# Chapter-7 Compressor Control and Compressed Air System

Compressed air system တစ်ခုအတွင်း၌ equipment များစွာ ပါဝင်သည်။ ဖိအား(pressure)၊ လေထွက်နှုန်း(flow)၊ လေအရည်အသွေး(air quality)တို့ အပြင် စိတ်ချရမှု(system realibility)၊ စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု နည်းခြင်း စသည်တို့သည် compressed air system တစ်ခု၏ အရေးကြီးသော အချက်များ ဖြစ်သည်။ Compressed air system များ၌ ပါဝင်နေကြသည့် compressor များသည် အမျိုးအစား၊ အရွယ်အစား နှင့် အရေအတွက် တူညီကြလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ထိုကဲ့သို့ အမျိုးမျိုး အစားစား ကွဲပြားနေသော compressor များကို အစီအစဉ်တကျ ကောင်းစွာ လည်ပတ်နေအောင်(efficient operation ဖြစ်အောင်) control system က ဆောင်ရွက် ပေးသည်။ Compressor များ၏ control သည် system performance နှင့် energy efficiency တို့ကို ဆုံးဖြတ် ပေးသောကြောင့် အလွန် အရေးကြီးသည်။

အခြေခံအားဖြင့် "Master Control" နှင့် "Internal Control"ဟူ၍ control လုပ်နည်း နှစ်မျိုး ကွဲပြားသည်။ "Master Control" ဆိုသည်မှာ compressed air system များတွင် ပါဝင်သည့် compressor အားလုံးကို ထိန်းချုပ်သည့် control system ကို ဆိုလိုသည်။ "Internal Control"ဆိုသည်မှာ compressor တစ်လုံး အတွင်း၌ရှိသော control system ကို ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် compressor တိုင်း၌ ရှိသည့် control ဖြစ်သည်။

တစ်လုံးထက်ပိုများသည့်(multiple) compressor များကို control လုပ်နိုင်သည့် နည်းများ

**(က) Lead/Lag နည်းဖြင့် Control လုပ်ခြင်း**

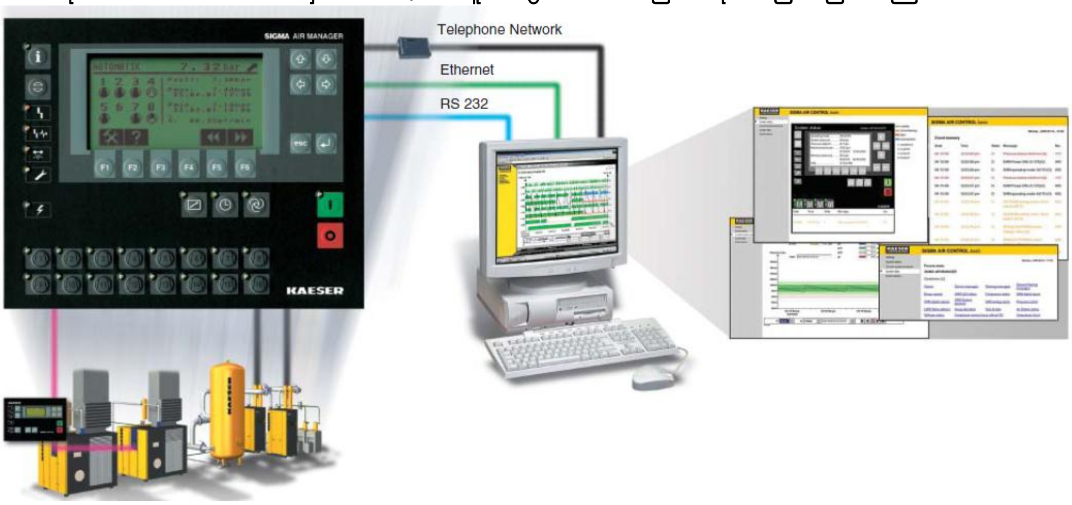
Compressor တစ်လုံး သို့မဟုတ် အချို့ကို lead compressor အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး ကျန် compressor တစ်လုံး သို့မဟုတ် အချို့ကို lag compressor အဖြစ် သတ်မှတ်၍ control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Lead compressor ကို duty compressor ဟု ခေါ်ဆိုလေ့ ရှိသည်။

**(ခ) Base Compressor နှင့် Trim Compressor အဖြစ် သတ်မှတ်၍ Control လုပ်ခြင်း**

တစ်လုံးထက် ပိုများသည့် Multiple compressor များ မောင်းကြသည့် အခါ base compressor တစ်လုံးကို full load ဖြင့်မောင်းပြီး ကျန် trim compressor တစ်လုံးကို partial load ဖြင့် မောင်းခြင်း ဖြစ်သည်။

**(ဂ) System Master Controller**

System master controller နည်းသည် compressor အားလုံးကို လိုသလို program လုပ်ထားသည့် အတိုင်း micro processor မှ တစ်ဆင့် အတူတကွ မောင်းစေခြင်း၊ ရပ်စေခြင်း ဖြစ်သည်။

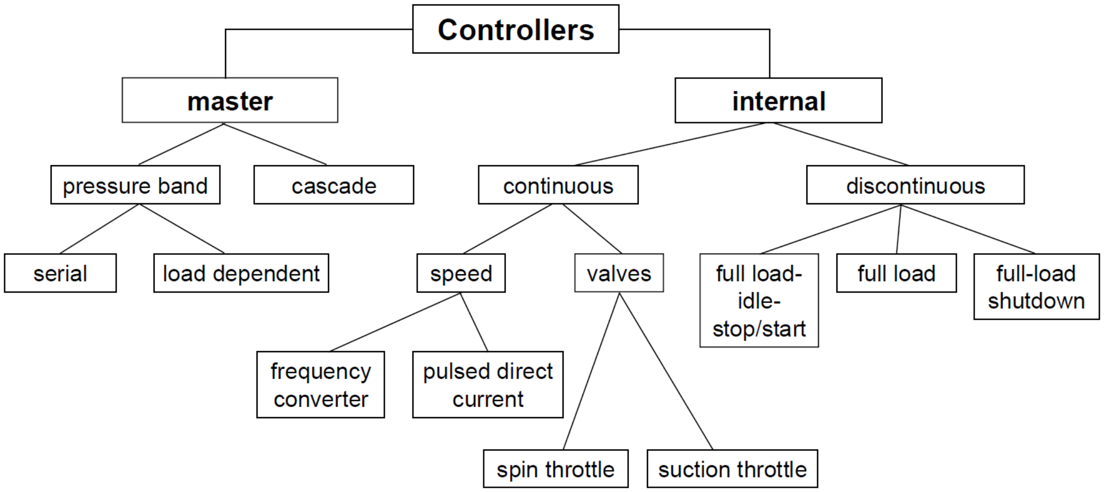



ပုံ ၇-၁ တစ်လုံးထက်ပိုများသည့် compressor များကို "Master Control" နည်းဖြင့် control လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

**ဝေါဟာရများ(Key Terms)**

**Full Load:** ဆိုသည်မှာ လေလိုအပ်မှု(air demand) နှင့် compressor တစ်လုံး သို့မဟုတ် တစ်လုံးထက် ပိုများသည့် compressor ၏ total available capacityတို့ တူညီနေသည့် အခိုက်၌ ဖြစ်ပေါ်နေသည့် load ကို ဆိုလိုသည်။ Compressor အားလုံးလိုလိုသည် full load ဖြင့် မောင်းနေသည့် အခိုက်တွင် efficient အဖြစ်ဆုံး ဖြစ်သည်။

**Part Load:** ဆိုသည်မှာ လေလိုအပ်မှု(air demand)သည် compressor တစ်လုံး သို့မဟုတ် တစ်လုံးထက် ပိုများသည့် compressor ၏ total available capacity ထက်နည်းသည့် အခိုက်၌ ဖြစ်ပေါ်နေသည့် load ကို ဆိုလိုသည်။ Compressor အားလုံးလိုလိုသည် part load ဖြင့်မောင်းသည့် အခါတွင် ကောင်းစွာ efficienent မဖြစ်နိုင်ပေ။




ပုံ ၇-၂ Control of compressed air systems

Control strategy ၏ အဓိကရည်ရွယ်ချက်သည်

(၁) Compressor များမှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် လေ(compressed air)ပမာဏ နှင့် လုပ်ငန်းခွင်မှ လေလိုအပ်မှု(air demand)တို့ ကိုက်ညီအောင် ပြုလုပ်ပေးရန် ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် compressor capacity နှင့် system demand တို့ ကိုက်ညီစေရန် control system က ပြုလုပ်ပေးသည်။

(၂) စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု နည်းရန်အတွက် မောင်းရန်မလိုသည့် compressor များကို ချက်ချင်း ပိတ်ပစ်ရန် နှင့် compressor စမောင်းရန် လိုအပ်သည့် အခါတွင် တတ်နိုင်သလောက် နောက်ကျခံ၍ မောင်းရန် ဖြစ်သည်။

(၃) လုပ်ငန်းခွင်မှ လက်ခံနိုင်သည့် အနိမ့်ဆုံး ဖိအား(system pressure)ထက် မနိမ့်ကျစေပဲ ပျမ်းမျှ ဖိအား (average pressure)ကို နိမ့်နိုင်သမျှ နိမ့်အောင် ထိန်းထားရန် ဖြစ်သည်။

## ၇.၁ Compressor တစ်လုံးအတွင်းရှိ Control System (Internal Control)

အဓိကအားဖြင့် compressor တစ်လုံးချင်းစီ၏ လေထွက်နှုန်းကို နည်း နှစ်နည်းဖြင့် control လုပ်နိုင်သည်။

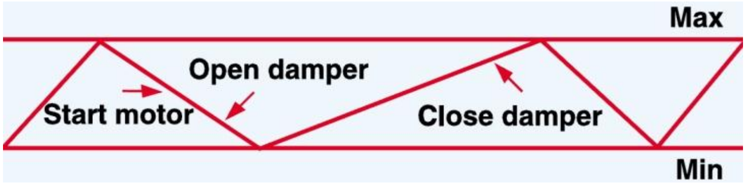
(၁) "Continuous Capacity Control" နည်းနှင့်

(၂) "Load/Unload" သို့မဟုတ် "Start/Stop" control နည်း တို့ဖြစ်သည်။

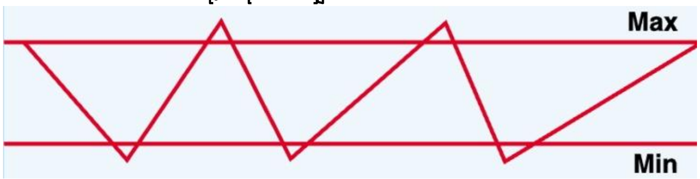
### ၇.၁.၁(က) Continuous Capacity Control

ဤနည်းတွင် မော်တာ သို့မဟုတ် အင်ဂျင်ကို အဆက်မပြတ် မောင်းနေပြီး valve ၊ damper ၊ Inlet Guide Vane(IGV) စသည့် တစ်မျိုးမျိုးကို ပိတ်ခြင်း သို့မဟုတ် ဖွင့်ခြင်းနည်းဖြင့် လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို

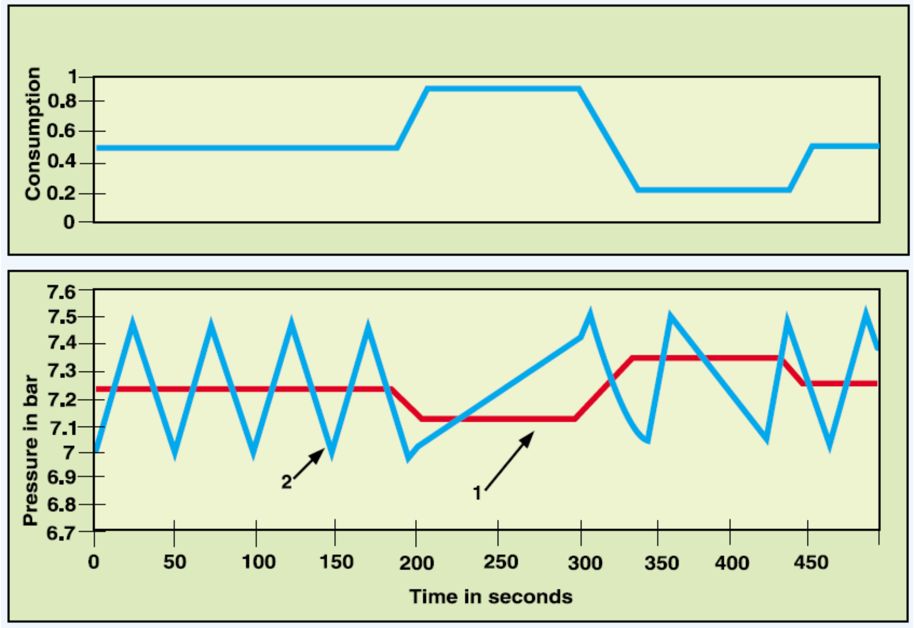
control လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ ထို့အပြင် မော်တာ speed ကို မြန်အောင် သို့မဟုတ် နှေးအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့်လည်း compressor ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ထိုနည်းကို အသုံးပြုလျှင် ဖိအား (system pressure) အလွန် တည်ငြိမ်ပြီး ဖိအားပြောင်းလဲမှု(pressure variation) သည် 0.1 bar မှ 0.5 bar အတွင်းသာ ဖြစ်နိုင်သည်။




ပုံ ၇-၃ "Min Pressure" သို့ရောက်လျှင် Start Motor or Close Damper.
"Max Pressure" သို့ရောက်လျှင် Stop Motor or Open Damper.




ပုံ ၇-၄ "Min Pressure" နှင့် "Max Pressure" နှစ်ခု ဖြင့် Pressure band ကို သတ်မှတ်သည်။

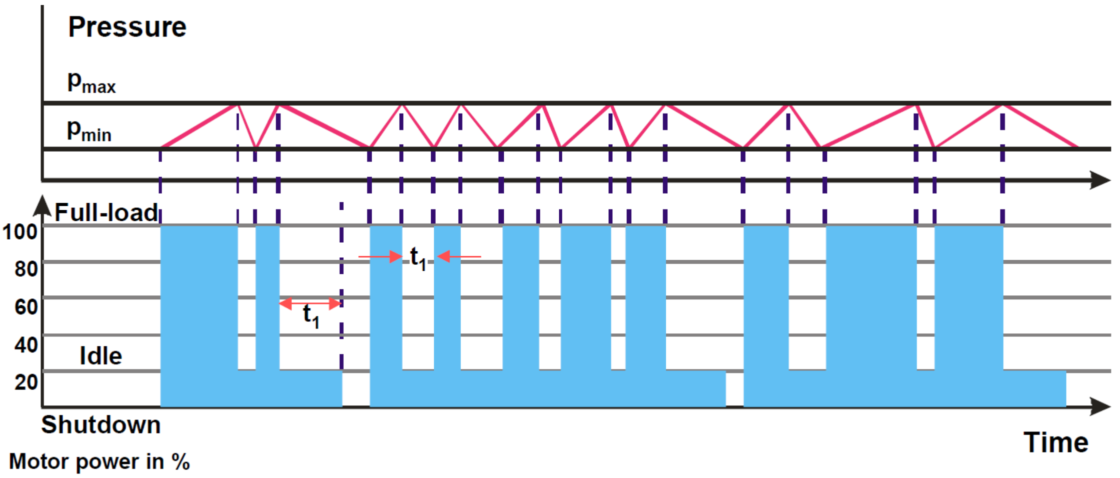



ပုံ ၇-၅     1. Continuous capacity regulation     2.Load/Unload regulation

အထက်ပါပုံ(၇-၅) တွင် continuous capacity regulation နှင့် Load/Unload သို့မဟုတ် Start/Stop control လုပ်နည်း တို့ကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။

### ၇.၁.၂ (ခ) Load/Unload သို့မဟုတ် Start/Stop Control

ဤနည်းကို ဖိအား ပြောင်းလဲမှု (pressure variation)များများ လက်ခံနိုင်သည့် လုပ်ငန်းများတွင် အများဆုံး အသုံးပြုသည်။ စာမျက်နှာ 7-7 တွင် ဖော်ပြထားသည်။ ဖိအားပြောင်းလဲမှု(pressure variation)သည် 0.3 bar မှ 1.0 bar အတွင်း ဖြစ်သည်။




ပုံ ၇-၆ Load/Unload နည်းဖြင့် control လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

(၁) **Pressure Relief**

အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည့်ဖိအား(pressure)ထက် ပိုများသည့် ဖိအား(pressure)ကို pressure relief valve သုံး၍ လေထု(atmosphere)ထဲသို့ ဖောက်ထုတ်ပစ်ခြင်းဖြင့် system pressure ကို ငြိမ်အောင် ထိန်းထားခြင်း ဖြစ်သည်။

(၂) **By Pass**

လေထဲသို့ ထုတ်ပစ်ရန် မသင့်လျော်သည့် ဓာတ်ငွေ့များဖြစ်လျှင် pressure relief valve ကိုသုံး၍ By Pass နည်းဖြင့် compressor ၏ အဝင်ပေါက်ထဲသို့ ပြန်ပို့ခြင်း ဖြစ်သည်။

(၃) **Throttling Intake**

Throttling နည်းသည် လေထွက်နှုန်း(flow)ကို လျော့နည်းစေရန် အတွက် လေဝင်သည့် နေရာကို ပိတ်ခြင်း သို့မဟုတ် ထွက်သည့်နေရာကို ပိတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ အကောင်းဆုံးသော control လုပ်နည်း တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။

(၄) **Pressure Relief with Throttle Intake**

Pressure relief valve နှင့် throttle နည်း နှစ်နည်းဖြင့်တွဲ၍ compressor ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို ထိန်းချုပ်ခြင်း(control) ဖြစ်သည်။

(၅) **Start/Stop**

Compressor မော်တာ စွမ်းအားသည် 10kW ထက်နည်းလျှင် Start/Stop နည်းဖြင့် control လုပ်လေ့ရှိသည်။ Pressure setting ၏ upper limit ရောက်လျှင် compressor ကို ရပ်စေသည်။ Lower limit သို့ရောက်လျှင် compressor ကို ပြန်မောင်းခြင်းဖြင့် လိုအပ်သော လေထွက်နှုန်း(capacity) ရအောင် control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

Air volume များပြီး ဖိအားကွာခြားချက်(system pressure difference) များသည့် system ဖြစ်မှသာ ဤနည်းကို အသုံးပြုသင့်သည်။ သို့မှသာ compressor မောင်းသည့်၊ ရပ်သည့် အကြိမ် အရေတွက် နည်းလိမ့်မည်။

(၆) **Speed regulation**

ဒီဇယ်အင်ဂျင် သို့မဟုတ် တာဘိုင်(turbine) ဖြင့်မောင်းသည့် air compressor များကို ခဏအတွင်း ရပ်ရန်၊ ပြန်မောင်းရန် မဖြစ်နိုင်သောကြောင့် speed regulation သာ လုပ်နိုင်သည်။ ဤနည်းသည် efficient ဖြစ်သည့် နည်းဖြစ်သည်။ ပို၍တည်ငြိမ်သည့် ဖိအား(system pressure) ရနိုင်သည်။

**(၇) Variable Discharge port**

Screw compressor များ၌ discharge port ၏ position(နေရာ) ကိုရွှေ့ပေးခြင်းဖြင့် လေထွက်နှုန်း (capacity)ကို ထိန်းချုပ်ခြင်း(control) ဖြစ်သည်။

**(၈) Suction Valve Unloading**

Intake valve ကို ပွင့်နေသည့်အနေအထား(open position)ဖြစ်အောင်ပြုလုပ်၍ control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Intake valve ဖွင့်နေလျှင် reciprocating compressor သည် လေဖိသိပ်ခြင်း (compression) မလုပ်တော့ပေ။

**(၉) Clearance Volume**

Clearance volume ထုထည်ပမာဏကို နည်းအောင် သို့မဟုတ် များအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် reciprocating compressor ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို ထိန်းချုပ်ခြင်း(control) ဖြစ်သည်။

**(၁၀) Load-Unload-Stop**

5kW ထက်ကြီးသည့် compressor များကို Load-Unload-Stop နည်းဖြင့် ထိန်းချုပ်(control)ကြသည်။

## ၇.၂ Dynamic Compressor များ၏ လေထွက်နှုန်း(Capacity)ကို Control လုပ်ခြင်း

**(၁) Intake Throttling**

လေဝင်ပေါက်အဝ(air intake) ကို throttling ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် dynamic compressor များ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို လျှော့နည်း စေနိုင်သည်။ Pressure ratio သည် pump limit သို့ ရောက်သွားလျှင် compressor သည် surge ဖြစ်လိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် dynamic compressor များကို သတ်မှတ်ထားသည့် အနိမ့်ဆုံး လေထွက်နှုန်း(minimum flow)ထက် ပိုနည်းသည့် စီးနှုန်း(flow)ဖြင့် မမောင်း မသင့်ပေ။

**(၂) Inlet Guide Vane**

Dynamic compressor ၏ အဝ(inlet) တွင် "Inlet Guide Vane" ဖြင့် လေစီးနှုန်း(flow)ကို throttle လုပ်နိုင်သည်။ ဤနည်းဖြင့် လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို control လုပ်လျှင် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု နည်းသည်။

**(၃) Outlet Guide Vane (Diffuser)**

Compressor ၏ အထွက်(outlet)၌ "Outlet Guide Vane"(diffuser) ထားရှိ၍ dynamic compressor ၏ လေထွက်နှုန်း (capacity)ကို ထိန်းချုပ်(control) နိုင်သည်။

**(၄) Pressure relief**

System pressure သည် အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည့် ဖိအား(pressure)ထက် ပိုများနေလျှင် pressure relief valve သုံး၍ compressed air များကို လေထဲသို့(atmosphere) ဖောက်ထုတ်ပစ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

**(၅) Load-Unload-Stop**

Dynamic compressor ၏ အဝ(inlet)၌ throttling လုပ်နိုင်သည်။ Pump limit သို့ ရောက်သည် အထိသာ throttling လုပ်နိုင်သည်။

**(၆) Speed regulation**

Dynamic compressor များ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို ထိန်းချုပ်ခြင်းဖြင့် လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို ထိန်းချုပ်(control) နိုင်သည်။

Compressor control mode များကို အောက်ပါအတိုင်း (၈)မျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

(၁) Start/Stop
(၂) Load/Unload
(၃) Inlet modulation
(၄) Auto-dual
(၅) Variable displacement
(၆) Variable speed (speed regulation)
(၇) System controls နှင့်
(၈) Throttling control (modulating) တို့ဖြစ်သည်။

## ၇.၃ Compressor တစ်လုံးချင်းစီကို Control လုပ်ခြင်း(Internal Control)

### ၇.၃.၁ Start/Stop Control နည်း

Start/stop controlနည်းကို သေးငယ်သည့် reciprocating compressor များတွင် အများဆုံး အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ Compressor မှ အထွက်ဖိအား(discharge pressure)သည် သတ်မှတ်ထားသည့် pressure level ထက် များနေလျှင် compressor ကို ပိတ်ပစ်ခြင်း (ရပ်စေခြင်း) ဖြစ်သည်။

"Start/Stop Control" နည်းဆိုသည်မှာ compressed air demand ရှိသည့်အခါ (လေလိုသည့်အခါ)၌ air compressor ၏ မော်တာကို မောင်းစေပြီး လေလိုအပ်မှု(air demand)မရှိသည့် အခါ၌ မော်တာကို ရပ်နားထားခြင်းဖြစ်သည်။ "Load/Unload Control" နည်းဆိုသည်မှာ air compressor ၏ မော်တာ ကို အမြဲမောင်းထားပြီး compressed air demand ရှိသည့်အခါ(လိုသည့်အခါ)၌ "Load" လုပ်ခြင်း လေလိုအပ်မှု (air demand) မရှိသည့်အခါ၌ "Unload" လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။

Start/Stop control နည်းသည် energy efficient ဖြစ်သည့် နည်းတစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် compressor သည် မောင်းသည့် အခိုက်တွင် 100% capacity ဖြင့် မောင်းပြီး ရပ်နေသည့် အခိုက်တွင် လုံးဝ ရပ်နားနေသည်။ (စွမ်းအင်သုံးစွဲခြင်းလုံးဝမရှိပေ)။ ထို့ကြောင့် energy efficient ဖြစ်သော်လည်း rotary compressor များကို Start/Stop နည်းဖြင့် control လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပါ။

သတ်မှတ်ထားသည့် လေဖိအား(Pressure)သို့ ရောက်ချိန်တွင် compressor ကို ရပ်စေ(stop)ပြီး သတ်မှတ်ထားသည့် လေဖိအား(pressure)ထက် နည်းလျှင် compressor ကို စမောင်းစေ(start)သည်။ ထိုနည်းကို On/Off control နည်း ဟုလည်း ခေါ်ဆိုလေ့ ရှိသည်။ Load/Unload control နည်းသည်လည်း ထိုကဲ့သို့ပင် ဖြစ်သည်။ Start/Stop control တွင် pressure setting ကို Cut in/Cut out pressure ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။

Cut In Pressure = 7 bar
[7 bar ရောက်လျှင် compressorကို ပြန်မောင်းရန်(start) သို့မဟုတ် load လုပ်ရန်]
Cut Out Pressure = 10 bar
[10 bar ရောက်လျှင်compressorကို ရပ်ရန်(stop) သို့မဟုတ် unload လုပ်ရန်]

အထက်ပါ Cut in/Cut out pressure ၏ အဓိပ္ပာယ်သည် pressure vessel အတွင်း၌ ရှိသော လေဖိအား သည် 10 bar သို့ရောက်လျှင် compressor ကို ရပ်ရန် သို့မဟုတ် unload လုပ်ရန်ဖြစ်သည်။ 10 bar လေဖိအားကို "Cut Out Pressure" ဟုခေါ်သည်။ ထို့နောက် compressed air ကို အသုံးပြုနေသောကြောင့် လေဖိအား(Pressure) တဖြည်းဖြည်း ကျဆင်းလာပြီး 7 bar သို့ရောက်လျှင် compressor ကို ပြန်မောင်းရန် သို့မဟုတ် load လုပ်ရန် ဖြစ်သည်။ လေဖိအား 7 bar ကို "Cut In Pressure" ဟုခေါ်သည်။

Three - step (0%, 50%, 100%)တွင် အဆင့် သုံးဆင့် ရှိသောကြောင့် compressor ငယ် နှစ်လုံး ရှိနိုင်သည်။ Compressor ငယ်နှစ်လုံး တစ်ပြိုင်နက် မောင်းနေပါက 100% capacity ရနိုင်သည်။ Compressor နှစ်လုံး အနက်မှ တစ်လုံးမောင်းနေပါက 50% capacity ရနိုင်သည်။ Compressor ငယ် နှစ်လုံး လုံးရပ်နေပါက 0% capacity ဖြစ်သည်။ Five-step ဆိုလျှင် 0%, 25%, 50%, 75%, 100% အတိုင်း control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

လေထွက်နှုန်း(capacity)နှင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲနှုန်း(power consumption)တို့သည် တိုက်ရိုက်ဆက်စပ်နေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့်လေထွက်နှုန်း(capacity)များလျှင် စွမ်းအင်သုံးစွဲနှုန်း(power consumption)များလိမ့်မည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် reciprocating air compressor များ ၏ unloading characteristics သည် screw compressor များထက် ပို၍ ကောင်းကြသည်။

လေလိုအပ်မှု မတည်ငြိမ်သည့်(fluctuating air demand)လုပ်ငန်းများအတွက် compressor တစ်လုံးတည်းသာ တပ်ဆင်ထားလိုလျှင် reciprocating air compressor နှင့် ပို၍ သင့်လျော်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် reciprocating air compressor ၏ unloading characteristic ကောင်းသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

**အားသာချက်**

Compressor မောင်းသည့် အခါတိုင်းတွင် ဝန်အပြည့်(fully load)ဖြင့် မောင်းသောကြောင့် energy efficient ဖြစ်သည်။

**အားနည်းချက်**

အချိန် အနည်းငယ်အတွင်း၌ compressor မော်တာကို အကြိမ်များစွာ စမောင်းခြင်း နှင့် ရပ်နားခြင်း ပြုလုပ်ရန်မဖြစ်နိုင်ပေ။ အချိန်အနည်းငယ်အတွင်း ရပ်လိုက်၊ ပြန်မောင်းလိုက် လုပ်ခြင်းကြောင့် မော်တာ၏အပူချိန် တဖြည်းဖြည်း မြင့်တက်လာ လိမ့်မည်။ တစ်နာရီ အတွင်းတွင် အများဆုံး လေးကြိမ်မှ ခြောက်ကြိမ် အထိသာ မောင်းခြင်း၊ ရပ်ခြင်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။ အထူးသဖြင့် 10HP မှ 25HP(18.5 kW) အရွယ်အစားရှိသော မော်တာများအတွက် automatic Start/Stop control များတွင် မကြာခဏ ရပ်ခြင်း၊ မောင်းခြင်း မပြုလုပ်ရန် ကန့်သတ်တားမြစ် ထားသည်။

Compressor သည် လက်ခံနိုင်သည့် အနိမ့်ဆုံးဖိအား(system pressure)သို့ မရောက်မီ အချိန်တွင် ပြန်၍ စတင် မောင်းသင့်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် system pressure သည် လက်ခံနိုင်သည့် အနိမ့်ဆုံး system pressure ထက်ပိုနည်း(နိမ့်)ပါက မလိုလားအပ်သည့် ဆုံးရှုံးမှုများ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။ Storage receiver ၏ အရွယ်အစား နှင့် working pressure band တို့မှ compressor မော်တာ ပြန်မောင်းရမည့် အချိန်(Cut in pressure)ကို တွက်ယူနိုင်သည်။ လုံလောက်အောင် ကြီးမားသည့် လေလှောင်ကန်(receiver) အရွယ်အစား ပြုလုပ်ထားခြင်းကြောင့် efficiency ပိုကောင်းစေနိုင်ပြီး system တစ်ခုလုံး ကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်နေလိမ့်မည်။

### ၇.၃.၂ Load/Unload Control နည်း

Load/Unload control နည်း သည် Start/Stop control နည်း နှင့် အနည်းငယ်သာ ကွာခြားသည်။ Start/Stop control နည်း တွင် discharge pressure သို့မဟုတ် system pressure သည် Cut out pressure သို့ရောက်ချိန်တွင် compressor ကို လုံးဝ ရပ်တန့်စေသည်။ သို့သော် Load/Unload control နည်း တွင် discharge pressure သို့မဟုတ် system pressure သည် Cut out pressure သို့ ရောက်ချိန်တွင် Unload လုပ်စေသည်။

Discharge pressure သည် pressure setting သို့ မရောက်ခင်အချိန်၌ compressor သည် 100% load ဖြင့် မောင်းနေသောကြောင့် အကောင်းဆုံး efficiency ရနိုင်သည်။ သို့သော် discharge pressure သို့မဟုတ် system pressure သည် သတ်မှတ်ထားသည့် pressure setting သို့ ရောက်သွားချိန်တွင် compressor သည် စတင် unload လုပ်လိမ့်မည်။ Unload လုပ်သည့်အခါတွင် compressor သည် compressed air များကို ဆက်ထုတ်ပေးလိမ့်မည် မဟုတ်သော်လည်း မော်တာသည် မရပ်သွားပဲ ဆက်မပြတ်မောင်းနေ လိမ့်မည်။

Reciprocating compressor များတွင် cylinder များ ကို Unload လုပ်ခြင်းဖြင့် လေထွက်နှုန်းကို လိုသလို ထိန်းချုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ two-step control နည်းသည် အသုံးများသည့်နည်း ဖြစ်ပြီး လေဝင်ပေါက်(inlet)ကို လုံးဝပွင့်နေအောင် ဖွင့်ခြင်း(fully open)နှင့် လုံးဝ ပိတ်ထားခြင်း(fully shut) ဖြစ်သည်။

ကြိုတင် သတ်မှတ်ထားသည့် အနိမ့်ဆုံးဖိအား(preset minimum pressure or load point)မှ ကြိုတင် သတ်မှတ်ထားသည့် အမြင့်ဆုံးဖိအား(preset maximum pressure or no-load point) အတွင်းတွင် compressor သည် fully loaded (or full flow) ဖြင့် မောင်းနေလိမ့်မည်။ Compressor အထွက်ဖိအား (discharge pressure) သည် ကြိုတင် သတ်မှတ်ထားသည့် အမြင့်ဆုံးဖိအား(preset maximum pressure or no-load point)ထက် ပိုများလာလျှင် လေဝင်ပေါက်(inlet)ကို လုံးဝ ပိတ်ထားခြင်း (fully shut)ဖြင့် idle ဖြစ်နေစေသည်။ Compressor အထွက်ဖိအား(discharge pressure)သည် "Load point"သို့ မရောက်မချင်း idle ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ Compressor အထွက်ဖိအား(discharge pressure)သည် "Load Point" သို့ ရောက်သည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် လေဝင်ပေါက်(inlet)ကို လုံးဝ ပွင့်နေအောင် ဖွင့်လိုက်ခြင်း(fully open)ဖြင့် လေထွက်နှုန်း အပြည့်(full-flow capacity) ရနိုင်သည်။

Pressure switch သည် two-step control ၌ အဓိကကျသည့် ကိရိယာတစ်ခု ဖြစ်သည်။ Pressure switch သည် primary control သို့မဟုတ် dual-control system ၏ အစိတ်အပိုင်း ဖြစ်သည်။ အချို့သော reciprocating compressor များတွင် 3- step သို့မဟုတ် 5-step control နည်းကို အသုံးပြုကြသည်။

**အားသာချက်**

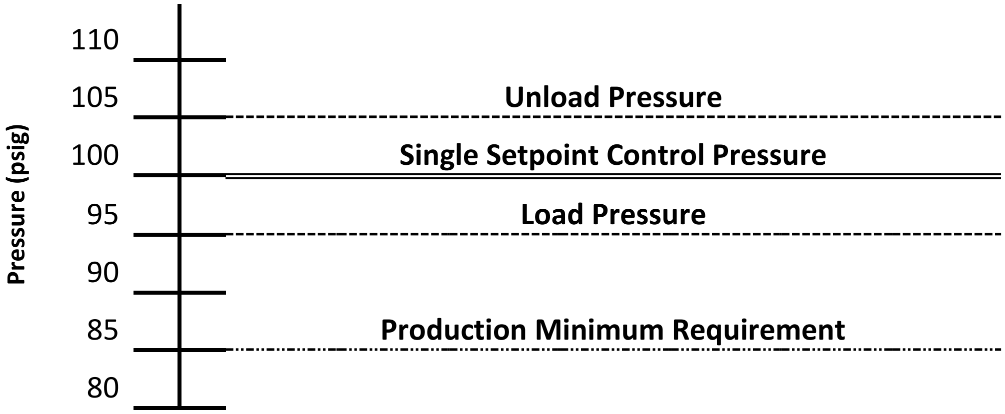
များသောအားဖြင့် reciprocating compressor များသည် part-load ဖြင့်မောင်းသည့်အခါ ပို၍ efficient ဖြစ်ကြသည်။ ပင်စတင်(piston) သည် အနည်းငယ်မျှသော လေခုခံအားကိုသာ တွန်းရသောကြောင့် စွမ်းအင်ဖြုန်းတီးမှု အနည်းငယ်သာ ဖြစ်ပေါ်သည်။ လုံးဝ unload လုပ်ထားသည့်reciprocating air compressor ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုသည် ဝန်ပြည့်(full load)ဖြင့်မောင်းသည့် အချိန်တွင် သုံးသည့် စွမ်းအင်ပမာဏ၏ ၁၀% ခန့်သာ အသုံးပြုသည်။

**အားနည်းချက်**

Load/Unload control နည်းကို screw compressor များတွင် အသုံးပြုလျှင် part load efficiency မကောင်းနိုင်ပါ။ Screw compressor သည် unload လုပ်သည့် အခါတွင် full load ဖြင့် မောင်းသည့် အချိန်တွင် သုံးသည့် စွမ်းအင်ပမာဏ၏ ၂၀% မှ ၂၅% အထိ အသုံးပြုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် မည်သည့်လေ(air output) မျှမရပဲ compressor စွမ်းအား၏ ၂၅% ခန့် ဆုံးရှုံးနေခြင်း ဖြစ်သည်။

Screw compressor ၏ အထွက်ဖိအား(discharge pressure)သည် 30psig ထက်နည်းလျှင် စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving) ပို၍ပင် မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။ စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving) ဖြစ်ရန်အတွက် အချိန်ကြာကြာ idle ဖြစ်နေရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် လုံလောက်အောင် ကြီးမားသည့် လေလှောင်ကန်(air storage) တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

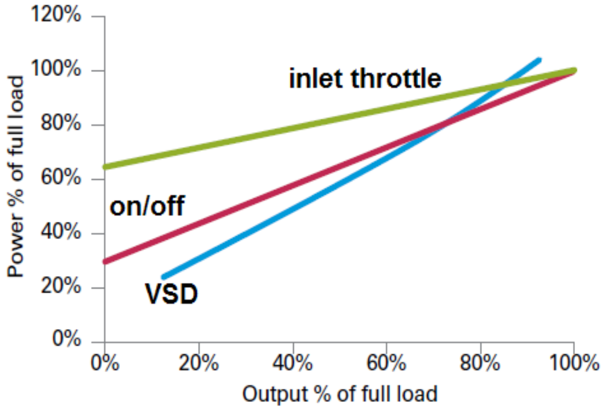
Compressor များ၏ control system ကို ဒီဇိုင်း လုပ်သည့်အခါ သို့မဟုတ် compressor များကို turning လုပ်သည့် အခါများတွင် အချိန်အနည်း၊ အများ(timing)ကို ဂရုတစိုက် တွက်ချက်ရန် လိုသည်။ Compressor များ စတင်မောင်းရန် အချိန် လိုအပ်သလို၊ လိုအပ်သည့် speed သို့ရောက်ရန်အတွက် အချိန်စောင့်ဆိုင်းရသည်။ ထို့ကြောင့် လေ(compressed air)ပြတ်သွားခြင်း မဖြစ်စေရန် အတွက် လေသိုလှောင်နိုင်သည့် ပမာဏ(storage capacity) ပို၍ များထားပေးရန် လိုအပ်သည်။




ပုံ ၇-၇ Set Point တစ်ခုတည်း(single set point)ဖြင့် control လုပ်သည့် ပုံဖြစ်သည်။

Set Point သည် 100 psig ဖြစ်သည်။ Load pressure သို့မဟုတ် Cut in pressure သည် 95 psig ဖြစ်သည်။ System pressure သို့မဟုတ် discharge pressure သည် 95 psig အထိ နိမ့်ဆင်းသွားလျှင် compressorကို load လုပ်ရန် ဖြစ်သည်။ Unload pressure သို့မဟုတ် Cut out pressure သည် 105 psig ဖြစ်သည်။ System pressure သို့မဟုတ် discharge pressure သည် 105 psig အထိ မြင့်တက်လာလျှင် compressor ကို unload လုပ်ရန် ဖြစ်သည်။

### ၇.၃.၃ Throttling သို့မဟုတ် Modulation Control နည်း




Compressor ၏ လေဝင်ပေါက်(inlet opening) အဝကို ကျဉ်းအောင် ကျယ်အောင် ပြုလုပ်ခြင်း (throttling လုပ်ခြင်း)ဖြင့် လိုအပ်သော လေပမာဏ (air demand) နှင့် compressor လေထွက်နှုန်း(capacity) တို့ ကိုက်ညီအောင် ပြုလုပ်ခြင်း(control လုပ်ခြင်း) ဖြစ်သည်။ လေဝင်ပေါက်အဝ(inlet opening) တွင် တပ်ဆင်ထားသော valve သည် system pressure အနည်းအများကို လိုက်၍ လိုအပ်သည့် discharge pressure ဖြစ်အောင် ချက်ချင်း ထိန်းပေးနိုင်စွမ်း ရှိသည်။

ပုံ ၇-၈ Inlet throttle compressor controls ၊ on/off control နှင့် VSD control

တစ်နည်းအားဖြင့် လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို လေဝင်ပေါက်(air intake)ရေိယာ ကျဉ်းအောင် ကျယ်အောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် compressor ၏ capacity ကို ထိန်းချုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ System demand အပြောင်းအလဲ မရှိချိန်(steady state)တွင် ဖိအား တည်ငြိမ်နေအောင်(constant system pressure) ဘား ရွေ့လျားမှု အနည်းဆုံးဖြင့်(minimal valve movement) ထိန်းထားနိုင်ရန် လိုအပ်သည်။ လေအနည်းငယ်သာ လိုအပ်သည့်(low load) အခြေအနေများတွင် throttling နည်းကို အချိန်ကြာမြင့်စွာ သုံးရန် မသင့်လျော်ပေ။

**အားသာချက်**

မောင်းခြင်း၊ ရပ်နားခြင်း စသည့်တို့ မပြုလုပ်သောကြောင့်(non-cycling control ဖြစ်သောကြောင့်) operation ချောမွေ့သည်။ 60% မှ 100% load ဖြင့် မောင်းနေချိန်၌ ကောင်းစွာ efficient ဖြစ်သည်။ လေသိုလှောင်နိုင်စွမ်း(storage capacity) များသည်ဖြစ်စေ၊ နည်းသည်ဖြစ်စေ၊ ပိုက်ရှည်သည် ဖြစ်စေ၊ တိုသည်

ဖြစ်စေ မည်သည့်အခါမျှ မကြာခဏ ပိတ်ခြင်း၊ မောင်းခြင်း(short cycle) ဖြစ်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ရိုးရှင်းသည့် နည်းဖြစ်သောကြောင့် လွယ်ကူစွာ မောင်းခြင်း၊ထိန်သိမ်းခြင်းနှင့် ပြုပြင်ခြင်းတို့ ပြုလုပ်နိုင်သည်။

**အားနည်းချက်**

60% ထက်နည်းသည့် load ကို throttling နည်းဖြင့် control လုပ်ပါက efficiency မကောင်းနိုင်ပေ။ လေထွက်နှုန်းအပြည့်(full capacity) ရရန်အတွက် ရှိသင့်ရှိထိုက်သည့် ဖိအား(back pressure) ရှိရန် လိုသည်။ Base load အတွက် မောင်းရန် လိုအပ်နေချိန်တွင် pressure အနည်းအများကို ချက်ချင်း တုန့်ပြန်နိုင်သောကြောင့်(instant response) compressor သည် Unload လုပ်ခြင်း မြန်မြန် ဖြစ်နိုင်သည်။ အနည်းငယ်မျှသော ဖိအားပြောင်းလဲမှုကို သိနိုင်ခြင်းနှင့် တုန့်ပြန်မှုမြန်ခြင်း(sensitivity and rapid reaction) တို့ကြောင့် အကောင်းဆုံးသော အခြေအနေ(optimum operation)ဖြင့် မောင်းနိုင်သည်။

## ၇.၃.၄ Auto – Dual Control နည်း

Start/Stop control လုပ်နည်း နှင့် Load/Unload control လုပ်နည်း နှစ်မျိုးလုံးဖြင့် control လုပ်နိုင်အောင် စီမံထားသည့် နည်းကို Auto – Dual Control နည်း ဟုခေါ်ဆိုသည်။

## ၇.၃.၅ Variable Speed Drive (VSD) ဖြင့် Control နည်း

စာမျက်နှာ(၇-၁၅)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

## ၇.၃.၆ Variable Displacement Control နည်း

Variable displacement control နည်းသည် effective length of rotor compression volume ကို တိုအောင် သို့မဟုတ် ရှည်အောင် ပြုလုပ်ပြီး rotary screw compressor ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)နှင့် လေလိုအပ်ချက်(air demand) ကိုက်ညီစေသည်။ အဝင်လေ၏ ဖိအား(inlet pressure) တည်ငြိမ်နေသမျှ ကာလပတ်လုံး compression ratio သည်လည်း တည်ငြိမ် နေလိမ့်မည်။

ဤကဲ့သို့compression ratio မများစေပဲ လေစီးနှုန်း(air flow)လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်ခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်(power)သုံးစွဲမှု လျော့နည်း စေသည်။ ထို့ကြောင့် modulating control လုပ်နည်းထက်လည်း ပိုကောင်းသည်။ 2-step control မှာကဲ့သို့ full load မှ 50% load အထိ ကျဆင်းသွားခြင်းလည်း မဖြစ်နိုင်ပေ။

Spiral-cut high lead valve နှင့် poppet valve တို့သည် unloading control နည်းတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် အသုံးများသည့်ဘား(valve) များ ဖြစ်ကြသည်။ ထိုနှစ်နည်းလုံးတွင် compressor cylinder port များကို ပိတ်ခြင်း(close) နှင့် ဖွင့်ခြင်း(open) တို့ကို ပြုလုပ်ပေးရသည်။ ဆလင်ဒါ အတွင်းရှိ လေ၏ ထုထည်ကို လျော့ချပေးနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် လေဖိသိပ်(compress)ရန် အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအင် (energy)လည်း လျော့နည်း သွားလိမ့်မည်။

**အားသာချက်**

50% မှ 100% part-load performance အတွင်း၌ အလွန် efficient ဖြစ်သည်။ သတ်မှတ်ထားသည့် (set လုပ်ထားသည့်) အနိမ့်ဆုံး ဖိအား(system pressure)အတိုင်း ထိန်းထားနိုင်သည်။ တုန့်ပြန်မှု အလွန်မြန် (very responsive)သည်။

**အားနည်းချက်**

Load များသည့်အခါ အချို့သော compressor များသည် လေယိုစိမ့်မှု(leakage)ဖြစ်ခြင်းကြောင့် efficiency ကျဆင်းသွားသည်။ Variable displacement control နည်းတွင် ရှုပ်ထွေးသည့် စက်ပစ္စည်း အစိတ်အပိုင်းများ ပါဝင်သည်။ Lower operating range များ၌ 2-step သို့မဟုတ် modulation ဖြင့်မောင်းရသည်။ အောက်ပါ ဇယားတွင် air compressor များ ၏ unloading လုပ်နိုင်စွမ်း ကောင်းမကောင်းကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။

| Type of control | Reciprocating | | Rotary screw | | Centrifugal |
|---|---|---|---|---|---|
| | Acting Type | | Lubrication | | |
| | Single | Double | Oil | Oil-free | |
| Automatic Start/Stop | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes |
| Two step | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes (dual) |
| Three and five step | No | Yes | No | No | No |
| Throttled inlet | No | No | Yes | No | Yes |
| Variable displacement | No | No | Yes | No | N/A |
| Variable speed | No | No | Yes | No | No |

## ၇.၄ Multiple Compressor System Controls

### ၇.၄.၁ Master Compressor Control နည်း

Compressor များ အားလုံးကို control လုပ်ရန်အတွက် "Master Controller" လိုအပ်သည်။ Master controller ၏ တာဝန်များသည် compressor များကို sequence လုပ်ရန်၊ လေလိုအပ်မှု(air demand) နှင့် ကိုက်ညီမည့် compressor များကို မောင်းပေးရန် နှင့် compressor များ တစ်လုံးနှင့် တစ်လုံးမောင်းချိန်(running time)တူညီနေစေရန် တို့ဖြစ်သည်။ ယနေ့ခေတ် master controller များသည် energy efficiency ကောင်းအောင် ဆောင်ရွက်ပေးနိုင်သည်။ Master controller သည် compressed air system တစ်ခုလုံးကို monitor လုပ်ပေးနိုင်သည်။ Master compressor control တွင် cascade control နှင့် pressure band control ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရှိသည်။

**(၁) Cascade Control နည်း**

Cascade control နည်းသည် ရိုးရှင်းပြီး အသုံးများသည့်နည်း တစ်ခုဖြစ်သည်။ Compressor တိုင်း၌ "Pressure Band" အနိမ့်နှင့် "Pressure Band" အမြင့် ဟူ၍ set point နှစ်ခု သတ်မှတ်ထားပေးရန် လိုသည်။ လေလိုအပ်မှု(air demand)နှင့် ကိုက်ညီစေရန် compressor များ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို ပေါင်းခြင်း သို့မဟုတ် နှုတ်ခြင်း ပြုလုပ်၍ compressor များကို မောင်းစေ၊ ရပ်စေခြင်း ဖြစ်သည်။ Cascade control ကို "Stepped Control System"ဟုလည်းခေါ်သည်။

> လေလိုအပ်မှု(air demand) နှင့် system pressure သည် ပြောင်းပြန် ဆက်သွယ်မှု ရှိသည်။ လေလိုအပ်မှု(air demand)သည် compressor မှ ပုံမှန် ထုတ်ပေးနေသည့် လေထွက်နှုန်း(air output)ထက် များလျှင် system pressure ကျဆင်းလာ လိမ့်မည်။ လေလိုအပ်ချက်(air demand)သည် compressor မှ ပုံမှန် ထုတ်ပေးနေသည့် လေထွက်နှုန်း(air output)ထက် နည်းလျှင် system pressure မြင့်တက် လာလိမ့်မည်။

လေလိုအပ်မှု(air demand) နိမ့်သည့်အခါ compressor တစ်လုံးတည်းသာ မောင်းနေလိမ့်မည်။ ကြိုတင် သတ်မှတ်ထားသည့် အနိမ့်ဆုံးဖိအား(preset minimum pressure) နှင့် ကြိုတင် သတ်မှတ်ထားသည့် အမြင့်ဆုံးဖိအား(preset maximum pressure) နှစ်ခုအကြားတွင် မောင်းနေလိမ့်မည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဖိအား တက်လိုက်၊ ကျလိုက်(fluctuated) ဖြစ်နေလိမ့်မည်။

လေပမာဏ(air demand)များများ လိုအပ်သည့်အခါတွင် system pressure ကျဆင်းလာမည်။ ထိုအခါ အရံအဖြစ်ထားရှိသည့် compressor တစ်လုံးကို စတင် မောင်းလိမ့်မည်။(Cut in လုပ်လိမ့်မည်။) ထိုအခါ ဖိအားမြင့်တက်လာမည်။ ထို့ကြောင့် system pressure သည် လိုအပ်သည့် အနိမ့်ဆုံးဖိအား(minimum

working pressure) ထက် အလွန့် အလွန် ပိုများနိုင်သည်။ ဖိအား(pressure) အလွန်များသောကြောင့် လေယိုစိမ့်မှု(leak) ပိုဖြစ်နိုင်သည်။ စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှု ပိုများလိမ့်မည်။

**(က) Diaphragm Pressure Wwitchကို အသုံးပြု၍ Cascade နည်းဖြင့် Control လုပ်ခြင်း**

Cascade control နည်းတွင် pressure switch ကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။ Compressor တိုင်းအတွက် minimum differential pressure ထားရှိရန် လိုအပ်သည်။ အနိမ့်ဆုံး ဖိအားကွာခြားချက် (minimum differential pressure)သည် Cut in pressure နှင့် Cut out pressure ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။ အနိမ့်ဆုံး ဖိအား ကွာခြားချက်(minimum differential pressure) ပမာဏသည် 0.5 bar ခန့် ဖြစ်သည်။

**(ခ) Electronic Pressure Switch ဖြင့် Cascade နည်းဖြင့် Control လုပ်ခြင်း**

Electronic pressure transducer ကို အသုံးပြုလျှင် ပမာဏနည်းသည့် pressure switching differential ဖြင့် မောင်းနိုင်သည်။ 0.2 bar ဖြစ်သည်။ Compressor လေးလုံးထက် ပိုလျှင် "Cascade Control" နည်းကို အသုံးမပြုသင့်ပါ။ Compressor လေးလုံးထက် ပိုများပါက compressor များမှ အထွက်ဖိအား (discharge pressure) သည် working pressure ထက် ပိုများပြီး လေယိုစိမ့်မှု အလွန်များလိမ့်မည်။

**(၂) Pressure Band Control နည်း**

Pressure band control နည်းဖြင့် control လုပ်ခြင်းသည် ပို၍ energy efficient ဖြစ်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။ နောက်ဆုံးပေါ် နည်းလည်း ဖြစ်သည်။ Compressor အရေအတွက် မည်မျှပင် မောင်းပါစေ pressure band တစ်ခုအတွင်း၌ ဖိအား(system pressure)ကို ငြိမ်နေအောင် ထိန်းထားနိုင်သည်။

Microprocessor များဖြင့် compressor များ အစီအစဉ်တကျ မောင်းရမည့်၊ ရပ်ရမည့် sequence ကို control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Pressure band control လုပ်နည်းများ အကြောင်းကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

**(က) Vector Control နည်းဖြင့် Pressure Band Control လုပ်ခြင်း**

Vector control သည် သတ်မှတ်ထားသည့် အမြင့်ဆုံးဖိအား နှင့် အနိမ့်ဆုံးဖိအား(minimum) နှစ်ခု အကြားတွင် system pressure ရှိနေအောင် ထိန်းထားခြင်း ဖြစ်သည်။ လွန်ခဲ့သည့်နေ့များမှ လေသုံးစွဲမှု နှုန်း(consumption)ကို အခြေခံ၍ controller သည် အသင့်လျော်ဆုံးသော မောင်းရမည့် compressor ကို ရွေးချယ်ပေးသည်။ ဤနည်းဖြင့် control လုပ်လျှင် ဖိအားများခြင်း၊ နည်းခြင်း ခြားနားချက်(pressure swing) ကို 0.5 bar ထက် ပိုနည်းအောင် ပြုလုပ်၍ မရနိုင်ပေ။

**(ခ) Trend Recognition နည်းဖြင့် Pressure Band Control လုပ်ခြင်း**

"Trend Recognition" ကို အသုံးပြု၍ pressure band control လုပ်ခြင်းသည် vector control လုပ်နည်းထက် ပို၍ efficient ဖြစ်သည်။ Pressure switching differential 0.2bar ရအောင် ထိန်းနိုင်သည်။ ဤနည်းသည် လက်ရှိ သုံးနေသည့် နည်းပညာများအနက် အကျဉ်းဆုံး(narrowest) pressure band ကို ပေးနိုင်သည်။ Trend recognition သည် အချိန် အနည်းငယ်အတွင်း ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားများခြင်း၊ နည်းခြင်းကို လိုက်ညှိပေးလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

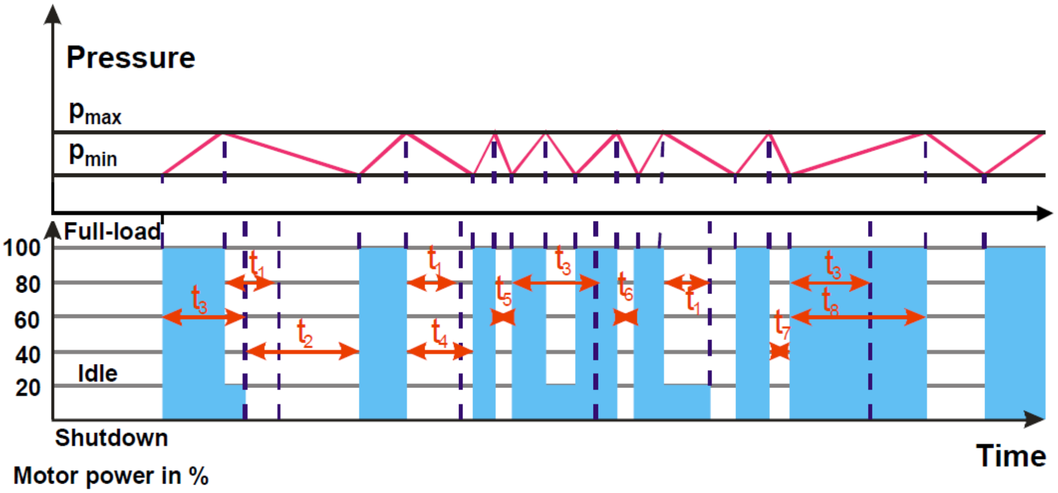
"Trend Recognition" သည် 0.01 bar နှင့် 0.03 bar အကြားတွင် ဖိအား(system pressure)ကို ငြိမ်အောင် ထိန်းထားနိုင်သည်။ လေလိုအပ်ချက် မတည်ငြိမ်သည့်(demand fluctuating) အခြေအနေတွင် ဖိအားကွာခြားချက်(pressure switch differential)ကို အနည်းဆုံးဖြစ်အောင် ထိန်းထား နိုင်သည်။ Compressor (၁၆)လုံး တစ်ပြိုက်နက် မောင်းနေချိန်တွင် pressure band ကို 0.2 bar အတွင်း၌ ငြိမ်နေအောင် ထိန်းထားနိုင်သည်။

ဤကဲ့သို့ ဆောင်ရွက်ပေးနိုင်သည့် controller များကြောင့် စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving) များစွာ ဖြစ်နိုင်သည်။ 0.1 bar လျှော့ချနိုင်ရုံဖြင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှုန်း(Energy consumption) ၁% ခန့်

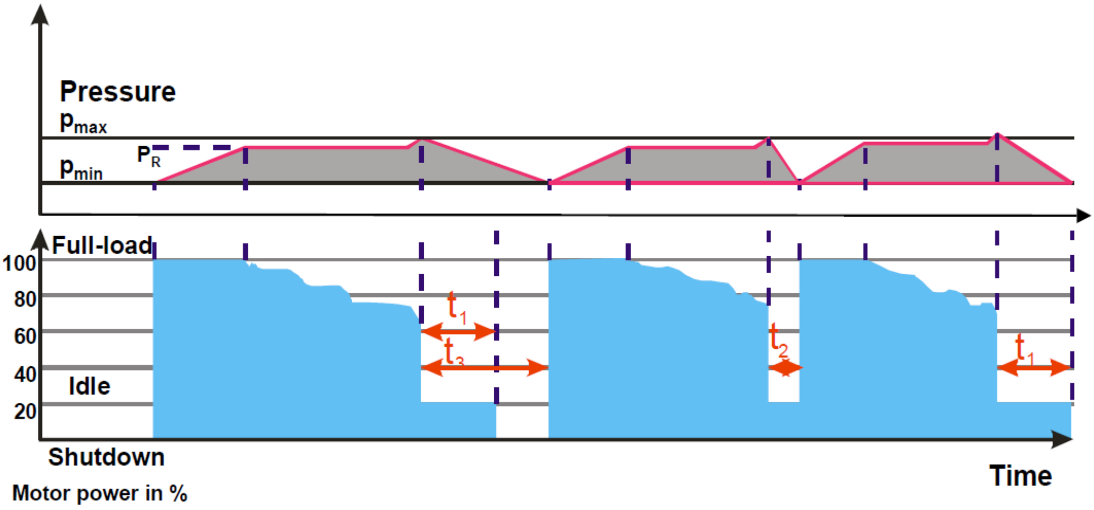
လျှော့ချနိုင်သည်။

**(ဂ) Peak Load Dependent Pressure Band Controller များ**

Peak load dependent pressure band controller များသည် "Trend Recognition" နည်းကို အသုံးပြုထားသည့် controlလုပ်နည်း တစ်မျိုးပင် ဖြစ်သည်။ ဤနည်းတွင် splittingလုပ်ခြင်း ပါဝင်သည်။ Splitting လုပ်ခြင်း ဆိုသည်မှာ compressor များကို(base load နှင့် peak load demand တို့ကို မောင်းရန်အတွက်) အုပ်စုခွဲထားခြင်း ဖြစ်သည်။ တီထွင်ထားသော control လုပ်နည်း အသစ်များတွင် အကောင်းဆုံးနည်းဟု ဆိုနိုင်သည်။




ပုံ ၇-၉ Range of application base load compressor




ပုံ ၇-၁၀ Range of application peak load compressor

Compressed air system များတွင် တစ်လုံးထက် ပိုသည့် air compressor များ ပါဝင်လေ့ ရှိသည်။ အနည်းဆုံး air compressor နှစ်လုံးပါဝင်လေ့ ရှိသည်။ Compressor တစ်လုံး မောင်းနေချိန်(in operation) တွင် အခြား compressor တစ်လုံးသည် အရံ(standby)အဖြစ် စောင့်နေသည်။ N+1 Configuration ဟုခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ ထိုမောင်းနေသည့် compressorကို "Lead Compressor" ဟုခေါ်သည်။ အရံအဖြစ် စောင့်နေသည့် (standby) compressor ကို "Lag Compressor" ဟုခေါ်လေ့ရှိသည်။ ထိုကဲ့သို့ Lead/Lag compressor များကို သတ်မှတ်(assign လုပ်)၍ မောင်းခြင်းကို "Lead/Lag Operation" ဟုခေါ်သည်။

အလွန်ကြီးမားသည့် compressed air system များတွင် အမျိုးအစား နှင့် အရွယ်မတူသော air compressor များစွာ ပါဝင်လေ့ရှိသည်။ System efficiency ကောင်းစေရန်အတွက် ထိုကဲ့သို့ အမျိုးအစား နှင့် အရွယ်မတူသော air compressor များ ရှိနေခြင်း ဖြစ်သည်။ ဥပမာ- မြန်နှုန်းပုံသေ (fixed speed)ဖြင့် မောင်းသော centrifugal compressor များကို အမြဲ lead compressor (base compressor ဟု လည်းခေါ်သည်။) အဖြစ်မောင်းစေပြီး Variable Speed Drive(VSD)ဖြင့် မောင်းသော rotary screw compressor (lag Compressor) ကို trim compressor အဖြစ် မောင်းလေ့ရှိသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် မြန်နှုန်းပုံသေ(fixed speed)ဖြင့် မောင်းသည့် centrifugal compressor သည် full load ၌သာ efficiency ကောင်းပြီး part load ၌ efficiency အလွန်ညံ့သည်။ Variable Speed Drive(VSD)ဖြင့် မောင်းသော rotary screw Compressor သည် part load efficiency အလွန် ကောင်းသည်။ ထိုကဲ့သို့ Lead/Lag Operation များကို "Control System Sequencer (Main Controller)" ကပြုလုပ်ပေးသည်။

မည်သည့် compressor ကို lead အဖြစ် သတ်မှတ်(assign လုပ်)မည်၊ မည်သည့် compressorကို lag အဖြစ် သတ်မှတ်(assign လုပ်)မည်၊ system pressure မည်မျှအထိ ကျဆင်းလျှင် မည်သည့် compressor ကို ခေါ်မောင်းမည်(Cut in pressure/Cut out pressure)စသည့် အလုပ်များ အားလုံးကို Main Controller ဟုခေါ်သည့် control system sequencer က ပြုလုပ်ပေးသည်။ Multi-Compressor sequencing လုပ်ခြင်း၊ optimization လုပ်ခြင်း (fixed speed centrifugal compressor ကို full load ဖြင့် အမြဲမောင်းနေအောင် command ပေးခြင်းနှင့် ကျန်သည့် load ကို variable speed ဖြင့် မောင်းသော rotary screw compressor ကို မြန်နှုန်း လျှော့ချ၍ မောင်းစေခြင်း)၊ compressor များ၏ မောင်းချိန်(operation hour)များကို ညီအောင် ညှိပေးခြင်း စသည့် sophisticated control algorithm များကိုလည်း ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည်။

## ၇.၅ VSD Compressor Control နည်း

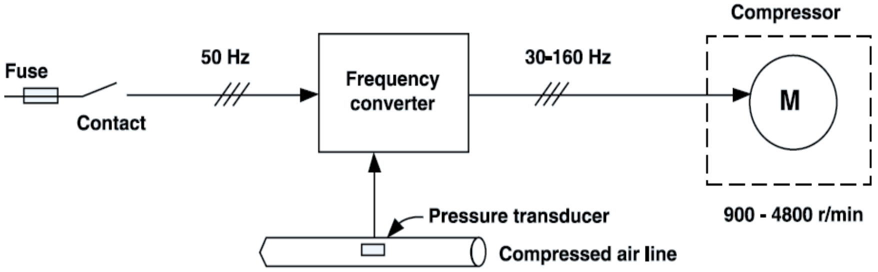
တစ်လုံးထက် ပိုများသည့်(multiple) compressor များ ပါဝင်သည့် compressed air system ကို multi compressor system ဟုလည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။ ပုံတွင်ပြထားသည် cascaded ပုံစံမျိုး set point နည်းဖြင့် multi-compressor များကို control လုပ်ခြင်းသည် အသုံးအများဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။
ရိုးရှင်းလွယ်ကူပြီး ဈေးသက်သာသည့်နည်းဖြစ်သော်လည်း အားနည်းချက်များစွာ ရှိသည်။

(က) အထွက်ဖိအား(compressor discharge pressure)သည် အမှန်တကယ် လိုအပ်သည့် ဖိအားထက် အမြဲ ပိုများလေ့ရှိသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် compressor အထွက်ဖိအား(discharge pressure)ကို လိုအပ်သည့် ဖိအားထက် ပိုမြင့်အောင် မောင်းပေး ရသည်။

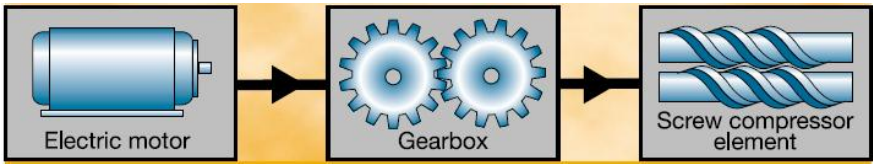
(ခ) အရွယ်အစားမတူညီသည် VSD compressor များကို အတူတကွ control လုပ်ရန် အလွန်ခက်ခဲသည်။

(ဂ) Pressure switch များကို manual နည်းဖြင့် adjustment လုပ်ရန် လိုသည်။

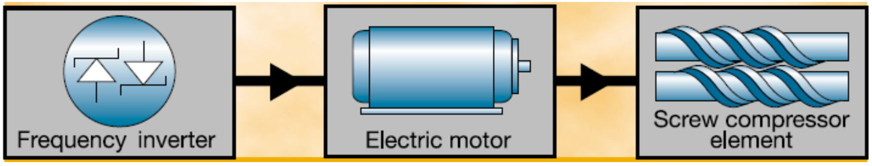
(ဃ) Efficient အဖြစ်ဆုံး compressor ကို trim duty တွင် အမြဲမောင်းထားနိုင်ရန် အတွက် ခက်ခဲသည်။



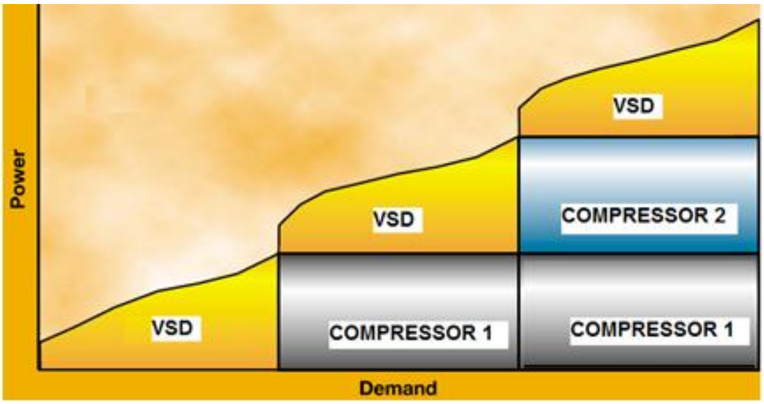

ပုံ ၇-၁၁ A system with a speed controlled compressor




ပုံ ၇-၁၂ Constant speed ဖြင့်မောင်းသည့် screw compressor ကိုဖော်ပြထားပုံ

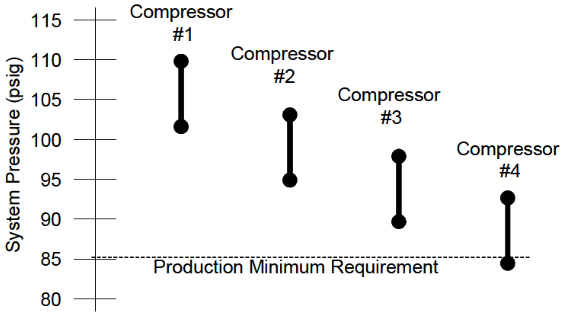



ပုံ ၇-၁၃ Variable Speed Drive ဖြင့်မောင်းသည့် screw compressor ကိုဖော်ပြထားပုံ




ပုံ ၇-၁၄ Base compressor နှစ်လုံး နှင့် Trim (VSD) compressor တစ်လုံးပါဝင်သည့် system

တစ်လုံးထက် ပိုများသော base compressor မောင်းရန်လိုသည့် system ဖြစ်သည်။ Base demand အတွက် base compressor တစ်လုံး သို့မဟုတ် နှစ်လုံး မောင်းပေးရန် လိုသည်။ Compressor 1 သည် "Primary Base Compressor" ဖြစ်သည်။ Compressor 2 သည် "Secondary Base Compressor" ဖြစ်သည်။ Compressor 1 နှင့် Compressor 2 ကို base compressor များ ဟုခေါ်သည်။

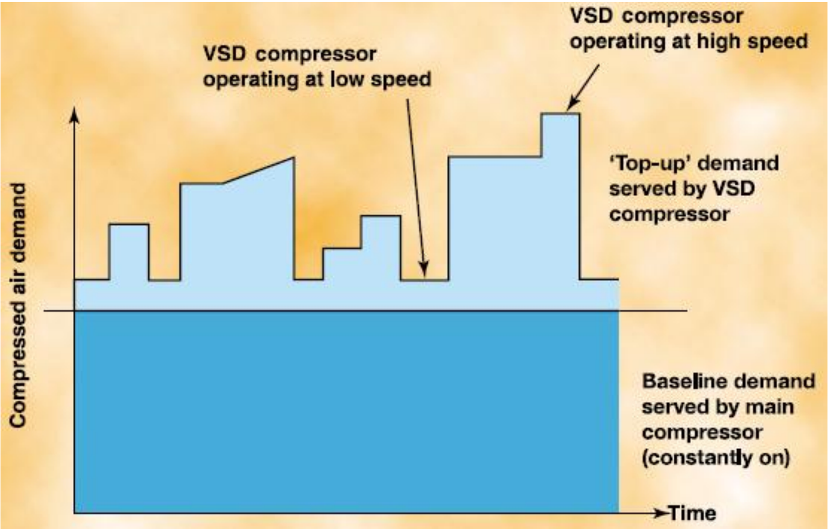



| | Cut in (psig) | Cut out (psig) |
|---|---|---|
| Compressor #1 | 100 | 110 |
| Compressor #2 | 95 | 105 |
| Compressor #3 | 90 | 100 |
| Compressor #4 | 85 | 95 |

ပုံ ၇-၁၅ Multiple Compressor Cascading Control

Cascade control ကို VSD compressor များတွင် အသုံးမပြု သင့်ပါ။

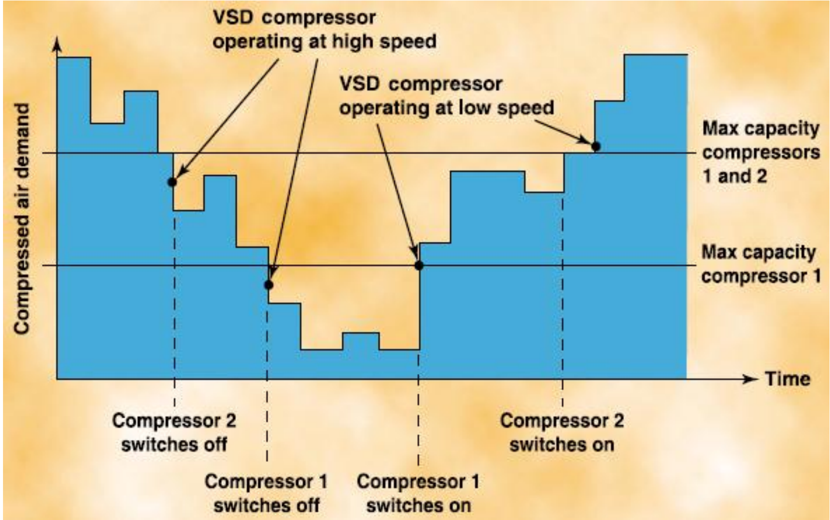
လိုအပ်သည့် ခဏတာအတွက် မောင်းရန် ရည်ရွယ် တပ်ဆင်ထားသည့် compressorကို trim compressor ဟုခေါ်သည်။ Trim compressor များကို partial load အခြေအနေများတွင် energy efficient ဖြစ်စွာမောင်းနိုင်သည့် compressor အမျိုးအစားများကို ရွေးချယ်သင့်သည်။




ပုံ ၇-၁၆ Base compressor တစ်လုံးသာ မောင်းရန်လိုသည့် system

Base demand ထက်ပိုများသည့် deand (top up demand)ကို VSD compressor သို့မဟုတ် Trim compressor မှ ဖြည့်မောင်းပေးသည်။

Base compressor တစ်လုံးသာမောင်းရန် လိုသည့် system ဖြစ်သည်။ Base demand ကို Base compressor တစ်လုံး မှ ထုတ်ပေးနိုင်သည်။

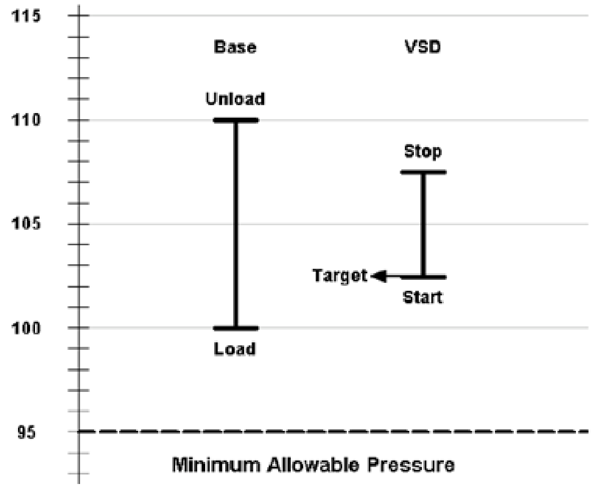



ပုံ ၇-၁၇ တစ်လုံးထက် ပိုများသော base compressor မောင်းရန်လိုသည့် system

တစ်လုံးထက်ပိုများသော base compressor မောင်းရန်လိုသည့် system ဖြစ်သည်။ Base demand အတွက် Base compressor တစ်လုံး သို့မဟုတ် နှစ်လုံး မောင်းပေးရန် လိုသည်။

Base demand ထက်ပိုသော demand (top up demand) ကို VSD compressor သို့မဟုတ် Trim compressor မှ ဖြည့်မောင်း ပေးသည်။

Cascaded control နည်းကို အသုံးပြုသည့်အခါတွင် partial load ဖြင့် မောင်းနေသည့် အခိုက် compressor အားလုံးတွင် တူညီသော characteristics ရှိကြသည်ဟု ယူဆထားသည်။ သို့သော် တစ်ခါတစ်ရံ compressor တစ်လုံးသည် variable speed drive (VSD) တပ်ဆင်ထားခြင်းမျိုး ကြုံတွေ့ နိုင်သည်။




ပုံ ၇-၁၈ VSD compressor setpoint within the base control range

လိုအပ်သည့် compressor အရေအတွက် အတိအကျကို fully load ဖြင့်မောင်းပြီး ထိုcompressor များ အနက်မှ part load characteristics ကောင်းသည့်  compressor တစ်လုံးကို trim unit အဖြစ် မောင်းခြင်း သည် multi-compressor system ကို efficient အဖြစ်ဆုံး မောင်းနိုင်သည့်နည်းကောင်း ဖြစ်သည်။ Part load energy performance ကောင်းသည့် compressor ကို trim unit အဖြစ်မောင်းရန် လျာထားသင့်သည်။

မည်သည့်အခြေအနေတွင်မဆို မောင်းနေသည့် compressor များ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity) နှင့် လေလိုအပ်မှု (air demand)ပမာဏ လုံးဝတူညီရန် အလွန်ခဲယဉ်းသည်။  ထို့ကြောင့် part load energy performance ကောင်းသည့် VSD compressor ကို trim compressor အဖြစ် အသုံးပြုခြင်းဖြစ်သည်။ Control လုပ်နည်းနှင့် သင့်လျော်သည့် trim compressor အရွယ်အစားနှင့် pressure setting ကိုရွေးချယ်ခြင်းသည် အလွန်အရေးကြီးသည့် ကိစ္စဖြစ်သည်။

ရွေးချယ်မှု မှားယွင်းလျှင် "Control Gap" ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ System တစ်ခုလုံး unstable ဖြစ်နိုင်သည်။ Compressor နှစ်လုံး trim position အဖြစ်ရရန် အပြိုင်ကြိုးစားနေကြသည့် အခြေအနေမျိုး ကြုံတွေ့နိုင်သည်။ မောင်းနေသည့် compressor များအားလုံး အလွန်နည်းသည့် part load အခြေအနေဖြင့် မောင်းနေကာ energy performance ဆိုးဝါးနိုင်သည်။

## ၇.၆ Control Gap ဖြစ်ပေါ်ခြင်း

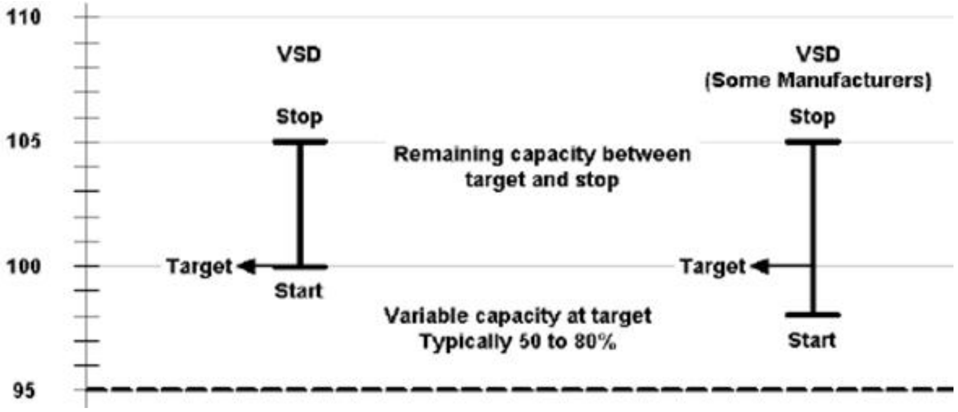
Trim compressor(VSD Compressor)ကို partial load တွင် မောင်းရန် အတွက်သာ တပ်ဆင် ထားခြင်းဖြစ်သည်။ Trim compressor (VSD)၏ pressure setting သည် ပုံ(၇-၁၈)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း base compressor ၏ pressure setting အတွင်း၌ ရှိနေအောင် ပြုလုပ်ထားရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် setting လုပ်ထား ရမည်။

ဤသို့ ပုံ(၇-၁၈)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း set point များ သတ်မှတ်ထားသောကြောင့် VSD compressor သည် partial load အတွက် မောင်းပေးရင်း system pressure  control လုပ်နေလိမ့်မည်။ Base compressor သည်ဖိအား (system pressure) 100 psig ထက်နည်းလျှင် Loaded ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ 110 psig သို့ရောက်လျှင် unload ဖြစ်မည်။ ဖိအား(system pressure) 103 psig သို့ရောက်လျှင် VSD Compressor စမောင်းမည်။(Start ဖြစ်မည်။) 107 psig သို့ရောက်လျှင် VSD compressor ရပ်မည်။(Stop ဖြစ်မည်။) Base compressor သည် မောင်းသည်နှင့်တစ်ပြိုင်နက် 100% (full load)ဖြင့်သာ မောင်းလိမ့်မည်။ Unload လုပ်လျှင် 0% ဖြစ်မည်။ လေလိုအပ်မှု(air demand)သည် Base compressor ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity) ထက်

များလျှင် ကျန်ရှိနေသည့် လေလိုအပ်မှု(air demand)ကို VSD compressor မှ partial load ဖြင့် ဖြည့်မောင်းပေးလိမ့်မည်။

## ၇.၇ VSD Compressor Control Range

VSD Compressor များသည် မော်တာ မြန်နှုန်း(speed)ကို လိုသလို ပြောင်းလဲခြင်းဖြင့် အထွက်ဖိအား (discharge pressure)ကို တိကျစွာ ထုတ်ပေးနိုင်အောင် ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ထားသည်။ VSD compressor များသည် မြန်နှုန်း(speed)ကို လျှော့ချ နိုင်သည်ဟု ဆိုသော်လည်း minimum speed အထိ ရောက်အောင်သာ လျှော့ချနိုင်သည်။ Minimum speed သည် compressor တစ်လုံးချင်း၏ charateristic ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ VSD Compressor များကို minimum speed ထက်နည်းသည့် မြန်နှုန်း(speed)ဖြင့်မောင်းလျှင် Load/Unload (Start/Stop) compressor များ ကဲ့သို့ ပြုမူလိမ့်မည်။




ပုံ ၇-၁၉ VSD control Range ကိုဖော်ပြထားပုံ

ပုံ(၇-၁၉)သည် compressor control range ကို ဖော်ပြထားသည်။ အချို့သော compressor ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturer)သည် target pressure ကို control range ၏ အောက်ခြေ၌ ပုံသေ(fixed) လုပ်ထား လေ့ရှိသည်။ ဖိအား(target pressure)ကို control range အတွင်း မည်သည့် နေရာတွင်မဆို လိုသလို ရွှေ့ပြောင်းထားနိုင်သည်။

## ၇.၈ Base Compressor နှင့် Trim Compressor အရွယ်အစား မကိုက်ညီခြင်း(Size Mismatch)

Control လုပ်နည်းများ efficient ဖြစ်ရန် အတွက် trim capacity (VSD compressor capacity)ကို သင့်လျော်သည့် အရွယ်အစား ရွေးချယ်ထားရန် လိုအပ်သည်။ ဥပမာ 75HP trim compressor သည် 300 CFM ထုတ်ပေးနိုင်ပြီး 100HP base compressor သည် 400 CFM ထုတ်ပေး နိုင်သည်။

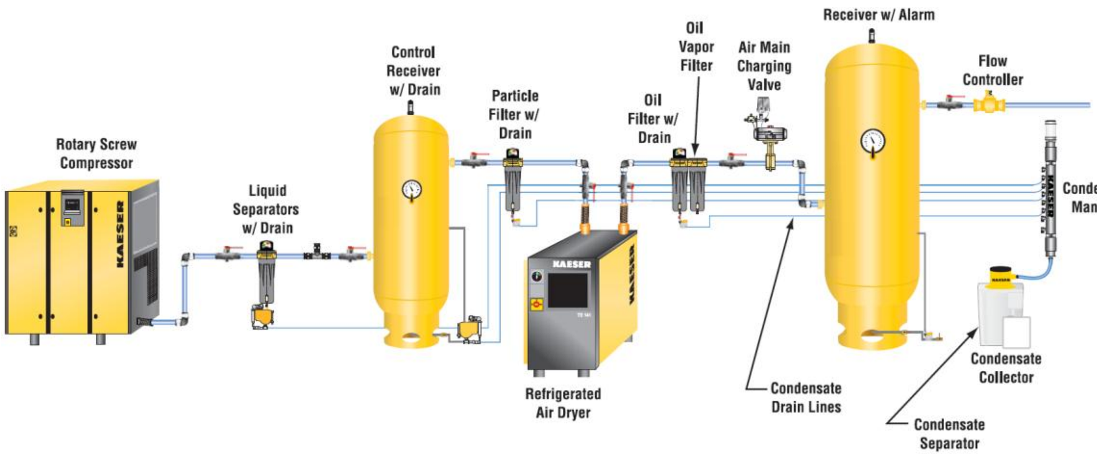
အထက်ပါ နည်းအတိုင်း ထို compressor နှစ်လုံးကို control လုပ်လျှင် 0 CFM မှ 300 CFM အတွင်း လိုသလို ရနိုင်သည်။ 400 CFM မှ 700 CFM အတွင်း လိုသလို ရနိုင်သည်။ သို့သော် 300 CFM မှ 400 CFM အတွင်း လိုသလို မရနိုင်ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အရွယ်အစား မကိုက်ညီသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Size mismatch ဖြစ်ဟု ရေးသားလေ့ရှိသည်။ 100 CFM ကျယ်သည့် "Control Gap" ဖြစ်ပေါ်သည်။ 300 CFM မှ 400 CFM အတွင်း လိုသလို control လုပ်၍ မရနိုင်။ 300 CFM မှ 400 CFM အတွင်း 75HP compressor နှင့် 100HP နှစ်လုံးကို efficient ဖြစ်အောင် မောင်း၍ မရနိုင်။

ဥပမာ 350 CFM သို့ရောက်လျှင် 75HP compressor ၏ discharge pressure ကျဆင်း လာလိမ့်မည်။ ထို့နောက် 75HP compressor ကို ရပ်နားပြီး base compressor(400 CFM)ကို စမောင်း(start)မည်။ 400 CFM compressor ကိုမောင်းနေချိန်တွင် system သည် 350 CFM သာ လိုသောကြောင့် ဖိအား(system pressure) တဖြည်းဖြည်း မြင့်တက်လာပြီး base compressor (100HP, 400 CFM) compressor ၏ unload point

သို့ရောက်ကာ ရပ်သွားလိမ့်မည်။ ထို့နောက် 75HP(trim) compressor ကို ပြန်မောင်းလိမ့်မည်။ ဤနည်းဖြင့် compressor နှစ်လုံးသည် တစ်လှည့်စီ မောင်းလိုက်၊ ရပ်လိုက် ဖြစ်နေလိမ့်မည်။

| |
|---|
| ထိုပြဿနာကို ဖြေရှင်းရန်အတွက် trim compressor ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity) ကို base compressor ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)နှင့် အတတ်နိုင်ဆုံး တူညီအောင် ရွေးချယ်ရမည်။ သို့မဟုတ် trim compressor ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို base compressor ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)ထက် ပို၍ များအောင် ရွေးချယ် တပ်ဆင်ထားသင့်သည်။ |

"Control Gap"ဖြစ်ပေါ်ခြင်းသည် system demand intermittent ဖြစ်ခြင်းကြောင့်လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ လေသိုလှောင်နိုင်စွမ်း(storage capacity)ကို များအောင် ပြုလုပ်ခြင်း သို့မဟုတ် Pressure/Flow Controller ကို fixed speed compressor တွင် တပ်ဆင်ခြင်းဖြင့် ဖြေရှင်းနိုင်သည်။ Trim compressor များအတွက် 3 gallon/CFM storage capacity ထားနိုင်သည်။ အထက်တွင် ဖော်ပြခဲ့သည့် ဥပမာအတွက် လေလှောင်နိုင်စွမ်း (storage capacity) 1000 မှ 1200 gallon အရွယ်အစား ရှိသော ကန်(tank)ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။




ပုံ ၇-၂၈ Flow Control installation

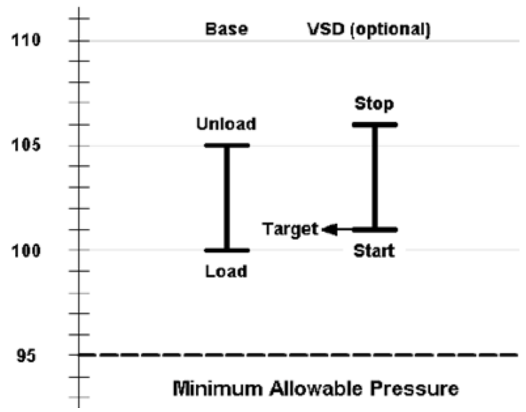
## ၇.၉ အရွယ်အစား မှန်ကန်စွာ ရွေးချယ်ထားသည့် ဥပမာ

VSD compressor သည် 400 CFM ထုတ်ပေးနိုင်ပြီး၊ base compressor သည် 300 CFM ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ ဥပမာ 350 CFM အလိုရှိပါက VSD compressor ကို မောင်းနိုင်သည်။ အကယ်၍ 450 CFM လိုအပ်ပါက၊ base compressor မှ 300 CFM ထုတ်ပေးနိုင်ပြီး VSD compressor မှ 150 CFM ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Base compressor သည် full load ဖြင့် မောင်းနေသောကြောင့် efficiency ကောင်းသည်။ VSD compressor သည် 150 CFM ကို efficiency ဖြစ်စွာ ထုတ်ပေးနိုင်သည်။

VSD compressor (400 CFM)သည် Base compressor(300 CFM) ထက် 100 CFM ပို၍ အရွယ်အစား ကြီးမားသည်။ ထို ပိုကြီးမားသည့် 100 CFM ကို "Overlap Band" ဟုခေါ်သည်။ System loading သည်(base compressor ကို စမောင်းရန်အတွက်) 400 CFM ထက် ပိုများရမည်။ Base compressor ကို unload ဖြစ်စေရန် သို့မဟုတ် stop ဖြစ်စေရန် အတွက် system loading သည် 300 CFM ထက်နည်း ရမည်။

## ၇.၁၀ Pressure Control Overlap

VSD compressor ၏ variable capacity range (CFM) သည် base compressor full capacity rating(CFM) ထက် ပိုများလျှင် VSD compressor ၏ pressure band သည် base compressor ၏ Load/Unload pressure band အတွင်း၌ ရှိနေရန် မလိုပေ။




ပြီးခဲ့သည့် ဥပမာတွင် 400 CFM compressor ကို ၈၀% သို့ လျော့ချလျှင် 320 CFM ဆက်ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ VSD compressor ၏ 80% သည် base compressor capacity(300 CFM)ထက် ပိုများသည်။ 20 CFM overlap ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ ပိုကျဉ်းသည့် pressure band ကို ဖြစ်စေသည်။ VSD target pressure နှင့် base compressor set point တို့ ပို၍ နီးကပ် နေသည်။ ထို့ကြောင့် average discharge pressure ကိုလျော့ချနိုင်ပြီး စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့နည်းစေသည်။

ပုံ ၇-၂၁ VSD compressor ၏ range သည် base compressor ထက် ပိုကြီးနေလျှင် control range ကို ဤကဲ့သို့ setting လုပ်နိုင်သည်။

## ၇.၁၁ VSD Compressor နှင့် Base Compressor

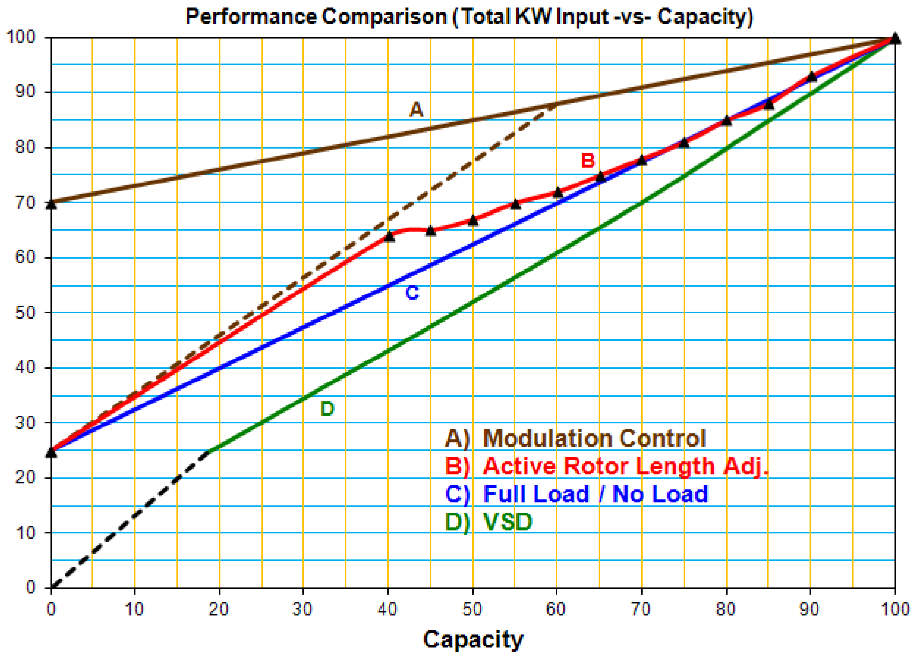
အကယ်၍ system တစ်ခုအတွင်း၌ base compressor များ တစ်လုံးထက် ပိုများ နေပါက control လုပ်ရန် ပို၍ ခက်ခဲ ရှုပ်ထွေးသည်။ တခြားသော အချက်များကိုလည်း ထည့်သွင်း စဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။ မည်သည့်နည်းဖြင့် control လုပ်သည် ဖြစ်ပါစေ အောက်ပါ အချက်အချို့ကို အလေးပေး ဆောင်ရွက်ရန် လိုအပ်သည်။

(၁) မိမိအလိုရှိသည့်လုပ်ငန်း(operation) တစ်ခုလုံး အဆင်ပြေချောမွေ့ ရန်

(၂) Compressor များ start-ups လုပ်သည့်အခါ ချောမွေ့ရန်၊ start-up အကြိမ် အရေအတွက် နည်းရန်

(၃) စိတ်ချရမှု(reliability) မြင့်မားစေရန် နှင့်

(၄) ဈေးသက်သာသည့် control နည်းမျိုး ဖြစ်စေရန် တို့ဖြစ်သည်။

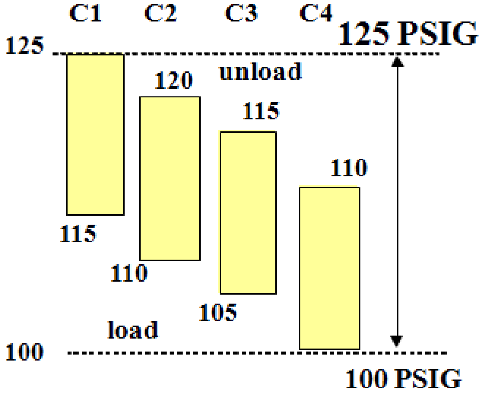



ပုံ ၇-၂၂ Control နည်း(၄)မျိုးတို့၏ performance ကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။

## ၇.၁၂ Sequencer များကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့နည်းခြင်း

Compressorများ အလုပ်ကျ၍အစီအစဉ်တကျ လေလိုအပ်ချက်အတိုင်းမောင်းအောင်ပြုလုပ်ပေးခြင်းကို "Sequencing" ဟု ခေါ်သည်။ ထိုသို့ မောင်းအောင် ပြုလုပ်ပေးသည့်အရာကို "Sequencer" ဟုခေါ်သည်။ "Sequencer" များသည် ဖိအား(system pressure)ကို 3 psi မှ 5 psi အတွင်း ထိန်းထားပေးနိုင်သည်။ System pressure ကို နိမ့်နိုင်သမျှ နိမ့်အောင် ထိန်းထားပေးသောကြောင့် လေလိုအပ်မှု(air demand)ကို လျော့ချနိုင်သည်။ လေယိုစိမ့်ခြင်း(leak) ကိုလည်း လျော့နည်းစေသည်။ ထို့ကြောင့် compressor အကြိမ် အရေအတွက် နည်းနည်း မောင်းရုံဖြင့် လိုအပ်သည့် လေပမာဏ(air demand)ကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။

Automatic schedule လုပ်နိုင်သည့် system များတွင် တပ်ဆင်ထားလျှင် လိုအပ်သလို pressure ကို ပြောင်း၍ မောင်းနိုင်သည်။ လိုအပ်သလို compressor များကို Start/Stop လုပ်နိုင်သည်။ Automatic scheduled system များသည် optimum sequence ကိုလည်း ရွေးချယ်ပေးနိုင်သည်။




ပုံ ၇-၂၃ Cascading System

System without sequencer(Cascading Systems)

(၁) Compressor တစ်လုံးချင်းစီကို Cut in/Cut out လုပ်ရန် သီးခြား pressure setting ထားပေးရသည်။
(၂) Pressure band အလွန်ကျယ်သည်။
(၃) အချိန်တိုင်းလိုလို compressor များသည် part load ဖြင့်သာ မောင်းနေကြသည်။
(၄) Efficient ဖြစ်ရန် အလွန် ခက်ခဲသည်။

## ၇.၁၃ Control လုပ်နည်း အမျိုးမျိုးဖြင့် မောင်းခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု ကွာခြားပုံ

Control လုပ်သည့်နည်း ကွာခြားမှုကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(kW input) ကွာခြားပုံကို အောက်တွင် ဇယားဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ Full-load flow ၏ ၅၀% တွင်မောင်းရန် လိုအပ်နေချိန် တွင် variable speed ဖြင့် control လုပ်လျှင် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(kW Input)သည် ၅၁% ဖြစ်သည်။ Modulating နည်းဖြင့် control လုပ်လျှင် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု( input kW)သည် ၈၃% ဖြစ်သည်။

| Percent kW Input at Operating Capacity for Lubricant-Injected Rotary Screw | | | | |
|---|---|---|---|---|
| % Full-Load Flow | Load/Unload (5 gal/CFM) | Modulation | Variable Displacement | Variable Speed |
| 90% | 95% | 97% | 92% | 91% |
| 80% | 92% | 95% | 83% | 81% |
| 70% | 85% | 90% | 78% | 71% |
| 60% | 78% | 85% | 68% | 61% |
| 50% | 72% | 83% | 63% | 51% |
| 40% | 63% | 80% | 60% | 42% |

Source: Improving Compressed Air System Performance: A Sourcebook for Industry, DOE

Variable Speed Drive(VSD) compressor များသည် trim unit အဖြစ် မောင်းရန် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ ၇၅% မှ ၈၀% အတွင်း မောင်းလျှင် အကောင်းဆုံး efficiency ကို ရနိုင်သည်။ Variable

displacement compressor များသည် Variable Speed Drive(VSD) compressor များလောက် efficiency မကောင်းပေ။ Variable displacement compressor များသည် load 50% ထက်နည်းသည် နှင့် တစ်ပြိုင်နက် efficiency အလွန်ဆိုးဝါးသည်။

### ၇.၁၄ Compressor ၏ Control Mode များ အပေါ်မူတည်၍ ကုန်ကျစရိတ် ကွာခြားပုံ

Compressor control mode များ အပေါ်မူတည်၍ compressed air sytem လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ်(operating cost) ကွဲပြားသည်။ အောက်တွင် 100 HP compressor တစ်လုံးသည် ပျမ်းမျှဝန် ၆၅%(65% average load)ကို control mode အမျိုးမျိုး ကွဲပြားခြင်းကြောင့် တစ်နှစ်စာ ကုန်ကျမည့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။ တစ်နှစ်လျှင် နာရီပေါင်း(၄၂၅၀)မောင်းသည်။ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခနှုန်း 1 kWh လျှင် အမေရိကန် ဒေါ်လာ(၁၀)ဆင့်(10 cents per kWh) ကို အခြေခံ တွက်ချက်ထားသည်။

Modulating mode ကို အသုံးပြုလျှင် compressor သည် full load power ၏ ၉၀% သုံးစွဲလိမ့်မည်။ Load/Unload control mode နှင့် သေးငယ်သည့် storage receiver ဖြင့် တွဲသုံးလျှင် compressor၏ full load power ၏ ၉၂% သုံးစွဲလိမ့်မည်။ Load/Unload control mode နှင့် ကြီးမားသည့် storage receiver(10 US Gallon per 1 CFM) နှင့် တွဲသုံးလျှင် comprrssor သည် full load power ၏ ၇၇% ဖြင့် သုံးစွဲလိမ့်မည်။ VSD control ဖြင့်မောင်းလျှင် full load power ၏ ၆၆% သာ သုံးစွဲလိမ့်မည်။

| Approximate Annual Cost for a 100 HP Compressor at Different Control Modes | | | | |
|---|---|---|---|---|
| % Load | Modulating | Load/Unload with 1 gal/CFM Receiver | Load/Unload with 10 gal/CFM Receiver | Variable Speed Drive |
| 100 | $36,130 | $36,130 | $36,130 | $36,850 |
| 75 | $33,420 | $34,680 | $29,350 | $27,090 |
| 65 | $32,330 | $33,240 | $27,820 | $23,480 |
| 50 | $30,710 | $31,070 | $24,200 | $18,060 |
| 25 | $28,000 | $24,930 | $16,800 | $9,030 |
| 10 | $26,370 | $16,620 | $11,740 | $3,610 |

*Based on 10 cents per kWh and 4,250 hours per year.

100 HP Compressor တစ်လုံးကို control လုပ်နည်း အမျိုးမျိုးဖြင့် မောင်းခြင်းကြောင့်(Different Control Modes*) တစ်နှစ်စာ ကုန်ကျမည့် စရိတ်ကို ဖော်ပြထားသည်။

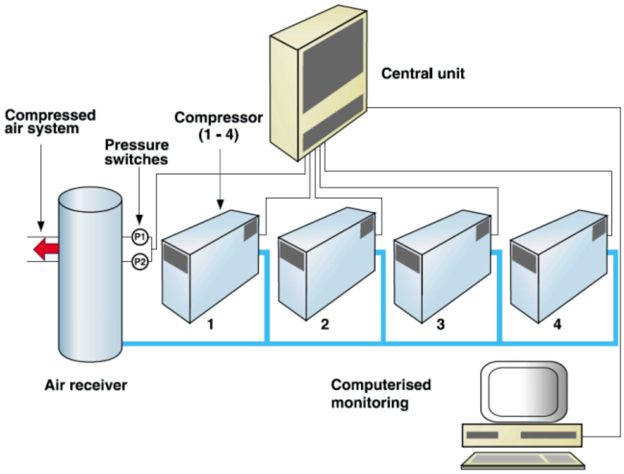
အထက်ပါ လေ့လာတွေ့ရှိချက်အရ Variable Speed Drive(VSD)ဖြင့် မောင်းခြင်းသည် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခ ကုန်ကျငွေ အနည်းဆုံးဖြစ်သည်။ လှောင်ကန်(Receiver)ကြီးကြီး တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် ကုန်ကျစရိတ် သက်သာစေသည်။ 1 gallon/CFM receiver နှင့် 10 gallon/CFM receiver column နှစ်ခုကို နှိုင်းယှဉ်ကြည့်ပါ။

တစ်လုံးထက် ပိုများသည့်(multiple) compressor များကို ကောင်းမွန်စွာ control လုပ်နိုင်ရန်အတွက် လုံလောက်အောင်ကြီးမားသည့် storage receive နှင့် တွဲ၍ တပ်ဆင်ထားရန် လိုသည်။ System pressure ရုတ်တရက် ပြောင်းလဲခြင်း မဖြစ်စေရန်နှင့် compressor များ ရပ်ရန်(stop) နှင့် မောင်းရန်(start) လုံလောက်သည့် အချိန်ရစေရန်အတွက် ဖြစ်သည်။ Load/Unload control အတွက် ကြီးမားသည့် လေလှောင်ကန်(storage receiver) တပ်ဆင်ထားရန် အလွန် အရေးကြီးသည်။ VSD Compressor များ အတွက်လည်း လေလှောင်ကန်(storage receiver) တပ်ဆင်ထားရန် လိုသည်။

## ၇.၁၅ System Controller

Compressed air system တစ်ခုတွင် အရွယ်မျိုးစုံ၊ အမျိုးအစားမျိုးစုံ ပါဝင်လေ့ရှိသည်။ ထို compressor များ အားလုံးသည် တစ်လုံးချင်းစီ၌ ရှိသော control များဖြင့်သာ မောင်းနေကြသည်။

Compressor များအားလုံး စနစ်တကျ အကောင်းဆုံးဖြစ်အောင် မောင်းနိုင်ရန်အတွက် system controller လိုအပ်သည်။ တစ်လုံးချင်းစီ ဖြစ်သလို မောင်းနေလျှင် compressor Start/Stop များခြင်း၊ cycling အဖြစ် များခြင်း၊ ဖိအား မတည်ငြိမ်ခြင်း၊ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု များခြင်း၊ လိုအပ်သည်ထက် အချိန်ပိုကြာမြင့်စွာ compressor များ မောင်းနေခြင်း၊ အနည်းဆုံး လိုအပ်သည့် ဖိအားထက်ပိုမြင့်သည့် ဖိအားဖြင့် မောင်းနေခြင်း စသည့် ပြဿနာများစွာ ကြုံတွေ့နိုင်သည်။




ပုံ ၇-၂၄ Central control unit နှင့် compressor များ

Compressor များ လိုအပ်ချိန်တွင် fully loaded ဖြင့်မောင်းနေပြီး၊ မလိုအပ်ချိန်တွင် လုံးဝ ရပ်နားထားခြင်းသည် efficient အဖြစ်ဆုံး ဖြစ်သည်။ ထိုပြဿနာ အားလုံးကို ဖြေရှင်းရန် အတွက် control system တစ်ခုတည်းက ထိန်းချုပ်မောင်းနှင်ရန်လိုအပ်သည်။ သေချာစွာ ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ထားသည့် master controller သည် compressor များ အားလုံးတွင် မောင်းချိန်(running hour) တူညီအောင် ညှိပေးခြင်း၊ ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းရန် အချိန်ဇယား များကို ပြုစုပေးခြင်း စသည့် အကျိုးကျေးဇူး များ ရရှိနိုင်သည်။

### System Controller ၏ အားသာချက်များ

(၁) Operation pressure မမြင့်တက်အောင်၊ နိမ့်သည့် differential pressure setting ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

(၂) လေလိုအပ်မှု(air demand)ကို အခြေခံ၍ သင့်လျော်သည့် compressorကို ရွေးချယ် မောင်းနှင်နိုင်သည်။

(၃) Compressor များ တစ်ပြိုင်နက် ပြိုင်တူ စတင်မောင်းခြင်း မဖြစ်အောင်ကာကွယ်ပေးနိုင်သည်။ Start/Stop အကြိမ် အရေအတွက်နည်းအောင် လုပ်ပေးနိုင်သည်။

(၄) Compressor များအားလုံး မောင်းချိန်(runing hour)တူညီအောင် လုပ်ပေးနိုင်သည်။

(၅) လက်ရှိမောင်းနေသည့်အခြေအနေ၏အချက်အလက်များ(information)အားလုံးကို ချက်ချင်း သိနိုင်သည်။

(၆) လက်ရှိမောင်းနေသည့် အခြေအနေ၏ အချက်အလက်များ(information)အားလုံးကို အဝေးတစ်နေရာ (အိမ်၊ တခြားနိုင်ငံ)မှ လှမ်း၍ ကြည့်ရှုနိုင်သည်။

(၇) လိုအပ်သလို မောင်းရန်အတွက် program များအားလုံးကို ချက်ချင်းပြင်နိုင်သည်။ ပြောင်းနိုင်သည်။

(၈) Password များအသုံးပြု၍ အသုံးပြုသူများ ခွင့်မပြုထားသည့် နေရာများသို့ မဝင်ရောက်နိုင်အောင် တားဆီးနိုင်သည်။

(၉) အလွန်ကျဉ်းသည့်(narrow pressure band±1.5 psi)အတွင်း၌ compressor များကို မောင်းထားနိုင်သောကြောင့် system pressure အလွန်မြင့်တက်ခြင်းမှ ကာကွယ်နိုင်သည်။

-End-