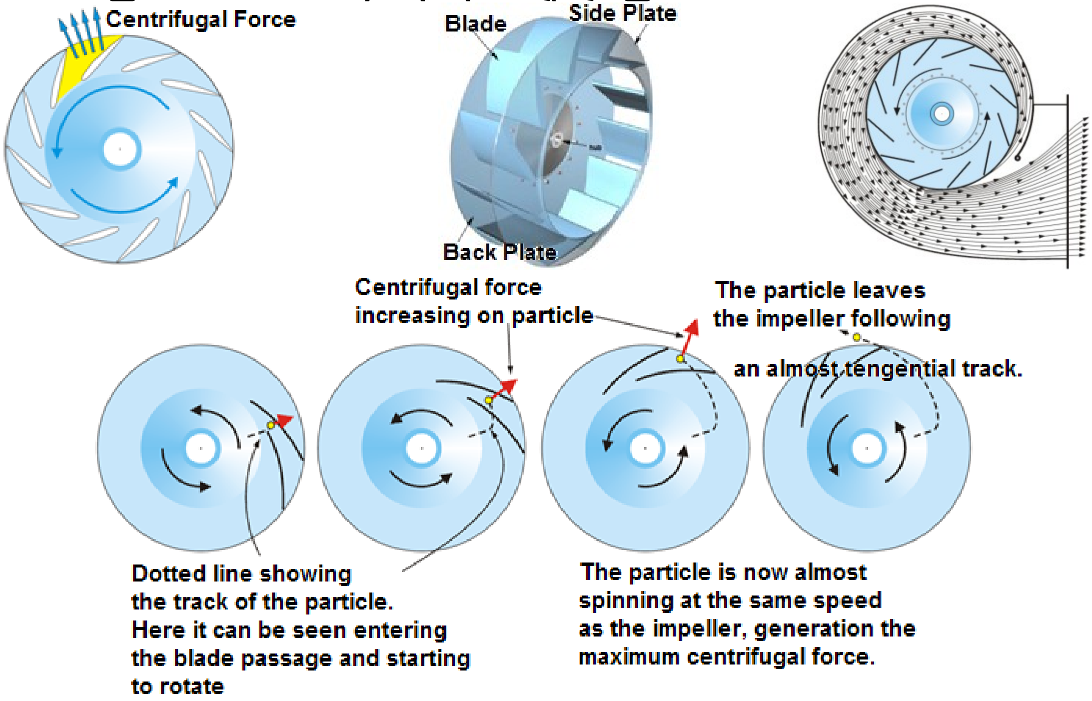
Casing သို့မဟုတ် Housing

Casing တပ်ဆင်ထားရည့် ရည်ရွယ်ချက်သည် impeller မှထွက်လာသည့် လေများကို စုဆောင်းရန် သာမက လေများကို အသုံးဝင်မည့်(useful)direction ဘက်သို့ ရောက်အောင် လမ်းကြောင်း ပြောင်းပေးရန် ဖြစ်သည်။ ထို့အပြင် impeller မှထွက်လာသည့် လေများ၏ dynamic pressure အများစုကို အသုံးဝင်မည့်(useful) static pressure အဖြစ်သို့လည်း လမ်းကြောင်းပြောင်းပေးသည်။

$$P_{dynammic} = \frac{1}{2}\rho\, v^2 \qquad \rho = \text{= density}$$

$$P_{dynammic} = Dynamic\ Pressure \qquad v \text{ = velocity}$$

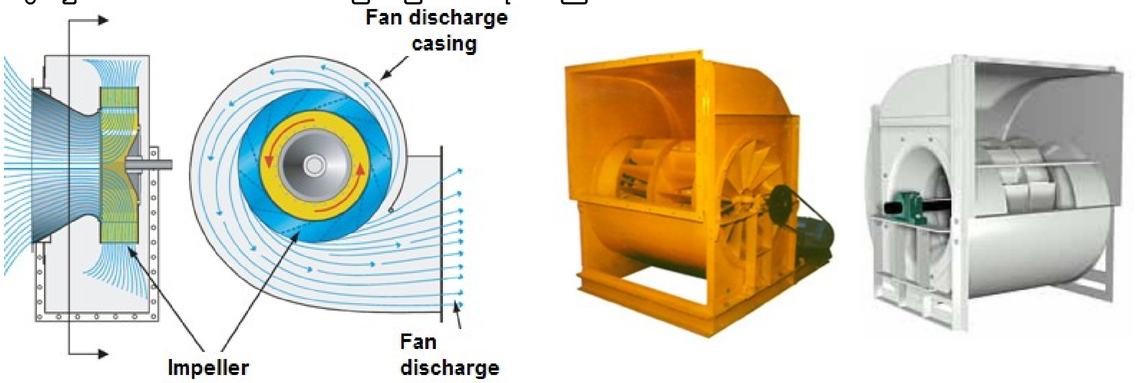
Centrifugal fan များ၏ casing သည် volute ပုံသဏ္ဍာန်ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် impeller မှထွက်လာသည့် လေများကို diffusion ဖြစ်စေသည်။ Volute ၏ cross sectional area သည် တဖြည်းဖြည်း များ လာသောကြောင့် လေများလည်း တစ်ဖြေးဖြေးနှေးလာသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် velocity နည်းလာသည်။ Velocity သည် dynamic pressure နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျသည်။



ပုံ ၆-၂၈ Blower wheel နှင့် လေသွားလမ်းကြောင်း

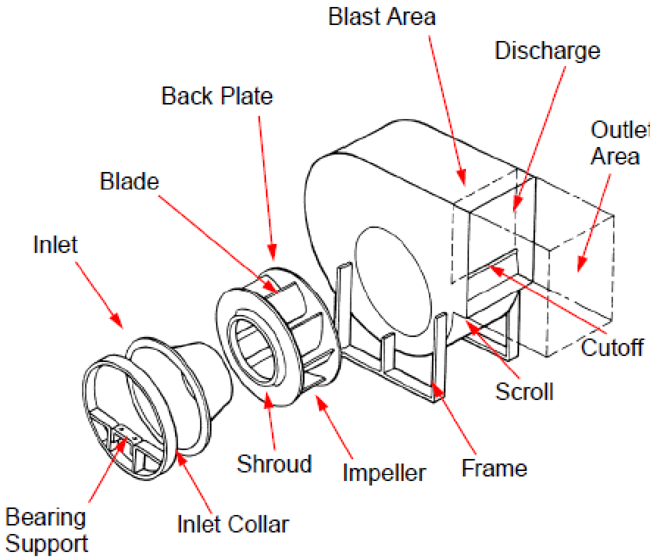
လေပေါ်တွင် မည်သည့် work done မျှမဖြစ်ပေါ်(no work is done on the air)သောကြောင့် total pressure သည် ပြောင်းလဲလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။(friction နှင့် recirculation ကြောင့်သာ losses အနည်းငယ်ရှိသည်။)ထို့ကြောင့် dynamic pressure နည်းသွားရသည့် အကြောင်းမှာ static pressure အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

သာမာန် centrifugal fan တစ်လုံး၏ static pressure 45% သည် impeller ကိုဖြတ်သောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာရခြင်းဖြစ်ပြီး ကျန် ၅၅% သည် casing အတွင်း၌ dynamic pressure မှ static pressure အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်းဖြစ်သည်။ Impeller မှထွက်လာသည့် dynamic pressure(K.E) ၏ ၉၀% ခန့်ကို casing အတွင်း၌ static pressure(P.E) အဖြစ်ပြောင်းပေးနိုင်သည်။

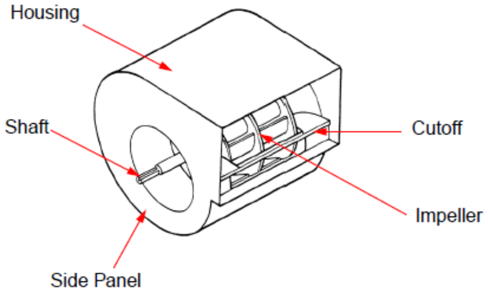


ပုံ ၆-၂၉ Centrifugal fan casing များ

Centrifugal fan များသည် ဝင်လာသည့်လေကြောင်းကို (၉၀)ဒီဂရီ ပြောင်းကာ ထွက်သွားစေသည်။ ထို့ကြောင့် ဝင်လေနှင့်ထွက်လေသည် ဦးတည်ရာ လမ်းကြောင်း မတူကြပေ။ Centrifugal fan များ၏ အားသာချက်များမှာ ဆူညံသံ အလွန်နည်းခြင်းဖြစ်သည်။ ယုံကြည်စိတ်ချမှု(reliability) မြင့်မားသည်။ ဒီဇိုင်း အခြေအနေမှာ ကျော်လွန်၍ လည်း မောင်းနိုင်သည်။



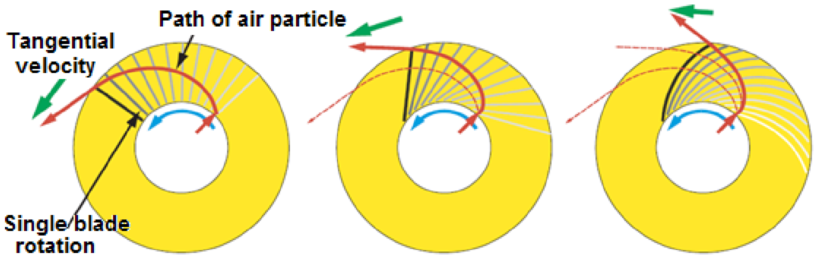
ပုံ ၆-၃၀ Backward curved centrifugal fans



ပုံ ၆-၃၁ Double inlet centrifugal fans

Radial blade impeller များသည် အရွယ်အစား(size)နှင့် မြန်နှုန်း(speed)တူလျှင် တစ်ခြားသော ပန်ကာဒလက်(blade) အမျိုးအစားများထက် tangential velocity ပိုများသည်။ သီအိုရီအရ အရွယ်တူ၊ မြန်နှုန်း

(speed)တူလျှင် radial blade များသည် လေထဲသို့ စွမ်းအင်(energy)များများ ပိုထည့်ပေးနိုင်ပြီး ဖိအား(pressure)များများ ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ သို့သော် လက်တွေ့တွင် radial blade များသည် ထိုကဲ့သို့ မဖြစ်လာပါ။



ပုံ ၆-၃၂ (a)Radial blade (b)Backward inclined blade (c) Backward curved blade

အထက်ပါ ပုံသည် centrifugal fan တစ်လုံး၏ impeller အတွင်းသို့ လေ(air particle)များ ဝင်ရောက်ရာ လမ်းကြောင်းကို ဖော်ပြထားသောပုံဖြစ်သည်။ လေများသည် impeller အတွင်းသို့ radial direction အတိုင်း ဝင်လာပြီး ပန်ကာဒလက်(blade) များနှင့် ထိသည့်အခါ ရုတ်တရက် ချက်ချင်း လမ်းကြောင်း ပြောင်းသွားသည်။ လေသည် ရုတ်တရက် လမ်းကြောင်းပြောင်းရန် ခက်ခဲသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade)များ၏ အစွန်းကို ဝင်ဆောင့် သကဲ့သို့ ဖြစ်စေသည်။ ထို့ကြောင့် လေများ impeller အတွင်းသို့ ချောမွေ့စွာ ဝင်ရောက်နိုင်ရန် နှင့် ရုတ်တရက် လမ်းကြောင်းပြောင်းခြင်း မဖြစ်စေရန် ပန်ကာဒလက်(blade)များ၏ အစွန်းကို ကွေးပေးထားရသည်။

ထိုထက်ပိုပြီး စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကောင်းစေရန် ပန်ကာဒလက်(blade)အစွန်း သာမက ပန်ကာဒလက်(blade) တစ်လုံးကိုလည်း ကွေးပေးထားနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် backward inclined blade များသည် efficiency အကောင်းဆုံးဖြစ်ပြီး၊ radial blade များသည် efficiency အညံ့ဆုံးဖြစ်သည်။ Casing များသည် impeller မှထွက်လာသည့် လေ၌ရှိသော Kinetic Energy(KE)များကို Potential Energy(P.E)အဖြစ်သို့ ပြောင်းပေးသောကြောင့် အရေးကြီးသည့် အစိတ်အပိုင်း တစ်ခုဖြစ်သည်။

Centrifugal fan များ၌ရှိသော ပန်ကာဒလက်(blade) အမျိုးအစားတူညီလျှင် fan curve များ၏ ပုံသဏ္ဍာန်လည်း တူညီကြသည်။

Centrifugal fan များ stall ဖြစ်နိုင်ခြေရှိသော်လည်း axial fan များလောက် မဆိုးဝါးပေ။ Centrifugal fan များ stall ဖြစ်သည့်အခါ သင့်တင့်သည့် ဖိအား(pressure) နှင့် လေထုထည်(volume)ကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Centrifugal fan များ impeller ပုံသဏ္ဍာန်များကြောင့် stall ဖြစ်ခြင်းကို သက်သာစေသည်။

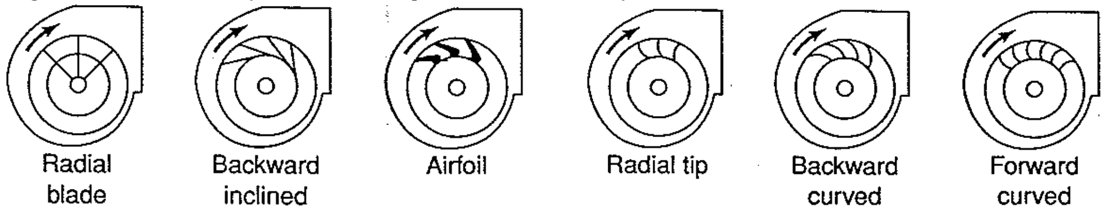
Fan ၏ လေထွက်နှုန်း(volume flow rate)ကို နည်းများစွာဖြင့် ထိန်းချုပ်(control)နိုင်သည်။ မြန်နှုန်းပုံသေ (fixed speed)ဖြင့် လည်နေသည့် fan များတွင် Inlet Guide Vane(IGV) ကို တပ်ဆင်၍ လေထွက်နှုန်း(volume flow)ကို လိုသလို ထိန်းချုပ်(control) နိုင်သည်။ Inlet guide vain ကို လှည့်၍ အဝကို ကျဉ်းအောင်၊ကျယ်အောင် ပြုလုပ်ပြီး ဝင်လာသည့်လေများကို impeller လည်နေသည့်ဦးတည်ရာ(direction) အတိုင်း ဖြစ်အောင် ပြုလုပ် ပေးကာ efficiency ကောင်းအောင် ထိန်းထားနိုင်သည်။

Centrifugal fan များ၏ ထူခြား ကောင်းမွန်ချက်များမှာ အသံဆူညံမှုနည်းခြင်း(quiet)နှင့် ဖိအားမြင့်သည့်လုပ်ငန်းများ(high pressure application)တွင် efficient ဖြစ်ခြင်းတို့ ဖြစ်သည်။ Air Handling Unit(AHU) နှင့် Fan Coil Unit(FCU) အားလုံးနီးပါး တွင် centrifugal fan သို့မဟုတ် blower များကို အသုံးပြုကြသည်။

ပုံ ၆-၃၃ Impeller and Blade

အထက်ပါပုံများသည် backward inclined centrifugal fan တစ်လုံး၏ wheel နှင့် ပန်ကာဒလက်(blade) ပုံများဖြစ်ကြသည်။

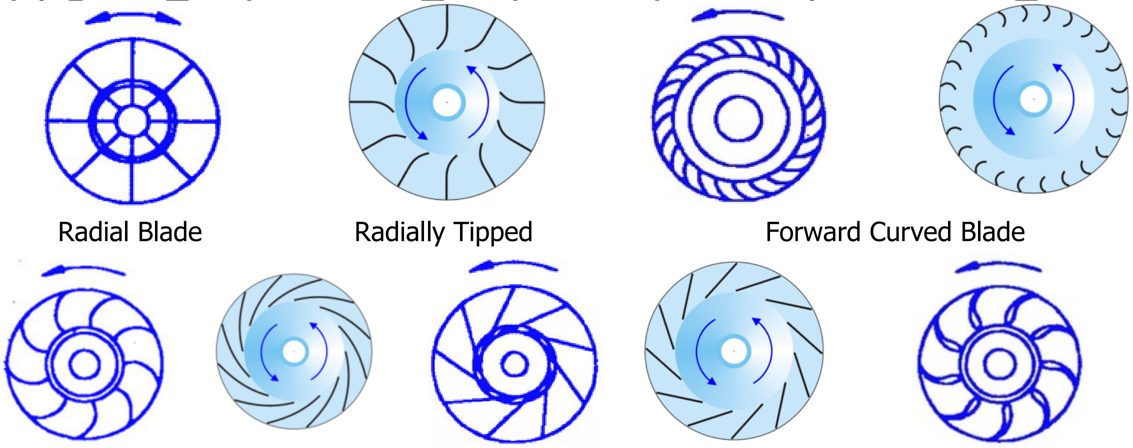
၆.၈.၂ Centrifugal Fan များ၏ Impeller နှင့် Blade Design များ



ပုံ ၆-၃၄ ဒလက်(blad) အမျိုးမျိုး

Centrifugal fan များကို ဖိအား မြင့်မြင့်(high pressure)လိုအပ်သည့်အခါ နှင့် ရှည်လျားသည့် duct များ တပ်ဆင်ထားသည့် အခါတွင် အသုံးပြုသည်။ Centrifugal fan အမျိုးအစားကို impeller ရှိ ပန်ကာဒလက် (blade) ပုံသဏ္ဍာန်ကို အခြေခံ၍ radial(straight)၊ forward blade ၊ backward blade နှင့် aerofoil ဟူ၍ အဓိက အားဖြင့် ခွဲခြားသတ်မှတ်ကြသည်။ Impeller လည်သည့် ရှေ့ဘက်(forward)သို့ ဆောင်းထား(inclined)၊ ကွေးထား (curved)သောကြောင့် "Forward Inclined/Curved Blade" ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

Centrifugal fan သို့မဟုတ် blower အတွင်း၌ရှိသည့် ဒလက်(blad)များပါသည့် ဘီး(wheel)ကို "Imperller" ဟုခေါ်သည်။ Impeller အပေါ်တွင် စိုက်ထားသည့် ဒလက်များကို "Blade" ဟုခေါ်သည်။ Side plate blade များနှင့် back plate များ တို့ဖြင့် impeller တစ်ခုဖြစ်အောင် တည်ဆောက်ထားသည်။ ပုံတွင်ပြထားသည့် အတိုင်း impeller သည် hub မှတဆင့် ဝင်ရိုး(shaft)ပေါ်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။



ပုံ ၆-၃၅ Backward Curved Blade Backward inclined blade Backward curved aerofoil

Centrifugal fan များ၏ impeller များ နှင့် ပန်ကာဒလက်ဒီဇိုင်း(blade design)များကို အောက်ပါအတိုင်း အသေးစိတ် ခွဲခြားနိုင်သည်။

Radial(straight)	Radial	အတည့်(straight)အတိုင်းရှိသည့် ပန်ကာဒလက်(blade)
	Radial Tip	အတည့်(straight)အတိုင်းရှိသည့် ပန်ကာဒလက်(blade) ဖြစ်သည်။ သို့သော်ထိပ်ဖျား(tip)ကိုကွေးထားသည်။
Forward Blade	Forward Inclined	ရှေ့ဘက်(forward)သို့စောင်းထား(inclined)သည်။
	Forward curved	ရှေ့ဘက်(forward)သို့ ကွေးထား(curved)သည်။
	Forward curved aerofoil	Aerofoil ပုံစံပြုလုပ်ပြီး အရှေ့ဘက်သို့ ကွေးထား(curved)သည်။ (အသုံးနည်းသည်။)
Backward Blade	Backward Inclined	နောက်ဘက်(backward)သို့စောင်းထား(inclined)သည်။
	Backward curved	နောက်ဘက်(backward)သို့ ကွေးထား(curved)သည်။
	Backward curved aerofoil	Aerofoil ပုံစံပြုလုပ်ပြီး နောက်ဘက်(Backward)သို့ ကွေးထား (curved)သည်။
Aerofoil		Aerofoil ပုံစံပြုလုပ်ထားသည်။

(က) Radial Blade များ

Radial blad impeller များသည် အရှင်းလင်းဆုံးသောဒီဇိုင်းဖြစ်ပြီး၊ efficiency အနည်းဆုံး ဖြစ်သည်။ Radial blade များ၏ mechanical strength သည် အကောင်းဆုံးဖြစ်သည်။ အလွယ်တကူ ပြုပြင်နိုင်သည်။ Radial impeller ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် မြန်နှုန်း အသင့်အတင့်(medium speed)ကိုသာ ရနိုင်သည်။ Radial blade နှင့် modified radial blade ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade) (၆)ခု မှ (၁၆)ခုအထိ ရှိတတ်ကြသည်။ စက်ရုံများ(industrial plants)တွင် ပစ္စည်းများသယ်ပို့ရန်(material handling application)အတွက် အသုံးပြုကြသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ impeller ကို special material ဖြင့် ဖုံးအုပ်(coating)ထားလေ့ရှိသည်။ စက်မှုလုပ်ငန်း(industrial)များတွင် လိုအပ်သော ဖိအားမြင့်မြင့်(high pressure) ကို ထုတ်ပေးနိုင်စွမ်းရှိသည်။

ပန်ကာဒလက်(blade)များ၏ အစွန်း(leading edge)သည် အကွေးပုံသဏ္ဍာန်(curve)ဖြစ်အောင် မလုပ်ထားသောကြောင့် လေများ အဆင်ပြေချောမွေ့စွာ ဝင်ရောက်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

Back plate သို့မဟုတ် paddle type blade များသည် spider hub ၌ စိုက်ထားသကဲ့သို့ တပ်ဆင်ထားသည်။ Centrifugal fan များတွင် radial blade fan များသည် efficiency အညံ့ဆုံးဖြစ်သည်။ Efficiency ၅၀% မှ ၆၀% သာရနိုင်သည်။ သို့သော် high peak pressure ကိုရနိုင်သည်။ Overloading power characteristic ဖြစ်သည်။

Impeller အရွယ်အစား(diameter)တူပြီး မြန်နှုန်း(running speed)တူသည့် centrifugal fan အမျိုးအစားအားလုံးတွင် radial tipped impeller fan များသည် ဖိအား(total pressure) အမြင့်ဆုံး ကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Efficiency ညံ့သည်။ ထို့ကြောင့် လေစီးနှုန်း(volume flow rate)နည်းသည်။ လေစီးနှုန်း(volume flow) တစ်ဝက်ထက်နည်းပါက ဖိအား (pressure)ကျဆင်းသွားသည်။ Stall characteristic သည် steady ဖြစ်သည်။တစ်နည်းအားဖြင့် အသင့်အတင့်သာ ဖြစ်သည်။

Radial Tipped Blade

Radial blade များကို impeller လည်သည့်ဘက်(direction)သို့ backward ဖြစ်အောင် ကွေးထားခြင်း (reclined)ဖြစ်သည်။ Overloading characteristic ရှိသည်။ Peak efficiency သည် forward curved fan efficiency နှင့် backward bladed fan efficiency အကြားတွင် ရနိုင်သည်။

Radial tipped blade သည် အများဆုံး(maximum) blade tip absolute velocity ကိုဖြစ်စေသည်။ Radial impeller များသည် angular momentum ပမာဏ အများဆုံးကို ဖြစ်စေသည်။ Radial blade passage အတွင်း၌ turbulence flow ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် သိပ် efficient မဖြစ်ပေ။ Radial tipped blade များ၏အစွန်း(leading edge)ကို forward curve ဖြစ်အောင်ကွေးထားခြင်းဖြင့် ပန်ကာဒလက်များ အကြားနေရာ (blade passage) အတွင်းသို့ လေများချောမွေ့စွာ ဝင်ရောက်လာကာ turbulence flow ဖြစ်ပေါ်မှုကို လျော့ချနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် efficiency အနည်းငယ် ပိုကောင်းလာသည်။

(ခ) Forward Blade များ

Forward curved blade impeller ၏ ဆိုသည်မှာ forward curved blade များတပ်ထားသည့် impeller ဖြစ်သည်။ Forward curved blade impeller efficiency သည် airfoil နှင့် backward curved bladed impellers ၏ efficiency ထက်နည်းသည်။ အလေးချိန်ပေါ့ပါး(lightweight construction) သောကြောင့် ဈေးသက်သာသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade)များ (၂၄)ခု မှ (၆၄)ခု အထိရှိ တတ်ကြသည်။ ဖောက်မနက်သည့် ပန်ကာဒလက်များ(shallow blades) ဖြစ်သည်။

လေသည် impeller အတွင်းမှ tip speed ထက်များသည့် အလျင်(velocity)ဖြင့် ထွက်သွားသည်။ လေထွက်နှုန်း(capacity)တူသည့် centrifugal fan များအနက် forward impeller ကိုသုံးလျှင် အရွယ်အစား အငယ်ဆုံး ဖြစ်သည်။ အိမ်သုံး(domestic) furnace များ packaged air conditioning များနှင့် roof top unit များတွင် forward impeller ကို အသုံးပြုကြသည်။

ပန်ကာဒလက်(blade)များကို impeller လည်သည့် direction အတိုင်း အရှေ့ဘက်သို့ (forward)ကွေးထားခြင်း သို့မဟုတ် စောင်းထားခြင်း(inclined) ဖြစ်သည်။ Overloading power characteristic ဖြစ်သည်။ သတ်မှတ်ထားသော လေစီးနှုန်း(air flow)ထက် ပိုများအောင်မောင်းပါက သေချာပေါက် overload ဖြစ်နိုင်သည်။ သေးငယ်သည့် forward curved impeller သည် တူညီသော duty သို့မဟုတ် load ရရန်အတွက် လေထုထည်(air volume)များများကို ပေးနိုင်စွမ်းရှိသည်။ အများဆုံးရရှိနိုင်သည့်(peak) efficiency သည် ၇၀% ဖြစ်ပြီး backward bladed fan efficiency ထက်ညံ့သည်။

Forward Curved Bladed Impeller

တခြားသောပန်ကာဒလက်(blade)များဖြင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် absolute velocity(blade tip) အများဆုံး ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် လေထုထည်(air volume)များများကို တွန်းပေးနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ပန်ကာဒလက်(blade)များ အားလုံးနှင့်ယှဉ်လျှင်အရွယ်အစား အသေးငယ်ဆုံး ဖြစ်လေ့ရှိသည်။ နေရာ ကျဉ်းကျဉ်းသာ ရှိသည့် အခါများတွင် forward curved blade ကို ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။ အရွယ်အစားငယ်သော်လည်း ပန်ကာဒလက်(blade) အရေအတွက် များစွာပါသောကြောင့် ထုတ်လုပ်ရန်ခက်ခဲပြီး ဈေးကြီးသည်။

လေအလျင်များခြင်း(high velocity)ကြောင့် ပန်ကာဒလက်(blade)များတွင် ပွတ်တိုက်မှု(friction) များသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade)တို့၏ ထောင့်(angle)ကြီးကြီးဖြင့် ကွေ့ရသောကြောင့် turbulence ဖြစ်ပေါ်မှု ပိုများသည်။ Turbulance ဖြစ်ခြင်းကြောင့် ပန်ကာဒလက်များအကြားနေရာ(blade passage)တွင် စွမ်းအင် လေလွင့်မှု(energy dissipate) ပိုများသည်။ Impeller ပေါ်တွင် ပန်ကာဒလက်(blade)များစွာ ပါရှိသောကြောင့် ပန်ကာဒလက်(blade)များ တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အကြားနေရာ အလွန်ကျဉ်းသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade)များ တစ်ခုနှင့် တစ်ခု အလွန်နီးကပ်စွာတည်ရှိကြသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade) မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် fluid shear stress ပိုများသည်။ Skin friction ပိုများသည်။

Efficiency ညံ့ဖျင်းခြင်း၊ ဈေးကြီးခြင်း(ထုတ်လုပ်မှုစရိတ်များခြင်း)နှင့် ခံနိုင်ရည်(mechanical strength) အားနည်းခြင်း တို့ကြောင့် အလွန်အသုံးနည်းသည်။

Tip velocity များများ ဖြင့်မောင်းနိုင်သောကြောင့် လေစီးနှုန်း(volume flow rate)များများရနိုင်သည်။ Fan curve ၏ ညာဘက်တွင် အဝထစ်(dip)ဖြစ်နေသည့် နေရာကျယ်ပြန့်သောကြောင့် stall characteristic အလွန်ဆိုးသည်။ Stall ဖြစ်သည့် နေရာကို ရှောင်၍ မောင်းသင့်သည်။

(ဂ) Backward Blade

ပန်ကာဒလက်(blade) (၉)ခု မှ (၁၆)ခု အထိရှိသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade)များကို impeller လည်သည့် ဦးတည်ရာ(direction)အတိုင်း စောင်းထား(inclined)သည်။ Inclined blade များသည် အဖြောင့်ပုံကွက်(flat) သို့မဟုတ် အကွေးပုံကွက်(curved) plate များဖြစ်သည်။ Non-overloading characteristic ဖြစ်သည်။ High efficiency ကိုပေးနိုင်သည်။ Plate blade များသည် 80% efficiency ကိုပေးနိုင်ပြီး aerofoil blade များ၏ efficiency သည် 90% ကျော်သည်။

Backward inclined impeller များ ၏ efficiency ကောင်းရခြင်းမှာ ပန်ကာဒလက်များအကြားနေရာ (blade passage)သည် လည်နေသည့် diffuser ကဲ့သို့ ဖြစ်နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Backward inclined blade များသည် radial blade ထက်ပို၍ရှည်လျားသောကြောင့် လေများကို တဖြည်းဖြည်းခြင်း(gradually)သာ diffuse လုပ်ကြသည်။ ထို့ကြောင့် လေစီးနှုန်း(air flow) ပို၍ ညီညာ(uniform)သည်။ ပန်ကာဒလက်များ အကြားနေရာ (blade passage) အားလုံးတွင် လေစီးနှုန်း(air flow) တူညီကြသည်။ ထို့ကြောင့် ပို၍ efficient ဖြစ်သည်။ Backward curved သို့မဟုတ် aerofoil blade များသည် backward inclined blade ထက်ပို၍ ရှည်လျားသောကြောင့် ပို၍ efficiency ပိုကောင်းသည်။

Backward Inclined Blade

Backward inclined plate impeller သည် radial blade များနှင့် စာလျှင် (impeller diameter နှင့် running speed တူလျှင်) နိမ့်သည့်(low) peak pressure ကိုသာပေးနိုင်သည်။ သို့သော် လေထုထည်များများ (high volume)ကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Stall characteristic သည် radial tipped impeller များနှင့်တူသည်။ HVAC application များနှင့် စက်မှုလုပ်ငန်းများ(industrial application)တွင် အသုံးပြုကြသည်။ ပွန်းတီးတိုက်စားတတ်သည့်လုပ်ငန်းများ (Erosive duties) များအတွက်လည်း အသုံးပြုနိုင်သည်။

Backward inclined blade ၏ efficiency သည် airfoil impeller မှ ရနိုင်သော efficiency ထက် အနည်းငယ် နည်းသည်။ လေသည် impeller မှ tip speed ထက်နည်းသည့် velocity ဖြင့်ထွက် သွားသည်။ ဖောက်နက်သည့် ပန်ကာဒလက်များ(deep blades) ဖြစ်သည်။ သံချေးတတ်သည့်နေရာများ (corrosive environment) နှင့် ပွန်းတီးတိုက်စားတတ်သည့်နေရာများ(erosive environment)တွင် airfoil impeller များကို အသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင်သည့်အခါ backward impeller များကို အသုံးပြုကြသည်။

Backward Curved Blades

Backward curved blade များသည် အနည်းဆုံး absolute velocity ကိုဖြစ်စေသည်။ Radial tipped blade များသည် streamlined blade passage များဖြစ်သည်။ Radial passage နှင့် စာလျှင်ပို၍ ရှည်လျားသည်။ Diffuser ပုံသဏ္ဍာန်ဖြစ်နေသည်။ လေများကွဲထွက်ခြင်း(separation of air flow)ကို ကာကွယ်နိုင်ခြင်းကြောင့် ပို၍ efficient ဖြစ်သည်။ Non-overloading characteristic ရှိသည်။

Backward Inclined Aerofoil Blade

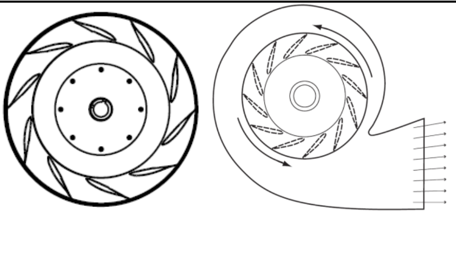
Backward inclined aerofoil ကို ACMV system များတွင် အသုံးများသည်။ Efficiency ကောင်းခြင်းကြောင့် ကြီးမားသည့်စက်မှုလုပ်ငန်း(large scale industrial application)များတွင် စွမ်းအင် ချွေတာရန်(power saving)အတွက် အသုံးပြုကြသည်။ Low ၊ medium နှင့် high pressure system များ အားလုံးအတွက် အသုံးပြုနိုင်သည်။ အချင်း (၄)မီတာရှိသည့် ကြီးမားသည့် fan များကို တွေ့မြင်နိုင်သည်။

ပွန်းတီးတိုက်စားခြင်း(erosive) မဖြစ်နိုင်သည့် စက်မှုလုပ်ငန်းများ(industry application)တွင် အသုံးပြုကြသည်။ Erosive အနည်းငယ်ဖြစ်သည့် လုပ်ငန်းခွင်များတွင် ပန်ကာဒလက်(blade)များကို coating လုပ်၍ သုံးကြသည်။ Blade tip ကို အနည်းငယ် ပိုထူအောင် ပြုလုပ်၍ အသုံးပြုကြသည်။

တခြားသော ဒလက်(blade)များထက်စာလျှင် rotational energy ပမာဏ နည်းသောကြောင့် aerodynamic losses နည်းသည်။ Backward blade ကို aerofoil ပုံသဏ္ဍာန်ပြုလုပ်လျှင် ပို၍ efficiency ကောင်းလာသည်။ လေသည် ပန်ကာဒလက်များအကြားနေရာ(blade passage)အတွင်းသို့ ချောမွေ့စွာ ဝင်ရောက် သွားသောကြောင့် ပို၍ efficient သည်။ Aerofoil ပုံသဏ္ဍာန် ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် ပန်ကာဒလက်(blade)များပေါ်တွင် သက်ရောက်သည့် bending stress ကို ခုခံနိုင်အား ပိုများသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade)များတွင် stiffener များ ထည့်ပေးခြင်းဖြင့် second moment of area ပိုများလာသည်။

အရွယ်အစား(diameter) နှင့် မြန်နှုန်း(speed)တူလျှင် ဖိအား(pressure) နိမ့်နိမ့်သာပေးနိုင်သည့် impeller များ ဖြစ်သည်။ လေစီးနှုန်း(volume flow rate) များများပေးနိုင်သည်။

Tip velocity များများဖြင့် မောင်းနိုင်လျှင် ထို fan သည် လေစီးနှုန်း(volume flow rate) များများ ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Impeller အရွယ်အစား(diameter)ကြီး အောင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် tip velocity များအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည် သို့မဟုတ် မြန်နှုန်း(running speed)ကို မြှင့်ပေးနိုင်သည်။ သို့မဟုတ် နှစ်မျိုး စလုံး လုပ်ပေးနိုင်သည်။ Tip velocity များများဖြင့် မောင်းနိုင်ရန် ပန်ကာဒလက်(blade)များကို ခိုင်ခန့်အောင်(strong ဖြစ်အောင်) ပြုလုပ်ထားရန် လိုအပ်သည်။

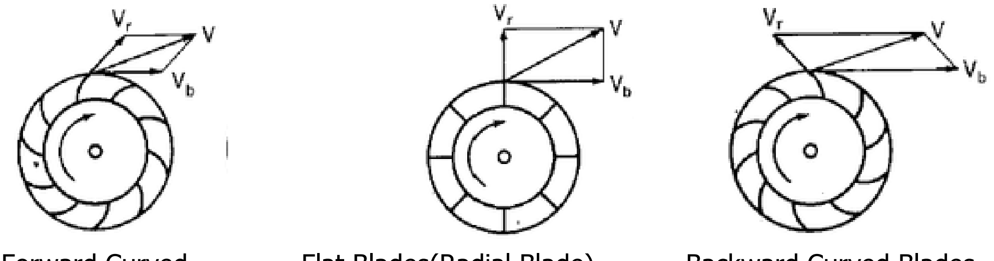


Centrifugal impeller ဒီဇိုင်းများအားလုံးအနက် airfoil သည် အကောင်းဆုံး efficiency ကို ပေးနိုင်သည်။ လေသည် impeller မှ tip speed ထက်နည်းသည့် velocity ဖြင့် ထွက်သွားသည်။ ပန်ကာဒလက်(blade)များသည် (၉)ခု မှ (၁၆)ခု အထိ ရှိတတ် ကြသည်။ ဖော်နက်သည့် ပန်ကာဒလက်(deep blade) များ ဖြစ်ကြသည်။

Airfoil impeller ကို အသုံးပြုခြင်းဖြင့် centrifugal fan ကို မြန်နှုန်း(speed)မြင့်မြင့်ဖြင့် မောင်းနိုင်သည်။ ကြီးမားသော centrifugal fan များတွင် airfoil impeller ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်ချွေတာမှု(power saving) များ နိုင်သည်။

၆.၈.၃ Centrifugal Fan ၏ Velocity Triangle

Impeller ကို reference ထား၍ ဖော်ပြထားသည့် လေစီးနှုန်း(air flow) ၏ velocity ဖြစ်သည်။ Impeller outlet ၌ရှိသော relative velocity ၏ direction သည် blade tip ၏ direction နှင့် တူညီသည်။



ပုံ ၆-၃၆ Forward Curved Blades   Flat Blades(Radial Blade)   Backward Curved Blades

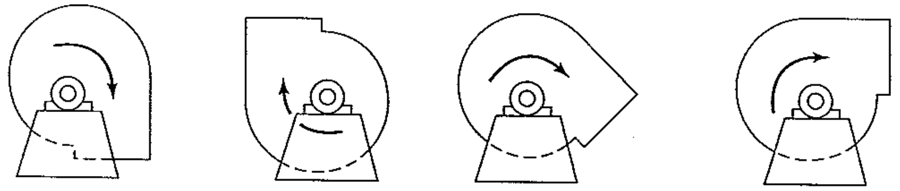
V = Absolute velocity of air leaving blade(shown equal for all three blade type)

Vr =Velocity of air leaving blade relative to blade

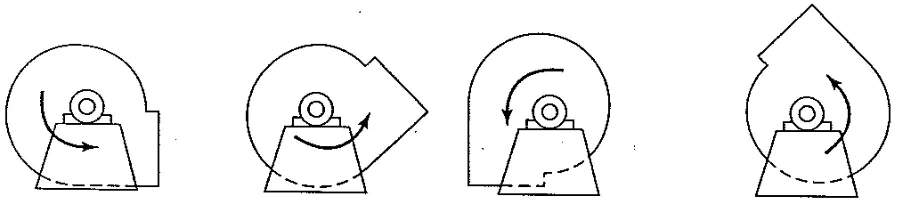
Vb = Velocity of blade tip

> ပန်ကာဒလက်(blade)၏ ထိပ်ဖျား(tip)တွင်ရှိသည့် rotational velocity သည် လေထဲသို့ ထည့်ပေးလိုက်သည့် စွမ်းအင်(energy)ပမာဏကို ဖော်ပြသည်။ Impeller ကို ဖြတ်လာသည့် လေစီးနှုန်း (volume flow rate)၏ ပမာဏကို ဖော်ပြသည်။ Tip velocity များလေလေ လေစီးနှုန်း(volume flow) များလေလေ ဖြစ်ပြီး စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption) လည်းများလိမ့်မည်။

၆.၈.၄ Centrifugal Fan Arrangement



Clockwise down blast | Clockwise up blast | Clockwise Top angular down | Clockwise Top angular horizontal

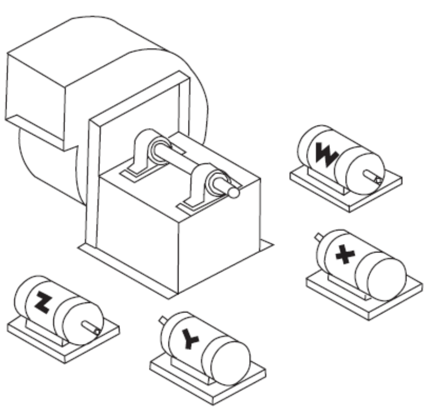


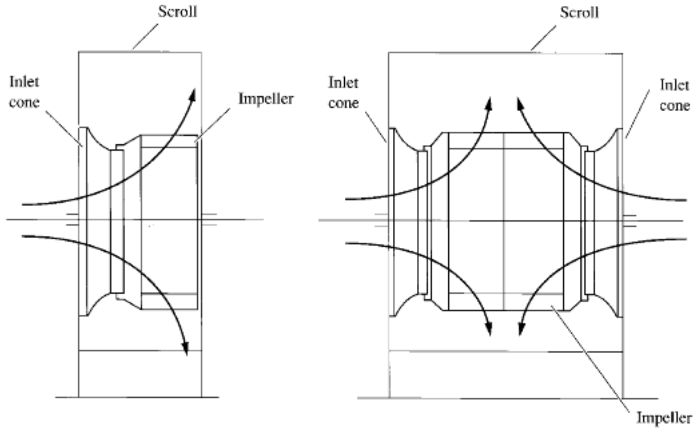
Counterclockwise down blast | Counterclockwise up blast | Counterclockwise Top angular down | Counterclockwise Top angular horizontal

ပုံ ၆-၃၇ Centrifugal fan arrangement အမျိုးမျိုး

Discharge arrangement များကို ပုံများနှင့်တကွ ဖော်ပြထားသည်။ Clockwise သို့မဟုတ် Counterclockwise စသည့် လည်သည့်ဘက်(rotation direction)ကို မော်တာ ရှိသည့်ဘက်မှ ကြည့်ရသည်။

Fan တစ်လုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို ဇယားပုံစံဖြင့်(tabular form)ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ ဇယားမှ အချက်အလက်များအရ centrifugal fan တည်ဆောက်ထားပုံ(construction) မှာ Class I Rating ဖြစ်သည်။ Centrifugal fan အမျိုးအစားသည် backward-curved ဖြစ်သည်။ Wheel diameter သည် (၄၄) လက်မခွဲဖြစ်သည်။ Tip speed ကို ရရန် 11.65 နှင့် wheel လည် သည့် အပတ်ရေ(rpm)ဖြင့် မြှောက်ယူနိုင်သည်။ တတိယ Row နှင့် 1/2" SP column မှ 16613 CFM နှင့် Static Pressure 1/2" ရရှိရန် fan ကို 264 rpm ဖြင့် မောင်းရမည်ဖြစ်ပြီး 1.64 BHP သုံးစွဲလိမ့်မည်ဖြစ်သည်။





ပုံ ၆-၃၈ မော်တာတပ်ဆင်ရာနေရာပြပုံ

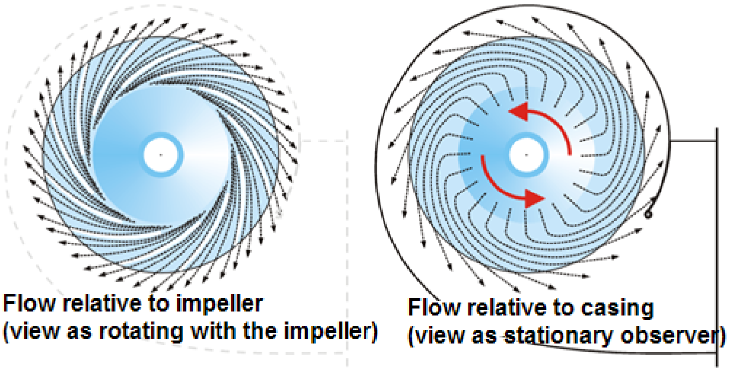
အထက်ပါပုံသည် single width single inlet နှင့် double width double inlet fans ဖြစ်သည်။

WHEEL DIAM. 44½" INLET AREA = 21.60 **BACKWARD-CURVED**

TIP SPEED = 11.65 × RPM OUTLET AREA = 20.79 Class I Ratings

CFM	Outlet Veloc.	¼" SP		⅜" SP		½" SP		⅝" SP		¾" SP		⅞" SP		1" SP		1¼" SP		1½" SP		1¾" SP	
	FPM	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
12460	600	189	.61																		
14536	700	200	.76	228	1.04																
16613	800	212	.94	237	1.26	264	1.64														
18691	900	228	1.13	250	1.49	272	1.87	292	2.25												
20766	1000	243	1.39	263	1.76	282	2.18	302	2.57	324	3.08										
22841	1100	259	1.66	278	2.09	296	2.52	315	2.95	332	3.44	351	3.98								
24916	1200	276	1.98	294	2.45	310	2.92	327	3.38	343	3.87	359	4.37	377	4.91						
26991	1300	292	2.34	309	2.84	325	3.35	342	3.85	356	4.36	371	4.88	387	5.44	420	6.66				
29065	1400	309	2.77	325	3.29	342	3.83	356	4.37	370	4.91	384	5.47	398	6.03	426	7.22	459	8.62		
31158	1500	326	3.24	342	3.82	357	4.37	371	4.95	385	5.53	398	6.12	411	6.71	437	7.92	465	9.25	492	10.53
33233	1600	344	3.78	359	4.37	373	4.97	387	5.58	400	6.19	413	6.80	425	7.45	449	8.73	473	10.01	500	11.45
35308	1700	361	4.37	375	5.00	390	5.63	403	6.28	416	6.93	427	7.58	440	8.24	463	9.59	486	10.93	509	12.42
37383	1800	379	5.04	394	5.69	407	6.37	420	7.04	431	7.72	443	8.41	454	9.11	477	10.53	498	11.95	520	13.45
39458	1900	397	5.76	411	6.46	423	7.16	436	7.88	447	8.60	459	9.31	470	10.04	492	11.54	512	13.03	533	14.58
41532	2000	416	6.57	428	7.31	441	8.05	452	8.78	464	9.54	475	10.30	486	11.05	507	12.60	526	14.15	546	15.75

သို့သော် ဂရပ်(graphic)ပုံစံ ဖြင့်ဖော်ပြထားသည့် performance curve ကိုအသုံးပြု၍ လေ့လာလျှင်ပို၍ လွယ်ကူသက်သာသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ curve မရရှိနိုင်သည့်အခါတွင် မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed) တစ်ခုတွင် ရှိသော ဖိအား(pressure) နှင့် စက်စွမ်းအား(horse power)ကို အသုံးပြု၍ လိုအပ်သော performance curve ကို မိမိဖာသာ ပြုလုပ်ယူနိုင်သည်။ သို့မဟုတ် "Fan Law" ပုံသေနည်းမှ တွက်ယူနိုင်သည်။



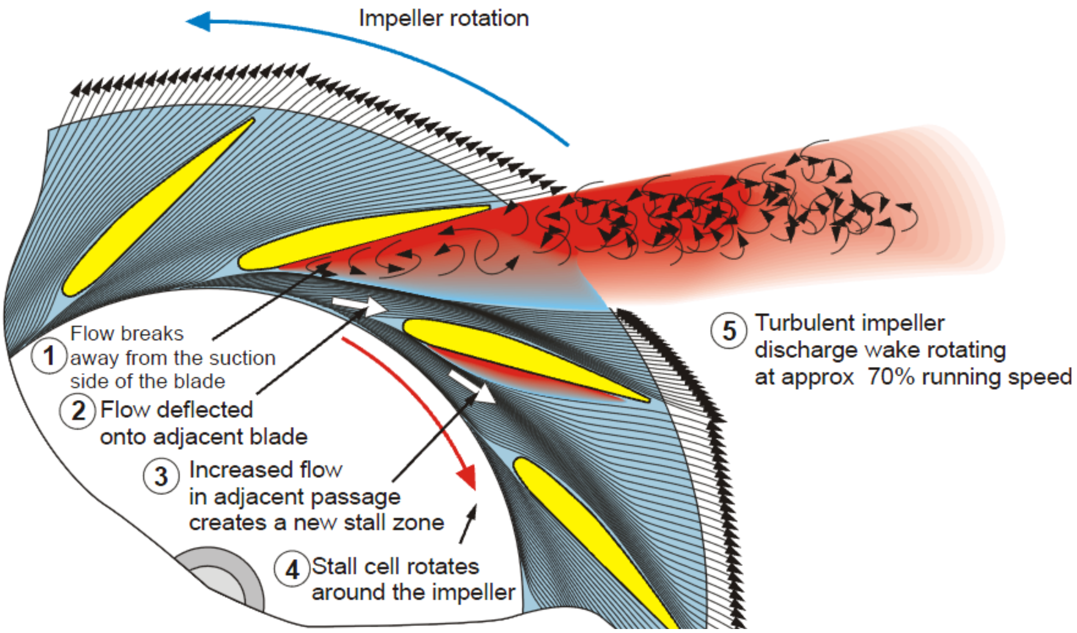
ပုံ ၆-၃၉ Flow relative to impeller and flow relative to casing

၆.၉ Stall ဖြစ်ခြင်း ၊ Stall Region နှင့် Stall Characteristics

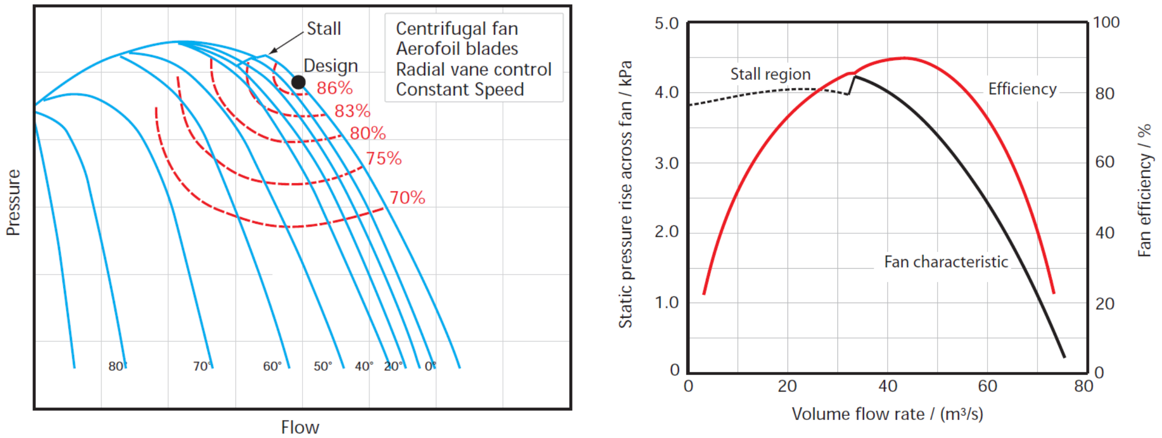
Centrifugal fan curve များတွင် အထစ်ကလေး(dip)ဖြစ်နေသည့်နေရာ ရှိသည်။ ထိုအထစ်ကလေး (dip)၏ နေရာသည် aerodynamic stall ဖြစ်သည့်နေရာဖြစ်သည်။ Rotating stall ဟုလည်းခေါ်သည်။

Fan တစ်လုံး stall ဖြစ်သည့်အခါ၌ ပန်ကာဒလက်(blade)တစ်ခု၌ စတင်၍ stall ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့နောက် လေစီးနှုန်း(air flow)များလာပြီး ကပ်လျက်ရှိ ပန်ကာဒလက်(blade)တစ်ခုပါ ဆက်၍ stall လိုက်ဖြစ်သည်။ ဤသို့ဖြင့် impeller ရှိ ပန်ကာဒလက်(blade)များအားလုံး stall ဖြစ်သည်။ Centrifugal fan ၌ဖြစ်သည့် stall သည် axial fan ၌ ဖြစ်သည့် stall လောက် မဆိုးဝါးပေ။ Centrifugal fan ၏ ဖိအား(pressure) မြင့်တက်ခြင်းသည် aerodynamic left ကြောင့် မဟုတ်ပေ။

Centrifugal fan ၌ stall ဖြစ်သည့်အခါ၌ ဖိအား(pressure) အနည်းငယ်မျှသာ ပြောင်းလဲပြီး လေစီးနှုန်း (volume flow rate) နည်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။ Stall ဖြစ်သည့်အခါ ကြိမ်နှုန်းနည်းသည့် ဆူညံသံ(low frequency noise)ပိုများလာပြီး fan casing ၊ duct work နှင့် impeller တို့ကို တုန်ခါစေသည်။ တုန်ခါမှု(vibration)ပိုများပြီး ဖိအား(pressure)လည်းများလာက impeller ၊ duct work စသည် တို့ကို ထိခိုက်ပျက်စီးစေနိုင်သည်။

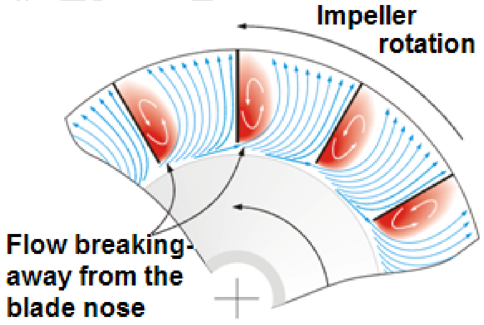


ပုံ ၆-၄၀ Stall ဖြစ်ပေါ်ပုံ



ပုံ ၆-၄၁ Stall ဖြစ်ပေါ်သည့်နေရာ နှင့် အကောင်းဆုံး efficiency ရရှိနိုင်သည့်နေရာ နီးကပ်စွာတည်ရှိပုံ

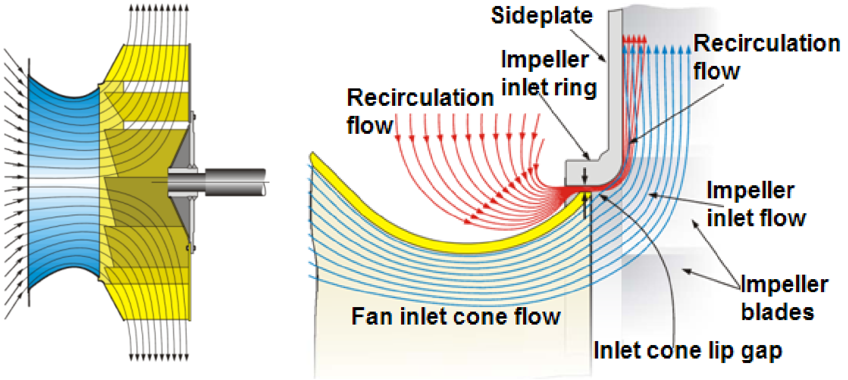
အကောင်းဆုံး effieicny ပေးနိုင်သည့် နေရာသည် stall ဖြစ်သည့်နေရာ အနီး၌ တည်ရှိသည်။ Stall ဖြစ်ပေါ်ခြင်းကြောင့် ဖိအား(pressure)ကျဆင်းသွားခြင်း မရှိသော်လည်း အချိန်ကြာမြင့်စွာ stall ဖြစ်နေခြင်းမျိုးကို ရှောင်ကြဉ် သင့်သည်။



ပုံ ၆-၄၂

Radial blade fan များ၌ radial flat blade သည် အခိုင်ခန့်ဆုံးဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် လေထဲတွင် အစိုင်အခဲ ကလေးများ(solid particle)များ ပါဝင် လာပါက radial fan သည် ကောင်းစွာ ပုံမှန် ဆက်လက် အလုပ် လုပ်နိုင်သည်။ သို့သော် efficiency နည်းသည်။ Forward curve blade များသည် အားအနည်းဆုံး ဖြစ်သောကြောင့် tip speed နှေးနှေး ဖြင့်သာ မောင်းနိုင်သည်။

Medium tip speed နှင့် high speed တို့ဖြင့် မမောင်းနိုင်ပေ။ Forward curve blade များ အားနည်း(weak)ခြင်း၊ efficiency နည်းခြင်း တို့ကြောင့် ကြီးမားသည့်စက်မှုလုပ်ငန်း(large scale industrial application)များတွင် အသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ နေရာကျဉ်းကျဉ်း၌ တပ်ဆင်ရသည့် အိမ်သုံး(domestic) heating နှင့် cooling system များတွင် အသုံးပြုကြသည်။



ပုံ ၆-၄၃ Inlet Cone အတွင်း လေများစီးဆင်းပုံ

၆.၁၀ System အတွင်း၌ ဖြစ်ပေါ်သော လေခုခံအား (System Resistance)

Duct အတွင်းမှလေများ တစ်နေရာမှအခြားတစ်နေရာသို့ ရောက်ရှိရန်အတွက် လေဖိအား ကွာခြားချက်(differential pressure)ရှိရန် လိုအပ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ပင် duct အတွင်းမှလေများ တစ်နေရာမှ အခြား တစ်နေရာသို့ ရောက်သွားလျှင် လေဖိအား ကျဆင်းမှု(pressure drop)ဖြစ်ပေါ်သည်။

Point A ၌ရှိသည့် ဖိအား(pressure)သည် point B ၌ရှိသည့် ဖိအား(pressure)ထက်များလျှင် (PA > PB) point A မှ လေများ point B သို့ ရောက်သွားလိမ့်မည်။ Point A မှ လေများ point B သို့ ရောက်သွားပြီးလျှင် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ($P_A - P_B = \Delta P$) ဖြစ်သည်။ ဖိအားဆုံးရှုံးသည်။ ထိုဖိအားဆုံးရှုံးခြင်းသည် duct နံရံများ နှင့် လေအကြား၌ ဖြစ်ပေါ်လာသော ပွတ်တိုက်မှု(friction)ကြောင့် ဖြစ်သည်။

Duct အကွေး(bend)များ၊ damper များ ၊ duct section များတွင် turbulence flow ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ဖြစ်သည်။ ဖိအားဆုံးရှုံးမှုဖြစ်ပေါ်သည်။ Heater များ၊ လေစစ်(filter)များကို လေများ ဖြတ်သွားသည့်အခါ၌လည်း ဖိအားဆုံးရှုံးမှုဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုအကြောင်းများ အားလုံးကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ဖြစ်ခြင်း သို့မဟုတ် ဖိအားဆုံးရှုံးခြင်း(pressure loss)ကို လေခုခံအား(system resistance) ဟုခေါ်သည်။

အောက်ပုံသည် လေခုခံအား(system resistance) ပြောင်းသွားသောကြောင့် system curve သို့မဟုတ် system resistance curve ပြောင်းသွားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ System resistance curve ပြောင်းသွားသောကြောင့် system နှင့် တွဲ၍ တပ်ဆင်ထားသည့် fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) လည်းလိုက်၍ ပြောင်းလဲသွားသည်။

မည်သည့်အခြေအနေမျှ မပြောင်းလဲလျှင် (system အတွင်းရှိ damper များ၊ အခြားကိရိယာ(device)များ မပြောင်း လဲလျှင်) ထိုအခိုက် လေထုထည်(air volume)နည်းခြင်း၊ များခြင်းသည် system curve တစ်လျှောက်တွင်သာ ဖြစ်ပေါ် နေသည်။ System curve သည်လည်း မပြောင်းလဲပေ။

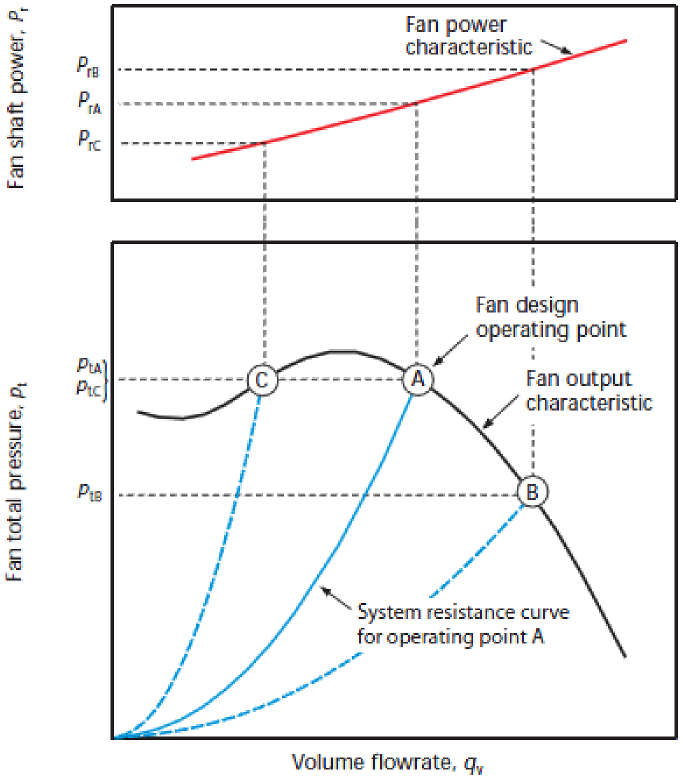
၆.၁၀.၁ System Resistance Curve ပြောင်းလဲပုံ

Point A - သည် fan တစ်လုံးနှင့် တွဲ၍တပ်ဆင်ထားသည့် duct system တစ်ခု၏ "Design Operating Point" ဖြစ်သည်။

Point B – System (duct) တစ်ခုခုအတွင်းမှ equipment တစ်ခုခုကို ဖြုတ်လိုက်လျှင် လေခုခံအား(system resistance)နည်းသွားသောကြောင့် system curve သည် Y axis ဘက်မှ ဝေးရာသို့ရောက်သွားပြီး Curve အသစ်တစ်ခုကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။

Point C - Damper ပိတ်ခြင်း သို့မဟုတ် လေခုခံအား(system resistance)ကို များအောင်ပြုလုပ်လျှင် system curve သည် Y axis ရှိရာဘက်သို့ ရောက်သွားပြီး curve အသစ်တစ်ခုကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။

ထို့အပြင် system resistance သည် လေသိပ်သည်းဆ(air density) နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျသည်။



ပုံ ၆-၄၄ System resistance နှင့် Fan curve

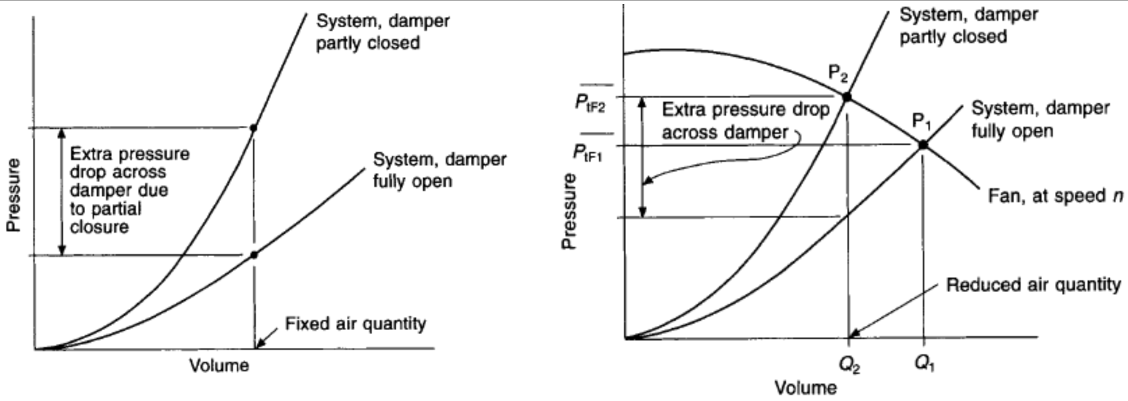
ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)ပမာဏသည် လေစီးနှုန်း(volume flow rate)၏ နှစ်ထပ်ကိန်းနှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။ ထို့ကြောင့် လေထုထည်(air volume) နှစ်ဆပိုများများရလိုလျှင် ဖိအားဆုံးရှုံးမှု (pressure loss) လေးဆ ပိုများလိမ့်မည်။ ထိုအချက်သည် constant system နှင့် constant air density အတွက်သာမှန်သည်။ Damper ပိတ်ခြင်း၊ လေစစ်(air filter)ညစ်ပတ်ခြင်း စသည့် အကြောင်း တစ်ခုခုကြောင့် system curve ပြောင်းလဲသွားလျှင် system resistance law သည် မမှန်ကန်တော့ပေ။

၆.၁၀.၂ Duct System ရှိ Damper များပွင့်ခြင်း ၊ ပိတ်ခြင်းကြောင့် System Curve ပြောင်းလဲပုံ

Damper များပွင့်ခြင်း ၊ ပိတ်ခြင်းကြောင့် system curve ပြောင်းလဲပုံ (effect of opening and closing system dampers)ကို ဖော်ပြထားသည်။ Damper ပွင့်နေသည့် operating point သည် point P1 ဖြစ်သည်။ Damper လုံးဝပွင့်နေသည့်(fully open)အချိန်၌ လေခုခံအား(system resistance) နည်းသည်။

Damper တစ်ဝက်တစ်ပျက်ပွင့်နေသည့်(partially open)အချိန်၌ လေခုခံအား(system resistance) များလာပြီး system resistance curve အသစ်ဖြစ်ပေါ်လာကာ operating point သည် point P2 ဖြစ်လိမ့်မည်။

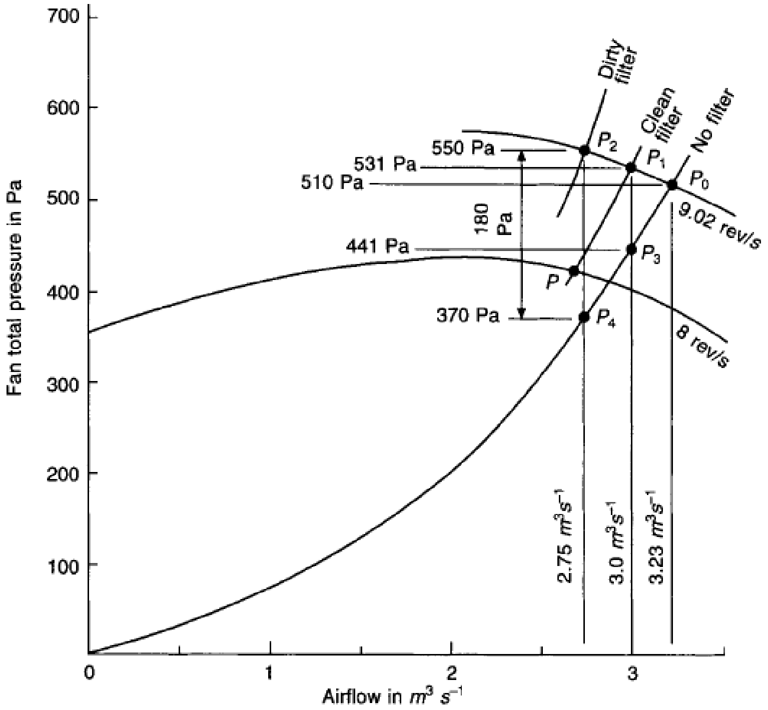
System ၏ ခုခံအား(resistance)များလာလျှင် Y axis နှင့် နီးရာဘက်တွင် system curve အသစ်တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည်။ System resistance နည်းလာလျှင် Y axis နှင့် ဝေးရာဘက်တွင် system curve အသစ်တစ်ခုသည် ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည်။



ပုံ ၆-၄၅ Damper fully open and Partially closed

၆.၁၀.၃ လေစစ်(Air Filter)များ ကြောင့် System Curve ပြောင်းလဲပုံ

အောက်ပုံသည် လေစစ်(air Filter) ကြောင့် system curve ပြောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၆-၄၆ လေစစ် (air filter) ညစ်ပေခြင်း(dirty)ကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှုဖြစ်ပေါ်လာပုံ

No Filter Point (P0, P3, P4)

P0 ၊ P3 ၊ P4 လိုင်းသည် လေစစ်(air Filter) မတပ်ဆင်ထားသောကြောင့် သို့မဟုတ် ဖြုတ်ထား သောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော system curve ဖြစ်သည်။

Operating point သည် system curve နှင့် fan curve တို့ ဖြတ်သွား သောကြောင့် ဖြစ် ပေါ်လာသော intersection Point ဖြစ် သည်။ လေစစ်(air Filter) မတပ်ဆင်ထားသည့် operating point သည် လေစီးနှုန်း (flow) 3.23 m^3/s နှင့် ဖိအား(total pressure) 510 Pa တို့ဖြတ်မှတ်(intersection point) ဖြစ်သည်။

Clean Filter တပ်ဆင်ထားသော Operating Point (P နှင့် P1)

P နှင့် P1 လိုင်းသည် လေစစ်အသစ်(clean air filter) တပ်ဆင်ထား သောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာ သော system curve ဖြစ်သည်။

Operating point သည် လေစီးနှုန်း(flow) 3.0 m^3/s နှင့် ဖိအား(total pressure) 531 Pa တို့ဖြတ်မှတ် (intersection point) ဖြစ်သည်။

ညစ်ပေသွားသော လေစစ် (Dirty Air Filter)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော Operating Point (P2)

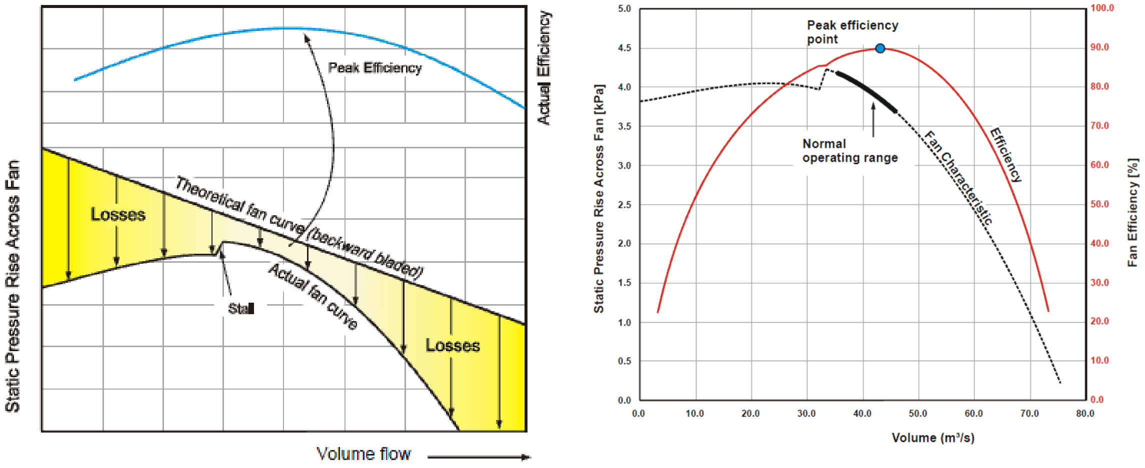
P2 လိုင်းသည် ညစ်ပေသွားသော လေစစ်(dirty air filter)တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော system curve ဖြစ်သည်။ Operating point သည် လေစီးနှုန်း(flow) 2.75 m^3/s နှင့် ဖိအား(total pressure) 550 Pa တို့ဖြတ်မှတ် (intersection point) ဖြစ်သည်။

ထိုကြောင့် လေစစ်(dirty air)များ ညစ်ပတ်သွားလျှင် ဖိအားကိုခုခံမှု(pressure resistance) ပိုများလာသည်။ ထိုကြောင့် လေခုခံအား(system resistance)များသွားကာ fan curve အသစ်ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ အထက်ပါ ဥပမာအရ လေစစ်(air filter)များ ညစ်ပတ်သွားခြင်းကြောင့် system pressure 531 Pa မှ 550 Pa သို့တက်သွားသည်။ ထိုကြောင့် လေစီးနှုန်း(air flow)သည် 3.0 m^3/s မှ 2.75 m^3/s သို့ လျော့ကျသွားသည်။ ထိုလျော့သွားသည့် လေစီးနှုန်း(air flow rate)ကို ပြန်ရရန်အတွက် fan သည် ပို၍ အလုပ်ပိုလုပ်သောကြောင့် စွမ်းအင် ပိုလိုအပ်သည်။

> ထိုကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) လျော့နည်းစေရန်အတွက် လေစစ်(air filter) များ သန့်ရှင်းနေရန် လိုအပ်သည်။

ပုံ (၆-၄၇)သည် backward blad centrifugal Fan တစ်လုံး၏ theoretical fan curve ဖြစ်သည်။ Centrifugal fan တစ်လုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို ဖိအား(pressure) နှင့် လေစီးနှုန်း (volume flow rate)တို့ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် "Pressure-Volume Curve"ဟု ခေါ်သည်။ Fan တစ်လုံး၏ ဖိအား (pressure)နှင့် လေစီးနှုန်း(volume flow rate)တို့ ဆက်သွယ်နေပုံ(relationship)ကို ဖော်ပြ ထားသည်။ ထို curve ကို fan curve ဟုခေါ်သည်။ "Fan Curve" သို့မဟုတ် "Pressure – Volume Curve" သည် fan တစ်လုံး၏ characteristic ကို ဖော်ပြသည်။ Centrifugal fan တစ်လုံး၏ power characteristic သည် လေစီးနှုန်း(volume flow)ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption)လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။

၆.၁၁ Fan Performance Curve သို့မဟုတ် Pressure - Volume Curve



ပုံ ၆-၄၇ Theoretical fan curve and actual fan curve

Fan characteristic curve တွင် X ဝင်ရိုး(X axis) သည် လေစီးနှုန်း(volume flow rate) ဖြစ်ပြီး Y ဝင်ရိုး(Y axis သည် static pressure ဖြစ်သည်။ SI ယူနစ် အသုံးပြုလျှင် fan curve များ၌ လေစီးနှုန်း(volume flow rate)ကို X ဝင်ရိုး(X axis)၌ CMH ဖြင့်ဖော်ပြသည်။ Pressure development ကို Y ဝင်ရိုး(Y axis)တွင် Pascal (Pa) ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

Fan တစ်လုံး၏ theoretical characteristic သည် straight line ဖြစ်သည်။ Rotational loss များ၊ frictional loss များ နှင့် incidence တို့ကြောင့် အမှန်တကယ်ရနိုင်သည့်ဖိအား(actual fan pressure) နည်းရခြင်း ဖြစ်သည်။ Incidence သည် impeller inlet တွင်ဖြစ်ပေါ်သည့် fluid နှင့် blade angle ကွာဟချက် သို့မဟုတ် ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။

> ပွတ်တိုက်မှုကြောင့်ဖြစ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(friction loss)သည် ပျမ်းမျှလေအလျင်(mean velocity) ၏ နှစ်ထပ်ကိန်း(square) နှင့်ညီသည်။ လေစီးနှုန်း(air flow rate)များလာလေလေ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု (pressure loss)များလာလေလေဖြစ်သည်။ Peak efficiency ရရှိန်၌ fluid angle နှင့် blade angle တို့သည် လုံးဝနီးပါး တူညီသည်။ ထို့ကြောင့် incidence မှာ zero ဖြစ်သည်။

Fluid angle နှင့် blade angle တစ်ခုထက် တစ်ခု ပိုများသွားသည် နှင့် တစ်ပြိုင်နက် incidence သည် zero မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။ Incidence များလာသည်နှင့်အမျှ ဆုံးရှုံးမှု(loss)လည်းလိုက်များလာသည်။ ထို့ကြောင့် peak ၏ ဘယ်ဘက်(left)၌ negative slop ဖြစ်ပေါ်ပြီး ညာဘက်(right)၌ positive slop ဖြစ်ပေါ်သည်။

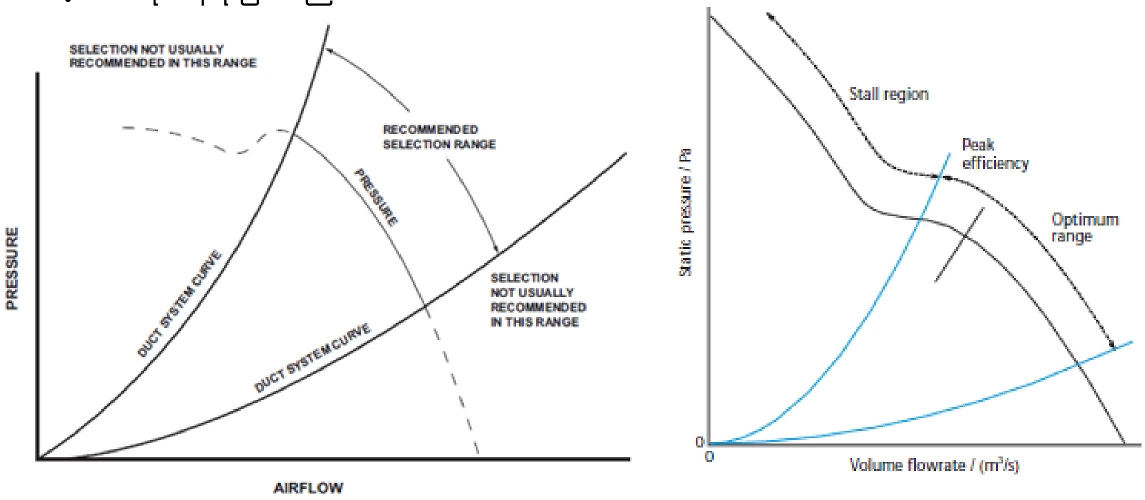
Fan ကို fan curve တစ်လျှောက်ရှိ point များတွင် မောင်းလျှင် စိတ်ချ(safe)ရသည်။ Curve ကို အပိုင်း (၃)ပိုင်းလျှင် အလယ်အပိုင်းသည် မောင်းရန်သင့်လျော်သော နေရာဖြစ်သည်။

> Fan curve တစ်ခု၌ စွမ်းအင်(power) မပြောင်းလဲသောကြောင့် လေစီးနှုန်း(air flow) များလာသည်နှင့်အမျှ ထို fan က ထုတ်ပေးသည့် ဖိအား(pressure)လည်း နှစ်ထပ်ကိန်း(square)ဖြင့် လိုက်နည်းလာသည်။ လေစီးနှုန်း (air flow) နည်းလာသည်နှင့်အမျှ ထို fan က ထုတ်ပေးသည့် ဖိအား(pressure)လည်း နှစ်ထပ်ကိန်း(square) ဖြင့် လိုက်များလာသည်။

> Duct system curve တစ်ခု၌ လေစီးနှုန်း(air flow) များလာသည်နှင့်အမျှ ထို duct system ၏ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)လည်း နှစ်ထပ်ကိန်း(square)ဖြင့် လိုက်များလာလိမ့်မည်။ Flow နည်းလာသည် နှင့်အမျှ ထို duct system ၏ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)လည်း နှစ်ထပ်ကိန်း(square)ဖြင့် လိုက် နည်းလာလိမ့်မည်။

ထို့ကြောင့် လေစီးနှုန်း(air flow) နည်းလိမ့်မည်၊ လိမ့်မည် သို့မဟုတ် ဖိအား(pressure) နည်းလိမ့်မည်၊ များလိမ့်မည် ကို ဆုံးဖြတ်ရန် (analysis)လုပ်ရန် အတွက် မည်သည့် curve ကို အသုံးပြုရမည်ကို သိရန်လိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် fan curve ကို reference လုပ်ရမည် သို့မဟုတ် system curve ကို reference လုပ်ရမည်ကို သဘောပေါက် နားလည်ရန် လိုအပ်သည်။

Fan ထုတ်လုပ်ရောင်းချသူများထံမှ fan curve ကို ရရှိနိုင်သည်။ Fan curve ကို အနည်းဆုံး လေစီးနှုန်း (air flow)[CFM] နှင့် static pressure[inch wg]များထံမှ အများဆုံး ဖော်ပြကြသည်။ Fan ကို fan curve ၏ နေရာတိုင်း၌မောင်းရန်မသင့်လျော်ပါ။ ထို fan curve တစ်လျှောက်တွင် ဘေးအစွန်းနှစ်ဘက် သည် အသုံးပြုရန် မသင့်သော နေရာဖြစ်သည်။ ဘယ်ဘက်အစွန်းသည် stall region ဖြစ်သည်။ ညာဘက်အစွန်းနေရာသည် efficiency အနည်းဆုံးနေရာဖြစ်သည်။ Fan curve ၏ အလယ် သုံးပုံတစ်ပုံ နေရာသည်သာ မောင်းရန် အသင့်တော်ဆုံး နေရာဖြစ်သည်။



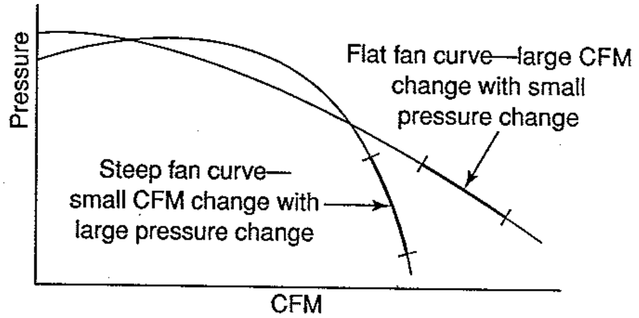
ပုံ ၆-၄၈ Typical centrifugal fan တစ်လုံး၏ Recommended Performance Range ကိုဖော်ပြထားသည်။

Efficiency curve သည် volume flow rate ပြောင်းလဲသည့်အလျှောက် fan ၏ efficiency ပြောင်းလဲနေပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Fan များကို peak efficiency တွင် မောင်းရန် ရည်ရွယ်၍ ရွေးချယ်သင့်သည်။ Peak efficiency တွင်သတ်မှတ်ထားသော load သို့မဟုတ် duty ရအောင်မောင်းရန် အတွက် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု (power consumption) အနည်းဆုံးဖြစ်သည်။ Peak efficiency တွင်မောင်းပါက အသံဆူညံမှု(noise level)လည်း အနည်းဆုံးဖြစ်သည်။ (efficiency vs noise curve ကိုကြည့်ပါ။)

Flat fan curve နှင့် Steep Fan curve

Flat fan curve များသည် pressure အနည်းငယ် ပြောင်းလဲရုံမျှဖြင့် လေစီးနှုန်း (flow rate)များစွာ ပြောင်းလဲသည်။ တစ်နည်း အားဖြင့် လေစီးနှုန်း(air flow)များစွာ ပြောင်းသော်လည်း ဖိအား(pressure) အနည်းငယ်သာ ပြောင်းလဲသည်။ Steep fan curve များသည် လေစီးနှုန်း(air flow rate) အနည်းငယ် ပြောင်းလဲရုံမျှဖြင့် ဖိအား (pressure) များစွာ ပြောင်းလဲသည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် ဖိအား(pressure) များစွာ ပြောင်းသော်လည်း လေစီးနှုန်း(air flow rate) အနည်းငယ်သာ ပြောင်းလဲသည်။



ပုံ ၆-၄၉ Steep curve and flat curve

Ducted system များတွင် လေများ တနေရာမှ တစ်နေရာသို့ ရောက်သွားရန်အတွက် fan သည် စွမ်းအင်(energy)ကို ဖိအား(pressure)အဖြစ် လေထဲသို့ ပို့ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ လေများ ပိုင်ဆိုင်သွားသည့် ဖိအား(pressure)သည် လေများ duct နံရံ(wall)များ တစ်လျှောက်တွင်ဖြစ်ပေါ်လာသော ပွတ်တိုက်မှု(friction) ကြောင့် ပျောက်ပျက်သွားရသည်။ အကွေး(bend)များ ၊ damper များ နှင့် duct section များ အရွယ်အစား(size) ပြောင်းခြင်း တို့ကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ဖြစ်ပေါ်သည်။

၆.၁၂ Fan Law (သို့မဟုတ်) Law Of Fan Performance

Fan law သည် fan curve အပေါ်ရှိ အမှတ်(point) တစ်နေရာအတွက်သာ တွက်ခြင်းဖြစ်သည်။

ပုံသဏ္ဍာန်တူသည့်(geometrically similar)fan များ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ကို fan law အသုံးပြု၍ ခန့်မှန်းယူ နိုင်သည်။ အတိအကျမှန်ကန်မှု ရှိခြင်း၊ မရှိခြင်းသည် ထို fan များ၏ မျက်နှာပြင်ချောမွေ့မှု(surface roughness) ၊ လေ သို့မဟုတ် ဓာတ်ငွေ့(gas)များ၏ viscosity တို့အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Fan Law သည် fan ၏

(၁) အရွယ်အစားပြောင်းသွားသည့်အခါ

(၂) မြန်နှုန်း(speed) ပြောင်းသွားသည့်အခါ

(၃) လေသိပ်သည်းဆ(density)ပြောင်းသွားသည့်အခါမျိုးတို့၌ fan ၏ လေစီးနှုန်း(volume flow)၊ ဖိအား (pressure) နှင့် စွမ်းအား(power)တို့ မည်ကဲ့သို့ ပြောင်းလဲသွားလိမ့်မည်ကို သိရှိရန်အတွက် တွက်ချက်မှုများ ပြုလုပ်သည့် အခါတွင် သုံးသည်။

Fan ၏ volume ပြောင်းလဲမှုကိုတွက်ရန်

$$Q_2 = Q_1 \times \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \text{ or } Q_2 = Q_1 \times \left(\frac{D_2}{D_1}\right)$$

Fan ၏ pressure ပြောင်းလဲမှုကိုတွက်ရန်

$$Pressure_2 = Pressure_1 \times \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \text{ or } Pressure_2 = Pressure_1 \times \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$
$$\text{or } Pressure_2 = Pressure_1 \times \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

Fan ၏ power ပြောင်းလဲမှုကိုတွက်ရန်

$$Power_2 = Power_1 \times \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \text{ or } Power_2 = Power_1 \times \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 \text{ or } Power_2 = Power_1 \times \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

Fan တစ်လုံး သို့မဟုတ် fan system တစ်ခုသည် operating condition ပြောင်းလဲသည့်အခါ ဖြစ်ပေါ်လာမည့် fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို ခန့်မှန်းရန်အတွက် fan law ကို အသုံးပြုသည်။

လိုအပ်သည့် operating condition ကို ပေးနိုင်မည့် operation point သို့မဟုတ် range ကို fan curve မှ ရနိုင်သည်။ Fan များ မောင်းနေသည့်အခြေအနေ(operating condition)ပြောင်းသွားသည့်အခါ သို့မဟုတ် fan အရွယ်အစား ပြောင်းသွားသည့် အခါမျိုးတွင် fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို ခန့်မှန်းရန်အတွက် fan law ကို အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ မည်သည့် fan အမျိုးအစားအတွက်မဆို အသုံးပြုနိုင်သည်။ သို့သော် ကန့်သတ်ချက် တစ်ခုမှာ ပုံသဏ္ဍာန်တူညီသည့် (geometrically similar) fan များ အတွက်သာ အသုံးပြုနိုင်သည်။ မှန်ကန်သည်။

အောက်တွင် fan law ဇယားကိုဖော်ပြထားသည်။အသုံးပြုထားသော symbol များမှာ အောက်ပါအတိုင်း ဖြစ်သည်။

- Q – Volume flow rate thru the fan. (CMH သို့မဟုတ် CFM)
- N – Rotational speed of the impeller.(rpm)
- P – Pressure developed by the fan(either static or total)
- Hp – Horsepower input to the fan.(Hp သို့မဟုတ် kW)
- D – Fan wheel diameter.
- W – Air density

လေသိပ်သည်းဆ(air density)သည် barometric pressure နှင့်တိုက်ရိုက်အချိုးကျသည်။ Barometric pressure များလေလေ လေသိပ်သည်းဆ(air density) များလေလေဖြစ်သည်။ Absolute temperature နှင့် ပြောင်းပြန်အချိုးကျ(inversely proporational)သည်။ Temperature နိမ့်လေလေ လေသိပ်သည်းဆ(air density) များလေလေဖြစ်သည်။

TABLE 5—FAN LAWS

VARIABLE	CONSTANT	NO.	LAW	FORMULA
SPEED	Air Density Fan Size Distribution System	1	Capacity varies as the Speed.	$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$
		2	Pressure varies as the square of the Speed.	$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$
		3	Horsepower varies as the cube of the Speed.	$\frac{Hp_1}{Hp_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$
FAN SIZE	Air Density Tip Speed	4	Capacity and Horsepower vary as the square of the Fan Size.	$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{Hp_1}{Hp_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$
		5	Speed varies inversely as the Fan Size.	$\frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{D_1}$
		6	Pressure remains constant.	$P_1 = P_2$
	Air Density Speed	7	Capacity varies as the cube of the Size.	$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$
		8	Pressure varies as the square of the Size.	$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$
		9	Horsepower varies as the fifth power of the Size.	$\frac{Hp_1}{Hp_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5$
AIR DENSITY	Pressure Fan Size Distribution System	10	Speed, Capacity and Horsepower vary inversely as the square root of Density.	$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{Hp_1}{Hp_2} = \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^{1/2}$
	Capacity Fan Size Distribution System	11	Pressure and Horsepower vary as the Density.	$\frac{P_1}{P_2} = \frac{Hp_1}{Hp_2} = \frac{W_1}{W_2}$
		12	Speed remains constant.	$N_1 = N_2$

အထက်ပါ fan law အရ (air density နှင့် fan အရွယ်အစား(size)ကို မပြောင်းလဲလျှင်)

(၁) Volume flow rate(Q)သည် Rotational speed(N)နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျသည်။

Rotational speed(N)များလျှင်Volume flow rate(Q)လည်းများသည်။

(၂) Pressure(P)(static or total)သည် Rotational speed(N)၏ နှစ်ထပ်(Square)နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျသည်။

Rotational speed(N)များလျှင်Pressure(P)(static or total)လည်းများသည်။

(၂) Horsepower input to the fan(Hp)သည် Rotational speed(N)၏ သုံးထပ်(Cube)နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျသည်။

Rotational speed(N)များလျှင်Horsepower input to the fan(Hp)လည်းများသည်။

ဥပမာ - Laws 1 မှ 3 အထိ

Given:	Air quantity - 33,120 CFM	Static pressure - 1.5 in wg
	Fan speed - 382 RPM	Brake horsepower - 10.5

အကယ်၍ fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)သည် 382 RPM မှ 440 RPM သို့ပြောင်းသွားလျှင် လေထွက်နှုန်း(capacity)၊ static pressure တို့ မြင်းကောင်ရေ(horsepower) တို့ကိုရှာပါ။

အဖြေ။

Capacity = $33{,}120\ x(\frac{440}{382})$= 38,150 CFM

Static pressure = $1.5\ x\ (\frac{440}{382})^2$ = 2.0 in. wg

Horsepower = $10.5\ x(\frac{440}{382})^3$ = 16.1 BHP

ဥပမာ

Given: A 30" fan operating in a system at 1,040 RPM, 10,000 CFM at 2.18 in. wg of static pressure and 5.77 bhp at sea level.

Find: The new operating parameters needed to operate at 12,000 cfm in the same system.

Solution:

$$N_2 = N_1\ x\ \frac{Q_2}{Q_1} = 1040\ rpm\ x\ \frac{12{,}000\ cfm}{12{,}000\ cfm} = 1248\ rpm$$

$$HP_2 = HP_1\ x\ \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 = 5.77\ bhp\ x\ \left(\frac{1248\ rpm}{1040\ rpm}\right)^3 = 9.97\ rpm$$

$$P_2 = P_1\ x\ \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = 2.18\ in.wg\ x\ \left(\frac{1248\ rpm}{1040\ rpm}\right)^2 = 3.14\ in.wg(Static\ Pressure)$$

ပုံ ၆-၅၀ တွင် fan curve နှင့် system curve ပေါ်တွင် original design point(point 1)ကိုဖော်ပြထားသည်။ လက်တွေ့မောင်းသည့်အခါ actual duct system သည် design သို့မဟုတ် calculated duct system ထက်ပို၍ လေခုခံအား(system resistance) များသည်။ ထိုအခါမျိုး၌ လက်ရှိ fan သည် မျှော်လင့်ထားသည့် လေစီးနှုန်း (volume rate)ကို မပေးနိုင်တော့ပေ။ ထို့ကြောင့် fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို မြှင့်(မြန်)ပေး ရန်လိုအပ်သည်။ Fan ၏ မြန်နှုန်း(speed) ကို မြှင့်(မြန်) ပေးသောကြောင့် fan curve အသစ် ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

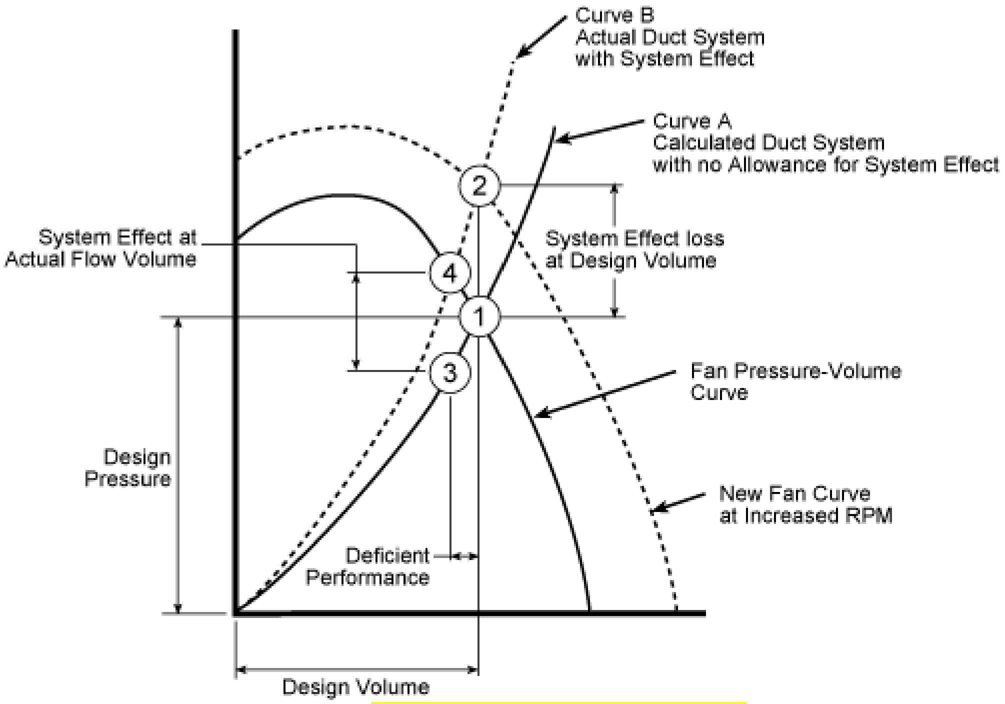
Point 1 သည် original design point ဖြစ်သည်။

Point 2 သည် acual duct System ၌ design volume ရရှိရန် အတွက် fan အပတ်ရေ RPM

မြင့်ထားသည့် new(corrected)system curve တွင်မောင်းနေသည့် operating point ဖြစ်သည်။

Point 3 သည် original system curve ပေါ်၌ရနိုင်သည့် deficient volume ဖြစ်သည်။

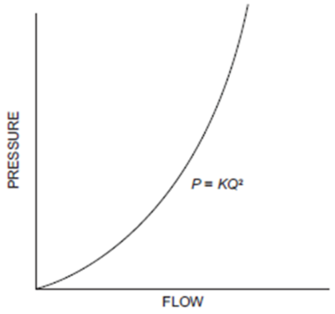
Point 4 သည် corrected system curve ပေါ်၌ရနိုင်သည့် deficient volume ဖြစ်သည်။



ပုံ ၆-၅၀ System resistance curve

အထက်ပါ အချက်များသည် လေသိပ်သည်းဆ(air density)နှင့် fan၏ မြန်နှုန်း(speed)တို့သည် ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသည့် အခြေအနေတွင် မောင်းသည် ဟုဆထားသည်။

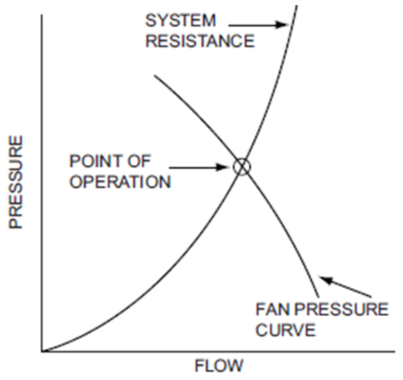
၆.၁၃ Fan Curves နှင့် System Resistance Curves



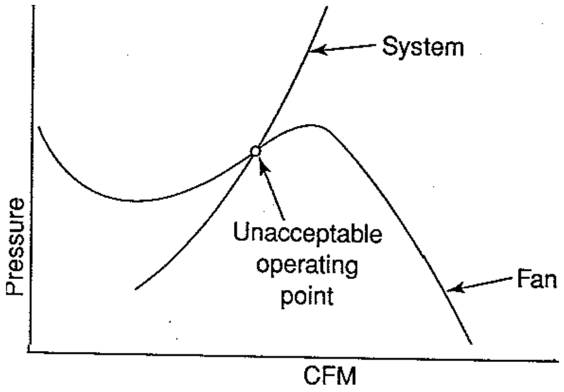
ပုံ ၆-၅၁ System resistance curve

Fan curve ဆိုသည်မှာ fan တစ်လုံး ကို မောင်းလျှင်ရရှိနိုင်မည့် လေစီးနှုန်း(air flow) [CFM သို့မဟုတ် CMH]နှင့် static pressure(inch wg သို့မဟုတ် Pascal)ကို ဂရပ်(graph)ပေါ်တွင် ဆွဲထားခြင်းဖြစ်သည်။ ထို fan curve ကြည့်ပြီး မိမိ မောင်းလိုသည် operating point သို့မဟုတ် operating range သို့မဟုတ် operating region ကို သတ်မှတ်နိုင်သည်။ မိမိမောင်းလိုသည့် လေစီးနှုန်း(air flow)[CFM]ကို သိထားလျှင် fan မှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် static pressure (inch wg)ကို ရနိုင်သည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် မိမိမောင်းလိုသည့် static pressure (inch WG)ကို သိထားလျှင် fan က ထုတ်ပေးနိုင်သည့် လေစီးနှုန်း(air flow)[CFM]ကို ရနိုင်သည်။

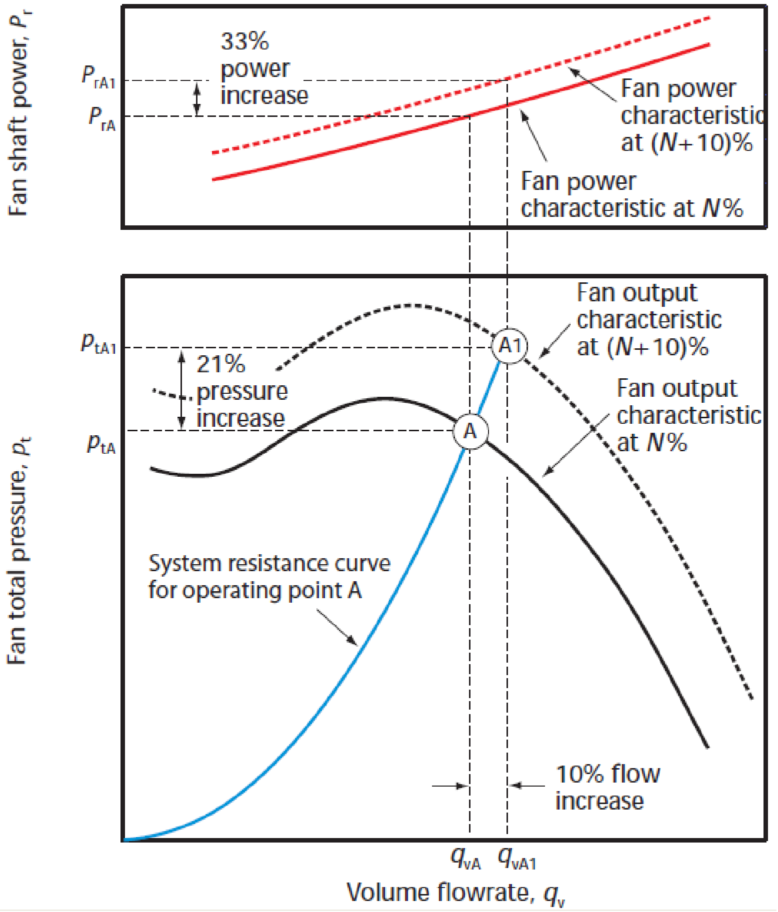


ပုံ ၆-၅၂ Typical operating point



ပုံ ၆-၅၃ Unacceptable operating point

အထက်ပါပုံသည် backward inclined centrifugal fan တစ်လုံး၏ တွေ့ရလေ့ရှိသော fan curve ဖြစ်သည်။

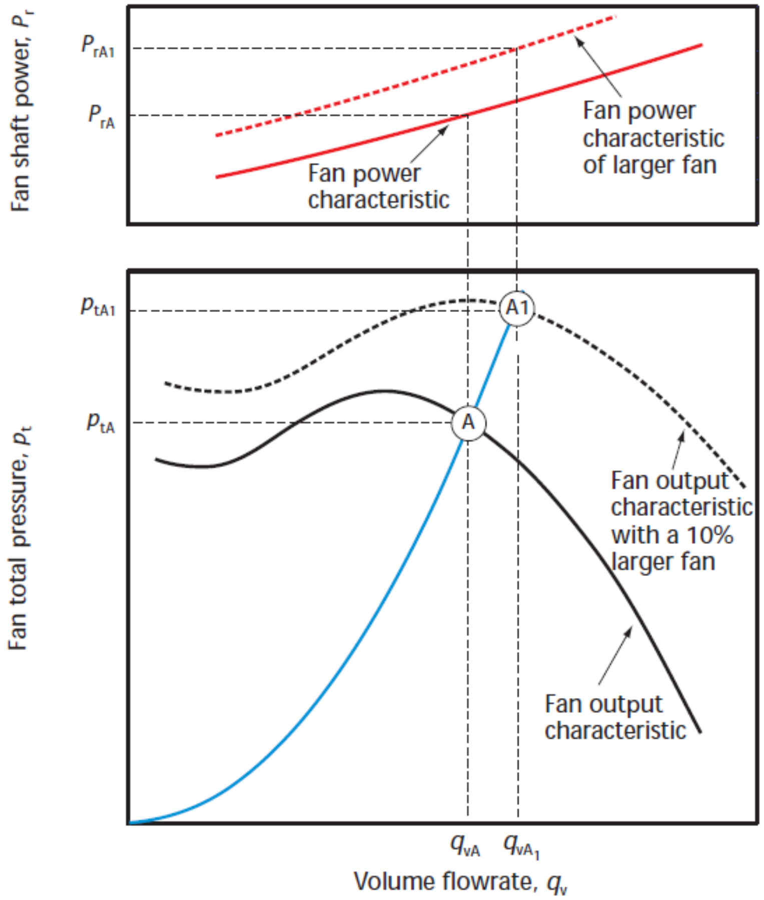


ပုံ ၆-၅၄

Fixed air system တစ်ခု၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure loss)သည် volume flow rate ၏ နှစ်ထပ်ကိန်း ဖြင့် အချိုးကျသည်။ ထို air system ကို fan ဖြင့် တပ်ဆင်၍ မောင်းလိုက်လျှင် fan က ထုတ်ပေးနိုင်သည့် pressure နှင့် system ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ပမာဏတူညီသည့်နေရာတွင် fan သည် ပုံမှန် မောင်းနေလိမ့်မည်။ ထိုနေရာသည် system resistance curve နှင့် fan curve တို့

ဖြတ်သည့်နေရာ(intersection point)ဖြစ်သည်။ ထို point ကို operating point ဟုခေါ်သည့် point A ဖြစ်သည်။

အကယ်၍ volume flow rate 10% ပိုများလိုပါက fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို 10% ပိုများအောင် ပြုလုပ်ပေးခြင်းဖြင့် ရရှိနိုင်သည်။ ထိုအခါ duct အတွင်း၌ ဖိအား(pressure) 21% ပိုများလာလိမ့်မည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေခုခံအား(system resistance) ၂၁% ပိုများလာလိမ့်မည်။ Fan ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှုန်း (power consumption)လည်း ၃၃% ပိုများလာလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် လေစီးနှုန်း(volume flow) 10% ပိုများစေရန်အတွက် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှုန်း(power consumption) ၃၃% ပိုပေးရသည်။ ထို့အတူ ပိုနေသည့် volume flow rate 10% ကိုလျော့ချနိုင်လျှင် စွမ်းအင် ချွေတာမှု(power saving) ၃၃% ဖြစ်နိုင်သည်။



ပုံ ၆-၅၅

လေစီးနှုန်း(air flow rate) ပိုများများရရန်အတွက် အရွယ်အစား(diameter) ပိုကြီးသည့် impeller ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)များလာခြင်း သို့မဟုတ် fan diameter ကြီးခြင်းကြောင့် fan curve အသစ်တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာက operating point အသစ်တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည်။

အထက်ပါပုံသည်(၁၀%ပိုကြီး သည့်) fan ၏ အရွယ်အစား သို့မဟုတ် impeller ၏ အရွယ်အစား ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် fan curve ပြောင်းလဲသွားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

လေသိပ်သည်းဆ(air density)ပြောင်းခြင်းကြောင့် fan curve နှင့် လေခုခံအား(system resistance) တို့ ပြောင်းလဲ သွားလိမ့်မည်။

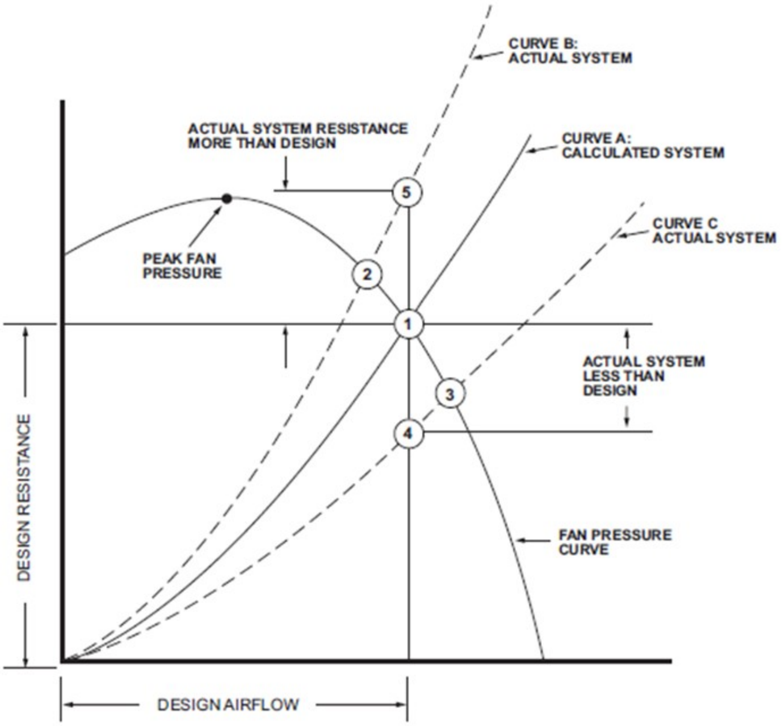
(က) လေစီးနှုန်း(flow rate)တစ်ခု၌ fan pressure သည် လေသိပ်သည်းဆ(air density)ကို လိုက်၍အချိုးညီ ပြောင်းလဲသည်။

(ခ) System pressure loss သည် လေသိပ်သည်းဆ(air density) နှင့် အချိုးညီလိုက်ပြောင်းလဲသည်။

ထိုကဲ့သို့ system အတွင်း ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို လေခုခံအား(system resistance) ဟုခေါ်သည်။ ထို ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ပမာဏသည် လေအလျင်(velocity) နှစ်ထပ်ကိန်း(square of the velocity)ဖြင့် ညီမျှသည်။ လေစီးနှုန်း(flow rate)ကို နှစ်ဆ များအောင်ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် fan မှ ထည့်ပေးရသည့် စွမ်းအင်(power)သည် လေးဆခန့် ပိုများလာလိမ့်မည်။ (constant system နှင့် constant air density အတွက်သာမှန်သည်။) အကယ်၍ damper ကို ပိတ်လိုက်ပါက ထို law သည် မမှန်တော့ပေ။

၆.၁၄ Design Operating Point နှင့် Actual Operating Point

Duct system များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် ဖိအား(pressure) နှင့် လေစီးနှုန်း(air flow) ကို အခြေခံ၍ fan များကို ရွေးချယ်ကြသော်လည်း ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် လေခုခံအား(system resistance) နှင့် actual system resistance တို့သည် တူညီလေ့မရှိပေ။



ပုံ ၆-၅၅

System curve A သည် calculated system(design system)curve ဖြစ်သည်။

<u>Operating Point 1 (Design Operating Point)</u>

Fan curve နှင့် system curve A (design)တို့ဖြတ်သည့်အခါ operating point 1 ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို point ကို Design operating point ဟုခေါ်သည်။ Design operating point သည် စာရွက်ပေါ်တွင်တွက်ချက်ကာ ရေးဆွဲထားသည့် point ဖြစ်သော ကြောင့် actual system resistance နှင့် တူညီလေ့မရှိပေ။

<u>Operating Point 2 (Actual System Resistance > Design System Resistance)</u>

Actual system resistance သည် Design System resistance ပိုများလျှင် actual system resistance curve B ဖြစ်ပေါ်လာ လိမ့်မည်ဖြစ်သည်။ ထိုအခါ operating point 2 ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည်။

operating point 2 သည် design condition ထက် resistance ပိုများပြီး flow နည်းသည်။

Operating Point 3 (Actual System Resistance < Design System Resistance)

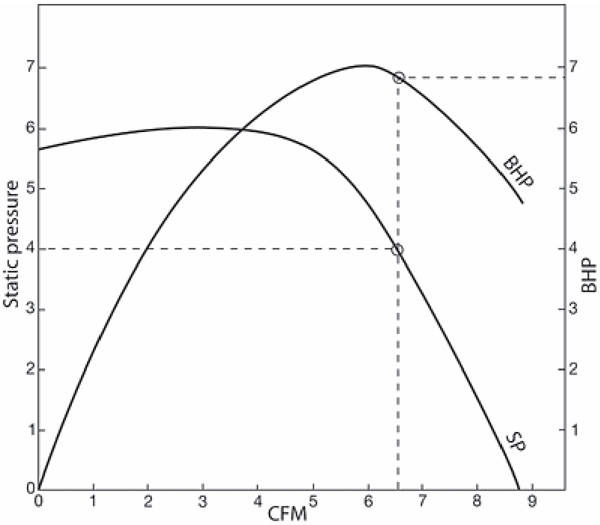
Actual system resistance သည် Design System resistance ပိုနည်းလျှင်actual system resistance curve C ဖြစ်ပေါ်လာ လိမ့်မည်ဖြစ်သည်။ ထိုအခါ operating point 3 ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည်။ operating point 3 သည် design condition ထက် resistance ပိုနည်းပြီး flow ပိုများသည်။

Operating Point 4

Actual system resistance သည် design system resistance ပိုနည်းပြီး design flow ကို ရလိုလျှင်operating
point 4 တွင်မောင်းရမည်။ Point 4 မောင်းရန်အတွက်(operation point ဖြစ်ရန်အတွက်)fan curve ကို ရွှေ့သွားအောင် လုပ်ပေးရန်လိုသည်။

Operating Point 5

Fan များကို လေထွက်အားကောင်းမကောင်းဖြင့်သာတိုင်းတာပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ actual system resistance သည် design system resistance ပိုများပြီး design flow ကို ရလိုလျှင် operating point 5 တွင်မောင်းရမည်။



ဤပုံသည် typical static pressure/hp curve, backward-inclined centrifugal fan curve နှစ်ခုကို graph တစ်ခုပေါ်တွင်တင်၍ ဆွဲထား ခြင်း ဖြစ်သည်။

Fan curve တစ်ခုမှာ လေစီးနှုန်း(air flow) [CFM] နှင့် static pressure(inch wg)ကို တည် ၍ ဆွဲထားခြင်း ဖြစ်ပြီး နောက်တစ်ခုမှာ လေစီးနှုန်း(air flow) [CFM] နှင့် သုံးစွဲသည့် power(BHP)ကို တည် ၍ဆွဲထားခြင်းဖြစ်သည်။ Graph တစ်ခု ပေါ်တွင် fan curve လိုင်းပေါင်းများစွာ ဆွဲနိုင် သည်။

ပုံ ၆-၅၆

Curve အရ 6,500 CFM(horizontal axis)ဖြင့် မောင်းသည့် အခိုက်၌ static pressure 4.0 inch wg (ဘယ်ဘက် vertical axis မှဖတ်သည်)ကို ရရှိနိုင်ပြီး 6.9 BHP (ညာဘက် vertical axis မှဖတ်သည်)ကို သုံးစွဲသည်။

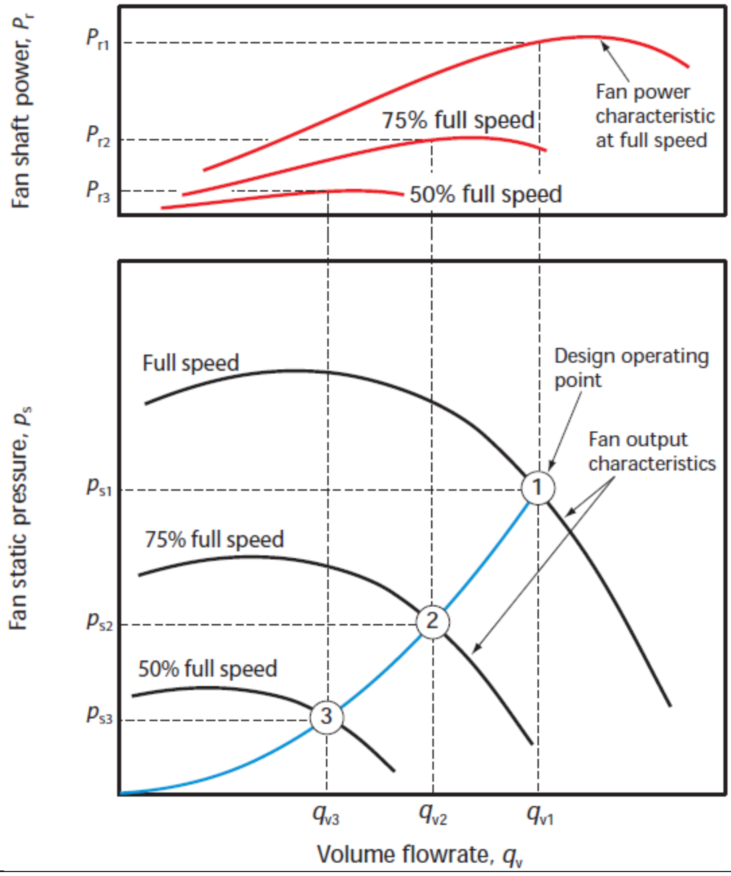
Fan curve အသုံးပြုသည့် ဥပမာ - ပုံတွင် ပြထားသည့် backward-inclined centrifugal fan များသည်

ယေဘူယအားဖြင့် လေစီးနှုန်း(air flow)[CFM] များလာလေလေ static pressure(inch wg) နည်းလာလေလေ ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် fan curve သည် ဘယ်ဘက်အမြင့် တစ်နေရာမှ ညာဘက်သို့ နိမ့်ဆင်း သွားသည်။

၆.၁၅ Fan Control

ယေဘူယျအားဖြင့် အဆောက်အဦးတစ်ဖက်မှ တခြားတစ်ဘက်သို့ မလိုအပ်ပဲ 1 liter/second နှုန်းရှိသည့် လေများကို ရွှေ့သွားအောင်ပြုလုပ်လျှင် 2 watt ခန့်မျှသော လျှပ်စစ်ဓာတ်အား(electrical power) အလဟာသ ဆုံးရှုံးမှုဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦးအတွင်းမှ အေးအောင်ပြုလုပ်ပြီးသည့်လေများ ကို စွန့်ထုတ်ပစ်ရန် (discharge လုပ်ရန်) လိုအပ်လျှင်လေ 1 liter/second တိုင်းအတွက် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား 16 watt ဆုံးရှုံးသည်။ 1 liter/second နှုန်းရှိသည့် လေအေး(cooled air)များ စွန့်ထုတ်လျှင်(discharge လုပ်လျှင်) 1 liter/second ရှိသည့် outdoor air (outside temperature)ကို အေးအောင်ပြုလုပ်ပြီးမှ အဆောက်အဦး အတွင်းသို့ ထည့်ပေးရသည်။ ထို့ကြောင့် fan များကို မလိုအပ်ပဲ အလွန်များသည့် လေစီးနှုန်း(volume flow rate)ဖြင့် မောင်းရန် မသင့်လျော်ပေ။

Fan ၏ လေစီးနှုန်း(volume flow rate)ကိုလျှော့ချလျှင် fan ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption) လည်း လျော့ကျသွားသည်။ ရေငွေ့ပါဝင်မှုနှုန်း နှင့် စက်ပစ္စည်းများ ပျက်စီးနှုန်းလည်း လျော့နည်းသွားသည်။



ပုံ ၆-၅၇

Designer များ၊ consultant များက fan များကို အမှန်တကယ်မောင်းမည့် flow နှင့် ဖိအား(pressure) ထက် အနည်းငယ် ပို၍များအောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားကြသည်။ တပ်ဆင်သည့်အခါ၌ တွေ့ကြုံရမည့် အခက် အခဲများ၊ မျှော်လင့်မထားသည့် ပြဿနာများကို ဖြေရှင်းကျော်လွှားရန်အတွက် safety factor အဖြစ် ထားရှိခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့အပြင် fan များကို တွက်၍ရသည့် လေထွက်နှုန်း(capacity)အတိုင်း ဝယ်ယူရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

Fan ထုတ်လုပ်သူများ ရောင်းချသည့် အရွယ်အစားအတိုင်း ဝယ်ယူတပ်ဆင်ရသည်။ထို့ကြောင့် တပ်ဆင်ထားသည့် fan များသည် အမှန်တကယ်လိုအပ်သည်ထက် ပို၍ကြီးမားသောကြောင့် စနစ်တကျ control လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

Fan ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity) ကို ထိန်းချုပ်(control)နိုင်သည့်နည်းများ

(က) Damper modulation နည်း

(ခ) Inlet vanes modulation နည်း(Fan blade/air geometry ပြောင်းပေးခြင်း နှင့်)

(ဂ) Blade pitch modulation နည်း

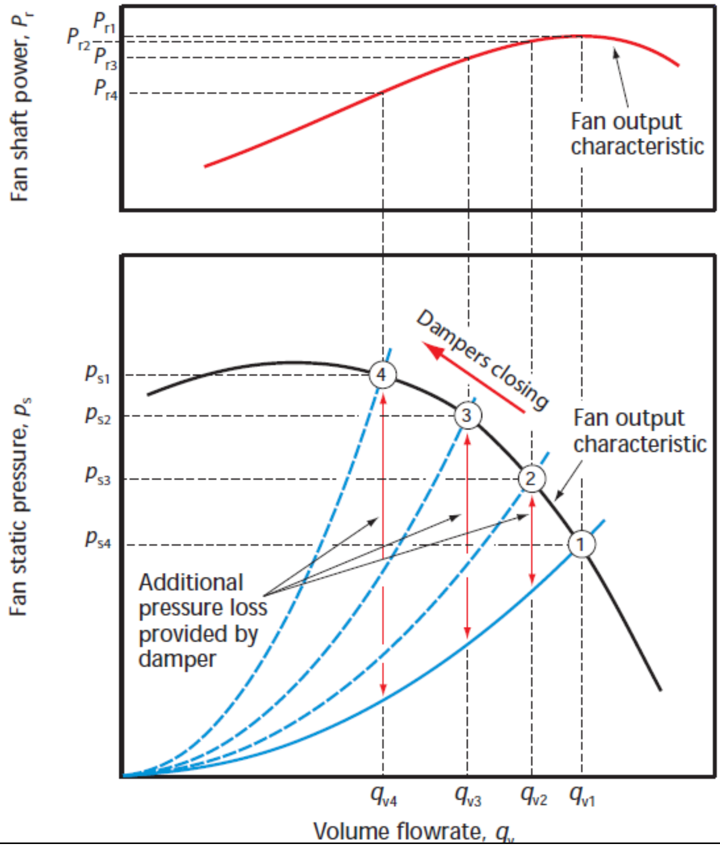
(ဃ) System geometry ပြောင်းပေးခြင်း (flow control by system damper regulation)

(င) မြန်နှုန်း(speed)ကို လိုသလို ပြောင်းပေးခြင်း(flow control by speed regulation) တို့ ဖြစ်သည်။

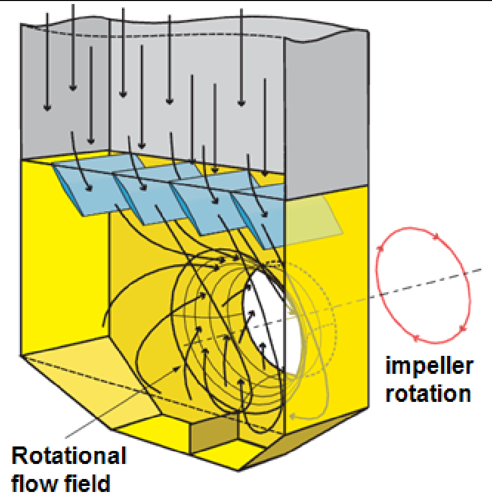
၆.၁၅.၁ မြန်နှုန်း(Speed) ပြောင်း၍ Control လုပ်ခြင်း(Flow Control by Speed Regulation)

Fan ၏ မော်တာ မြန်နှုန်း(speed)ကို ပြောင်းပေးခြင်းသည် အကောင်းဆုံး သောနည်းဖြင့် fan ကို control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ AC induction မော်တာ ၏ မြန်နှုန်း(speed)သည် supply frequency နှင့် pole အရေအတွက် ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Variable Speed Drive(VSD) သို့မဟုတ် Variable Frequency Drive(VFD) တပ်ဆင်၍ fan မြန်နှုန်း(speed)ကိုလိုသလို ပြောင်းလဲနိုင်သည်။ စွမ်းအင် ချွေတာမှု(energy saving) ဖြစ်ရန် အတွက် အကောင်းဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။

၆.၁၅.၂ System Damper ဖြင့် Control လုပ်ခြင်း(Flow Control by System Damper Regulation)

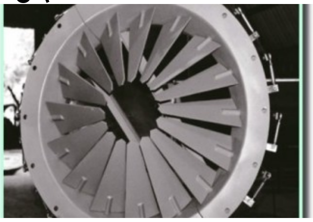


ပုံ ၆-၅၈ Flow control by system damper regulation(backward bladed centrifugal fan at constant speed)



ပုံ ၆-၅၉ Pre-rotation of inlet air by dampers

၆.၁၅.၃ Inlet Louver Damper နှင့် Inlet Guide vane ဖြင့် Control လုပ်ခြင်း



ပုံ ၆-၆၀ Inlet Guide vane

ပုံ ၆-၆၁ Inlet Guide vane

Centrifugal fan ဖြင့်မောင်းသည့် duct system တစ်ခု၌ ဖြစ်ပေါ်သောခုခံအား(system resistance) မပြောင်းလဲလျှင် centrifugal fan ၏ လေစီးနှုန်း(volume flow)သည် မပြောင်းလဲပေ။

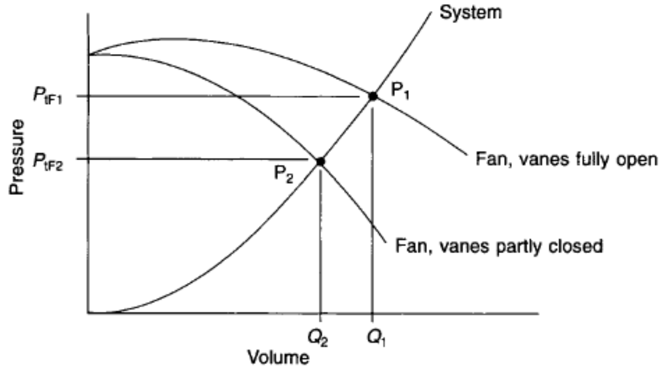
သို့သော် တစ်ခါတစ်ရံ centrifugal fan များကို part load condition များ၌ မောင်းရန်လိုအပ်သည်။

Part load condition များ၌ မောင်းလိုလျှင် inlet louver သို့မဟုတ် damper သို့မဟုတ် inlet guide vane control ကို အသုံးပြု၍ fan ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)ကိုလျှော့ချနိုင်သည်။

Inlet guide vane ကို impeller eye ၏ အရှေ့တည့်တည့် နေရာ၌ တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် လေများသည် တစ်ညီတစ်ညာတည်း impeller လည်သည့် direction (ဦးတည်ဘက်သို့)အတိုင်း impeller အတွင်းသို့ ဝင်သွားလိမ့်မည်။ Inlet louver များကို inlet box ၏ အဝ၌ တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။

Guide vane ကို ပိတ်ခြင်းဖြင့် fan ၏ ဖိအား(pressure)နှင့် လေစီးနှုန်း(volume flow rate) ကိုလျှော့နည်းသွား စေနိုင်သည်။ Fan အဝ(outlet)၌ ရှိသော damper ကို ပိတ်ခြင်းဖြင့်လည်း လေစီးနှုန်း(volume flow rate)ကို လျှော့ချနိုင်သည်။ သို့သော် fan pressure မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ ထိုအခါ fan ၏ operating point သည် stall ဖြစ်မည့် နေရာသို့ ချဉ်းကပ်သွားလိမ့်မည်။ Inlet guide vane ကို အသုံးပြု၍ fan ၏ လေစီးနှုန်း (volume flow rate)ကို လျှော့ချခြင်းသည် fan မောင်းရန်အတွက် လိုအပ်သောစွမ်းအင်(power)ကိုလည်း လျှော့နည်း သွားစေသည်။

Inlet guide vane ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော လေဖိအားဆုံးရှုံးမှု(loss)သည် inlet damper ကြောင့်ဖြစ်သော လေဖိအားဆုံးရှုံးမှု(loss) ထက်ပိုနည်းသည်။ ထို့ကြောင့် inlet guide vane ကို အသုံးပြုခြင်းဖြင့် စွမ်းအင်သက်သာခြင်း(power saving)နှင့် ကုန်ကျစရိတ် သွေ့တာနိုင်ခြင်း(cost saving)စသည့် အကျိုးကျေးဇူးများ ရစေနိုင်သည်။



ဘေးပုံသည် centrifugal fan တစ်လုံးတွင် တပ်ဆင်ထားသော inlet guide vane များ ပိတ်ခြင်း ဖွင့်ခြင်း ဖြင့် fan curve ပြောင်းလဲ သွားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Point P1 သည် guide vane များ လုံးဝပွင့်နေသည့် အခိုက်တွင် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် fan curve ဖြစ်သည်။ ထိုအခိုက်၌ fan သည် လေစီးနှုန်း(air flow rate) Q1 နှင့် Pressure P1 ကို ထုတ်ပေးနိုင်စွမ်းရှိသည်။

ပုံ ၆-၆၂

Point P2 သည် guide vane အနည်းငယ်သာ ပွင့်နေသည့် အခိုက်တွင် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် fan curve ဖြစ်သည်။ ထိုအခိုက် ၌ fan သည် လေစီးနှုန်း(flow rate) Q2 နှင့် ဖိအား(pressure) P2 ကို ထုတ်ပေးနိုင်စွမ်းရှိသည်။ guide vane လုံးဝပွင့်နေချိန်တွင် ရရှိနိုင်သည့် လေစီးနှုန်း(flow rate) Q1 နှင့် P1 သည် guide vane အနည်းငယ်သာ ပွင့်နေချိန်တွင် ရရှိနိုင်သည့် လေစီးနှုန်း(flow rate) Q2 နှင့် P2 ထက်ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် inlet guide vane များကို centrifugal fan များတွင် flow control လုပ်ရန်အတွက် တပ်ဆင်ကြသည်။

Fan ၏ Inlet Guide Vane(IGV) ပိတ်ခြင်း၊ ပွင့်ခြင်း နှင့် duct system မှ damper ပိတ်ခြင်း ပွင့်ခြင်းတို့ မတူပုံကို ကွဲပြားစွာ နားလည်ရန်လိုသည်။

၆.၁၆ Multiple Fan Systems - Fans in Series and Parallel

Air Conditioning and Mechanical Ventilation တွင် အသုံးပြုသော fan များသည် ဒီဇိုင်းလိုအပ်ချက် အရ ရွေးချယ်ထားသော single fan များဖြစ်ကြသည်။ ထို single fan ၏ လေစီးနှုန်း(air flow) အနည်းအများ လိုအပ်ချက်ကို damper များ၊ variable inlet vane များ၊ variable pitch blade များ၊ နှင့် Variable Speed Drive(VSD)များ ဖြင့် ထိန်းချုပ်မောင်းနှင်သည်။ Fanများ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို ရွေးချယ် သတ်မှတ်ရာတွင် နောင်တစ်ချိန်တွင် တိုးချဲ့ရန်(future expansion)နှင့် fan များ ကြာမြင့်စွာ မောင်းနှင်မှုကြောင့် စွမ်းဆောင်ရည် လျော့ကျလာမှု(deterioration)တို့ကိုပါ ထည့်သွင်းစဉ်းစားကြသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ တစ်လုံးထက် ပိုသည့် fan များကို အတွဲလိုက် တပ်ဆင်ကြသည်။ ဒီဇိုင်းလိုအပ်ချက်များကိုလိုက်၍ fan များကို တန်းဆက်(series)ပုံစံ သို့မဟုတ် ပြိုင်ဆက်(parallel)ပုံစံ မျိုးဖြင့်တပ်ဆင်ကြသည်။

ထိုသို့အတွဲလိုက် တပ်ဆင်ရသည့် အကြောင်းမှာ

(၁) Single fan အကြီး တစ်လုံး တည်းတပ်ဆင်ရန် နေရာမလုံလောက်သောကြောင့်သော်လည်းကောင်း

(၂) တပ်ဆင်ရမည့် နေရာအတွင် single fan အကြီး တစ်လုံး တည်း၏ အလေးချိန်(weight)ကို မခံနိုင်သောကြောင့် သော်လည်းကောင်း

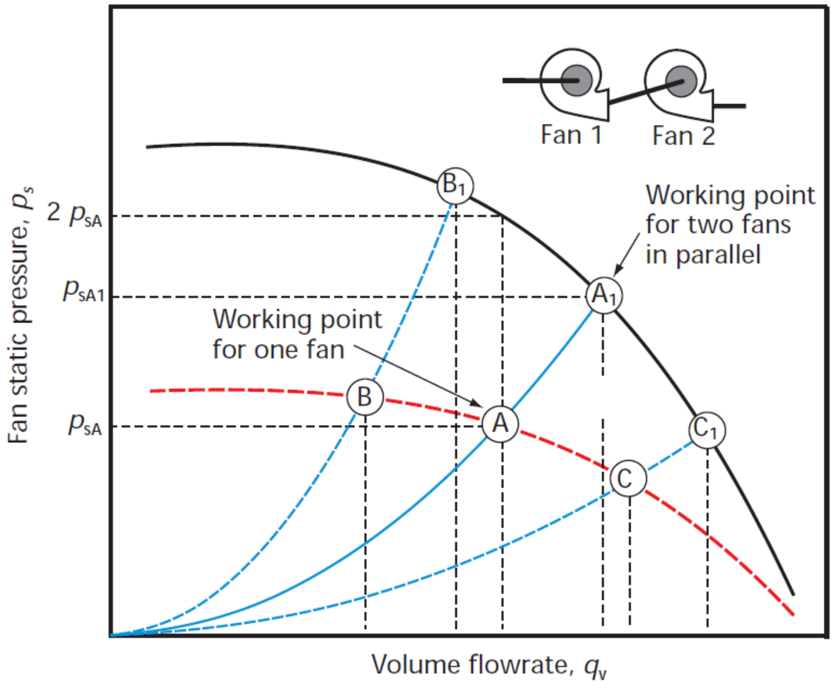
(၃) လိုအပ်သည့် ဒီဇိုင်း operating range သည် single fan တစ်လုံးဖြင့် မောင်း၍မရနိုင်လောက်အောင်

ကျယ်ပြန့်လွန်းနေသောကြောင့် သော်လည်းကောင်း

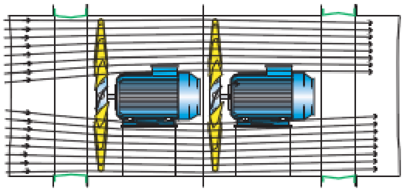
(၄) အထူးသဖြင့် အချိန်ကြာမြင့်စွာ very low flow rates မောင်းရန် လိုအပ်သည့်အခါ single fan ၏ ကုန်ကျစရိတ်(cost of operation) အလွန်များပြီးသောကြောင့် multiple fans များ မောင်းခြင်းဖြင့် ကုန်ကျစရိတ်ကို ချွေတာရန်အတွက် သော်လည်းကောင်း

(၅) လိုအပ်သည့် လေစီးနှုန်း(flow rate) ရရန်အတွက်သော်လည်းကောင်း
Critical system များ(computer room etc..)မီးလောင်သည့်အခါ ရုပ်တရက်ချက်ခြင်း high air flow ရရှိရန် ရည်ရွယ် တပ်ဆင်သည်။ Basement car park များတွင် သာမာန် အချိန် ventilation အတွက် 6 air change per hour လိုအပ်ပြီး "Fire Mode" တွင် smoke purging လုပ်ရန်အတွက် 10 air change per hour လိုအပ်သည်။ ထိုအခြေအနေ နှစ်မျိုးအတွက် ဖိအား(pressure)တူသည့် fan နှစ်လုံးကို ပြိုင်ဆက်(parallel)ပုံစံဖြင့် တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။

(၆) Fan များမောင်းသည့်အခါ အသံဆူညံမှုဖြစ်ပေါ်လာသည်။ ထို အသံဆူညံမှု(noise level)များကို ထိန်းချုပ်ရန်အတွက် single fan အစား fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(series)ပုံစံ တပ်ဆင်ပြီး(2 fans in series)မောင်းနှင်ကြသည်။ 2 fans in series တွင် fan တစ်လုံးသည် လိုအပ်သည် Pressure ၏ တစ်ဝက်ကို သာ တာဝန်ယူရသည်။



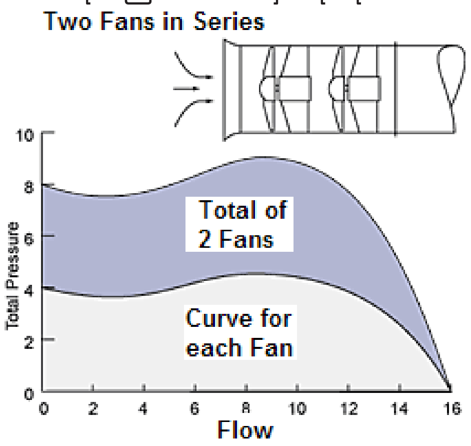
ပုံ ၆-၆၃ Characteristic for two fans in series



အားလုံးတူညီနေသည့် fan နှစ်လုံးကို အပြိုင်ပုံစံ (parallel)ဖြင့် တပ်ဆင်၍ မောင်းလျှင် လေစီးနှုန်း(volume flow rate) နှစ်ဆ ရရှိမည်။ သို့သော် လေခုခံအား(system resistance) တက်လာခြင်း ကြောင့် လက်တွေ့တွင် လေစီးနှုန်း(volume flow rate) နှစ်ဆ မရနိုင်ပေ။

ပုံ xx တွင်ပြထားသည်သည့်အတိုင်း fan တစ်လုံးတည်းသာ မောင်းသည့်အချိန်၌ point A သည် operating point ဖြစ်သည်။ အားလုံးတူညီသည့် နောက်ထပ် fan တစ်လုံး ထပ်၍မောင်းလျှင် operating point သည် point A မှ A1 သို့ ရွှေ့သွားသည်။

အထက်ပါပုံသည် axial fan နှစ်လုံးကို contra-rotating axial fan များအဖြစ် တပ်ဆင်ထားပုံ ဖြစ်သည်။



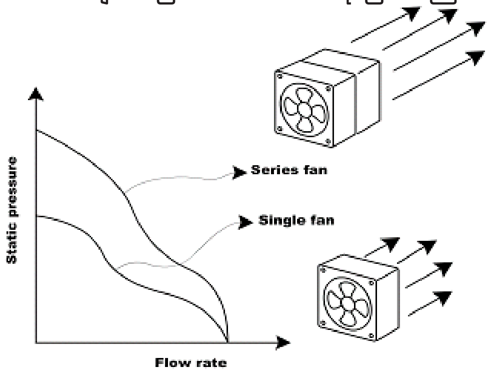


Figure 6 – The comparison between single fan operation and series fan operation

ပုံ ၆-၆၄ ပုံ ၆-၆၅

Fan များကို တန်းဆက်(fans in series)ပုံစံဖြင့် တပ်ဆင်လျှင် fan နှစ်လုံးသာ တပ်ဆင်ကြသော်လည်း ပြိုင်ဆက်(fans in parallel)ပုံစံဖြင့် နှစ်လုံးထက်မကသော fan များကို တပ်ဆင်နိုင်သည်။ ပြိုင်ဆက်(fans in parallel)ပုံစံတွင် plenum box ကိုပါအတူတကွတပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။

Fan တစ်လုံးခြင်းတွင် ကိုယ်ပိုင် fan curve ရှိသလို တန်းဆက်(fans in serie)ပုံစံ အတွက်သီးသန့် curve တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ ပြိုင်ဆက်(fans in parallel)ပုံစံအတွက်လည်း သီးသန့် fan curve တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ Fan curve တစ်ခုချင်းစီအနေဖြင့် stable ဖြစ်သည့် နေရာတွင် ရွေးချယ်ထားသော်လည်း fan များအားလုံးကို system အနေဖြင့် ပေါင်းလိုက်သည့်အခါ stable မဖြစ်သည့် surge area သို့မဟုတ် stall ဖြစ်သည့်နေရာ သို့ ရောက်သွား တတ်သည်။

၆.၁၆.၁ Two Fans in Series (Fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(series)ပုံစံဖြင့် တွဲဆက်ထားခြင်း)

AMCA rating ၏ သတ်မှတ်ချက် အရ fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(series)ပုံစံဖြင့် တွဲဆက်တပ်ဆင်ထားသည့် အခါ fan တစ်လုံးဖြစ်(single unit)ခေါ်ဝေါ်ပြောဆို တွက်ချက်ကြသည်။

> Fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(series)ပုံစံဖြင့် တပ်ဆင်၍ မောင်းလျှင် တစ်လုံးခြင်းစီ၏ လေစီးနှုန်း(air flow)သည် နှစ်လုံးပေါင်းထားသည့် fan ၏ လေစီးနှုန်း(air flow)နှင့် တူညီသည်။ သို့သော် series fan နှစ်လုံးပေါင်း၏ ဖိအား(total pressure)သည် တစ်လုံးချင်းစီ၏ total pressure နှစ်ခုပေါင်းခြင်းနှင့် ညီသည်။

Fan နှစ်လုံကို တန်းဆက်(2 fans in serie)ပုံစံဖြင့် တပ်ဆင်လျှင် fan နှစ်လုံးပေါင်း ၏ static pressure ဟုဖော်ပြမည့်အစား total pressures ဖြင့်သာ ဖော်ပြသင့်သည်။ Fan နှစ်လုံး၏ အရွယ်အစား မတူညီခြင်း သို့မဟုတ် ထို fan ဖြင့် တပ်ဆင်သည့် duct အရွယ်အစားသည် မတူညီခြင်း တို့ကြောင့်ဖြစ်သည်။

Fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(series)ပုံစံဖြင့် တပ်ဆင်ထားလျှင် "push-pull arrangement" မျိုးဖြစ်သည်။ Fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(series)ပုံစံ တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် static pressure နှစ်ဆ ရရှိနိုင်သည်။ သို့သော် operating point တိုင်းတွင် static pressure နှစ်ဆ မရနိုင်ပါ။ Fan curve အရ လေစီးနှုန်း(flow rate) များလာလေလေ static pressure နည်းလာလေလေ ဖြစ်သည်။ လေခုခံမှုအားများသည့်(high resistance) system သို့မဟုတ် low flow system များသည် 2 fan in series နှင့် သင့်လျော်သည်။

Two fans in series တစ်စုံ အတွက် ရိုးရှင်းလွယ်ကူသော ရွေးချယ်နည်းမှာ

(၁) System ၏ လိုအပ်သော total pressure ကို အရင်ရှာပါ။ သို့မဟုတ် သတ်မှတ်ပါ။

$$Total\ pressure\ =\ Velocity\ pressure\ +\ Static\ pressure.$$

(၂) Axial fan သို့မဟုတ် inline fan တစ်လုံးခြင်းစီ၏ လေစီးနှုန်း(flow rate)သည် fan နှစ်လုံးပေါင်း (system)၏ လေစီးနှုန်း(flow rate)နှင့် တူညီသည်။ Axial fan သို့မဟုတ် inline fan တစ်လုံးခြင်းစီ၏ total pressure သည် system ၏ total pressure တစ်ဝက်ဖြစ်သည်။

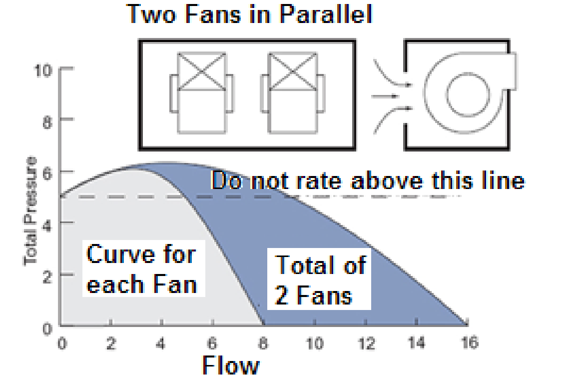
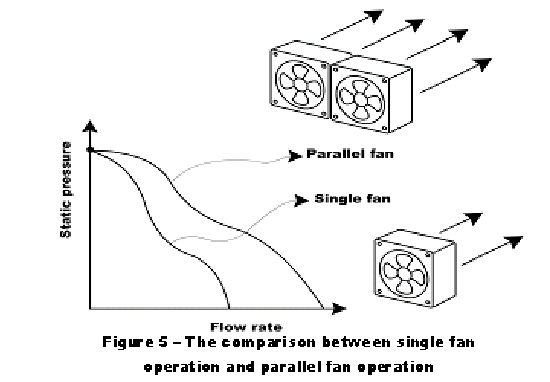
ထို fan နှစ်လုံးကို တန်းဆက်(series)ပုံစံအဖြစ် တပ်ဆင်သည့်အခါ လေခုခံအား(system resistance)ကို ထည့်စဉ်းစားရန် လိုသည်။ ထိုကဲ့သို့ တပ်ဆင်လျှင် fan တစ်လုံးခြင်းစီ(individual)၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)သည် မတူညီနိုင်ပါ။ ထို fan နှစ်လုံးသည် တူညီသော mass flow ဖြင့်သာ လည်ပတ်နေပြီး တူညီသော လေထုထည်စီးနှုန်း(volumetric flow rate)ဖြင့် လည်ပတ်နေခြင်း မဟုတ်ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် fan တစ်လုံးခြင်းစီ၌ အဝင်ဖိအား(inlet absolute pressure) နှင့် အပူချိန်(temperature)တို့ မတူညီနိုင်သောကြောင့် inlet density လည်း မတူညီကြပေ။

ထိုကဲ့သို့ လေသည်ရောက်ရှိသည့်နေရာကိုလိုက်၍ ဖိအား(pressures) ၊ အပူချိန်(temperatures) နှင့် ထုထည်(volume)တို့ ပြောင်းလဲနေသည်အခါ သင့်လျော်သော fan ကို ရွေးချယ်ခြင်းအတွက် ခက်ခဲမှုများ ဖြစ်လာသည်။ ထို အခက်အခဲများကို လွယ်ကူစေရန် system ၏ total pressure နှင့် ရွေးချယ်မည့် fan ၏ total pressure ကို ညီအောင် ရွေးချယ်ခြင်းဖြင့် လွယ်ကူအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

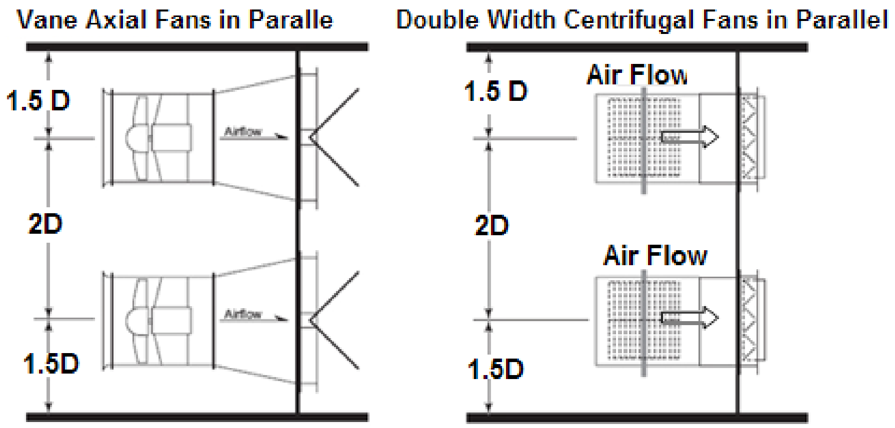
၆.၁၆.၂ Two Fans in Parallel (Fan နှစ်လုံးကို ပြိုင်ဆက်(parallel)ပုံစံဖြင့် တွဲဆက်ထားခြင်း)

Fan in parallel operation ဆိုသည်မှာ နှစ်လုံးထက်ပိုသော fan များကို ဘေးခြင်းယှဉ်ပြီး ပြိုင်တူမောင်းခြင်း(blowing together side by side)ကို ဆိုလိုသည်။ Free delivery အခြေနေမျိုးတွင် fan နှစ်လုံး မောင်းသောကြောင့် လေစီးနှုန်း(volume flow) နှစ်ဆ ရရှိနိုင်သော်လည်း လေခုခံအား(system resistance) များလာ လေလေ ရရှိနိုင်သော လေစီးနှုန်း(volume flow) နည်းလာ လေလေဖြစ်သည်။ လေခုခံအားနည်းသည့်(low resistance) system များသည် ပြိုင်ဆက်ပုံစံ(fan in parallel)နှင့် သင့်လျော်သည်။ Plenum box များဖြင့် တပ်ဆင်သည် ပြိုင်ဆက်(fans in parallel)ပုံစံကို အများဆုံး တွေ့ရလေ့ရှိသည်။

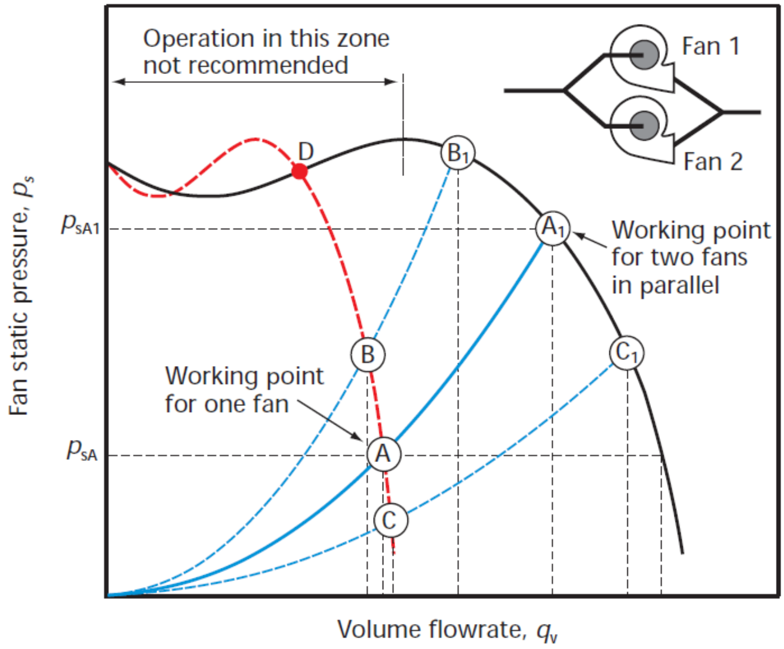
Fans in parallel အတွက် fan တစ်လုံးချင်းစီကို ရွေးချယ်ရန် ပိုမိုလွယ်ကူသည်။ System ၏ static သို့မဟုတ် total pressure သည် fan တစ်လုံးခြင်းစီ၏ static သို့မဟုတ် total pressure ဖြစ်သည်။ system ၏ total flow rate ကို တပ်ဆင်မည့် fan အရေအတွက်နှင့် စားလျှင် fan တစ်လုံးခြင်းစီ၏ လေစီးနှုန်း(flow rate)ကို ရသည်။ သို့သော် ပြိုင်ဆက်(parallel)ပုံစံ တပ်ဆင်ရန် fan များကို ရွေးသည့်အခါ system တစ်ခုလုံး၏ ခုခံအား(resistance)သည် fan curve တစ်ခုခြင်းစီ၏ stable ဖြစ်သည့် နေရာတွင် အချိန်တိုင်း (မည်သည့် loading ဖြစ်ပါစေ)ရောက်ရှိနေရန် လိုအပ်သည်။

	
ပုံ ၆-၆၆ Two fans in parallel curve	ပုံ ၆-၆၇ Two fans in parallel curve

Fan များတွင် ဝန်မညီမျှမှု(unequal loading)ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ထိုအခါ တပ်ဆင်ထားသည့် motor load ၌လည်း ဝန်မညီမျှမှု ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Plenum ထဲတွင်လည်း unequal velocity profile ဖြစ်ပေါ်နိုင်ကာ system တစ်ခုလုံးကို ထိခိုက်စေနိုင်သည်။



ပုံ ၆-၆၈ Vane axial fans in parallel and double width centrifugal fans in parallel.



ပုံ ၆-၆၉ Characteristic for two fans in parallel

၆.၁၆.၃ Additional Consideration

System တစ်ခုသည် တစ်လုံးထက်ပိုသည့် fan များဖြင့် တပ်ဆင်သည့် အခါမျိုး၌ fan တစ်လုံးတည်းသာမောင်းသည့်အခါ သို့မဟုတ် fan နှစ်လုံး သို့မဟုတ် သုံးလုံး သို့မဟုတ် fan အားလုံးမောင်းသည့်အခါ စသည့် အခြေအနေအမျိုးမျိုးကို ထည့်သွင်းစဉ်းစားရန်လိုအပ်သည်။ ထို့အပြင် fan တစ်လုံး ပျက်သည့်အခါ၊ ပြုပြင်လိုသည့်အခါ၊ fan များကို စတင်မောင်း(start-up)သည့်အခါ စသည့် အခြေအနေအမျိုးမျိုးကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားရန်လိုအပ်သည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် system curve နှင့် fan curve သည် stable operating point တစ်နေရာတွင် ဆုံကြသည့်အခါ(intersect)၌ fan များကို စတင်မောင်းသည့်(start-up)အခါဖြစ်စေ သို့မဟုတ် အဆက်မပြတ်မောင်းသည့်အခါဖြစ်စေ(continuous operation) မည့်သည့် ပြဿနာမှ မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။

Centrifugal fan များ သို့မဟုတ် fixed pitch vane axial fan များကို တစ်လုံးခြင်းစီ start-up လုပ်နိုင်သည် ။ VSD သို့မဟုတ် soft starter များ တပ်ဆင်ထားသည့်အခါ fan အားလုံးကို တစ်ပြိုင်နက်

စတင်မောင်းနိုင်သည်။ Fan ကို စတင်မောင်း (start-up)နေစဉ် inlet vane များ သို့မဟုတ် damperများကို ပိတ်ထားခြင်းသည် အကောင်းဆုံးသောနည်း ဖြစ်သည်။ ထိုသို့ စတင်မောင်း (start-up)နေစဉ် inlet vane များ သို့မဟုတ် damper များကို ပိတ်ထားပြီး လိုအပ်သော မြန်နှုန်း (speed) သို့မဟုတ် full speed သို့ရောက်မှသာ ဖွင့်ခြင်းဖြင့် စွမ်းအင်(horsepower) လိုအပ်မှုကို လျှော့နည်းစေသည်။ စမောင်းနေစဉ် ဖြစ်ပေါ်သည့် starting ampere ကို လျှော့နည်းစေသည်။

Variable pitch vane axials fan curve ၌ အထစ်များ(dips) ရှိနေတတ်သည်။ ထိုကြောင့် စတင်မောင်းသည့်အခါတွင် blade pitch angle များကို လျှော့ချသင့်သည်။ လိုအပ်သောမြန်နှုန်း(speed) သို့ရောက်သော အခါမှသာ blade pitch angle ကို ပြန်ဖွင့်ရန် ဖြစ်သည်။ အကောင်းဆုံးသောနည်းသည် ရှိသမျှ multiple fan များ ၏ blade pitch angle များကို ပိတ်ပြီး fan တစ်လုံးခြင်းကို start up လုပ်ပါ။ Fan များ အားလုံး အရှိန်ရပြီးနောက် blade pitch angle များကို ပြန်ဖွင့်ရန်ဖြစ်သည်။

Fans in parallel များတွင် မောင်းနေသည့် fan မှ လေများသည် မမောင်းသည့် fan ထဲသို့ မဝင်ရောက်နိုင်ရန် isolation damper များ တပ်ဆင်ရန်လိုအပ်သည်။ ထိုသို့ isolation damper များ တပ်ဆင်ခြင်းကြောင့် စတင်မောင်းစဉ်ဖြစ်ပေါ်တတ်သည့်(shock during start-up) ပြဿနာကို လည်းဖယ်ရှား နိုင်သည်။

၆.၁၆.၄ Isolation Damper အမျိုးအစားများ

Wheel အတွင်းသို့ လေနှစ်ဘက်စလုံးမှ ဝင်သည့်(double width) centrifugal fan များအတွက် Backdraft သို့မဟုတ် opposed-blade control damper များကို isolation damper အဖြစ်အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။ Butterfly damper များသည် tubular inline fans (axial ၊ centrifugal and mixed flow)တွင် အများဆုံးတွေ့ရလေ့ရှိသည်။

Parallel fan များအတွက် isolation damper များကို fan ၏ (up stream ၌ဖြစ်စေ၊ down stream ၌ ဖြစ်စေ) အဝေးဆုံးနေရာတွင် တွေ့ရလေ့ ရှိသည်။ ထိုသို့ အဝေးဆုံးနေရာတွင်ထားရှိခြင်းမှာ damper များ ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)ကို နည်းနိုင်သမျှ နည်းအောင် လျှော့ချရန်ဖြစ်သည်။

Equipment အားလုံးသည် ထိန်းသိမ်းရန်(maintenance)နှင့် ပြင်ဆင်ရန်(repair)လိုအပ်သည်။ Fans in parallel တွင် fan တစ်လုံးပျက်သည့် တိုင်အောင် တခြားသော fan များကို မောင်းနိုင်အောင် isolation dampers တပ်ဆင် ထားရန်လိုအပ်သည်။ Isolation damper များတပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် Parallel fan တစ်လုံးကပြင်ဆင်နေချိန်တွင် အခြား fan တစ်လုံးသည် ဆက်လက် မောင်းနေနိုင်သည်။ တန်းဆက်(serie)ပုံစံ အနေဖြင့် တပ်ဆင်ထားသည့် fan တစ်လုံးသည် မောင်းနေချိန်၌ အခြား fan တစ်လုံးကို ပြုပြင်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

၆.၁၆.၅ Review

System တစ်ခုတွင် တစ်လုံးထက်ပိုသည့်(multiple) fan များ series ပုံစံဖြင့်ဖြစ်စေ သို့မဟုတ် parallel ပုံစံဖြင့်ဖြစ်စေ တပ်ဆင်ထားသည့်အခါ အောက်ပါ မေးခွန်းများဖြင့် စစ်ဆေးရန် လိုအပ်သည်။

(က) System တစ်ခုလုံး၏ လေစီးနှုန်း(air flow)နှင့် ဖိအား(pressure) လိုအပ်ချက်များသည် fan များ တစ်ခုခြင်း သို့မဟုတ် အားလုံးတစ်ပြိုင်နက် မောင်းသည့် အခါ curve ၏ stable ဖြစ်သည့်နေရာတွင် ရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးရန်လိုသည်။

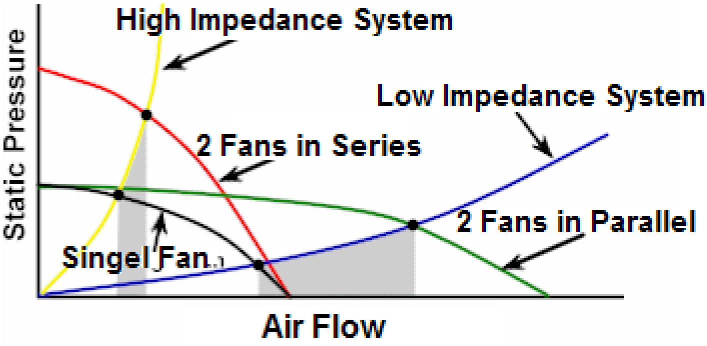
(ခ) Fan များ၏ အရေအတွက် နှင့် မော်တာလိုအပ်ချက်များ ကိုက်ညီမှုရှိ၊ မရှိစစ်ဆေးရန်လိုအပ်သည်။

(ဂ) Isolation damper များသည် fan များ စမောင်းရန်(start up) နှင့် ရပ်နားရန်(shut down) သေချာစွာ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားမှုရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးရန်လိုသည်။

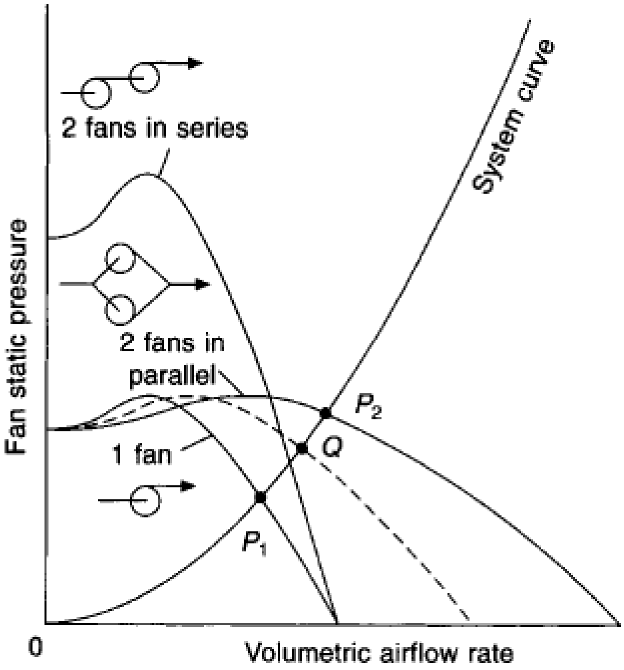
(ဃ) လက်ခံနိုင်သည့် လေယိုစိမ့်မှု(leakage) ထက်ကျော်၊ မကျော် စစ်ဆေးရန် လိုအပ်သည်။ System

တစ်ခုလုံး၏ လိုအပ်ချက်များသည် operating condition အားလုံးနှင့် ကိုက်ညီမှုရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးရန်လိုသည်။

(c) Fan များ တစ်လုံးခြင်း သော်လည်းကောင်း၊ အားလုံးသော်လည်းကောင်း၊ မောင်းသည့် အချိန်တွင် လက်ခံနိုင်သည် ဆူညံမှုအဆင့် ရှိ၊ မရှိကို စစ်ဆေးရန်လိုသည်။



ပုံ ၆-၇၀ Series Vs Parallel performance



ပုံ ၆-၇၀ 2 fans in series နှင့် 2 fans in paralle

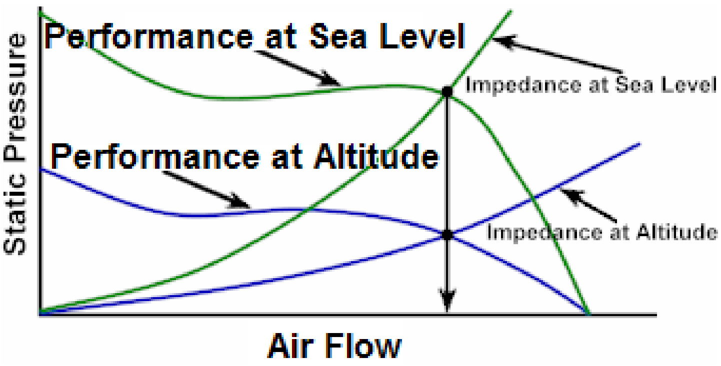
အထက်ပါ ပုံ အရ high resistance system များသည် 2 fan in series နှင့် သင့်လျော်သည်။

Low resistance system များသည် fan in paralle နှင့်သင့်လျော်သည်။

၆.၁၇ လေ၏ သိပ်သည်းဆကြောင့် Fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(Performance)ပြောင်းလဲခြင်း

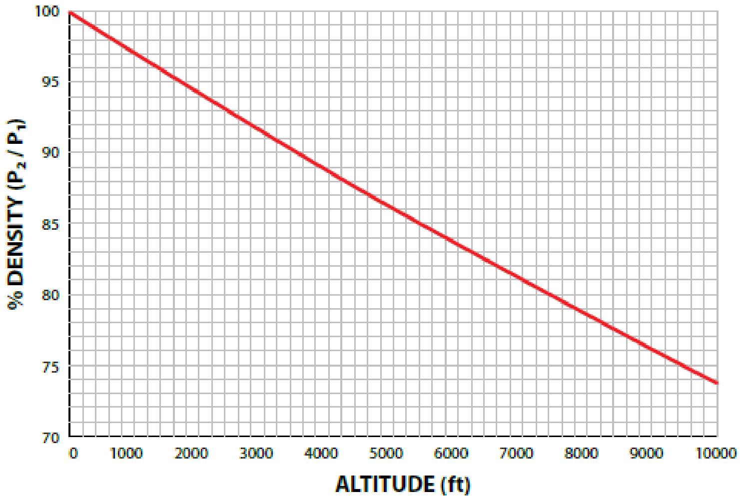
လေ၏ သိပ်သည်းဆကြောင့် fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ပြောင်းလဲ(density effects on fan performance) သည်။ Fan များသည် constant volume machine များဖြစ်ကြသည်။ ထို့ကြောင့် လေ၏ သိပ်သည်းဆ(density) မည်မျှပင်ဖြစ်ပါစေ တူညီသော CFM သို့မဟုတ် CMH ကို ပေးပို့နိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေ၏ သိပ်သည်းဆ မတူညီခြင်းကြောင့် mass flow rate သာ ပြောင်းလဲသည်။ Volume flow rate မပြောင်းလဲပေ။

Fan များသည် constant mass flow machine များ မဟုတ်ပါ။ Mass flow သည် လေ၏ သိပ်သည်းဆ(density)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ ထိုအချက်သည် မတူညီသည့်အမြင့်(altitude) တွင်မောင်းမည့် equipment များ အတွက် အလွန် အရေးကြီးသည်။



Standard density of Air
I-P = 0.075 lb/ft^3
metric = 1.201 kg/m^3
SI = 1.201 kg/m^3

ပုံ ၆-၇၁ လေသိပ်သည်းဆ(air density)ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်ပြောင်းလဲပုံ



ပုံ ၆-၇၂ Effects of Altitude on Air Density Ratio

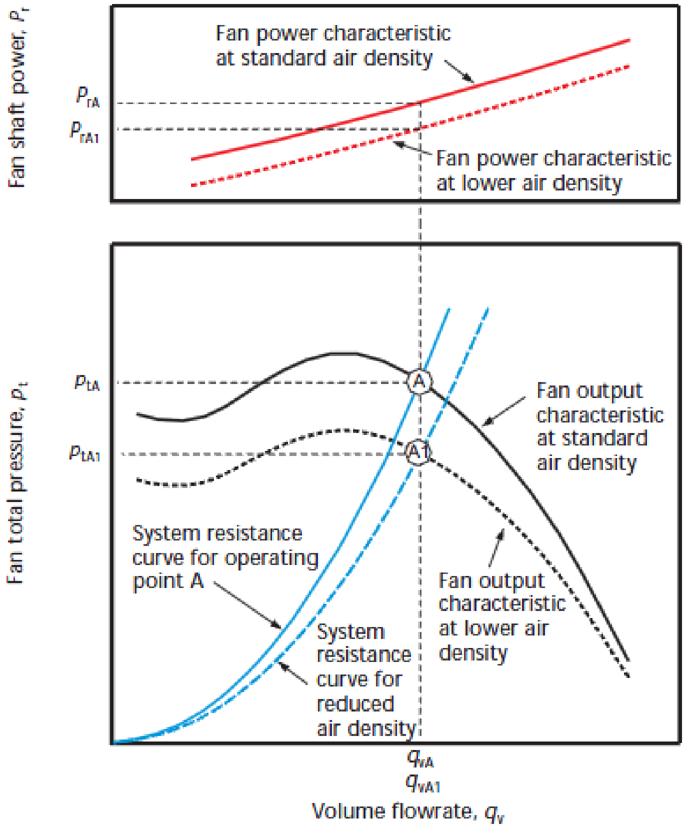
Mass flow သည် လေ၏ သိပ်သည်းဆ(density)နှင့် တိုက်ရိုက်ပြောင်းလဲ နေသည်။ သို့သော် volume flow(CFM)သည် အမြဲတူညီနေသည်။ AHU များအတွက် လေ၏ သိပ်သည်းဆနည်းသည့်(density decreased)နှင့် အမျှ mass flow သည်လည်း လျော့နည်းလာသည်။ ထို့ကြောင့် effective cooling capacity သိသိသာသာ လျော့နည်းလာသည်။ ထို့ကြောင့် လိုအပ်သော cooling အတွက် သင့်လျော်သော mass flow ရရှိရန် လိုအပ်သည်။

Fan များသည် ယေဘူယျအားဖြင့် constant volume ကိုထုတ်ပေးသော စက်များ(machines) ဖြစ်ကြသည်။ လေသိပ်သည်းဆ(air density) များသည်ဖြစ်စေ၊ နည်းသည်ဖြစ်စေ မြန်နှုန်း(rotational speed) မပြောင်းလဲသမျှ လေစီးနှုန်း(volume flow)လည်း မပြောင်းလဲပေ။ အမြင့်(altitude)ကြောင့် လေထုထည်စီးနှုန်း(volumetric flow) မပြောင်းလဲပေ။

သို့သော် လေသိပ်သည်းဆ(air density) ကိုလိုက်၍ mass flow ပြောင်းလဲသည်။ လေသိပ်သည်းဆ(air density) များလျှင် mass flow များပြီး စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption) များသည်။ အမြင့်(altitude) ရောက်လေလေ လေသိပ်သည်းဆ(air density) နည်းလာလေလေ ဖြစ်ပြီး mass flow လည်း နည်းသွားလိမ့်မည်။

Standard air density ထက် ၂၀% ကျဆင်းသွားလျှင် fan ၏ ဖိအား(pressure) နှင့် လေခုခံအား (system resistance) နှစ်မျိုးလုံး ၂၀% လိုက်၍ နည်းသွားလိမ့်မည်။ သို့သော် လေစီးနှုန်း(volume flow

rate)သည် မပြောင်းလဲပေ။ သို့သော် mass flow rate သည် ၂၀% ကျဆင်း သွားလိမ့်မည်။ Fan မောင်းသည့် နေရာတွင် အပူချိန်မြင့်(high temperature operation)လျှင် သော်လည်းကောင်း၊ ပင်လယ်ရေပြင်ထက်မြင့်လျှင် သော်လည်းကောင်း (high altitude)တို့တွင် လေသိပ်သည်းဆ(air density) နည်းသွားသည်။



ပုံ ၆-၇၃ လေသိပ်သည်းဆ(air density)ပြောင်းလဲခြင်း

၆.၁၈ Noise Consideration

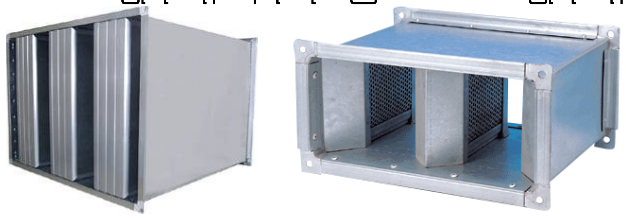
Centrifugal fan များ၏ ဆူညံသံ(noise)သည် low frequencies ဖြစ်သည်။ Axial fan မှ ထွက်ပေါ်လာသည့် ဆူညံသံများသည် high frequency noise များ ဖြစ်သည်။ လူအများစုသည် ပိုမြင့်သည့် low frequency noise များကို လက်ခံနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် centrifugal fan များကို အသုံးများခြင်း ဖြစ်သည်။

သို့သော် higher frequencies noise များကို အလွယ်တကူ ထိန်းချုပ်နိုင်သည်။ Lower frequencies noise များ နည်းစေရန် အရွယ်အစားကြီးမားပြီး ဈေးများသည့် attenuator ပြုလုပ်ရန်လိုအပ်သည်။ တစ်ခါတစ်ရံတွင် မြန်နှုန်း(speed)အလွန်မြင့်ပြီး diameter သေးငယ်သည့် axial flow fan ကို attenuator ဖြင့် တပ်ဆင်သည့် ကုန်ကျစရိတ်သည် ပိုကြီးမားသည့် centrifugal fan ၏ ကုန်ကျစရိတ်ထက် ပိုနည်းသည်။ ဆူညံသံ(sound level) တူညီကြသည်။ လေထုထည်(volume) နှင့် Pressure စသည့် စွမ်းဆောင်ရည် (performance)များလည်း တူညီကြသည်။

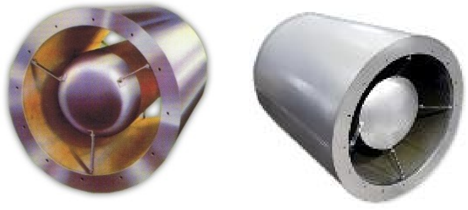
အထက်ပါပုံတွင် fan များသည် peak efficiency ၌ မောင်းနေလျှင် ဆူညံသံ(sound level) အနိမ့်ဆုံး ဖြစ်သည်။ Stall conditioning တွင် ဆူညံသံ(sound level) အမြင့်ဆုံးဖြစ်ပေါ်သည်။

Fan ၏ ဆူညံသံ(sound level)အလွန်မြင့်မားနေပါက system တစ်လျှောက် ဆူညံသံ(noise)များ မပျံ့နှံ့စေရန် လိုအပ်သည့်ပြောင်းလဲမှု(alternation)များ ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည်။

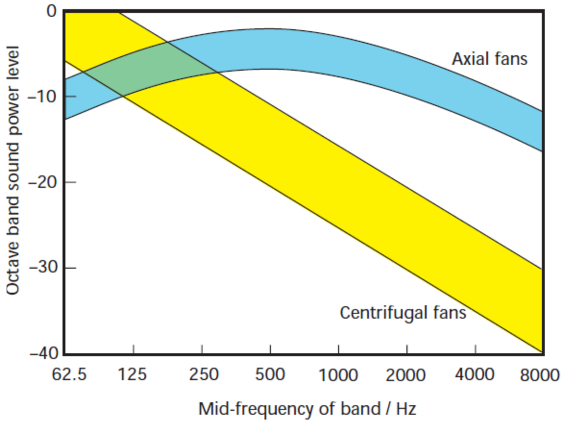
Duct lining ပြုလုပ်ရန် နေရာလိုသည်။ Attenuator ပြုလုပ်ရန် duct ၏ အရှည် နှင့် အထူတို့ လုံလောက် ရမည်။



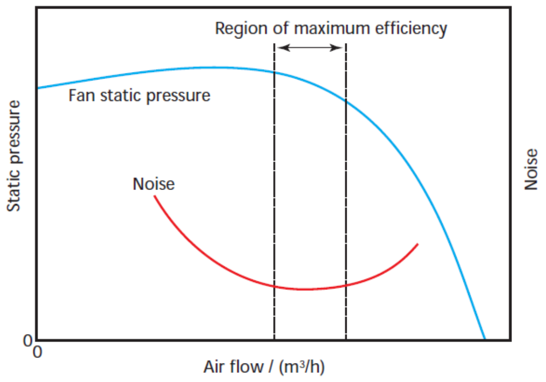
ပုံ ၆-၇၄ Sound attenuator (splitter)



ပုံ ၆-၇၅ Sound attenuator (in line)



ပုံ ၆-၇၆ General comparison of noise



ပုံ ၆-၇၇ Noise compared to peak efficiency

Axial fan မှ ထွက်သည့် high frequency နှင့် mid frequency ပျောက်ရန် လိုအပ်သည့် duct အရှည် မရနိုင်လျှင် inline attenuator တပ်ပေးနိုင်သည်။ Splitter attenuator များသည် ပို၍ ဈေးကြီးသည်။

၆.၁၉ Fan Selection Criteria

Fan ရွေးချယ်ရန်အတွက်လိုအပ်သော အဓိကအချက်များ (fan selection criteria)

Fan တစ်လုံး သို့မဟုတ် fan system တစ်ခုကို ရွေးချယ်ရန်အတွက် အောက်ပါ အချက်အလက်များကို အလေးပေး စဉ်းစားရန် လိုအပ်ပါသည်။

(၁) Air volume required - CFM
(၂) System resistance - SP
(၃) Air density(Altitude and Temperature)
(၄) Type of service
(၅) Environment type
(၆) Materials/vapors to be exhausted
(၇) Operation temperature
(၈) Space limitations
(၉) Fan type
(၁၀) Drive type(Direct or Belt)
(၁၁) Noise criteria
(၁၂) Number of fans
(၁၃) Discharge
(၁၄) Rotation
(၁၅) Motor position
(၁၆) Expected fan life in years

၆.၂၀ မေးခွန်း နှင့် အဖြေများ

Multiple Choise Questions

1. The parameter used by ASME to define fans, blowers and compressors is____

   (a) Fan ration (b) Specific ratio (c) Blade ratio (d) Twist factor

2. Which of the following axial fan types is most efficient?

   (a) Propeller (b) Tube axial (c) Vane axial (d) Radial

3. Which of the following is not a centrifugal fan type?

   (a)Vane axial (b) Radial (c) Airfoil, backward (d) Forward

4. Match the following for centrifugal fan types.

Type	Suitable for
(a) Backward curved	(i) High pressure, medium flow
(b) Forward curved	(ii) Medium pressure, high flow
(c) Radial	(iii) High pressure, high flow

5. For fans, the relation between discharge and speed is

   a) $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$ b) $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1^2}{N_2^2}$ c) $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1^3}{N_2^3}$ d) None

6. The choice of fan type for a given application depends on

   (a)Flow (b)Static Pressure (c)Both a & b (d) neither (a) nor (b)

7. The efficiency of backward curved fans compared to forward curved fans is__

   (a)Higher (b)Lower (c)Same (d)None

8. Name the fan which is more suitable for high pressure application?

   (a)Propeller type fans (b)Tube-axial fans

   (c)Backward curved centrifugal fan (d)None of the above

9. Axial fans are best suitable for____ application.

   (a)Large flow, low head (b)Low flow, high head

   (c)High head, large flow (d)Low flow, low head

10. The efficiency of forward curved fans compared to backward curved fans is ____

    (a)Lower (b)higher (c)Same (d)none

11. The efficiency values of Vane axial fans are in the order of:
(a)78 – 85% (b)60 – 70% (c)90 – 95% (d)50 – 60%

12. Backward curved fans have efficiency in the range of:
(a)65 – 70% (b)75– 85% (c)90 – 95% (d)50 – 60%

13. The pressure to be considered for calculating the power required for centrifugal fans is:
(a)Discharge static pressure (b)Static + dynamic pressure
(c)Total static pressure (d)Static + ambient air pressure

14. Typical design efficiency of aerofoil fan handling clean air is:
(a)40 to 50% (b)80 to 90% (c)60 to 70% (d)70 to 80%

15. The clearance required for efficient operation of impeller of 1 meter plus diameter in Radial type fans is ____
(a) 5 to 10 mm (b) 1 to 2 mm (c) 20 to 30 mm (d) 0.5 to 1.5 mm

16. Which type of control gives maximum benefits for fan application from energy saving point of view?
(a)Discharge damper control (b)Inlet guide vane control
(c)Variable pitch control (d)Speed control

17. The pressure along the line of the flow that results from the air flowing through the duct is _____
(a)Static pressure (b)velocity pressure (c)Total pressure (d)Dynamic pressure

18. The outer tube of the pitot tube is used to measure _____
(a)Static pressure (b)velocity pressur (c)Total pressure (d)Dynamic pressure

19 Axial-flow fans are equipped with
(a)fixed blades (b)Curved blades (c)Flat blades (d)variable pitch blades

20 The ratio of maximum to minimum flow rate is called -
(a)turn – up ratio (b)turn-down ratio (c)up-down ratio (d)None

21 The density of a gas at a temperature of 50 deg. C at site condition is __
(a)0.94 kg/m3 (b)1.2 kg/m3 (c)1.5 kg/m3 (d)1.4 kg/m3

Question and Answer

Q1. 'centrifugal' fans နှင့် 'axial flow' fans တို့၏ကွဲပြားခြားနားချက်များကိုဖော်ပြပါ။

In centrifugal fans, pressure is developed due to the centrifugal force imparted to air, unlike axial flow fans where velocity energy is imparted to air, which in turn is converted to pressure energy at the fan outlet.

Q2. Higher pressure application အတွက်မည်သည့်Fan အမျိုးအစားများသည်အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သနည်း။

Centrifugal fans are suitable for high pressure applications as compared to axial flow fans.

Q3. Under which conditions of pressure ratios and volumes, low speed fans are preferred? Low speed fans are preferred for low pressure ratios and large volumes.

Q4. ယေဘူယအားဖြင့် fans များသည် အဘယ်ကြောင့် very poor efficiency ဖြင့်မောင်းလေ့ရှိကြသနည်း။

A very conservative approach is adopted allocating large safety margins, resulting in oversized fans, which operate at flow rates much below their design values and consequently which leads to operate at very poor efficiency.

Q5. Centrifugal fans အမျိုးအစား(type)မည်မျှရှိသနည်း။

Radial, forward curved and backward inclined fans.

Q6. Forward curved fans ၏ အားသာချက်များ(advantages)ကိုဖော်ပြပါ။

Forward curved fans have the advantage of lower shut off power, which is desirable for low flow rate operation.

Q7. ပိုကောင်းသည့် fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ရရှိရန်အတွက်မည့်သည့် housing အမျိုးအစား (type)ကို အသုံးပြုသင့်သနည်း။

Performance of fans also depends on the fan enclosure and duct design. 'Spiral housing'

Q8. မည်သည့်နည်းများဖြင့် fan တစ်လုံး၏ လည်ပတ်နှုန်း(speed)ကို ထိန်းချုပ်ရန်အတွက်(control)နိုင်သနည်း။

a. changing pulley ratio for drive and driven equipments.
b. variable frequency drive variable speed fluid coupling

Q9. Fan application ၌ တွေ့နိုင်သော energy saving opportunities များကို ၅ခုထက်မနည်း ဖော်ပြပါ။

1. Change of impeller by a high efficiency impeller along with cone.
2. Change of fan assembly as a whole, by a high efficiency fan
3. Impeller de-rating(by a smaller diameter impeller)

4. Fan speed reduction by pulley diameter modifications for de-rating
5. Option of two speed motors or variable speed drives for variable duty conditions
6. Option of energy efficient flat belts, or, cogged raw edged V belts, in place of conventional V belt systems, for reducing transmission losses.
7. Adopting inlet guide vanes in place of discharge damper control
8. Minimizing system resistance and pressure drops by improvements in duct system

Q10. Fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)များဖြစ်ကြသော speed, power နှင့် pressure တို့နှင့် သက်ဆိုင်သည့် affinity laws ကိုဖော်ပြပါ။

The affinity laws governing fan performance is given below:

Flow x speed

Pressure x(speed)^2

Power x(speed)^3

Q11. "speed control" နှင့် "guide vane control" တို့ကို ကွဲပြားအောင်ရှင်းလင်းဖော်ပြပါ။

Speed control	Guide vane control
The flow is varied in accordance with the process requirement by changing the speed of the fan.	The flow is varied by guiding the inlet air into the fan in the direction of impeller rotation in accordance with the process requirement.

Q12. Fans အရွယ်အစားရွေးချယ်(sizing)ရာတွင် ထည့်သွင်းစဉ်းစားရမည့် main factors များကိုဖော်ပြပါ။

The following are the factors considered for fan sizing:

1. Flow requirement in m3/hr
2. Pressure drop
3. Power requirement
4. Density of flowing gas at the site condition

Q13. Fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို အကျိုးသက်ရောက်စေနိုင်သော factor များကိုဖော်ပြပါ။

The main factors affecting the performance of fans are flow, pressure, temperature, speed and damper positions on the fan side and the power input in KW on the motor side.

Q.14 မည်ကဲ့သို့သော အမျိုးအစား Fan ကို axial fans ဟုခေါ်ဆိုသတ်မှတ်မည်နည်း။ axial fans

အသုံးပြုထားသည့် application များကိုဥပမာနှင့်တကွဖော်ပြပါ။

When the flow of air(or)fluid is parallel to the axis of the fan it is called an axial fan. Application areas of axial fans are: HVAC, drying ovens, exhaust system

Q.15. Radial အမျိုးအစား centrifugal fans များ သည် မည်သည့် application များတွင် အသုံးပြုရန် အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သနည်း။

Radial type of centrifugal fans is used at high pressure, medium flow conditions. E.g. Dust laden, moist air/gas in textile industry.

Q16. 'backward curved blade centrifugal fans' ၏ အားသာချက်များကိုဖော်ပြပါ။

backward curved blade centrifugal fans ၏အားသာချက်များမှာ -

a) High pressure generation
b) High efficiency
c) Power reduction with increased flow

Q17. fan တစ်လုံးအား 'inlet guide vane control' ဖြင့် အသုံးပြု၍ မောင်းနှင့်ပုံကိုဖော်ပြပါ။

Inlet guide vane control is one type of capacity control of fans. The inlet guide vanes are designed to guide the inlet air into the fan in the direction of impeller rotation and, therefore, improve performance, resulting in somewhat better energy efficiency than damper controlled operation.

Q18. Flue gas ၏ အပူချိန်(temperature)ပြောင်းလဲခြင်း(variations)ဖြင့် fan ၏ operating efficiency ပြောင်းလဲစေပုံကို ရှင်းလင်းစွာဖော်ပြပါ။

Variation in flue gas temperature will change the density of the gas given by a formula,

Gas density =(273 x 1.29)/(273 + t°C). Density of gas is important consideration, since it affects both volume flow-rate and capacity of the fan to develop pressure.

Q29. Fan ရွေးချယ်ရာတွင်(selection)လေ၏ အပူချိန်(temperature)အရေးပါပုံကိုဖော်ပြပါ။

1. Ambient temperatures, both the minimum and maximum are to be specified to the supplier. This affects the choice of the material of construction of the impeller.

2. Density of gas at different temperatures at fan outlet has to be considered while designing the fan. The volume of the gas to be handled by the fan depends on temperature.

End

York Brand AHU တစ်လုံးတွင်ပါဝင်သည့် Blower တစ်လုံး၏ specification များကို အောက်တွင် ဖော်ပြထား သည်။ Blower နှင့်သက်ဆိုင်သည့် techanical Data များကိုသာ ဥပမာအဖြစ်ဖော်ပြထားသည်။

UNIT NAME		AHU1-1-70x80PANEL	MODEL		YDM 70x80
UNIT CONFIGURATION		HORIZONTAL	REQUESTED QUANTITY		1
FAN MOTOR SPECIFICATION			TRANSMISSION SPECIFICATION		
BLOWER TYPE / BLADE		DIDW / BACKWARD	PULLEY TYPE / GROOVES		SPB / 2
WHEEL DIAMETER / FRAME	mm	800 / K	FAN / MOTOR PULLEY Ø	mm	335 / 236
DISCHARGE		Rear	BELT LENGTH	mm	2000
AIR VOLUME	CFM (m^3/hr)	28,249 (48000.000)			
TOTAL PRESSURE	in. Wg (Pa)	2.83 (707)			
ESP / TSP	in. Wg (Pa)	1.40 (350) / 2.41 (603)			
ALTITUDE / TEMPERATURE	ft (m) / °F (°C)	0 (0) / 68.9 (20.5)			
FAN RPM	RPM	1019	INLET IN-DUCT SOUND PWR	dB (A)	93
MOTOR TYPE / POLES		TEFC - IP55 / 4	INLET IN-DUCT SOUND PWR dB	125 Hz	95
ABSORBED FAN / MOTOR POWER	kW	13.50 / 16.20	PER OCTAVE BAND UNIT	250 / 500 Hz	91 / 94
RECOMMENDED MOTOR	kW	18.50		1k / 2k Hz	88 / 82
MOTOR SAFETY ALLOWANCE	%	20		4k / 8k Hz	75 / 66
ELECTRICAL SUPPLY	V-ph-Hz	380-415 V / 3ph / 50 Hz			
OUTLET IN-DUCT SOUND PWR	dB (A)	95	AIRBORNE SOUND POWER	dB (A)	74
OUTLET IN-DUCT SOUND PWR dB	125 Hz	95	AIRBORNE SOUND POWER dB	125 Hz	85
PER OCTAVE BAND UNIT	250 / 500 Hz	97 / 94	PER OCTAVE BAND UNIT	250 / 500 Hz	77 / 69
	1k / 2k Hz	91 / 85		1k / 2k Hz	67 / 62
	4k / 8k Hz	76 / 68		4k / 8k Hz	45 / 34
FAN DISCHARGE VELOCITY	m/s	13.15			
TOTAL FAN EFFICIENCY	%	69.79			

Fan Motor Specification

အောက်ပါ Data များသည် fan(blower)၏ မော်တာနှင့် သက်ဆိုင်သော အချက်အလက်များဖြစ်သည်။

Blower type / Blade = DIDW / BACKWARD

Blower များကို DIDW နှင့် SISW နှစ်မျိုး ခွဲခြားသည်။ Double Inlet Double Width (DIDW)ဆိုသည်မှာ Blower ၏ ဘေး နှစ်ဘက်စလုံးမှ လေဝင်သည့်အမျိုးအစားဖြစ်သည်။ Single Inlet Single Width (SISW) air blower သည် ဘေးတစ်ဘက်မှသာ လေဝင်သည့်အမျိုးအစားဖြစ်သည်။

blower များ ၏ blade ကို Forward Curve, Radial နှင့် Backward Curve ဟု ၍ ၃ မျိုးခွဲခြားသည်။

Wheel diameter/ Frame (mm) 800 / K

Blower တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် wheel diameter သည် (၈၀၀)မီလီမီတာဖြစ်ပြီး blower ၏ frame အမျိုးအစားသည် K ဖြစ်သည်။

Discharge (Rear)

AHU များတွင် လေကို မှုတ်ထုတ်နိုင်သည့်(discharge)လုပ်နိုင်သည့် နေရာ နှစ်မျိုးရှိသည်။ rear discharge နှင့် top discharge တို့ ဖြစ်သည်။ Rear discharge အမျိုးအစားတွင် blower သည် လေကို AHU ၏ နောက်ဘက်မှ မှုတ်ထုတ်သည်။ top discharge အမျိုးအစားတွင် blower သည် လေကို AHU ၏ အပေါ်ဘက်မှ မှုတ်ထုတ်သည်။

Air Volume CFM (CMH) 28,249(48,000)

AHU Blower မှ ထုတ်ပေး(deliver)နိုင်သည့် သို့မဟုတ် peforme လုပ်နိုင်သည့် လေထုထည်(air volume)သည် 28,249 CFM ဖြစ်သည် သို့မဟုတ် 48,000 CMH ဖြစ်သည်။ "Volume Flow Rate" ဟုလည်းခေါ်ဆိုသည်။

Total Pressure in. WG(Pa) 2.83(707)

AHU Blower ၏ deliver လုပ်နိုင်သည့် သို့မဟုတ် Peforme လုပ်နိုင်သည့်)Total Pressure မှာ 2.83 inch of Water Colum သို့မဟုတ် 707 Pa ဖြစ်သည်။ ထို total Pressure သည် အားလုံးသော Losses များ အတွက်ဖြစ်သည်။ Total Pressure သည် Mixing Box loss, Cooling Coil Pressure drop, Filter Pressure Drop စသည့် lossess များအားလုံးအတွက်ဖြစ်သည်။

ESP / TSP in. Wg(Pa)1.40(350)/ 2.41(603)

ESP သည် "External Static Pressure" ဖြစ်သည်။ TSP သည် "Total Static Pressure" ဖြစ်သည်။

AHU blower ၏ deliver လုပ်နိုင်သည့် သို့မဟုတ် Peforme လုပ်နိုင်သည့်) External static pressure သည် 1.40 inch of Water Colum သို့မဟုတ် 350 Pa ဖြစ်သည်။ Total Static Pressure သည် 2.41 inch of water colum သို့ 603 Pa ဖြစ်သည်။ External/total static pressure သည် AHU blower ၏ total pressure မှ mixing box loss, cooling coil pressure drop, filter pressure drop စသည့် lossess များ ကို နှုတ်ပြီး ကျန်သည့် pressure ဖြစ်သည်။ External/total static pressure သည် duct friction loss များ၊ supply air grill and diffuer losses များနှင့် damper losses များအတွက် ဖြစ်သည်။

Altitude / Temperature 0(0)/ 68.9(20.5)

တပ်ဆင်မောင်းနှင်မည့် AHU သည် ပင်လယ်ရေပြင်မှ မည်မျှမြင့်သည်ကို ဆိုလိုသည်။

FAN RPM = 1019

AHU Blower's Shaft ၏ လည်ပတ်နှုန်းသည် တစ်မိနစ်လျှင်အပတ်ရေ (၁၀၁၉) ဖြစ်သည်။

Mmotor type / Pole TEFC - IP55 / 4

မော်တာအမျိုးအစားသည် TEFC ဖြစ်သည်။ TEFC ၏ အဓိပ္ပာယ်သည် "Totally Enclosed, Fan Cooled"ကို ဆိုလိုသည်။ IP55 မှာ motor Enclosure ၏ rating(protection against solid and Liquid)ကို ဆိုလိုသည်။

IP	First digit: Ingress of solid objects	Second digit: Ingress of liquids
0	No protection	No protection
1	Protected against solid objects over 50mm e.g. hands, large tools.	Protected against vertically falling drops of water or condensation.
2	Protected against solid objects over 12.5mm e.g. hands, large tools.	Protected against falling drops of water, if the case is disposed up to 15 from vertical.
3	Protected against solid objects over 2.5mm e.g. wire, small tools.	Protected against sprays of water from any direction, even if the case is disposed up to 60from vertical.

4	Protected against solid objects over 1.0mm e.g. wires.	Protected against splash water from any direction.
5	Limited protection against dust ingress. (no harmful deposit)	Protected against low pressure water jets from any direction. Limited ingress permitted.
6	Totally protected against dust ingress.	Protected against high pressure water jets from any direction. Limited ingress permitted.
7	N/A	Protected against short periods of immersion in water.
8	N/A	Protected against long, durable periods of immersion in water.

Absorbed fan/ Motor Power kW 13.50 / 16.20

Absorbed Power သည် AHU Blower's shaft တွင် လိုအပ်သော power ဖြစ်သည်။ AHU blower သည် belt drive ဖြစ်သည်။ Belt drive များတွင် slip ဖြစ်သည်။ Belt drive များတွင် transmission loss ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် မော်တာစွမ်းအား(motor power) သည် absorbed power ထက်များသည်။ ဤ AHU တွင် AHU Blower's Shaft power 13.50 kW ရရှိရန်အတွက် မော်တာစွမ်းအား(motor power)သည် 16.20 kW ရှိရန် လိုအပ်သည်။

Recommended motor kW 18.50

Recommended motor kW 18.50 သည် မော်တာ၏ size ကို ဆိုလိုသည်။ ဤ AHU လိုအပ်သော motor power သည် 16.20 kW ဖြစ်သော်လည်း ဈေးကွက်တွင် 16.20 kW မရှိပါ။ ထို့ကြောင့် 18.50 kW မော်တာ recommend ပေးခြင်းဖြစ်သည်။ 18.50 kW မော်တာ မရလျှင် 22.0 kW မော်တာဖြင့် တပ်ဆင်မောင်းနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် "recommendation" စာလုံးကို သုံးခြင်းဖြစ်သည်။ သို့သော် 15kW ကို တော့အသုံးပြုရန်မသင့်တော်ပေ။

ဈေးကွက်တွင် ရရှိနိုင်သော မော်တာအရွယ်အစား(motor size)များမှာ 3.0 kW, 4.0 kW, 5.5 kW, 7.5 kW, 11.0 kW, 15.0 kW, 18.5 kW, နှင့် 22.0 kW တို့ ဖြစ်သည်။

Motor safety allowance % 20

မော်တာ အတွက် safety allowance ၂၀ % ပိုထားသည်။

ELECTRICAL SUPPLY V-ph-Hz 380-415 V / 3ph / 50 Hz

ထို AHU Blower ၏ မော်တာကို မောင်းရန် လိုအပ်သော လျှပ်စစ်ဓာတ်အား(electrical power supply) သည် (၃၈၀) မှ (၄၁၅) ဗို့ ဖြစ်ရမည်။ 50 Hz ရှိသော 3ph Supply ဖြစ်ရမည်။

Sound Level Data များ

Inlet In-Duct Sound PWR dB(A)93

Inlet In-Duct Sound PWR dB 125 Hz 95

Per Octiave Band Unit 250 / 500 Hz 91 / 94

1k / 2k Hz 88 / 82

4k / 8k Hz 75 / 66

Fan Discharge Velocity m/s 13.15

AHU ၏ လေထွက်ပေါက်(out let)မှ ထွက်သွားသည့်အလျင်(discharge velocity) သည် 13.15 m/s ဖြစ်သည်။

Total fan efficiency % 69.79

Fan(blower)၏ Total fan efficiency မှာ 69.79% ဖြစ်သည်။

Transmission Specification

Pulley type/ Grooves = SPB / 2

Pulley အမျိုးအစား မှာ မြောင်း နှစ်မြောင်း(2 Grooves)ပါသော SPB PULLEY ဖြစ်သည်။

Fan / Motor pulley Ø mm 335 / 236

Fan(blower) ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသော pulley ၏ diameter သည် 335 mm ဖြစ်ပြီး မော်တာဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသော pulley ၏ diameter 236 mm ထို pulley အရွယ်အစားနှစ်ခုအရ မော်တာ၏ အပတ်ရေသည် (၁၄၅၀)ဖြစ်လျှင် fan(blower)၏ အပတ်ရေသည် (၁၀၂၁) ဖြစ်သည်။ (Slip ဖြစ်မည့် အပတ်ရေကို ထည့်မတွက်ခဲ့လျှင်)

Belt length mm 2000

Fan(Blower)၏ pulley နှင့် မော်တာ၏ pulley ကို ချိတ်ဆက်ထားသော ပန်ကာကြိုး(belt) ၏ အရှည်သည် 2000 mm ဖြစ်သည်။

Sound level data

Outlet In-Duct Sound PWR dB(A)95

Air borne sound Power dB(A)74

Outlet In-Duct Sound PWR dB 125 Hz 95

AIRBORNE SOUND POWER dB 125 Hz 85

Per Octive Band Unit 250 / 500 Hz 97 / 94

Per Octive Band Unit 250 / 500 Hz 77 / 69

1k / 2k Hz 91 / 85 1k / 2k Hz 67 / 62

4k / 8k Hz 76 / 68 4k / 8k Hz 45 / 34

END

CONCLUSION

To learn more about these codes, standards, guidelines, and certified ratings programs, visit the Website of the authoring organization:

ASHRAE (www.ashrae.org),
ANSI (www.ansi.org),
NIST(www.nist.gov),
ARI (www.ari.org),
ASTM (www.astm.org),
ISO (www.iso.org), and
AMCA (www.amca.org).