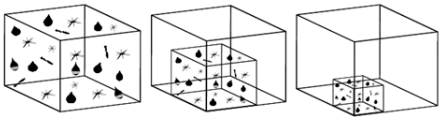
Chapter-9 Treatment of Compressed Air

သဘာဝအားဖြင့် ကျွန်ုပ်တို့အနီးရှိ လေထဲတွင် အမှုန်များ၊ ဖုန်များ နှင့် ရေခိုးရေငွေ့(water vopor)များ ပါဝင်နေသည်။ တစ်ကုဗမီတာ($1m^3$)ထုထည်ရှိ လေထဲတွင် အမှုန်ငယ်(Dirt)ပေါင်း အရေအတွက်အားဖြင့် သန်းပေါင်း(၁၈၀)ခန့် ပါဝင်သည်။ အရွယ်အစားအားဖြင့် 0.01 မှ 100 micro (10^{-6}) ဖြစ်သည်။ လေထဲတွင် ရှိသည့် ရေခိုးရေငွေ့(water vapor)အဖြစ် (၅)ဂရမ် မှ (၄၀)ဂရမ်ခန့် ပါဝင်သည်။ (5-40 g/m^3)၊ ချောဆီ (oil) သည် aerosol ပုံစံ၊ မီးမလောင်ကျွမ်းရသေးသည့် ဟိုက်ဒရိုကာဗွန်(unburnt hydrocarbons)အဖြစ် ပမာဏ အားဖြင့် 0.01 mg/m^3 မှ 0.03 mg/m^3ခန့် ပါဝင်သည်။ ထို့ကြောင့် compressed air ကို မဖြစ်မနေ treat လုပ်ရန်လိုသည်။

လေထု(atmospheric air)၏ ဖိအားသည် 1bar(100kPa)ခန့် ဖြစ်သည်။ လေ(atmospheric air) ကို ဖိအား 10 bar သို့ရောက်အောင် ဖိသိပ်(compress)လိုက်လျှင် အညစ်အကြေး(impurities)များ (၁၀)ဆခန့် ပိုများလာလိမ့်မည်။



ပုံ ၉-၁ လေကို ဖိအားများအောင် ပြုလုပ်လိုက်လျှင် လေ၏ထုထည် နည်းသွား လိမ့်မည်။

Compressed air ဖိအား(pressure)မြင့်လာလေ အညစ်အကြေးပါဝင်မှု(contaminant concentration) များလာလေ ဖြစ်သည်။

Compressed Air ထဲတွင် ရှိသည့် အသွင်သဏ္ဌာန်(phase) သုံးမျိုးဖြင့် ရှိနိုင်သည်။

(က) အရည်(liquid water) အဖြစ် လည်းကောင်း

(ခ) မြူခိုး(aerosol or mist) အဖြစ် လည်းကောင်း

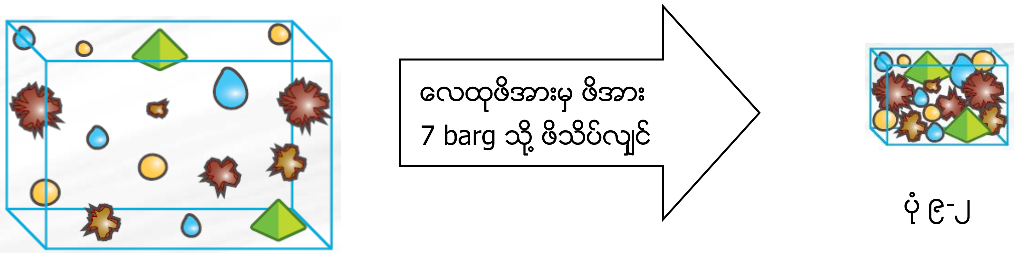
(ဂ) ရေငွေ့(vapor or gas) အဖြစ် လည်းကောင်း ပါဝင်နေကြသည်။

ရေ(liquid water) နှင့် aerosol တို့ကို refrigeration dryer နှင့် high efficiency filter တို့ဖြင့် အလွယ်တကူ ဖယ်ရှားသန့်စင်နိုင်သည်။ Compressed air ထဲတွင်ပါရှိနေသည့် ရေငွေ့(vapor)များကို desiccant dryer နှင့် high efficiency filter ဖြင့်သာ ဖယ်ရှားနိုင်သည်။

လေခြောက်သွေ့မှု(air dryness)ကို Dew Pointဖြင့် တိုင်းတာလေ့ရှိသည်။ ပူနွေးစိုစွတ်သည့် နိုင်ငံများရှိ compressed air ပိုက်များတွင် ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသော သံချေးတက်ခြင်း(corrosion)ကို ကာကွယ်ရန်အတွက် လေခြောက်သွေ့မှု(air dryness)သည် 2% RH (Relative Humidity)ထက်နည်းရန်(နိမ့်ရန်) လိုအပ်သည်။ လေခြောက်သွေ့မှု (air dryness) 2% RH သည် -30°C Pressure Dew point (PDP)နှင့် ညီမျှသည်။ စာမျက်နှာ 9-12 ရှိဇယား(table)တွင် လေခြောက်သွေ့မှု(air dryness)ကို RH% နှင့် PDP တို့ဖြင့် နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားသည်။

ကမ္ဘာမြေပေါ်သို့သက်ရောက်နေသည့် လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ပမာဏသည် 1bar (14.7 psi) ဖြစ်သည်။ လေထုဖိအား 1bar ၌ ရှိသော(၇)ကုဗပေ(7 ft^3)ကို air compressor ထဲသို့ ထည့်၍ ဖိသိပ်လိုက်လျှင်(compress လုပ်လိုက်လျှင်) ဖိအား 7bar(၇)ရှိသော compressed air (၁)ကုဗပေ(1 ft^3) ကို ရရှိမည်။ Compressed air ထုထည် တစ်ကုဗပေသာ ရှိသော်လည်း ထိုcompressed air ထဲ၌ ရှိသော ရေငွေ့ (water vapor)များ၊ အမှုန်များစသည့် အညစ်အကြေးပါဝင်မှု(contaminant concentration)သည် လေထု ဖိအား(atmospheric pressure) 1bar ရှိ (၇)ကုဗပေ(7 ft^3)၌ ပါရှိသော အညစ်အကြေးပါဝင်မှု (contaminant concentration)ပမာဏနှင့် တူညီသည်။ အောက်တွင် ဇယားဖြင့် နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။

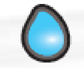
အညစ်အကြေးများ (Contaminant)	အညစ်အကြေးများ ပါဝင်နေမှု (Contamination levels)	
	Atmospheric air (1bar)	Compressed air 7 bar(g)
Dust	140 x $10^6/m^3$	1,120 x $10^6/m^3$
Water	50 - 80%(နေရာလိုက်၍ကွဲပြားသည်။)	100% + condensate
Industrial pollution	Acids, hydrocarbons, aerosols, etc.	Multiplied by 8 (ရှစ်ဆ ပိုများသည်။)
Natural entities	Pollen, bacteria, viruses, etc.	Multiplied by 8 (ရှစ်ဆ ပိုများသည်။)



ပုံ ၉-၂

Compressed air ထဲတွင် အောက်ပါ အညစ်အကြေး(contaminant)များ ပါဝင်နေကြသည်။

ဖုန်(dust)၊ အမှုန်၊ အညစ်အကြေး(dirt)၊ မိုက်ခရိုအော်ဂင်နီဇင်များ(microorganisms)၊ မီးခိုးများ (smoke) နှင့် အခြားသော အမှုန်၊ အမှိုက်များ(other particulates)

 ရေခိုးရေငွေ့(water vapor or moisture) များ

ချောဆီများ(oil)၊ မီးမလောင်ကျွမ်းရသေးသည့် ဟိုက်ဒရိုကာဗွန်(unburnt hydrocarbons)များ

Sulfur Oxides ၊ Nitrogen Oxides နှင့် Chlorine Compounds စသည့် ဓာတ်ငွေ့များ

၉.၁ Compressed Air အရည်အသွေး(Quality)

Compressed air ၏ အရည်အသွေး(quality)ကို အဓိက အချက် သုံးချက်ပေါ်တွင် အခြေခံ၍ ဆုံးဖြတ်သည်။

(၁) အများဆုံး လက်ခံနိုင်သည့် ရေခိုးရေငွေ့ပါဝင်မှု(maximum acceptable moisture content) နှင့် Pressure Dew Point (PDP)

(၂) အများဆုံး လက်ခံနိုင်သည့် ချောဆီပါဝင်မှု(maximum acceptable oil content) နှင့်

(၃) အများဆုံးလက်ခံနိုင်သည့် အမှုန်များပါဝင်မှု(maximum acceptable particulate concentration) တို့ဖြစ်သည်။

လိုအပ်သည့် လေအရည်အသွေး(compressed air quality)သည် အသုံးပြုပုံကို မူတည်၍ ကွဲပြားကြသည်။ Plant air သည် အညံ့ဆုံး အရည်အသွေးအဆင့်ရှိသော compressed air ဖြစ်သည်။ လူနာများ အသက်ရှူသည့် breathing air သည် အရည်အသွေး အကောင်းဆုံးသော compressed air ဖြစ်သည်။

၉.၁.၁ လေကို သင့်လျော်မှန်ကန်စွာ သန့်စင်ခြင်းကြောင့် ရရှိနိုင်သည့် အကျိုးကျေးဇူးများ

Compressed air ကို သင့်လျော်သည့်နည်းများဖြင့် မှန်ကန်စွာသန့်စင်ခြင်း(treat)ကြောင့် ရရှိနိုင်သည့် အကျိုးကျေးဇူးများ

(က) ကိရိယာများကို သက်တမ်းကြာရှည်စွာ သုံးစွဲနိုင်ခြင်း(increased working life of consumer device)

(ခ) ထုတ်ကုန်အရည်အသွေး ကောင်းမွန်ညီညာခြင်း(improved and consistent product quality)

(ဂ) Pneumatic လိုင်း(lines)တွင် condensate ရေနှင့် အမှုန်များ(rust) ကင်းဝေးခြင်း

(ဃ) ပျက်စီးမှု လျော့နည်းခြင်း(fewer malfunctions)

(င) ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု လျော့နည်းစေနိုင်ခြင်း

(စ) လေယိုစိမ့်မှု(leakage)နည်းခြင်း၊ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss)နည်းခြင်း၊ လေခုခံအားနည်းခြင်း(flow resistance) နှင့်

(ဆ) စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနည်းခြင်း(lower energy consumption) တို့ဖြစ်သည်။

၉.၁.၂ ညံ့ဖျင်းသည့် Treatment ကြောင့် ရရှိနိုင်သည့် ဆိုးကျိုးများ(Consequences of Poor Treatment)

(က) Compressed Air ထဲ၌ ပါရှိနေသည့် အမှုန်များ(Solid Matter Particles)

(၁) Compressed air ထဲ၌ ပါရှိနေသည့် အမှုန်များကြောင့် ပွန်းတီးခြင်း နှင့် တိုက်စားခြင်း(wear and tear)တို့ ဖြစ်နိုင်သည်။ ချောဆီများ နှင့် အမှုန်များ ပေါင်းစပ်ကာ grinding paste အဖြစ်သို့ ပြောင်းသွားနိုင်သည်။

(၂) ရေငုပ်သမား၊ လူနာများ အသုံးပြုမည့် လေထဲတွင် အမှုန်များ(solid matter particles)ပါရှိ နေပါက ကျန်းမာရေး ထိခိုက်နိုင်သည်။ အသက် အန္တရာယ်ရှိသည်။

(၃) မကောင်းသည့်ဓာတ်များ ပါဝင်နေသည့် အမှုန်များ ရှိနေခြင်း စသည်တို့ ဖြစ်နိုင်သည်။

(ခ) Compressed Air ထဲ၌ ပါရှိနေသည့် ချောဆီ(Oil) များ

(၁) ချောဆီများကြောင့် ပိတ်ဆို့ခြင်းများ(blockages) ဖြစ်နိုင်သည်။ လေခုခံအား(flow resistance) များလာ နိုင်သည်။ စားသောက်ကုန်လုပ်ငန်း နှင့် ဆေးဝါးလုပ်ငန်းများတွင် အသုံးပြုသည့် လေထဲ၌ ချောဆီများ လုံးဝ ကင်းရှင်းရန် လိုသည်။

(ဂ) Compressed air ထဲ၌ပါဝင်နေသည့် ရေ သို့မဟုတ် ရေငွေ့များ(Water Vapor)

(၁) Pneumatic system များကို သံချေးတက်စေ နိုင်သည်။

(၂) စက်ပျက်ခြင်းနှင့် ပုံမှန် အလုပ်မလုပ်ခြင်း ဖြစ်စေနိုင်သည်။

(၃) ဆောင်းရာသီတွင် pneumatic network အတွင်း၌ condensate ရေကြောင့် ရေခဲများ ဖြစ်ပေါ်လာ နိုင်သည်။ ပိုက်အတွင်း၌ ဖြစ်ပေါ်လျှင် ပိုက်အရွယ်အစား(diameter) ကျဉ်းသွားနိုင်သည်။

၉.၁.၃ လေအရည်အသွေး(Air Quality) နှင့် အသုံးပြုပုံများ(Applications)

Air Quality	အသုံးပြုပုံများ(Applications)
Breathing Air	ဆေးရုံများတွင်လူနာများ အသက်ရှုရန်အတွက်အသုံးပြုသည်။ (hospital air systems) ရေငုပ်သမားများအသက်ရှုရန်အတွက် လေအိုးများ(refill diving tanks)နှင့် ဆေးမှုတ်ရုံတွင် အလုပ်လုပ်နေသော ဆေးမှုတ်သမားများ အသက်ရှုရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ (respirators for grit blasting and spray painting)
Process Air	စားသောက်ကုန် နှင့် ဆေးဝါးထုတ်လုပ်ရေးလုပ်ငန်းများ(food and pharmaceutical process air)၊ အီလက်ထရောနစ်လုပ်ငန်းများ(electronics) နှင့် စမ်းသပ်ခန်းများတွင် အသုံးပြုရန်(laboratories)
Instrument air	Pneumatic process control system များ၊ စမ်းသပ်ခန်းများ(laboratories) နှင့် ဆေးမှုတ်ရန်(paint spraying)
Plant Air	လေဖြင့်မောင်းသောကိရိယာ(air tool)များ နှင့် အမျိုးမျိုးသော လုပ်ငန်းများတွင် အသုံး ပြုရန်(general plant air)
Power Air	သတ္တုတွင်းများ(mines) နှင့် ဆောက်လုပ်ရေးလုပ်ငန်းများ(construction sites)

အသက်ရှုနိုင်သည့် အဆင့်ရှိသော လေအရည်အသွေး(breathing air quality) ရရှိရန်အတွက်

(က) Aftercooler ၊ coarse pre-filter နှင့် auto draining water trap

(ခ) Suitable in-line sorbent beds နှင့် filters တို့ကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

Process air quality ရရှိရန်အတွက်

(က)Refrigerated compressed air dryer ၊ oil removal filter နှင့် oil vapor absorber တို့ အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

(ခ) အေးသည့်ဒေသများ နှင့် ရာသီဥတုတို့၌ low dew point desiccant dryer နှင့် particulate filter တို့ အသုံးပြုရန်လိုအပ်သည်။

Instrument air quality ရရှိရန်အတွက်

(က) Refrigerated compressed air dryer နှင့် oil removal filter တို့ အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

Power air quality ရရှိရန်အတွက်

(က)Filtered separator

(ခ) Tools ၊ sand blasting နှင့် pneumatic control components တို့အတွက် refrigerated compressed air dryer နှင့် particulate filter air တို့ အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

လေခြောက်သွေ့မှု(dryness)နှင့် အညစ်အကြေးပါဝင်မှု(contaminant level)တို့သည် လေ အရည်အသွေး(air quality)ကောင်းမကောင်းကို ဆုံးဖြတ်ရန်အတွက် အဓိကကျသောအချက် နှစ်ချက်ဖြစ်သည်။ အရည်အသွေး(air quality)ကောင်းသည့် compressed air ကို ထုတ်လုပ်ရန်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်များ လိမ့်မည်။ ပိုအဆင့်မြင့်သည့် အရည်အသွေး ရရှိရန်အတွက် အခြားသောအပို equipment များ လိုအပ်သည်။ အပို equipment များအတွက် အကုန်အကျ ပိုများသည့်အပြင် ထုတ်လုပ်စရိတ်၊ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခနှင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုလည်း ပိုများလိမ့်သည်။ ထို့ကြောင့် မိမိလုပ်ငန်းအတွက် လိုအပ်သည့် လေအရည်အသွေး("Air Quality") အဆင့်ကို သိရန်လိုသည်။ လေအရည်အသွေး(compressed air quality)နှင့် သက်ဆိုင်သည့် နိုင်ငံတကာ အသိအမှတ်ပြု စံချိန်စံညွှန်းများမှ ISO Standard 8573 ကို အောက်ပါ ဇယားတွင် ဖော်ပြထားသည်။

၉.၁.၄ ISO 8573 စံချိန်စံညွှန်းအရ သတ်မှတ်ထားသည့် Air Quality အဆင့်များ(Classifications)

ISO 8573 သည် ၁၉၉၁ ခုနှစ်တွင် ISO(International Organization for Standardization)မှ ပြုစုပြဌာန်းခဲ့သည့် တစ်ကမ္ဘာလုံးက လက်ခံအသုံးပြုနေသော compressed air ၏ အရည်အသွေးနှင့်သက်ဆိုင်သည့် "Quality Classes" ဖြစ်သည်။ "Compressed Air Quality Classes"သည် လေထဲ၌ပါဝင်နေသည့် အမှုန်(solid particulates)၊ စိုထိုင်းဆ(humidity)နှင့်ချောဆီ(oil)များ နှင့်သက်ဆိုင်သည်။ တစ်ကမ္ဘာလုံးလက်ခံအသုံးပြုသည့် စံစနစ်တစ်ခု လည်းဖြစ်သည်။ DIN ISO 8573-1 အရ "Filtering Degree"၊ "Oil Content" နှင့် "Dew Point" တို့ကို အခြေခံ၍ အဆင့်(၆) ဆင့်(6 Classes) ခွဲခြား သတ်မှတ်ထားသည်။

CLASS 0 ISO 8573-1

OIL FREE ISO CLASS : 0 PLUS SILICONE FREE ISO 8573-1

Air Quality Classifications (Air Contamination Classifications ISO 8573.1)					
Class အဆင့်	Oil carry over (ချောဆီပါဝင်မှု)	Dust carry-over(အမှုန်ပါဝင်မှု)		Moisture carry-over(ရေပါဝင်မှု)	
	ပါဝင်မှု (mg/m^3)	အရွယ်အစား (µg)	ပါဝင်မှု (mg/m^3)	PDP* (°C)	ပမာဏ (mg/m^3)
အဆင့် ၁	0.01	0.1	0.1	-70	0.003
အဆင့် ၂	0.1	1	1	-40	0.12
အဆင့် ၃	1	5	5	-20	0.88
အဆင့် ၄	5	15	8	+3	6
အဆင့် ၅	25	40	10	+7	8
အဆင့် ၆	--	--	--	+10	9
အဆင့် ၇	--	--	--	မဖော်ပြ	

PDP* Pressure Dew Point (°C)

ဥပမာ- မည်သည့်နိုင်ငံဖြစ်စေ ဆေးဝါးထုတ်လုပ်သည့် စက်ရုံ(pharmaceutical plant)၌ အသုံးပြုမည့် compressed air ၏ အရည်အသွေးသည် ISO Quality Class 1.2.1 အဆင့်နှင့် ကိုက်ညီရမည်။ 0.1 micron particulate filtration ၊ -40°F (-40°C) dew point နှင့် 0.008 ppm(0.01 mg/m3) oil filtration စသည့် အဓိက အချက်သုံးချက်နှင့် အနည်းဆုံး ကိုက်ညီရမည်။

Quality Classes	SOLIDS Maximum particle size (microns)	MOISTURE Dew Point		OIL Liquid and Gas	
		°C	°F	mg/m^3	ppm$_{w/w}$
0	as specified	as specified		as specified	
1	0.1	-70	-94	0.01	0.008
2	1	-40	-40	0.1	0.08
3	5	-20	-4	1	0.8
4	15	3	38	5	4
5	40	7	45	—	—
6	—	10	50	—	—

အထက်ပါဇယားတွင် ISO 8573.1 Quality Classe များကို ယူနစ် နှစ် မျိုးဖြင့် နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားသည်။

Compressed Air Quality ISO 8573.1

Class	SOLID PARTICLES (Maximum number of particles per m^3)			Water	Oil
	0.1-0.5 micron	0.5-1.0 micron	1.0-5.0 micron	Pressure Dewpoint (F°)	Solids & Vapor (mg/m^3)
1	100	1	0	-94.0	.01
2	100,000	1,000	10	-40.0	0.1
3	–	10,000	500	-4.0	1.0
4	–	–	1,000	37.4	5.0
5	–	–	20,000	44.6	–
6	–	–	–	50.0	–

ISO 8573 အရ အညစ်အကြေး(contaminant)တစ်ခုချင်းစီနှင့် သက်ဆိုင်သည့် စံချိန်စံညွှန်းများကို ဖော်ပြထားသည်။

ISO 8573-2 သည် compressed air ထဲတွင်ရှိနေသည့် oil aerosol များနှင့် သက်ဆိုင်သည်။

ISO 8573-3 သည် compressed air ထဲတွင်ရှိနေသည့် water content များနှင့် သက်ဆိုင်သည်။

ISO 8573-4 သည် compressed air ထဲတွင်ရှိနေသည့် particle content များနှင့် သက်ဆိုင်သည်။

ISO 8575-5 သည် compressed air ထဲတွင်ရှိနေသည့် oil vapour and hydrocarbon content များနှင့် သက်ဆိုင်သည်။

ISO 8573-6 သည် compressed air ထဲတွင်ရှိနေသည့် gaseous အညစ်အကြေး(contaminant)များ နှင့် သက်ဆိုင်သည်။

ISO 8573-7 သည် compressed air ထဲတွင် ရှိနေသည့် microbiological အညစ်အကြေး(contaminant)များ နှင့် သက်ဆိုင်သည်။

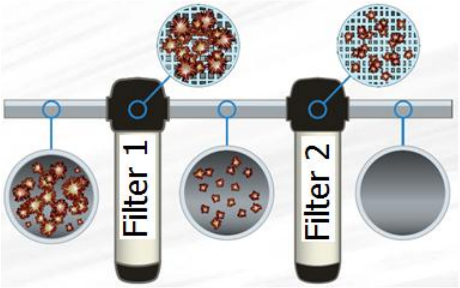
Compressor တစ်လုံးရွေးချယ်ရာတွင် ထို compressor မှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် လေအရည်အသွေး(air quality)၏အဆင့်ကို ထည့်စဉ်းစားရန် လိုသည်။ အကယ်၍ ချောဆီပါဝင်မှု မရှိသည့် လေ(lubricant-free air) လိုအပ်လျှင် ချောဆီကင်းမဲ့သည့်(lubricant-free) compressor များကို အသုံးပြုရမည်။ သို့မဟုတ် lubricant-injected compressor ကိုအသုံးပြုပါက ချောဆီဖယ်ထုတ်သည့်(separator)ကိရိယာ နှင့် သန့်စင်သည့်ကိရိယာ (filtration equipment)များကို အသုံးပြုရန်လိုသည်။ Lubricant-free compressor သည် ပို၍ဈေးကြီးပြီး ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ပိုများသည်။ Lubricant-injected compressor ၏ တန်ဖိုးနည်းသော်လည်း တခြားသော အပိုပစ္စည်းများ အတွက် ကုန်ကျစရိတ်များသည်။ Instrument airအတွက် non-lubricated compressor များကို အသုံးပြုရန် အလွန်သင့်လျော်သည်။ Instrument air ၏ Quality Standards ဖြစ်သည့် ANSI/ISA 7.0.01 တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

လေအရည်အသွေး(air quality)လိုအပ်ချက်များနှင့် compressor အမျိုးမျိုးတို့မှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် လေအရည်အသွေးကို နားလည် သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်သည့်အပြင် လေထဲ၌ ပါရှိနေသည့် အညစ်အကြေး (contaminant)များကို ဖယ်ရှား သန့်စင်ရန် မှန်ကန်သည့်နည်း(efficient method)များကို ရှာဖွေ အသုံးပြု သင့်သည်။

လေထဲ၌ ပါရှိနေသည့် ရေငိုးရေငွေ့(water vapor)၊ အမှုန့်အမှိုက်များ(dirt)နှင့် လေထုညစ်ညမ်းမှု (atmospheric pollution)များသည် compression cycle အတွင်း၌ ထုထည် ကျဆင်းသွားသည့်အခါ အညစ်အကြေးပါဝင်မှု(contamination level)ပိုများ လာသည်။ လေအရည်အသွေး(air quality) ပိုကောင်းစေနိုင်သည့် အမျိုးမျိုးသော filtration equipment နှင့် drying equipment များ ဈေးကွက်တွင် ရရှိနိုင်သည်။ စနစ်တကျ သေချာစွာ ရွေးချယ်ခြင်းဖြင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု သက်သာစေနိုင်သည်။ ကုန်ကျစရိတ် လျော့ချနိုင်သည်။

အညစ်အကြေး(contaminant)များကို မဖယ်ရှားနိုင်သောကြောင့် compressed air system တစ်ခုလုံး ပျက်စီးနိုင်သည်။ ဖိအား(pressure)125psig ရှိသည့် system တစ်ခု၌ လေထဲတွင်မမြင်ရသည့် အလွန် သေးငယ်သည့် အမှုန်ကလေးများသည် အလွန်မြင့်သည့် ဖိအား(pressure)ကြောင့် အလွန်ပြင်းထန်အားကောင်း လာကာ လေဖြင့် မောင်းသောကိရိယာများ(air-operated tools)၊ equipment များ နှင့် instrument များကို လျှင်မြန်စွာ ပျက်စီးစေနိုင်သည်။ System တစ်ခုလုံး ထိခိုက် ပျက်စီးမည်။ ကုန်ချောများ အလေအလွင့်များမည်။ လေဖြင့်မောင်းသောကိရိယာများ(air-operated tools) နှင့် instrument များ တစတစယိုယွင်း ပျက်စီးလိမ့်မည်။

၉.၁.၅ ဖုန်နှင့် အမှုန်များကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(Removing Particulate Contamination)



ထိခိုက် လွယ်သည့် (sensitive) ကိရိယာများ သို့မဟုတ် အရေးကြီးသည့် လုပ်ငန်းများ (critical applications)များ အတွက် လေစစ်(filter) တစ်ခုနှင့် မလုံလောက်လျှင် လေစစ် (filter) နှစ်ခု သို့မဟုတ် သုံးခု အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။ လေစစ် (filter) အကြမ်းဖြင့် အမှုန်(particle) အကြီးများကို ပထမဦးစွာ သန့်စင် ရမည်။ နောက်မှ လေစစ်အနု(fine filter) ဖြင့် particle ငယ်များကို စစ်ယူ ရသည်။

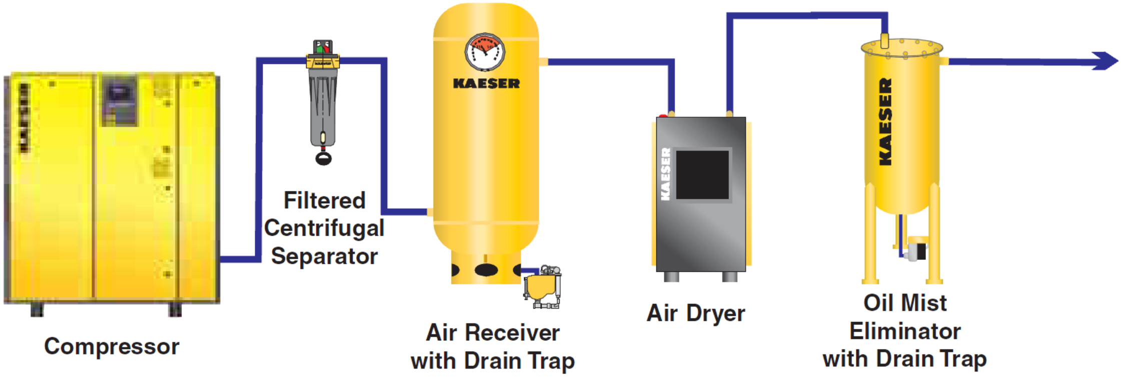
ပုံ ၉-၃

Filter 1မှ ကြီးသောအမှုန်များ(larger particulates)ကို ဖယ်ရှားပေးသည်။ ထို့နောက် Filter 2 မှ သေးငယ်သော အမှုန်များ(smaller particulates)ကို ဖယ်ရှား ပေးသည်။

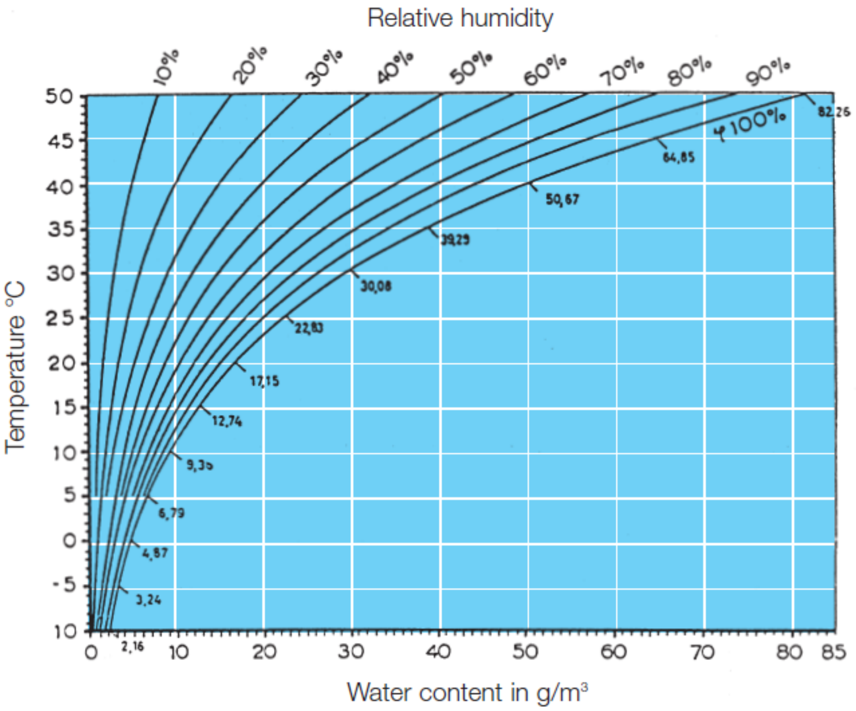
၉.၁.၆ ရေခိုးရေငွေ့များ ကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(Removing Moisture)

Pressure dew point (PDP)	Dryer type	Typical levels of filtration installed	Added energy cost
+10°C	Deliquescent	Nil	1%
+3°C	Refrigeration	General purpose	5%
-20°C	Membrane	High efficiency	28%
-20°C	Waste heat regenerative	Depends on compressor configuration	3 - 5%
-40°C	Desiccant heatless	High efficiency before, and dust removal after	10 - 15%
-40°C	Desiccant heated or external blower	High efficiency before, and dust removal after	8 - 12%
-70°C	Desiccant heatless	High efficiency before, and dust removal after	21%

Source: UK Department of Environment Transport and Regions 1998 Good practice Guide 216



ပုံ ၉-၄ Compressed Air System with Oil Mist Eliminator



ပုံ ၉-၅ အပူချိန်(Temperature)၊ ရေပါဝင်မှု(water content) နှင့် Relative Humidity တို့၏ ဆက်သွယ်မှု

လေထဲတွင် ပါဝင်နေသည့် ရေပမာဏ (water content- g/m3)ကို သက်ဆိုင်ရာ အပူချိန် (temperature) များနှင့် degrees of saturation (relative humidity)တို့ဖြင့် တွဲ၍ ဖော်ပြထားသည်။ ဥပမာ အပူချိန် 40°C horizational လိုင်း နှင့် relative humidity မျဉ်းကွေး(curve) 40% တို့ ဖြတ်သည့်နေရာ (intersection point)မှ ဒေါင်လိုက်မျဉ်း(vertical လိုင်း)ရှိ တန်းဖိုးကို ဖတ်ယူလျှင် ရေငွေ့ပါဝင်မှု(water content) 20g/m³ ကိုရမည်။ လေတစ်ကုဗမီတာတွင် ရေ(၂၀)ဂရမ် ပါဝင်နေသည် ဟုဆိုလိုသည်။

ရေရိုးရေငွေ့များ ပါဝင်နေခြင်း(Moisture Contamination) ၏ ဆိုးကျိုးများ

(၁) Compressed air system ရှိ ပိုက်များ သံချေးတတ်ခြင်း

(၂) လေဖြင့်မောင်းသော ကိရိယာများ(air tool)များ၌ ချောဆီ(lubrication) မလုံလောက်ခြင်း

(၃) အချောသတ်ကုန်ပစ္စည်းများ(finished good) အရည်အသွေး ညံ့ဖျင်းခြင်း၊ မလှပခြင်း နှင့်

(၄) ကုန်ထုတ်စွမ်းရည်(productivity) ကျဆင်းခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

၉.၁.၇ ချောဆီများကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(Removing Oil)

Compressed air stream တွင် ပါဝင်နေသည့် မလိုလားအပ်သော ချောဆီ(oil)ကို ဖယ်ရှားခြင်းကြောင့် အောက်ပါ အကျိုးကျေးဇူးများ ရရှိနိုင်သည်။

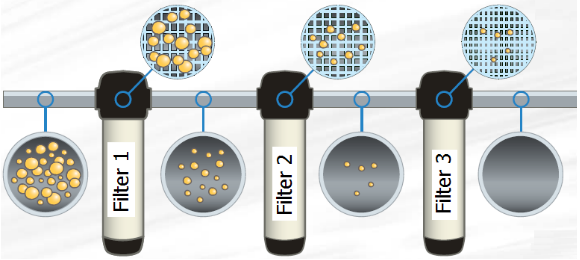
(က) ကိရိယာ(tool)များကို ကြာရှည်စွာ အသုံးပြုနိုင်ခြင်း(longer air tool life)

(ခ) ထုတ်ကုန်များ၏ အရည်အသွေး ကောင်းမွန်ရန် သေချာခြင်း(ensures high quality of finished goods)

(ဂ) မလိုလားအပ်သည့် အနံ့ဆိုးများကို ပြယ်ပျောက်စေခြင်း(no unwanted odors) နှင့်

(ဃ) ဘေးအန္တရာယ်ကင်းသည့် လုပ်ငန်းခွင်ဖြစ်စေခြင်း(safer workplace) တို့ဖြစ်သည်။

Filter 1 မှ ချောဆီအမှုန်ငယ်များ(oil droplets) ကိုဖယ်ရှား ပေးသည်။
Filter 2 မှ အလွန် သေးငယ်သည့် ချောဆီ အမှုန်ငယ်များ (oil droplets)ကို ဖယ်ရှား ပေးသည်။
Filter 3 မှ ဆီငွေ့များ(oil vapors) ကိုဖယ်ရှား ပေးသည်။

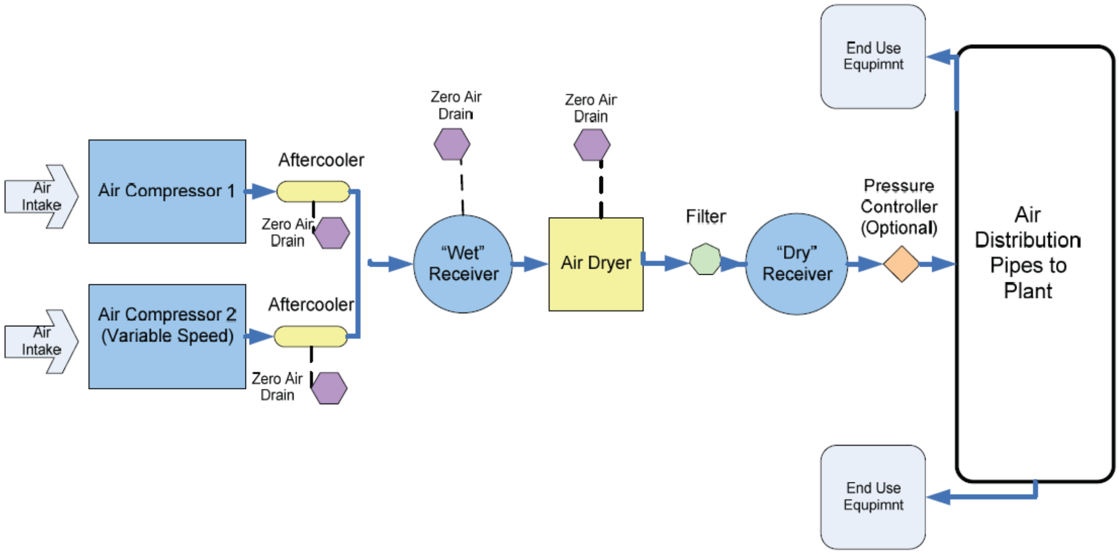


ပုံ ၉-၆ ချောဆီစစ် သုံးခု အသုံးပြု၍ သန့်စင်ခြင်း

ထိခိုက်လွယ်သော(sensitive) ကိရိယာများ သို့မဟုတ် အရေးကြီးသော နေရာများ(critical application) အတွက် ဆီစစ်(filter)တစ်ခုနှင့် မလုံလောက်သည့် အခါမျိုးတွင် ဆီစစ်(filter)နှစ်ခု သို့မဟုတ် သုံးခု အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

ဆီစစ်အကြမ်း(Filter 1)ဖြင့် oil droplet အကြီးများကို ပထမဦးစွာ သန့်စင်ရမည်။ နောက်မှ ဆီစစ်အနု(Filter 2)ဖြင့် ချောဆီအမှုန်ငယ်များ(oil droplets)ကို စစ်ယူရသည်။ နောက်ဆုံးမှ ဆီစစ်အနုဆုံး(Filter 3)ဖြင့် ဆီငွေ့(oil vapor)များကို စစ်ယူရသည်။

ချောဆီကင်းသည့် (oil-free) compressed air အလိုရှိပါက ချောဆီ မသုံးသည့် (oil-free) air compressor ကို အသုံးပြုရမည်။ သို့သော် အမှုန်များ(particle)နှင့် ရေငွေ့(moisture)များကို သန့်စင် ဖယ်ရှားရန် လိုအပ်သည်။ Compressed air ထဲ၌ ပါဝင်နေသည့် ချောဆီများသည် ထုတ်ကုန်ပစ္စည်းများနှင့် လုပ်ငန်းခွင်တို့ကို ထိခိုက်စေနိုင်သည်။



ပုံ ၉-၅ Common air compressor system တစ်ခုတွင်ပါဝင်သည့် အစိတ်အပိုင်များ နှင့် Component များ

၉.၁.၈ အသုံးပြုမည့်လုပ်ငန်း နှင့် သင့်လျော်သည့် လေအရည်အသွေး(Air Qulaity)များ

General Recommended Standards for Air Purity			
အသုံးပြုသည့်နေရာနှင့်လုပ်ငန်းများ	လေအရည်အသွေးအဆင့်များ(Quality Classes)		
	ချောဆီ(Oil)	ဖုန်၊အမှုန်များ(Dirt)	ရေ၊ ရေငွေ့(Water)
Air agitation	3		2
Air bearings	2	2	
Air gauging	2	3	3
Air motors	4	4 - 1	5
Brick and glass machines	4		
Cleaning of machine parts	4	4	4
Construction	4	5	5
Conveying, granular products	3	4	3
Conveying powder products	2	3	2
Fluidics, power circuits	4	4	4
Foundry machines	4	4	5
Food and beverages	2	3	1
Hand operated air tools	4	5 - 4	5 - 4
Machine tools	4	3	5
Mining	4	5	5
Micro-electronics manufacture	1	1	1
Packaging and textile machines	4	3	3
Photographic film processing	1	1	1
Pneumatic cylinders	3	3	5
Pneumatic tools	4	4	4
Process control instruments	2	2	3
Paint spraying	3	3	3
Sand blasting	-	3	3
Welding machines	4	4	5
General workshop air	4	4	5

၉.၂ Intercoolers and Aftercoolers

Intercoolers

လေများဖိသိပ်ခြင်း ခံရသည့်အခါ အပူချိန်မြင့် တက်လာကြသည်။ ထိုကဲ့သို့ အပူချိန် မြင့်တက်မှုကြောင့် လေထုထည်လည်း တိုးပွားလာသည်။ များလာသည်။ ထို့ကြောင့် လေများ ဖိသိပ်ခံရသည့်အခါတွင် ထွက်ပေါ်လာသည့် အပူများ(heat of compression)ကို ဖယ်ရှားရန်အတွက် inter-cooler ကို အသုံးပြုကြသည်။ Compressed air သည် inter-cooler အတွင်း၌ အအေးခံပြီး အပူချိန်နိမ့်ဆင်းသွားသည့်အခါ လေထုထည်လည်း နည်းသွားသည်။ ထိုအခါ inter-cooler ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် လေထုထည်(air volume)များများကို compress လုပ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် compression efficiency ပိုကောင်းလာသည်။ Intercooler ကို compression အဆင့်(stage) တစ်ခုနှင့် တစ်ခုအကြားတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Aftercooler ကို compressor ၏ အထွက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။

Aftercooler

Aftercooler သည် heat exchanger တစ်ခုဖြစ်ပြီး compressor ၏ အထွက်(outlet)နှင့် အနီးဆုံး နေရာတွင် တပ်ဆင်လေ့ ရှိသည်။ Aftercooler သည် compressor မှ ထွက်လာသည့်လေ(discharge air)၌ ရှိနေသည့် ချောဆီ(lubricant)နှင့် အပူ(heat of compression)ကို ဖယ်ရှားပေးသည်။ Aftercooler ကို စနစ်တကျ အသုံးပြုရန် အရေးကြီးသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် compressed air တွင် ပါဝင်သည့် ရေခိုးရေငွေ့ (moisture content)သည် အထွက်လေ၏ အပူချိန်(discharge temperature)နှင့် တိုက်ရိုက် ဆက်သွယ်မှု ရှိသည်။

1,000 SCFM နှုန်းဖြင့် 100°F အပူချိန်ရှိသော saturated compressed air မှ တစ်နေ့လျှင် ရေ(၆၇) ဂါလံ (67 gallons)ကို condensatation ဖြစ်စေပြီး ဖယ်ထုတ်ပေး လိမ့်မည်။ ထိုရေများသည် compressed air တွင် ပါဝင်သည့် ရေခိုးရေငွေ့(moisture)များ condensation ဖြစ်ပြီး ထွက်ပေါ်လာသော ရေများဖြစ်သည်။ အကယ်၍ ထိုရေခိုးရေငွေ့(moisture)များသည် ပိုက်များ(piping)၊ pneumatic toolနှင့် instrument များ ဆီသို့ ရောက်ရှိပြီး ထိုကိရိယာများအတွင်း၌ condensation ဖြစ်ပေါ်ပါက ကိရိယာများ ပျက်စီးခြင်းနှင့် ပုံမှန်အလုပ် မလုပ်ခြင်းတို့ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။

Aftercooler သည် compressor နှင့် air dryer တို့နှစ်ခုအကြား compressor နှင့်အနီးကပ်ဆုံး နေရာတွင် တည်ရှိရမည်။ Cooler များကို အချိန်မှန် သန့်ရှင်းရေး ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ သို့မှသာ အပူများကို ကောင်းစွာ ဖယ်ထုတ်နိုင်လိမ့်မည်။ ရေငွေ့ပါဝင်မှု ပြဿနာများ(moisture problems) ဖြစ်ပေါ်လာ နိုင်သည်။

အပူချိန်မြင့်သည့် compressed air များ၌ ပါရှိနေသော ရေငွေ့များ(water vapor) ထွက်သွားစေရန် အတွက် aftercooler က အေးအောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် compressed air ၏ အပူချိန် ကျဆင်းသွားသောကြောင့် ရေခိုးရေငွေ့(water vopor) များ condensation ဖြစ်ကာ compressed air ထဲမှ ထွက်သွားခြင်း ဖြစ်သည်။ Aftercooler သည် compressed air ထဲတွင် ပါရှိသည့် ရေငွေ့များ(water vapor)၏ ၆၈% ကို ဖယ်ရှား ပေးသည်။ ထိုကဲ့သို့ မထွက်သွားပါက compressed air ပိုက်ထဲတွင် ရေများ ရှိနေလိမ့်မည်။

ပုံမှန်အားဖြင့် compressor မှ အထွက်နေရာတွင် water separator ကို automatic drainage နှင့် တွဲ၍ တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ Compressed air ထဲ၌ပါဝင်သည့် condensate ရေ ၈၀%ခန့်ကို aftercooler၏ water separator မှ ဖယ်ထုတ် ပေးသည်။ Aftercooler မှထွက်လာသည့် compressed air ၏ အပူချိန်သည် coolant အပူချိန်ထက် 10°C ခန့် ပိုများ လေ့ရှိသည်။ Cooler အမျိုးအစားကိုလိုက်၍ compressed air ၏အပူချိန်

ပြောင်းလဲလေ့ရှိသည်။ အသေတပ်ဆင်ထားသည့် air compressor (mobile air compressor မဟုတ်သည့်) များတွင် aftercooler ကို သီးခြား တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။

Compressor သုံးစွဲလိုက်သည့် လျှပ်စစ်စွမ်းအင်(electrical energy)၏ ၈၀%ခန့်သည် အပူ(heat) အဖြစ်သို့ ပြောင်းသွားသည်။ Energy efficiency ကောင်းရန်အတွက် ထိုအပူ(heat of compressor)ကို တတ်နိုင်သမျှ ပြန်လည်အသုံးပြုရန်(recover) လိုအပ်သည်။ ထိုအပူ(heat of compressor)ကို အခန်းများ အပူပေးရန်လိုအပ်သည့် လေပူ(hot air)များ ရရှိရန်အတွက် အသုံးပြုနိုင်သည်။

၉.၃ Pressure Dew Point (PDP)

Compressed air dryer အမျိုးအစားကွဲပြားလျှင် လုပ်ဆောင်မှုများလည်း ကွဲပြားကြသည်။ ထို့အပြင် "Degrees of Dew Point Suppression" များလည်း တူညီကြလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ Compressed air ၌ ပါဝင်နသော ရေခိုးရေငွေ့များ(moisture) ရေအဖြစ်သို့ စတင်ပြောင်းလဲသွားမည့် အပူချိန်ကို Dew Point ဟုခေါ်သည်။

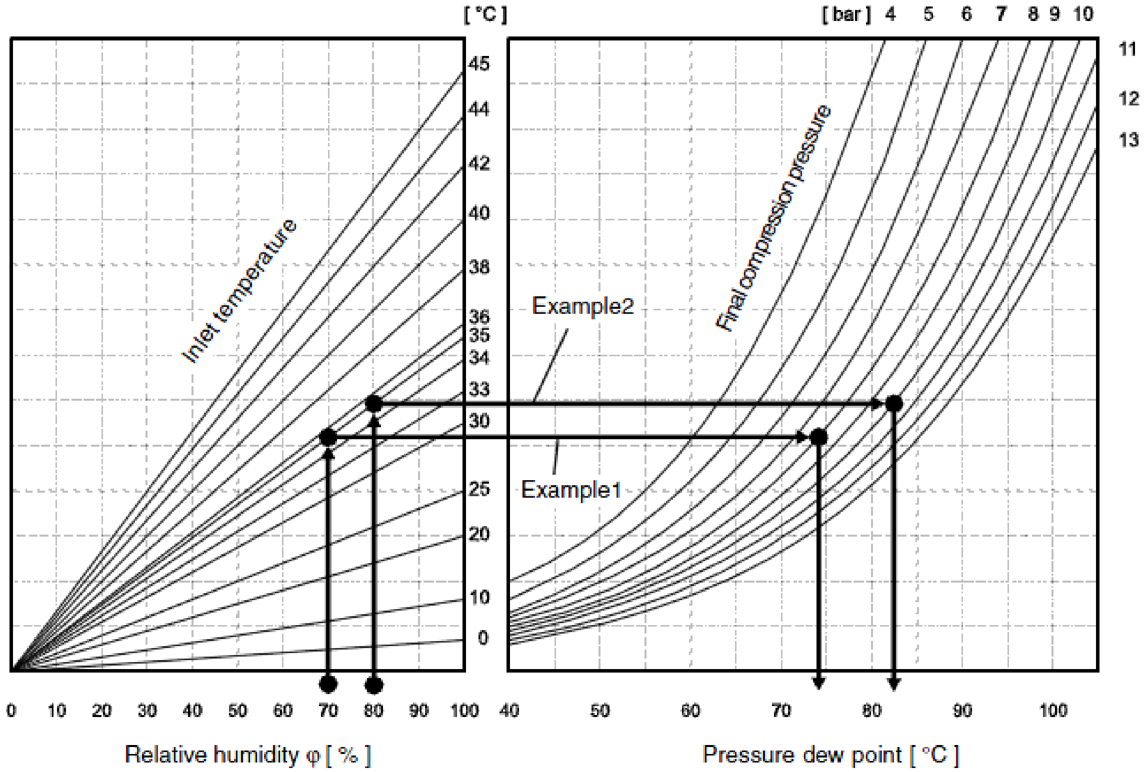
Pressure Dew Point (PDP)ဆိုသည်မှာ compressed air သည် ရောက်ရှိနေသည့် ဖိအားတွင် condensation ဖြစ်ပေါ်ခြင်းမရှိပဲ အနိမ့်ဆုံးအေးနိုင်သည့် အပူချိန်(temperature)ကို ဆိုလိုသည်။ ထို့ကြောင့် Pressure Dew Point (PDP)သည် ဖိအား(final compression pressure)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ဖိအား ကျဆင်းလာသည်နှင့်အမျှ Pressure Dew Point (PDP)လည်း လိုက်၍ နိမ့်ဆင်းလာသည်။ လေထု စိုထိုင်းဆ(humidity)များလေ compressed air ထဲ၌ ရေခိုးရေငွေ့ပါဝင်မှု(water vopor content) များလေ ဖြစ်သည်။

လေကို ဖိသိပ်(compress) လိုက်သည့်အခါ ရေငွေ့ပါဝင်မှု(moisture content) ပိုများလာသည်။ ဥပမာ 7.5 bar ဖိအား၌ 5 m^3/min ထုတ်ပေးနိုင်သည့် 30kW compressor တစ်ခုလုံးသည် အပူချိန် 20°C နှင့် Relative Humidity 80% ရှိသည့် လေကိုစုပ်ယူပြီး (၈)နာရီကြာအောင်မောင်းလျှင် ရေပုလင်း(၂၀)ခန့်(20 liters)ရရှိ လိမ့်မည်။ လေထဲရှိ ရေခိုးရေငွေ့ပါဝင်မှု(water vopor content)ကို ဖော်ပြရန်အတွက် Pressure Dew Point(PDP)ကို အသုံးပြုလေ့ ရှိသည်။ လက်ရှိဖိအား (အထက်ပါဥပမာအရ 7 bar ဖိအားအခြေအနေ)တွင် ရေခိုး ရေငွေ့များ(water vapor)မှ ရေအဖြစ်သို့ စတင်ပြောင်းလဲသွားမည့် အပူချိန်ကို Pressure Dew Point(PDP) ဟုခေါ်သည်။ Dew Point သည် ဖိအားကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသောကြောင့် Dew Point နှင့် ဖိအားကို တွဲ၍ ဖော်ပြရန်အတွက် Pressure Dew Point (PDP)ဟူသည့် ဝေါဟာရတစ်ခုကို အသုံးပြုခြင်းဖြစ်သည်။

Pressure Dew Point(PDP)တန်ဖိုးသည် လေထဲတွင်ပါရှိသည့် ရေခိုးရေငွေ့ပါဝင်မှု(water vapor content)ကို ဖော်ပြသည်။ Pressure Dew Point(PDP)တန်ဖိုးနည်းလေ လေထဲတွင် ရေခိုးရေငွေ့(water vapor)ပါဝင်မှု နည်းလေဖြစ်သည်။ Condensation ဖြစ်ရန်ခက်ခဲလေ ဖြစ်သည်။ Pressure Dew Point(PDP)တန်ဖိုးသည် သုညဒီဂရီထက် နိမ့်သည့်အခါ အနှုတ်တန်ဖိုးများဖြင့် ဖော်ပြ ကြသည်။ ထို့ကြောင့် Pressure Dew Point (PDP)တန်ဖိုး၏ အနှုတ်လက္ခဏာ နှင့် အပေါင်း လက္ခဏာတို့ကို သတိပြုသင့်သည်။

Pressure Dew Point (PDP)ကို အမျိုးမျိုးသော dryer များအား နှိုင်းယှဉ်ရာတွင် အသုံးပြုနိုင်သည်။ Atmospheric dew point ဖြင့် နှိုင်းယှဉ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ဥပမာ 7 barg ၌ ရှိသော +2°C Pressure Dew Point (PDP)သည် လေထုဖိအား(atmospheric pressure) အောက်၌ရှိသော အပူချိန် -23°C နှင့် ညီမျှသည်။ Dew point နိမ့်သည့် အခါမျိုးတွင် လေစစ်(filter)များကို အသုံးပြု၍ ရေငွေ့(moisture)ကို ဖယ်ထုတ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ Pressure Dew Point (PDP)ကို အခြေခံ၍ drying equipment များ(dryer များ)ကို ရွေးချယ်ကြသည်။ Dew Point နိမ့်နိမ့်ရရန်အတွက် ကုန်ကျစရိတ် များလိမ့်မည်။

၉.၃.၁ Pressure Dew Point (PDP) တန်ဖိုးကို ခန့်မှန်းခြင်း



ပုံ ၉-၇　Pressure dew point (PDP) နှင့် Atmospheric Dew Point တို့အပြန်အလှန်ဆက်သွယ်မှု

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည့် diagram သည် compressed air ၏ Pressure Dew Point (PDP)ကို တွက်ယူနိုင်သည့် ဂရပ်ဖြစ်သည်။

Example 1 (Intake air- 1)

Relative atmospheric humidity = 70 %

Inlet temperature (T) = 35°C

Compressed air ကို ဖိအား(pressure) 8 bar(gauge) သို့ရောက်အောင် ဖိသိပ်(Compression)လိုက်လျှင် Pressure Dew Point (PDP)သည် 73°C ဖြစ်လိမ့်မည်။ တစ်နည်း 73°C သို့ရောက်လျှင် condensation စတင်လိမ့်မည်။

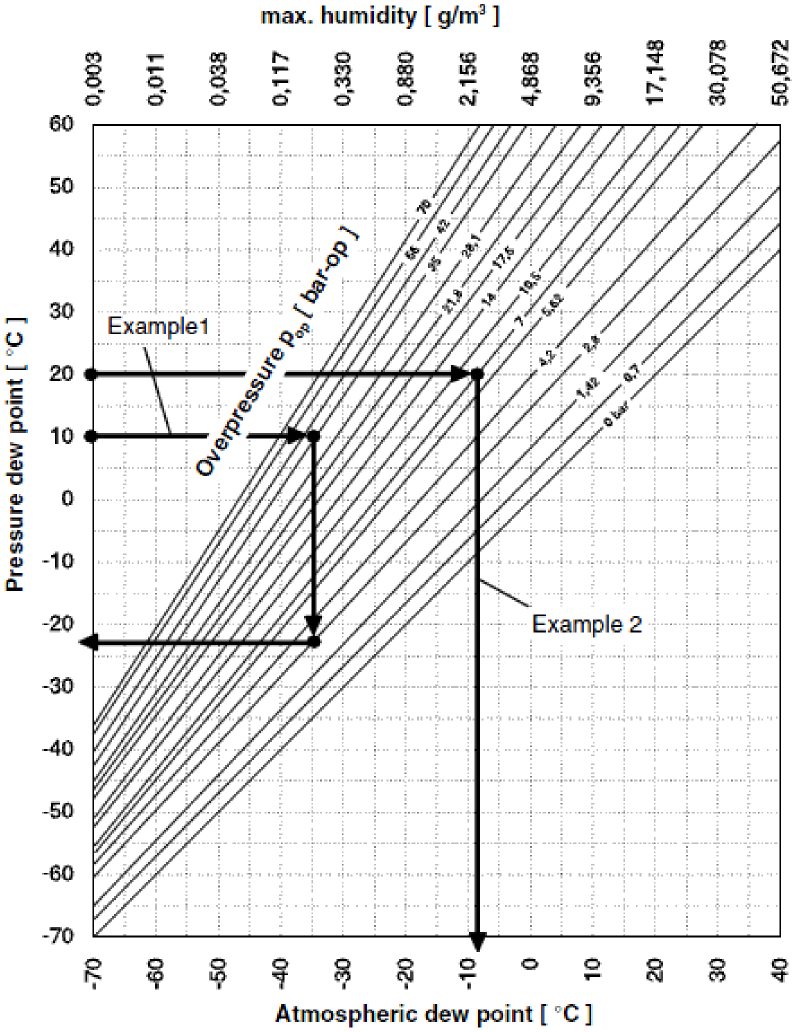
Example 2 (Intake air- 2)

Relative atmospheric humidity = 80 %

Inlet temperature (T) = 35°C

Compressed air ကို ဖိအား(pressure) 10 bar(gauge)သို့ ရောက်အောင် ဖိသိပ်(compression)လိုက်လျှင် Pressure Dew Point (PDP)သည် 82°C ဖြစ်လိမ့်မည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် 82°C သို့ရောက်လျှင် condensation စတင် လိမ့်မည်။

> အထက်ပါဥပမာအရ compressed air ၏ ဖိအား(pressure) မြင့်တက်လာလေ Pressure Dew Point(PDP) မြင့်တက်လာလေ ဖြစ်သည်။ Condensation ဖြစ်ရန် ပိုလွယ်ကူလေဖြစ်သည်။ Compressed air ၏ ဖိအား(pressure)ကို ကျဆင်းအောင်ပြုလုပ်လိုက်လျှင်(တစ်နည်းအားဖြင့် ဖိအား ကျဆင်း သွားလျှင်) Pressure Dew Point (PDP)သည်လည်း နိမ့်ဆင်းသွား လိမ့်မည်။



ပုံ ၉-၈ Pressure dew point (PDP) နှင့် Atmospheric Dew Point တို့အပြန်အလှန်ဆက်သွယ်မှု

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော ဇယားမှ Pressure Dew Point(PDP)အသစ် နှင့် atmospheric dew point ကို တွက်ယူနိုင်သည်။

Example 1

Compressed air (1)

P = 35 bar air pressure (abs)

Pressure dew point 10°C

Compressed air ကို ဖိအား 4 bar (abs)သို့ရောက်အောင် လျှော့ချလိုက်လျှင် အသစ်ဖြစ်လာမည့် Pressure Dew Point (PDP)သည် 22°C ခန့် ဖြစ်သည်။

Example 2

Compressed air (2)

p = 7 bar air pressure (abs)

Pressure Dew Point (PDP) 20°C

Compressed airကို ဖိအား1bar(abs)သို့ရောက်အောင် လျှော့ချလိုက်လျှင် အသစ်ဖြစ်လာမည့် Pressure Dew Point(PDP)သည် –8°C ခန့်ဖြစ်သည်။ ထိုထက်ပိုအေး(အပူချိန်နိမ့်)မှသာ condensation စတင်သောကြောင့် condensation ဖြစ်ရန် ပိုခဲယဉ်းသည်။

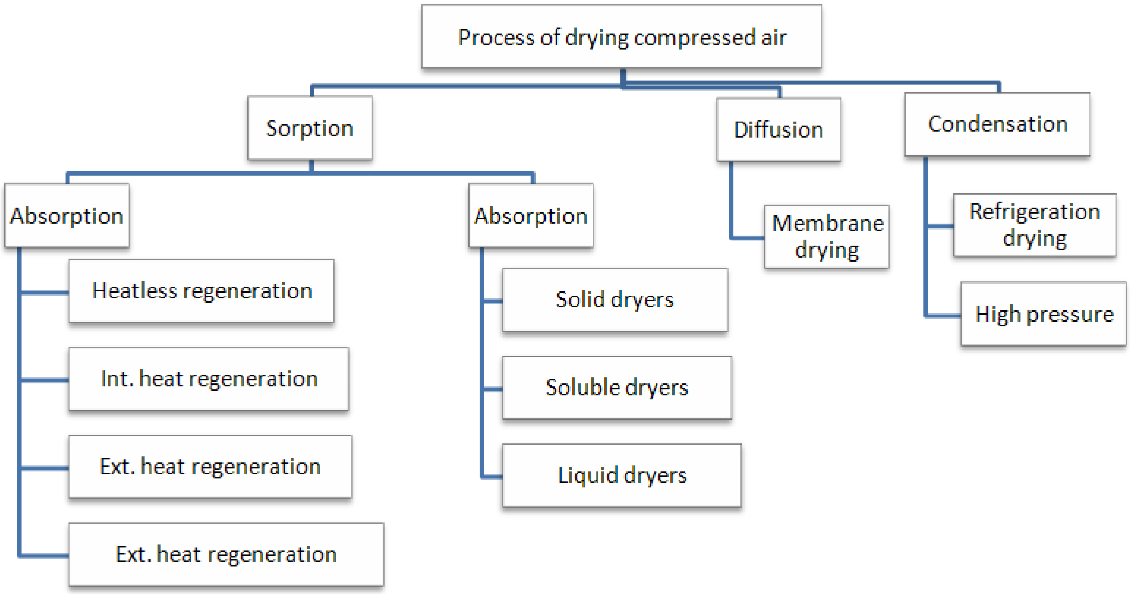
Pressure Dewpoint နှင့် Relative Humidity

Pressure Dewpoint	Relative Humidity
+10°C	54%
+3°C	34%
-20°C	5%
-30°C	2% (Limit of Corrosion)
-40°C	0.7%
-70°C	0.016%

၉.၄ Air Dryer များ သို့မဟုတ် လေကိုခြောက်သွေ့စေသည့် ကိရိယာများ

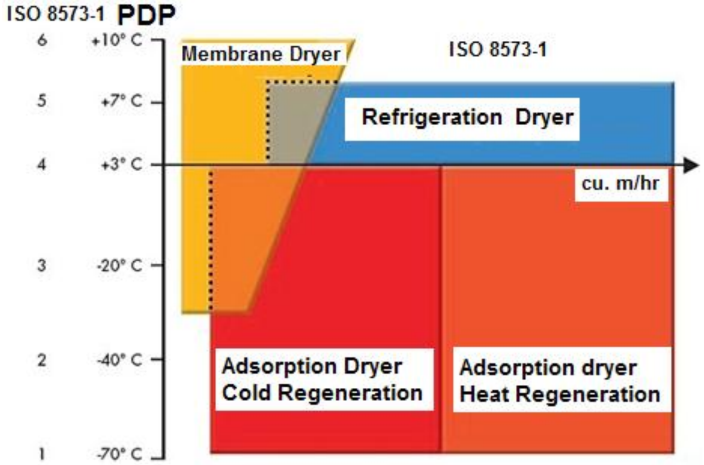
Compressed air များကို နည်း သုံးနည်း သို့မဟုတ် principle သုံးမျိုးဖြင့် ခြောက်သွေ့အောင်(dry) ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Sorption ၊ Diffusion နှင့် Condensation တို့ဖြစ်သည်။

အများဆုံးအသုံးပြုသည့် drying နည်းသည် refrigeration drying နည်း(condensation principle) နှင့် adsorption drying (sorption principle) တို့ဖြစ်သည်။ အလွန် ခြောက်သွေ့သည့်လေ မလိုအပ်လျှင်(dew point +3°C မှ +5°C အတွင်း ရရှိရန်အတွက်) refrigeration dryer သည် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သည်။ Adsorption dryer သည် ၁၀% မှ ၂၀% အသုံးပြုသည်။ အလွန် ခြောက်သွေ့သော(Dew Point -40°C မှ-60°C) compressed air ကို ရရှိရန်အတွက် absorption air dryer ကို အသုံးပြုသင့်သည်။ Distribution system သည် ပြင်ပမှလေ(outside atmosphere) နှင့် ထိတွေ့နေလျှင် air dryer ကို အသုံးပြုသင့်သည်။



Compressor မှ ထွက်လာသည့် compressed air ၏ အပူချိန်သည် aftercooler နှင့် moisture separator ကို ဖြတ်ပြီးသည့် အချိန်တွင် ပြင်ပလေ၏ အပူချိန်ထက် မြင့်လျက်ရှိပြီး ရေငွေ့များ(moisture)များစွာ ပါဝင်နေသည်။ လေသည် တဖြည်းဖြည်း အေးလာသည်နှင့်အမျှ ထိုလေမှ သယ်ဆောင်ထားသည့် ရေငွေ့များ

(moisture)သည် အပူချိန် ကျဆင်းမှုကြောင့် ရေ(liquid water) အဖြစ်သို့ ပြောင်းသွားသည်။ ထိုသို့လေထဲမှ ရေငွေ့များ (moisture) ရေအဖြစ် ပြောင်းလဲပြီး လေထဲမှ ထွက်သွားခြင်းကို condensation ဖြစ်သည်ဟု ခေါ်သည်။ ထွက်လာသည့် ရေကို condensate ရေ(water)ဟု ခေါ်သည်။

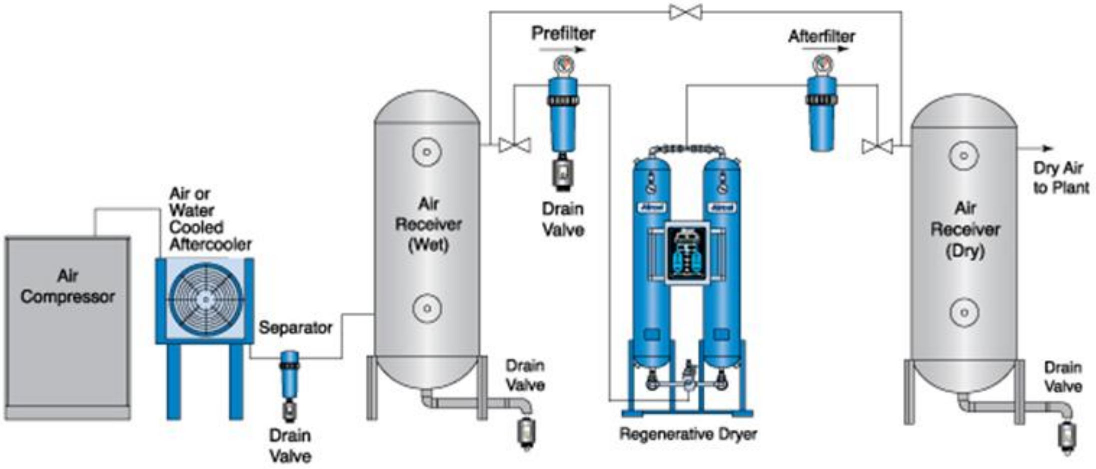


ထိုရေများကို မဖောက်ထုတ်ပါက compressed air line များတွင် ရှိနေပြီး မလိုလားအပ်သည့် ပိုက်များ သံချေး တက်ခြင်း၊ contamination ဖြစ်ခြင်း စသည့်ပြဿနာများကို ဖြစ်ပေါ်စေနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် compressed air ၌ ပါဝင်နေသော ရေစိုး ရေငွေ့များ (moisture) ကို ဖယ်ရှားရန် အတွက် air dryer များကို အသုံးပြုရခြင်း ဖြစ်သည်။

ပုံ ၉-၉ Dryer အမျိုးအစားနှင့် ရရှိနိုင်သည့် Pressure Dewpoint (PDP)

Refrigerated Dryer

ပုံ ၉-၁၀ Membrane dryer



ပုံ ၉-၁၁ Air Treatment Compoments

၉.၄.၁ Compressed air မှ ရေငွေ့ကိုဖယ်ထုတ်နိုင်သည့်နည်းများ(Methods of drying)

အလုပ်လုပ်ပုံ(principle of operation)ကို လိုက်၍ compressed airမှ ရေငွေ့ကို ဖယ်ထုတ်နိုင်သည့် နည်းများကို ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Condensation နည်းသည် compressed air ၏ အပူချိန်ကို dew point ထက် နိမ့်အောင်ပြုလုပ်၍ compressed air မှ ရေငွေ့များကို သီးခြားဖြစ်အောင် ဖယ်ထုတ်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။
(၂) Sorption နည်းသည် ရေငွေ့များကို စုပ်ယူသည့်နည်းဖြင့် ဖယ်ရှားခြင်းဖြစ်သည်။ (drying by removal of moisture)
(၃) Diffusion နည်းသည် molecular transfer နည်းဖြင့် ရေငွေ့များကို ဖယ်ထုတ်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။ (drying by molecular transfer)

၉.၄.၂ Dryer များ၏ Operating Conditions

Drying equipment များကို DIN ISO 7183 စံချိန်စံညွှန်းအရ အောက်ပါ operating condition များတွင် ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Equipment ၏ performance data သည် အောက်ပါ operating condition များ အတွက်သာ မှန်ကန်သည်။

Intake pressure p = 0 bar (gauge) = 1 bar (abs)

Intake temperature = 293 K =20° C

(၁) ဖိအား(Operating pressure) p = 7 bar(gauge) = 8 bar(abs)

(၂) လေထုအပူချိန်(Ambient temperature) = 298 K = 25° C

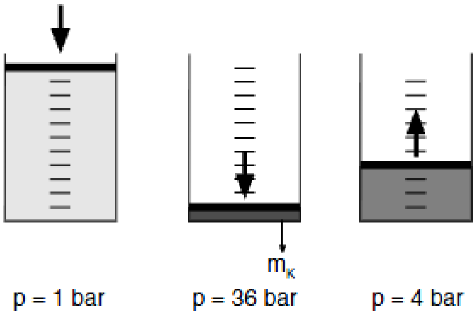
(၃) Dryer အတွင်း ဝင်ရောက်လာသည့် လေအပူချိန်(Entry temperature) = 308 K = 35° C

လက်တွေ့ အခြေအနေသည် ဒီဇိုင်းအခြေအနေ နှင့် ကွာခြားနေလျှင် သင့်လျော်သည့် conversion factor များကို အသုံးပြုရမည်။

၉.၄.၃ ဖိအားမြင့်အောင်ပြုလုပ်၍ Condensation ဖြစ်စေခြင်းဖြင့် ရေငွေ့များကိုဖယ်ထုတ်ခြင်း

Over compression နည်းဖြင့် compressed air ကို ခြောက်သွေ့အောင်(dry ဖြစ်အောင်)ပြုလုပ်ခြင်းသည် အလွယ်ကူဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ လေ(air)ကို မိမိအလိုရှိသည့် ဖိအား(pressure)ထက် များအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် ထိုလေထဲ၌ရှိသော ရေခိုးရေငွေ့(water vapor)များ condensation ဖြစ်ပြီး ရေ(liquid)အဖြစ် ထွက်သွားလိမ့်မည်။ ထို့နောက် လေကို အေးအောင်ပြုလုပ်၍ ရေခိုးရေငွေ့(water vapor)များကို ဖယ်ထုတ် နိုင်သည်။ အလိုရှိသည့် working pressure သို့ ရောက်အောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ဤနည်းသည် လေစီးနှုန်း(air flow rate) နည်းသည့် system များ အတွက်သာ သင့်လျော်သည်။

အဘယ့်ကြောင့်ဆိုသော် စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု (energy consumption)များ သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Compressed air ကို အလိုရှိသည့် (ရလိုသည့်) ဖိအား ထက်ပိုမြင့်သည့် ဖိအားသို့ ရောက်အောင် ဖိသိပ်ခြင်း (compression) ပြုလုပ်ပြီး အအေးခံပြီးနောက် အလိုရှိသည့် ဖိအား(operating pressure) သို့ရောက်အောင် လျှော့ချကာ ရေငွေ့များကို ဖယ်ထုတ်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၉-၁၂ Over-compression with subsequent relaxation

ရရှိနိုင်သည့် PDP[°C]	လက်ခံနိုင်သည့် Operating Pressure [bar(gauge)]	လက်ခံနိုင်သည့်လေပမာဏ Volume Flow [m3/h]	လက်ခံနိုင်သည့် လေအဝင် အပူချိန်[°C]
– 70°C ခန့် ဖြစ်သည်။	Depends on compressor	Depends on compressor	–

အလုပ်လုပ်ပုံ(Operating Principle)

အလိုရှိသည့် ဖိအားထက် ပိုမြင့်သည့် ဖိအားသို့ ရောက်အောင် ဖိသိပ်လိုက်သောကြောင့် လေထုထည် ပိုနည်းသည်။ ထို့ကြောင့် လေသည် ရေငွေ့များကို သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားနိုင်စွမ်း လျော့နည်းလာသောကြောင့် condensation ဖြစ်ပေါ်သည်။ Compressed air ၏ absolute humidity ကျဆင်းသွားသည်။ ထို့နောက် ဖိအားကို လျော့ချလိုက်သည့်အခါ Pressure Dew Point (PDP) ကျဆင်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။

ဥပမာ

Compressed air ကို ဖိအား 36 bar သို့ရောက်အောင် ဖိသိပ်(compress)လျှင် Pressure Dew Point (PDP)သည် 10°C ဖြစ်မည်။ ထို့နောက် condensate များ အနယ်ကျစေပြီးနောက် 4 bar သို့ရောက်အောင် လျော့ချလိုက်လျှင် Pressure Dew Point (PDP)အသစ်သည် – 18°C ခန့်ဖြစ်လိမ့်မည်။

အားနည်းချက် နှင့် အားသာချက်များ

(က) ရိုးရှင်းသည့် process ဖြစ်သည်။ လေ အဆက်မပြတ် ရနိုင်သည်။ Continuous volume flow ဖြစ်သည်။

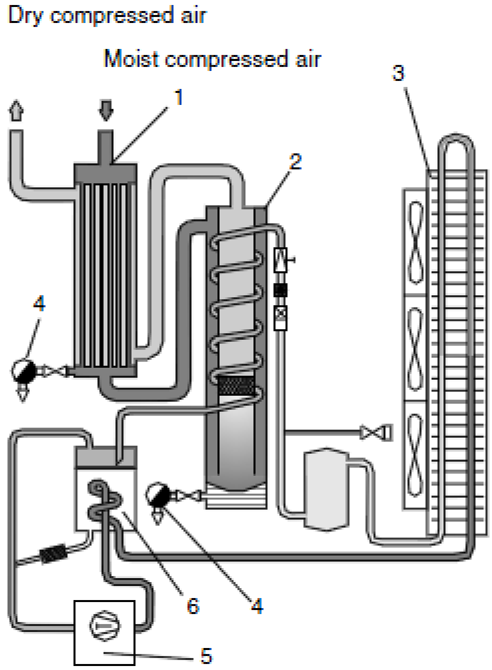
(ခ) Refrigeration drying equipment များသည် ဈေးနှုန်း ချိုသာသည်။

(ဂ) သေးငယ်သည့် system များအတွက် သင့်လျော်သည်။

(ဃ) စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) အလွန်များသည်။

၉.၄.၄ Refrigeration နည်းဖြင့် လေထဲရှိ ရေငွေ့များကို Condensation ဖြစ်စေခြင်း

(Condensation by refrigeration drying)



ပုံ ၉-၁၃

Operating diagram of a refrigeration compressed air dryer

1 = Air/Air heat exchanger

2 = Air/refrigerant heat exchanger

3 = Refrigerant/air heat exchanger

4 = Condensate drain

5 = Refrigerant compressor

6 = Vapour outlet

အပူချိန်ကျဆင်းသွားသည့်အခါတွင် လေများသည် ရေခိုးရေငွေ့ကို သိုလှောင် သိမ်းဆည်းထားနိုင်စွမ်း ကျဆင်းသွားသည်။ ထို့ကြောင့် compressed air ကို refrigeration dryer ဖြင့် အေးအောင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် ရေခိုး ရေငွေ့ပါဝင်မှု(moisture content) ကျဆင်းသွားစေနိုင်သည်။

Refrigeration drying သည် compressed air ကို heat exchanger ဖြင့် အေးအောင်ပြုလုပ်ပြီး ရေခိုးရေငွေ့များကို condensate ဖြစ်စေကာ ဖယ်ထုတ်ခြင်းဖြစ်သည်။

ရရှိနိုင်သည့် Pressure Dew Point [°C]	လက်ခံနိုင်သည့် Operating Pressure [bar(gauge)]	လက်ခံနိုင်သည့် လေပမာဏ Through flow [m^3/h]	လက်ခံနိုင်သည့် လေအဝင်(Entry) အပူချိန် [°C]
−2°C	210	11-35000	to +50°C

အလုပ်လုပ်ပုံ(Operating Principle)

Refrigerant ကို အသုံးပြု၍ compressed air ကို အေးအောင်ပြုလုပ်ပြီး compressed air ၌ ပါရှိသော ရေငွေ့(moisture)ကို ဖယ်ထုတ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Refrigerated dryer များ အလုပ်လုပ်ပုံသည် လေအေးပေးစက်များ(Air Conditioning Unit) အလုပ်လုပ်ပုံနှင့် တူညီကြသည်။ Compressed air ကို အေးအောင်(dew point ထက် အပူချိန်နိမ့်အောင်) cooling coil ထဲသို့ ဖြတ်စီးစေသည်။ ထိုအခါ လေထဲမှ ရေခိုးရေငွေ့များ (moisture) စတင်၍ ရေ(liquid water)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ လေအေးပေးစက်များ(Air Conditioning Unit)များတွင် condensation ဖြစ်ခြင်းမျိုးနှင့် တူညီသည်။ လေကို အေးအောင် ပြုလုပ်၍ ရေငွေ့(moisture)များကို ထွက်သွားစေပြီးနောက် compressed air ကို အခန်းအပူချိန်သို့ ရောက်အောင် ပြုလုပ် ထားသောကြောင့် compressed air ပိုက်များပေါ်တွင် condensation မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။

ပုံ ၉-၁၄ Refrigeration compressed air dryers

Refrigerated air dryer များသည် compressed air ကို +33°F မှ +39°F (+0.5°C မှ +4.0°C) အထိ အေးစေရန် လုပ်နိုင်စွမ်းရှိသည်။ သို့သော် +33°F မှ +39°F (+0.5°C မှ +4.0°C)ထက် ပိုနိမ့်အောင်ပြုလုပ်လျှင် condensate water သည် dryer ၏ cooling coil ပေါ်တွင် အေးခဲသွား လိမ့်မည်။

Refrigerant dryer များသည် Dew Point +2°C မှ +10°C အတွင်းရအောင် ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည်။ ထိုထက် ပိုနိမ့်အောင် ပြုလုပ်နိုင်စွမ်း မရှိပေ။ Refrigerated dryer သည် အနိမ့်ဆုံး constant dew point 38°F ထုတ်ပေးနိုင်သည်။

အားနည်းချက် နှင့် အားသာချက်များ

(က) Refrigeration drying သည် လုပ်ငန်းများ အားလုံးနီးပါး (၉၀%ခန့်)အတွက် စီးပွားရေးအရ တွက်ခြေအကိုက်ဆုံးသော နည်းဖြစ်သည်။

(ခ) Solid particle များကို ရာနှုန်းပြည့်(၁၀၀%) ဖယ်ထုတ်ပေး နိုင်သည်။ 3 μm ထက်ကြီးသည့် water droplet များကို ခွဲခြား ဖယ်ထုတ်ပေး နိုင်သည်။

(ဂ) ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss) အလွန်နည်းသည်။ 0.2 bar ခန့်သာဖြစ်သည်။

Refrigerated compressed air dryer သည် ဝင်လာသည့် compressed air ကိုအေးစေပြီး ရေငွေ့(moisture)များကို condensation ဖြစ်စေသည်။

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော ပြဿနာများ ကြုံတွေ့နေရပါက refrigerated compressed air dryer ကို အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။

(က) ရေ(liquid water)များ လေပိုက်များ အတွင်း၌ သို့မဟုတ် hose အတွင်း၌ ရှိနေခြင်း

(ခ) Tool exhaust များ မှ ရေငွေ့များ(Water vapor) ပန်းထွက်ခြင်း နှင့်

(ဂ) ပိုက်လိုင်းများ သံချေးတက်ခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

Heatless regenerative dryers ဖြစ်ပြီး desiccant bed နှစ်ခုပါဝင်သည်။

Twin Tower Desiccant dryer

Inline desiccant dryer သည် dew points ကို အနိမ့် -40°F အထိ ပေးနိုင်သည်။

ပုံ ၉-၁၅ Desiccant dryer များ

Refrigeration dryer ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) နှင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption)ကို ထိခိုက်စေသည့် အချက်များ

(၁) Prefiltration မလုပ်ခြင်း သို့မဟုတ် prefiltration မကောင်းခြင်း

(၂) Compressor အထွက်တွင် refrigerant အပူချိန် အလွန်မြင့်မားခြင်း

(၃) Dryer တပ်ဆင်ထားသည့် နေရာ၏ လေထုအပူချိန်(ambient temperatures) မြင့်မားခြင်း

(၄) တပ်ဆင်ထားပုံ မမှန်ကန်ခြင်း။ လေဝင်လေထွက်(ventilation) မကောင်းခြင်း

(၅) Drain trap များ ပုံမှန်အလုပ် မလုပ်သောကြောင့် dryer ၏ အောက်ဖက်(downstream)တွင် ရေများ ရှိနေခြင်း နှင့်

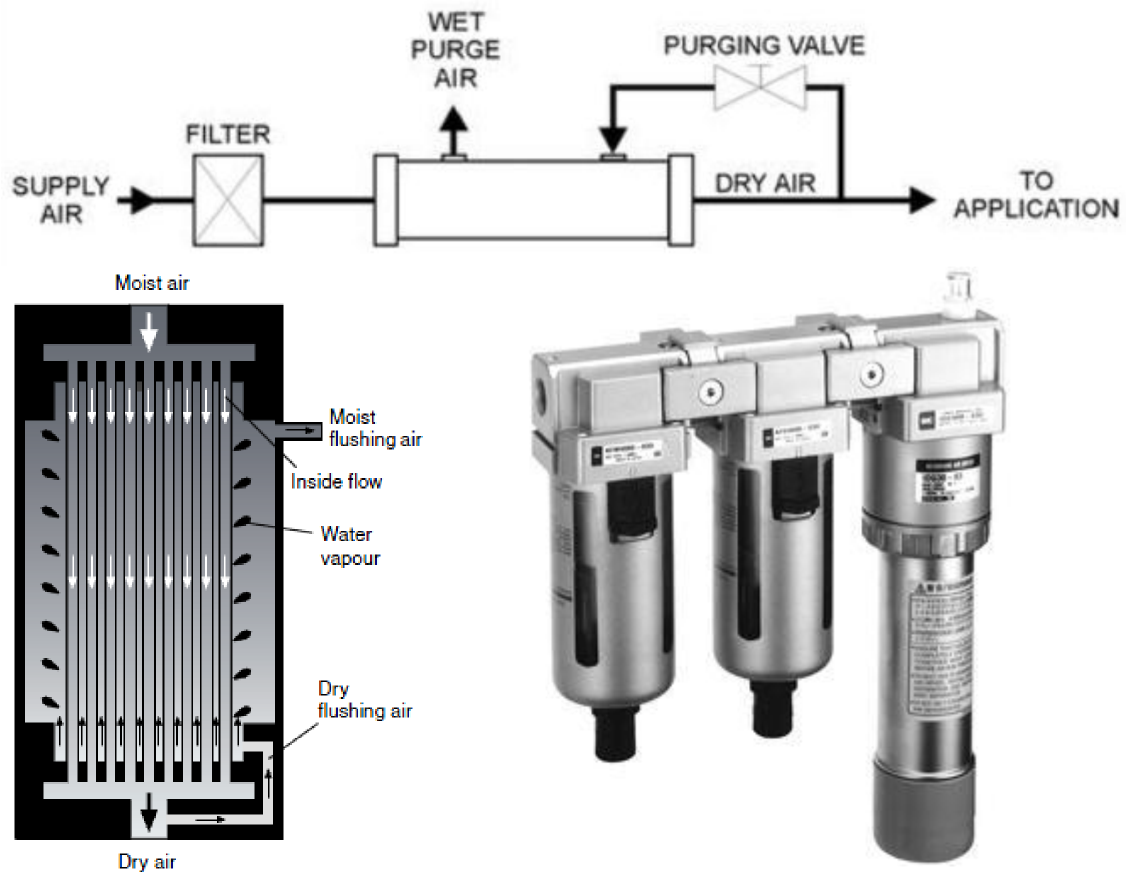
(၆) Dryer အတွင်း refrigerant ပမာဏ လျော့နည်းနေခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

၉.၄.၅ Diffusion နည်းကို အသုံးပြု၍ Membrane များဖြင့် လေကိုခြောက်သွေ့အောင်လုပ်ခြင်း

(Diffusion by membrane drying)

Membrane dryer များသည် semi-permeable membrane ကို အသုံးပြု၍ လေ(compressed air)၌ ပါလာသော ရေခိုးရေငွေ့များ(moisture)ကို သီးသန့်ဖြစ်အောင် ဖယ်ထုတ်ပေးသည်။ Membrane dryer များတွင် လှုပ်ရှားနေသော အစိတ်အပိုင်းများ(moving parts) မပါဝင်ပေ။ Membrane dryer များသည် nameplate rating ၏ လေ(၂၀) ရာခိုင်နှုန်းခန့်ကို sweep လုပ်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။

ထို sweep air များသည် air system မှ ဆုံးရှုံးသွားသည့် လေများဖြစ်သည်။ Membrane dryer များတွင် ဝင်လာသည့် လေစီးနှုန်းနှင့် အပူချိန်ကို လိုက်၍ dew point သည် ပြောင်းလဲနေသည်။ Membrane-type dryer များသည် 40°F အထိရောက်အောင် ပြုလုပ်ပေး နိုင်သည်။ အလွန်နိမ့်သည့် –40°F dew point အထိရောက်အောင် ပြုလုပ်လိုပါက လေများကို purge လုပ်ပစ်ရန် လိုအပ်သောကြောင့် compressed air ဆုံးရှုံးမှုများ ဖြစ်ပေါ် လာနိုင်သည်။



ပုံ ၉-၁၆ Membrame dryer

အလုပ်လုပ်ပုံ(Operating principle)

အထူးပြုလုပ်ထားသော အခေါင်းပါသည့် ဖိုင်ဘာ(hollow fibre)များ အတွင်း၌ ရေသည် လေထက် အဆပေါင်း နှစ်သောင်းကျော် လျင်မြန်စွာ ဖြတ်သွားနိုင်သည်။ Membrane dryer တွင် အခေါင်းပါသည့် ဖိုင်ဘာ (hollow fibre)ပေါင်း ထောင်ပေါင်းများစွာ ပါရှိသည်။ Hollow fibre များသည် အလွန်မြင့်သည့် ဖိအားနှင့် အလွန်မြင့်သည့် အပူချိန်ကို ခံနိုင်သည်။ ဖိုင်ဘာ(Fibre)များ၏ အတွင်းမျက်နှာပြင်ကို အလင်းလှိုင်းအလျား (length of a light wave)ထက် ပါးသည့်အလွှာဖြင့် ဖုံးအုပ်ထားသည်။ Compressed air ကို membrane ဟုခေါ်သည့် အခေါင်းပါသည့်ဖိုင်ဘာ(hollow fibre)များ အတွင်းသို့ ဖြတ်သွားစေခြင်းဖြင့် ခြောက်သွေ့စေသည်။

ရရှိနိုင်သည့် Pressure dew point [°C]	လက်ခံနိုင်သည့် Operating Pressure [barg]	လက်ခံနိုင်သည့် လေပမာဏ Throughflow Rate [m^3/h]	လက်ခံနိုင်သည့် လေအဝင် အပူချိန် Entry temperature [°C]
0 to – 20°C	5 – 12.5	11 - 130	2° to 60°C

အားနည်းချက် နှင့် အားသာချက်များ

(က) Membrane dryer သည် အမှုန်မပါဝင်သည့် လေကိုသာ လက်ခံနိုင်သောကြောင့် upstream တွင် လေစစ်(filter)များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

(ခ) Membrane dryer ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားကျဆင်းမှု နည်းသည်။ 2 bar ခန့်သာဖြစ်သည်။

(ဂ) တည်ဆောက်ထားပုံ ကျစ်လစ်သည်။ (Compact construction)

(ဃ) လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်းများ(moving parts) မပါဝင်သောကြောင့် servicing အနည်းငယ်သာ လုပ်ရန်လိုသည်။

(င) Drying လုပ်နေစဉ်အတွင်း condensate များ အနယ်ထိုင်ခြင်း မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။
(စ) စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု အလွန်နည်းသည်။
(ဆ) မော်တာ မပါဝင်ပေ။
(ဇ) မောင်းသည့် အခါ အသံတိတ်ဆိတ်သည်။

Membrane dryer ၏ အားသာချက်များမှာ
(က) တပ်ဆင်ရန် ကုန်ကျစရိတ်နည်းခြင်း(Low installation cost)
(ခ) အသုံးပြုရန် ကုန်ကျစရိတ်နည်းခြင်း(Low operating cost)
(ဂ) ပြင်ပ(outdoor)တွင် တပ်ဆင် အသုံးပြုနိုင်သည်။
(ဃ) ဘေးအန္တရာယ် ရှိသည့်နေရာ(hazardous atmospheres) များတွင်လည်း တပ်ဆင်နိုင်သည်။
(င) လှုပ်ရှားနေသော အစိတ်အပိုင်းများ မပါဝင်(No moving parts)ပါ။
Membrane dryer၏ အားနည်းချက်များမှာ
(က)လေထွက်နှုန်း(capacity) အနည်းငယ်သာ ရရှိနိုင်သည့် system (low-capacity system) ဖြစ်သည်။
(ခ) လိုအပ်သည့် Pressure Dew Point (PDP)ကို ရရှိရန်အတွက် purge လုပ်ခြင်းကြောင့် လေဆုံးရှုံးမှု(air loss) များသည်။ ၁၅% မှ ၂၀% အထိဖြစ်နိုင်သည်။
(ဂ) Membrane များ ပျက်စီးဟောင်းနွမ်းနိုင်သောကြောင့် Membrane dryer မတိုင်ခင် လေစစ်(filter)တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ Membrane dryer များအတွက် စွမ်းအင် ကုန်ဆုံးမှုသည် 3 kW/100 SCFM မှ 4 kW/100SCFM ဖြစ်သည်။ (ဖိအားကျဆင်းမှု နှင့် compressor မောင်းရန်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်များ ပါဝင်သည်။)

Compressed air dryer များ၏ ပုံမှန်ဖိအားကျဆင်းမှု(typical pressure drop)သည် 3psi မှ 5 psi အတွင်း ဖြစ်သည်။ လိုအပ်သည့် အရွယ်အစားထက် သေးငယ်သည့် dryer များကို သုံးထားလျှင်(under sized လုပ်ထားလျှင်) ဖိအားကျဆင်းမှု အလွန်မြင့်မားလိမ့်မည်။ စွမ်းအင်သက်သာစေရန် compressor ရပ်ထားလျှင် air dryer ကိုလည်း ရပ်တန့်စေရမည်။

၉.၄.၆ ဓာတုဖြစ်စဉ်(Chemical Process)ဖြင့် လေကို ခြောက်သွေ့အောင် ပြုလုပ်ခြင်း(Absorption)

Absorption နည်းဖြင့် ခြောက်သွေ့စေခြင်းသည် "Hygroscopic Drying Agent" ကိုအသုံးပြုထားသည့် ဓာတုဖြစ်စဉ်(chemical process) ဖြစ်သည်။ ရေခိုးရေငွေ့များကို စုပ်ယူတတ်သည့် အရာဝတ္ထု တစ်မျိုးမျိုးကို အသုံးပြု၍ compressed air ထဲမှ ရေခိုးရေငွေ့များကို စုပ်ယူစေခြင်းဖြစ်သည်။ Sodium chloride နှင့် sulphuric တို့ကို အသုံးပြုသည်။ သံချေးတက်ခြင်း(corrosion) မဖြစ်စေရန် ဂရုတစိုက် အသုံးပြုသင့်သည်။ Drying agent များ၏ ရေငွေ့စုပ်ယူနိုင်စွမ်းအားသည် အချိန်ကြာလာသည့်နှင့်အမျှ တဖြည်းဖြည်း လျော့နည်းသွားသောကြောင့် အသစ် လဲပေးရန် လိုအပ်သည်။

Drying agents

Solid(အခဲ)	**Soluble**	**Liquid(အရည်)**
Dehydrated chalk oversour magnesium salt	Lithium chloride Calcium chloride	Sulphuric acid Phosphoric acid Glycerine and Triethylene glycol

Desiccant dryer ၏ operation ကို ထိခိုက်စေနိုင်သည့် ပြဿနာများ

(၁) Desiccant dryer အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့်လေများ၏ အပူချိန် များလွန်း၊နည်းလွန်းခြင်း

(၂) Prefiltration ညံ့ဖျင်းခြင်း၊ ရေနှင့် ချောဆီတို့ကို ကောင်းစွာ သန့်စင် မထားခြင်း နှင့်

(၃) ချောဆီ(lubricating oil)ကြောင့် desiccant များညစ်ပေခြင်း (desiccant contamination by oil)တို့ ဖြစ်သည်။

အားနည်းချက် နှင့် အားသာချက်များ

(၁) Absorption dryer များသည် အပူချိန်နိမ့်သည့် လေကိုသာ လက်ခံနိုင်သည်။ အပူချိန်မြင့်မားပါက drying agent များကို အပူဖြင့် ချက်ပြုတ်သကဲ့သို့ (over heating) ဖြစ်လိမ့်မည်။

(၂) Drying agent များသည် သံချေးတတ်ခြင်းကို ဆိုးရွားစွာ ဖြစ်စေတတ်သည်။

(၃) ပြင်ပမှ စွမ်းအင်ထည့်ပေးရန် မလိုအပ်ပေ။

၉.၄.၇ ရူပဗေဒဖြစ်စဉ်(Physical Process)ဖြင့် လေကို ခြောက်သွေ့အောင် ပြုလုပ်ခြင်း(Adsorption)

Adsorption နည်းဖြင့် လေကို ခြောက်သွေ့အောင်လုပ်ခြင်း(dry)သည် ရူပဗေဒ ဖြစ်စဉ်(physical process) ဖြစ်သည်။ ရေငွေ့များ(moisture)ကို စုပ်ယူသည့် ပစ္စည်းများ(material)၏ အတွင်း နှင့် အပြင် မျက်နှာပြင်များမှ စုပ်ယူထားသည်။

Desiccant dryer များကို

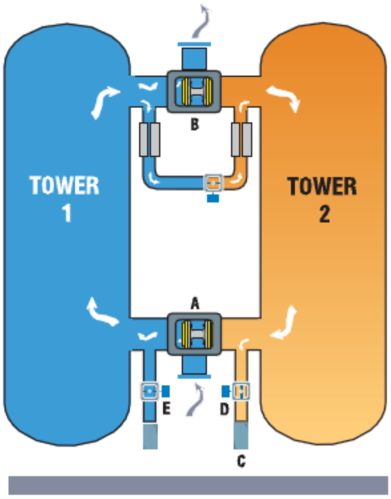
(၁) Single tower

(၂) Twin tower နှင့်

(၃) Regenerative Desiccant Dryer ဟူ၍ သုံးမျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

Compressed air ထဲ၌ပါလာသော ရေငွေ့(water vapor)များကြောင့် ပိုက်များ၊ ဘားများ (valves)နှင့် စက်များ၊ စက်ပစ္စည်းများ သံချေး တက်နိုင်သည်။ Compressed air ထဲတွင်ရှိသည့် ရေများသည် aerosol ပုံစံ သို့မဟုတ် water vapor ပုံစံ ဖြစ်လျှင် ဖယ်ထုတ် သန့်စင်ပစ်ရန်အတွက် compressed air dryer ကိုအသုံးပြုရန် လိုသည်။

A = Inlet Valve
B = Outleve Valve
C = Muffler
D & E Pruge valves



ပုံ ၉-၁၇ Regenerative Desiccant Dryer

ရေငွေ့များကို(moisture) ကိုစုပ်ယူနိုင်သည့် adsorption materials များ

Adsorption material	Properties of Adsorption material *)			
	Obtainable press. dew point [°C]	Entry temperature[°C]	Regeneration temperature [°C]	Surface [m2/g]
Silicagel (SiO2), raw	– 50	+ 50	120 - 180	500 - 800
Silicagel (SiO2), spherical	– 50	+ 50	120 - 180	200 - 300
Activated Aluminium oxide (Al2O3)	– 60	+ 40	175 - 315	230 - 380
Molecular screens (Na, AlO2, SiO2)	– 90	+ 140	200 - 350	750 - 800

*) The properties of the adsorption material change with the pressure and temperature of the gas to be dried

"Cold Regenerative"နည်းနှင့် "Hot Regenerative"နည်း ဟူ၍ Adsorption နည်း နှစ်နည်း ရှိသည်။ "Cold Regenative" နည်းသည် air flow နည်းလျှင် အသုံးပြုရန် အသင့်လျော်ဆုံးသောနည်း ဖြစ်သည်။ Compressed air ကို အသုံးပြု၍ regeneration process ပြုလုပ်ရန် လိုသည်။ ဖိအား7 bar နှင့် Pressure Dew Point (PDP) 20°C ရရှိရန်အတွက် compressed air ၏ ၁၅% မှ ၂၀%ကို အသုံးပြုရန် လိုသည်။

"Hot Regenerative" adsorption နည်းတွင် regenerate လုပ်ရန်အတွက် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား (electrical) သို့မဟုတ် compressor မှ ထွက်သောအပူ(heat)ကို အသုံးပြုထားသောကြောင့် စီးပွားရေးအရ တွက်ခြေကိုက်သည်။ -30ºC ထက်နိမ့်သော Pressure Dew Point (PDP)ကို ရစေနိုင်သည်။ Adsorption drying ကို အသုံးမပြုခင် condensate ရေများကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(separation)နှင့် ဖောက်ထုတ်ခြင်း(drain)ကို သေချာအောင် ပြုလုပ်သင့်သည်။ အကယ်၍ ချောဆီ(oil)ကို အသုံးပြုသည့် compressor ဖြစ်လျှင် ဆီစစ်(oil filter)ကို dryer အဝင်၌ တပ်ဆင်ထားရန် လိုသည်။ Adsorption dryer မတိုင်မီ လေစစ်(filter)များကို တပ်ဆင်ထားရန်လိုသည်။ Compressor မှ ထွက်သည့်အပူ(heat)ကို အသုံးပြု၍ regenerate လုပ်သည့် adsorption dryer များကို တွေ့မြင်နိုင်သည်။

အောက်ပါ process များဖြင့် adsorption material ကို regenerate လုပ်နိုင်သည်။

(၁) Heatless regeneration

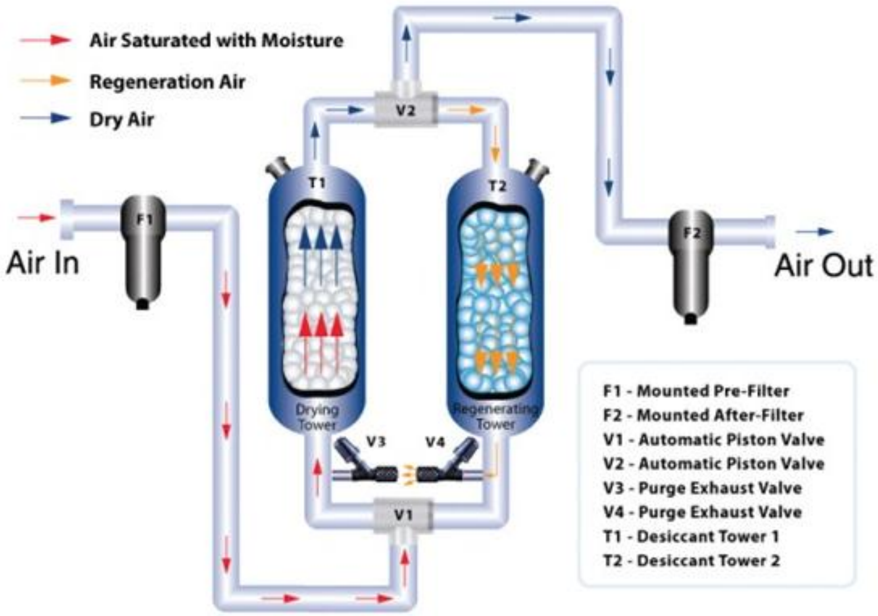
(၂) Internal hot regeneration

(၃) External hot regeneration နှင့်

(၄) Vacuum regeneration တို့ ဖြစ်သည်။

၉.၄.၈ Desiccant Dryers

Desiccant material များသည် လေထဲမှ ရေခိုးရေငွေ့များကို စုပ်ယူနိုင်စွမ်းရှိသည်။ Compressed air များကို desiccant material များအပေါ်သို့ ဖြတ်သန်းစေလျှင် desiccant material များသည် လေထဲမှ ရေခိုးရေငွေ့များကို စုပ်ယူခြင်းဖြင့် ဖယ်ရှားပစ်လိုက်သည်။



ပုံ ၉-၁၈ Tower နှစ်ခုလုံး ပါဝင်သည့် discant dryer

အပူချိန် 33°F ထက်နည်းသည့် Pressure Dew Point(PDP)ရရန် လိုအပ်ပါက desiccant dryer များကို အသုံးပြုသင့်သည်။ Desiccant dryer များကို dew point –40°F အထိ ကျဆင်းစေရန် အတွက် ဒီဇိုင်းပြုလုပ် ထားသည်။ အနိမ့်ဆုံး dew point –150°F အထိ ကျဆင်းအောင် လုပ်ပေးနိုင်စွမ်း ရှိသည်။

Desiccant dryer များတွင် desiccant tower နှစ်ခု ပါရှိရပြီး လိုအပ်သည်။ Regeneration ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Desiccant tower တစ်ခုသည် ရေခိုးရေငွေ့များကို စုပ်ယူနေစဉ် အခြား တစ်ခုသည် စုပ်ယူထားသည့် ရေခိုးရေငွေ့များကို စွန့်ထုတ်ပစ်နေသည်။(regeneration လုပ်နေသည်။) Silica gel ၊ molecular sieve of crystalline metal alumiosilicates နှင့် activated alumina တို့ သည် desiccant material များဖြစ်ကြသည်။ Activated alumina ကို အလွန်အသုံးများသည်။

အပူဖြင့် regeneration လုပ်ခြင်းနှင့် အပူမဲ့(heatless) regeneration လုပ်ခြင်း ဟူ၍ regeneration လုပ်နည်း နှစ်မျိုး ရှိသည်။

Heatless Desiccant Dryers(အပူမဲ့)

Heatless desiccant dryer များတွင် ပုံစံတူ drying tower နှစ်ခု ပါဝင်သည်။ Tower နှစ်ခုစလုံးတွင် desiccant များ ထည့်ထားသည့်နေရာ(bed)များ ပါဝင်ကြသည်။ Tower တစ်ခုသည် drying ပြုလုပ်နေစဉ် (ရေခိုးရေငွေ့များကို စုပ်ယူနေစဉ်) အခြား tower တစ်ခုသည် regenerating ပြုလုပ်နေသည်။ Regenerating ဆိုသည်မှာ ရေငွေ့များစုပ်ယူထားသည့် သို့မဟုတ် ရေငွေ့များဖြင့် ပြည့်ဝနေသည့် desiccant bed အား compressed air ကို အသုံးပြု၍ ရေငွေ့များထွက်သွားစေရန် မှုတ်ထုတ်ပစ်ခြင်းဖြစ်သည်။ ထိုမှုတ်ထုတ်ပစ်သည့် လေကို “Purge Air” ဟုခေါ်သည်။ Compressor မှထွက်သည့်လေပမာဏ၏ ၁၀% မှ ၁၈% အထိကို purge air အဖြစ် အသုံးပြုသည်။ Compressed air များ ဆုံးရှုံးခြင်းကြောင့် compressed air system တစ်ခုလုံး efficient မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။

Heated Desiccant Dryers

ပြင်ပမှအပူ(လျှပ်စစ်စွမ်းအင်ဖြစ်စေ၊ ရေနွေးငွေ့ဖြစ်စေ)ကို အသုံးပြု၍ regenerating ပြုလုပ်သောကြောင့် heated regenerative dryer များ ဟုခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။ စုပ်ယူထားသည့် ရေငွေ့များကို မှုတ်ထုတ်

ပစ်ရန်အတွက် compressed air ကို အသုံးမပြုပဲ အပူ(heat)ဖြင့်သာ regenerating လုပ်သည်။ Purge air ပမာဏ လျော့နည်းစေသောကြောင့် heated regenerative dryer များ၏ ကုန်ကျစရိတ် သက်သာသည်။ Purge air ကို အသုံးမပြုပဲ အပူပေး၍ ရေငွေ့များကို ထွက်သွားစေခြင်း ဖြစ်သည်။ အပူချိန် အလွန်မြင့်မား(high regenerative temperature)သောကြောင့် equipment နှင့် desiccant များ ပျက်စီးစေနိုင်သည်။

၉.၄.၉ Air Dryer အမျိုးမျိုးအတွက် ကုန်ကျစရိတ်များ

အောက်တွင် air dryer အမျိုးမျိုးတို့၏ ကုန်ကျစရိတ်များကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။ 500CFM capacity ရှိသော dryer အမျိုးမျိုးကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် တစ်နှစ်လျှင် ကုန်ကျမည့် စရိတ်ကို အောက်ပါ ဇယားတွင် ဖော်ပြထားသည်။ 1 kWh လျှင် ၁၀ဆင့်နှုန်း(10 cents per kWh)ဖြင့် တစ်နှစ်လျှင် မောင်းချိန် (၄၂၅၀)နာရီကို အခြေခံ၍ တွက်ချက်ထားသည်။

Dryer အမျိုးမျိုးကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် တစ်နှစ်လျှင် ကုန်ကျမည့် စရိတ်(အမေရိကန်ဒေါ်လာ)					
% Load	Non-cycle Refrigerant	Cycling Refrigerant	Heatless Regenerative	Heatless Control Regenerative	Membrane Dryer
100%	$1,070	$1,070	$6,390	$6,390	$8,520
75%	$1,070	$800	$6,390	$4,790	$8,520
50%	$1,070	$530	$6,390	$3,200	$8,520
25%	$1,070	$270	$6,390	$1,600	$8,520
10%	$1,070	$110	$6,390	$640	$8,520
0	$1,070	0	$6,390	0	$8,520
*Based on 500 SCFM dryer capacity running 4,250 hours per year at 100 psig and 10 cents/kWh.					

အထက်ပါလေ့လာတွေ့ရှိချက်အရ cycling refrigerant နှင့် heatless control regenerative တို့သည် ကုန်ကျမည့်စရိတ် အနည်းဆုံး ဖြစ်သည်။ အထက်ပါကုန်စရိတ်များသည် သာမန်အခြေအနေတွင် ကုန်ကျမည့် စရိတ်သာဖြစ်သည်။ ကောင်းစွာ ထိန်းသိမ်းခြင်းမရှိပါ ထိုထက်ပို၍ ကုန်ကျစရိတ်များ နိုင်သည်။

Dryer တန်ဘိုး နှင့် dryer အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအင် ကုန်ကျစရိတ် တို့ကိုပါ ထည့်သွင်းတွက်ချက်လျှင် -40°C PDP ရရန်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်သည် +2°C ရရန်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်ထက် (၅)ဆ မှ (၁၀)ဆအထိ ပိုများနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် အမှန်တကယ် မလိုအပ်ပဲ အလွန်နိမ့်သည့် Pressure Dew Point (PDP) ရရှိရန်အတွက် dryer များကို မမောင်းရန် သတိပြုသင့်သည်။။

၉.၄.၁၀ Dryer ရွေးချယ်ခြင်း(Selection)

Pressure Dew Point (PDP) နှင့် ကုန်ကျစရိတ်(operation cost)အပေါ်တွင် အခြေခံ၍ compressed air dryer ကို ရွေးချယ်ကြသည်။ 35°F ထက်နိမ့်သည့် Pressure Dew Point (PDP) လိုအပ်ပါက refrigerant-type dryer ကို အသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ Dryer များ၏ rating သည် saturated air at inlet အပေါ်တွင် အခြေခံသည်။ တပ်ဆင် အသုံးပြုသည့်နေရာ(geographical location)နှင့် မသက်ဆိုင်ပေ။

Relative Humidity (RH%)နည်းလေ dryer ၏ load နည်းလေဖြစ်သည်။ သို့သော် Pressure Dew Point (PDP)မပြောင်းလဲပေ။

Compressed air dryer ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)သည် 3 psi မှ 5 psi အတွင်းဖြစ်သည်။ အမှန်တကယ် လိုအပ်မှသာ Pressure Dew Point (PDP)အထိ ရောက်အောင် compressed air dryerကို အသုံးပြုသင့်သည်။ မလိုအပ်ပဲ အသုံးပြုပါက စွမ်းအင်နှင့်ငွေ ဖြုန်းတီးခြင်းသာ ဖြစ်သည်။

Dryer များ ၏ Pressure Dew Point (PDP)နှင့် Power Consumption ကို တွဲ၍ ဖော်ပြထားသည်။

Dryer အမျိုးအစား	**Atmospheric Dew Point °C**	**First Cost**	**Operating Cost**	**Power Cons. For 1000 m^3/hr**
Refrigeration	–20	Low	Low	2.9 kW
Desiccant regenerative (by compressed air purging)	–20	Low	High	20.7 kW
Desiccant regenerative (external or internal heating with electrical or steam heater, reduced or no compressed air purging)	–40	Medium	Medium	18.0 kW
Desiccant regenerative (using heated low pressure air, no compressed air loss)	–40	High	Low	12.0 kW
Desiccant regenerative (by recovery of heat of compression from compressed air)	–40	High	Very low	0.8 kW

Dryer အမျိုးအစားများ(types)တစ်ခုချင်းစီ၏ စွမ်းဆောင်ရည်ကို အနှစ်ချုပ် ဖော်ပြထားပုံ

Pressure dewpoint	**Dryer type**	**Filtration**	**Additional cost**	**Comments**
+3°C	Refrigerant	General purpose	3%	အသုံးများသည့် dryer အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ လေလိုအပ်ချက် (demand) အားလုံးနီးပါး အတွက် သင့်လျော်သည်။
-20°C	Sorption	None	<3%	Oil free screw compressor များတွင် drum အမျိုးအစား dryer အဖြစ် တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။ Running cost နည်းသည်။
-40 to -70°C	Desiccant	Pre & After	10-20%	Dew point နိမ့်နိမ့်လိုအပ်သည့်လုပ်ငန်းများအတွက် သင့်လျော်သည်။ အပူ(heat)သို့မဟုတ် purge air ကို အသုံးပြု၍ regenerate လုပ်သည်။
+5 to -40°C	Membrane	None	10-25%	အရွယ်အစားသေးငယ်သည့် dryer များသာ ရနိုင်သည်။ Dew point နိမ့်နိမ့် ရရန်အတွက် purge air ဆုံးရှုံးမှု အလွန်များသည်။

မိမိအသုံးပြုလိုသည့် compressed air နှင့် ကိုက်ညီသည့် အနိမ့်ဆုံး(lowest) Pressure Dew Point (PDP)ကို သတ်မှတ်ပြီးမှသာ dryer ရွေးချယ်ခြင်း လုပ်ငန်းစဉ်(dryer selection process)ကို စတင်နိုင်သည်။ ရည်ရွယ်ထားသည့်အတိုင်း အသုံးပြုနိုင်ရန် အနိမ့်ဆုံး Pressure Dew Point (PDP)ကို ဆုံးဖြတ်ရခြင်းသည် အရေးကြီးသော အလုပ်ဖြစ်သည်။ Pressure Dew Point(PDP) သတ်မှတ်ပြီးသည့် နောက် အချို့သော dryer အမျိုးအစား(type)များကို ထည့်စဉ်းစားရန် မလိုတော့ပေ။ Dryer အမျိုးမျိုးတို့၏ အစဦး ကုန်ကျစရိတ် နှင့် ရေရှည် ကုန်ကျစရိတ် တို့သည် dryer ရွေးချယ်ရာတွင် အဓိက အချက်ဖြစ်သည်။ ဝင်လေ(intake air) အခြေအနေနှင့် အသုံးပြုမည့်နေရာ(point of use)တွင် လိုအပ်သည့် ခြောက်သွေ့မှု(dryness) တို့ကိုလည်း ထည့်စဉ်းစားရန် လိုသည်။

အောက်ပါအချက်များကို အခြေခံ၍ Dryer၏ အရွယ်အစား(size)ကို မှန်ကန်စွာရွေးချယ် သင့်သည်။

(၁) အမြင့်ဆုံးလေစီးနှုန်း(maximum flow capacity (l/sec))

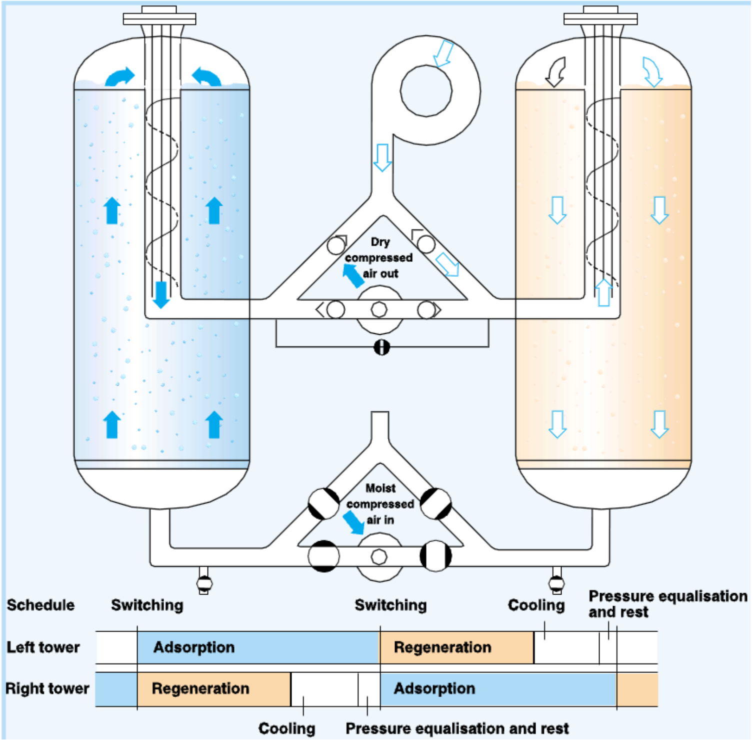
(၂) အမြင့်ဆုံးလက်ခံနိုင်သည့်(maximum acceptable) Pressure Dew Point (PDP) (°C)

(၃) အနိမ့်ဆုံး ဝင်လေဖိအား (minimum inlet air pressure (kPa))

(၄) အမြင့်ဆုံး နှင့် အနိမ့်ဆုံး ဝင်လေအပူချိန် (maximum and minimum inlet air temperature (°C))

(၅) အမြင့်ဆုံးလေထုအပူချိန်(maximum ambient temperature) သို့မဟုတ် cooling water အပူချိန် (temperature (°C)) နှင့်

(၆) အမြင့်ဆုံးလက်ခံနိုင်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(maximum allowable pressure drop) တို့ဖြစ်သည်။



Oil Vapor Removal

Twin Tower Adsorption Dryers

ပုံ ၉-၁၉ diagram the left tower dries the compressed air while the right tower regenerates. After cooling and pressure equalisation the towers are automatically switched.

Desiccant Dryer

Membrane Air Dryer များ

ပုံ ၉-၂၀ Dryer များ

၉.၄.၁၁ Dryer ရွေးချယ်နည်း အဆင့်ဆင့်(Dryer Selection Procedure)

(က) အနိမ့်ဆုံး Pressure Dew Point (PDP)ကို သတ်မှတ်ပါ။ အသုံးပြုသည့် equipment သို့ အသုံးပြုသူထံမှ ရှိနိုင်သည်။

(ခ) Compressor ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)ထံမှ compressor discharge air temperature ကို ရနိုင်သည်။ Compressor discharge air temperature မှ dryer inlet air temperature ကို ခန့်မှန်းယူနိုင်သည်။

(ဂ) အမြင့်ဖိအား(maximum system pressure)ကို သတ်မှတ်ပါ။

(ဃ) System ၏ အများဆုံး လေစီးနှုန်း(maximum flow rate)ကို သတ်မှတ်ပါ။

(င) Dryer တပ်ဆင်သည့် နေရာတွင် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား(electrical power)ရနိုင်မှု ရှိမရှိ စစ်ဆေးပါ။

(စ) Dryer ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)၏ catalog မှ အသင့်လျော်ဆုံးသော dryer ကို ရွေးချယ်ပါ။ အစဦးကုန်ကျစရိတ် နှင့် ရေရှည် ကုန်ကျစရိတ် တို့ကို ပြန်တွက်ပြီး အကောင်းဆုံး dryer အမျိုးအစားကို ရွေးချယ်ပါ။

Air dryer များကို အနစ်ချုပ်၍ ဖော်ပြထားသည်။

(က) Cycling Refrigerated Air Dryers

Cycling refrigerated air dryer သည် ဈေးနှုန်း အသက်သာဆုံး ဖြစ်သည်။ သတ်မှတ်ထားသည့် (Cycling refrigerated air dryer မှထုတ် ပေးနိုင်သည့်) Dew Point အတိုင်း ထိန်းထားပေးနိုင်သည်။ Dry လုပ်ရန် လိုအပ်သည့် စွမ်းအင်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်သည် dry လုပ်လိုသည့် ပမာဏပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(ခ) High Inlet Temperature Dryers

ဝင်လေ အပူချိန် မြင့်မြင့်ကို လက်ခံနိုင်သည့် high inlet temperature dryer သည် function များစွာကို လုပ်ပေးနိုင် သောကြောင့် တခြားသော စက်များကို ဝယ်ရန် မလိုပေ၊ dry လုပ်ပေးနိုင်ရုံ သာမက သန့်စင်(clean) ပေးနိုင်သည်။

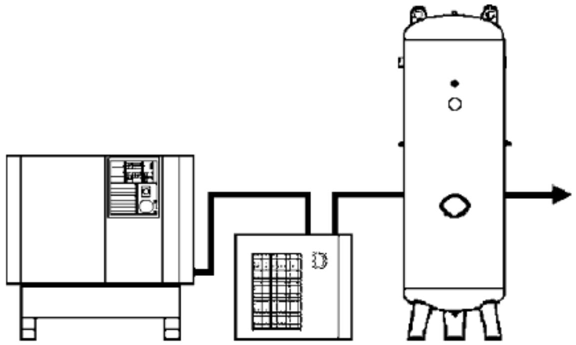
(ဂ) Non Cycling Refrigerated Dryers

Non cycling refrigerated dryer သည် pneumatic machine များအတွက်သုံးရန် သင့်လျော်သည်။ Constant dew point ကို အမြဲတမ်းထိန်းထားနိုင်သောကြောင့် pneumatic machine များအတွက် အကောင်းဆုံးဖြစ်သည်။ Pressure Dew Point (PDP)သည် +35°Fနှင့်38°F အကြားဖြစ်သည်။ ထို့အပြင် operation cost အနည်းဆုံးဖြစ်သည်။

၉.၅ Refrigeration Compressed Air Dryer တပ်ဆင်ရန်နေရာ

Refrigeration compressed air dryer ကို air receiver မတိုင်ခင်(before)နှင့် ပြီးနောက်(after)တွင် တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ မည်သည့်နေရာတွင် တပ်ဆင်ထားရမည်ကို အတိအကျ ဆုံးဖြတ်ရန် ခက်ခဲသည်။ အားနည်းချက်၊ အားသာချက်များကို နှိုင်းယှဉ်၍ မိမိ system ၌ သင့်လျော်သည့်နေရာကို ဆုံးဖြတ် နိုင်သည်။

၉.၅.၁ Dryer ကို air receiver မတိုင်ခင်(before) တပ်ဆင်ထားခြင်း



ပုံ ၉-၂၁ Dryer ကို air receiver မတိုင်ခင် (before) တပ်ဆင်ထားပုံ

အားသာချက်များ(Advantages)

(၁) Receiver ထဲတွင် ခြောက်သွေ့သောလေ (dried air) များကိုသာ သိမ်းဆည်းထား သောကြောင့် air receiver ထဲတွင် condensate များ အနယ်ထိုင်ခြင်း(precipitation)မဖြစ် နိုင်ပေ။

(၂) လေအရည်အသွေး(air quality) တစ်ညီတည်း(consistent) ဖြစ်နိုင်၊ ရနိုင်သည်။ အချိန်အနည်းငယ်အတွင်းလေအမြောက်အများ လိုအပ်ပါက pressure dew point ကို မပြောင်း အောင် ထိန်းထားနိုင်သည်။

အားနည်းချက်များ(Disadvantages)

(၁) တပ်ဆင်ထားသည့် compressor capacity နှင့် အရွယ်အစား(size)တူညီသည့် dryer ကို တပ်ဆင်ထားရန် လိုသည်။ Consumption နိမ့်သည့်အချိန်တွင် dryer အရွယ်အစား(size)ကြီးသကဲ့သို့ ဖြစ်နေလိမ့်မည်။

(၂) Dryer များသည် piston compressor များကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သည့် pulsating flow ဒဏ်ခံ ရနိုင်သည်။

(၃) Compressor မှထွက်လာသည့် အပူချိန်မြင့်သောcompressed air များ dryer အတွင်းသို့ တိုက်ရိုက်ဝင်ရောက်လာ လိမ့်မည်။ Aftercooler တပ်ဆင်ထားလျှင် aftercooler မှ ထွက်လာသည့်လေများ dryer အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာ လိမ့်မည်။

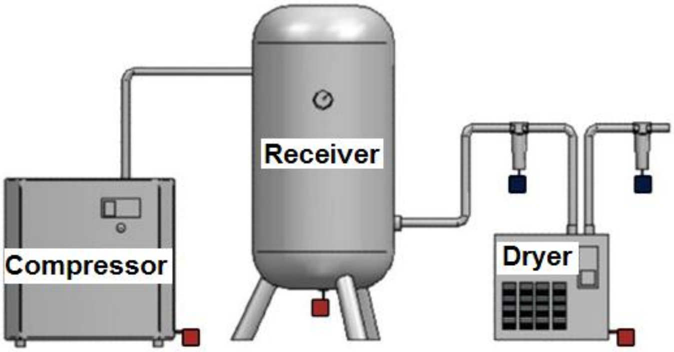
(၄) အသုံးပြုရန်သာ လိုအပ်သည့် လေကို ခြောက်သွေ့အောင်(dry)လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်၊ compressor မှ ထွက်လာသည့် လေများ အားလုံးကို dry လုပ်ရသည်။

(၅) ပမာဏများသည့် condensate များ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Condensate များအားလုံး dryer အတွင်း၌ အနယ်ထိုင်ခြင်း(precipitation) ဖြစ်လိမ့်မည်။

(၆) တစ်လုံးထက် ပိုများသည့် compressor များ ပါဝင်သော system တွင် compressor တိုင်းအတွက် dryer တစ်လုံးစီ တပ်ဆင်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

Dryer ကို လေလှောင်ကန်(air receiver) မတိုင်ခင်(before) တပ်ဆင်ထားခြင်းကို အားမပေးပါ။ သို့သော် အချိန် အနည်းငယ်အတွင်း လေအမြောက်အများ လိုအပ်သည့် လုပ်ငန်းများ နှင့် Pressure Dew Point (PDP)အတိအကျ ရရန်လိုသည့် လုပ်ငန်းများအတွက် သင့်လျော်သည်။

၉.၅.၂ Dryer ကို Air Receiver ပြီးနောက်တွင်(After) တပ်ဆင်ထားခြင်း



ပုံ ၉-၂၂ Dryer ကို air receiver ပြီးနောက်တွင်(after) တပ်ဆင်ထားခြင်း

အားသာချက်များ(Advantages)

(၁) Dryer အရွယ်အစား(size)ကြီးကြီး တပ်ဆင်ထားရန် မလိုအပ်ပေ။ လက်တွေ့ အသုံးပြုသည့်နှုန်း(actual consumption)အတိုင်း dryer အရွယ်အစား(size) ရွေးချယ်နိုင်သည်။ Compressor capacity အတိုင်း ဖြစ်ရန် မလို။

(၂) Dryer အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် လေများသည် non-turbulent volume flow အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။

(၃) Dryerအတွင်းသို့ဝင်လာသည့် လေများ၏အပူချိန်နိမ့်သည်။(Low compressed air entry temperature) လေလှောင်ကန်(air receiver)အတွင်း၌ အပူချိန် ထပ်မံ ကျဆင်းသွားခြင်းကြောင့် ဖြစ်သည်။

(၄) Condensate ပမာဏ အနည်းငယ်သာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ လေလှောင်ကန်(air receiver)အတွင်း၌ condensate များ အနယ်ထိုင်ခြင်း(precipitation) ဖြစ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

အားနည်းချက်များ(Disadvantages)

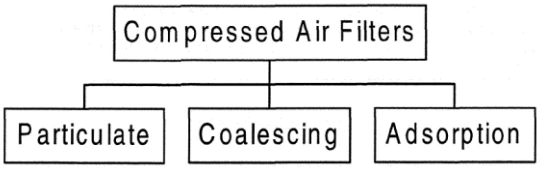
(၁) လေလှောင်ကန်(air receiver)အတွင်း၌ condensate များ အနယ်ထိုင်ခြင်း(precipitation)ကြောင့် လေလှောင်ကန်(air receiver)အတွင်း၌ သံချေးတက်ခြင်း(corrosion) ဖြစ်ပေါ်သည်။

(၂) အချိန် အနည်းငယ်အတွင်း လေအမြောက်အများ လိုအပ်လျှင် dryer overload ဖြစ်နိုင်သည်။ ထိုအခါ Pressure Dew Point (PDP) မြင့်တက် လာနိုင်သည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် dryer ကို compressed air receiver ၏ နောက်၌ တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။ အရွယ်အစား သေးငယ်သည့် dryer ကို တပ်ဆင်နိုင်သောကြောင့် အကုန်အကျ သက်သာသည်။ Efficiency ပို၍ ကောင်းလာသည်။

Dryer များကို လေလှောင်ကန်(air receiver or storage tank) မတိုင်ခင်(upstream) နှင့် dryer ၏ နောက်(downstream) နှစ်နေရာလုံးတွင် တပ်ဆင်နိုင်သည်။ Chapter 5 – Storage Tank သို့မဟုတ် Air Receiver တွင် အသေးစိတ် ဖတ်ရှုနိုင်ပါသည်။

၉.၆ လေစစ်များ(Compressed Air Filters)



Air compressor များအားလုံးသည် အမှုန့်များ(dust) နှင့် airborne vapor များကို လက်မခံနိုင်ကြပေ။ ထိုအညစ်အကြေး(contaminant) များသည် လည်နေသည့် အစိတ်အပိုင်းများကို တိုက်စားခြင်းများ နှင့်

ပွန်းတီးခြင်းများ ဖြစ်ပေါ်စေနိုင်သည်။ Mechanical unbalance ဖြစ်ပေါ်ကာ compressor များကို ပျက်စီးစေနိုင်သည်။

Compressor အဝင်၌ ရှိသော အဝင်လေစစ် (intake filter)သည် အဓိက အကျဆုံးဖြစ်သည်။ Compressed air system အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် အမှုန့်များ(dust)နှင့် particulate များ အားလုံးကို ဖယ်ရှားပေးနိုင်စွမ်းရှိရမည်။ Downstream ၌ရှိသော လေစစ်(air filter)များသည် အမှုန်၊ condensate ရေနှင့် lubricant စသည့် အညစ်အကြေး(contaminant)များကို ဖယ်ရှားပေးရမည်။ လေသန့်ရှင်းမှု(cleanliness) လိုအပ်ချက်ပေါ်တွင် မူတည်၍ လေစစ်(filter)နှင့် ဆီစစ်(oil filter)များကို ရွေးချယ်တပ်ဆင်နိုင်သည်။ ဖုန်နှင့် အမှိုက်များသည့် နေရာတွင်မောင်းလျှင် အဝင်လေစစ်(inlet filter)ကို ပုံမှန်လဲလှယ်ပေးသင့်သည်။ သန့်ရှင်းရေး လုပ်ပေးသင့်သည်။ အဝင်လေစစ်(inlet filter)ညစ်ပတ်နေလျှင် အဝင်နှင့်အထွက် ဖိအားကွာခြားချက်(pressure differential)များပြီး air compressor လေထွက်နှုန်း(output capacity) ကျဆင်းသွားလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် efficiency ကျဆင်းသွား လိမ့်မည်။

ပုံ ၉-၂၃ Filter

> ယေဘုယျအားဖြင့် လေစစ်(filter)အတွင်းရှိ အပေါက်ငယ်များ အရွယ်အစားသေးလေ လေစစ်(filter)၏ အဝင်နှင့် အထွက် ဖိအားကွာခြားချက်(pressure differential) များလေ ဖြစ် သည်။

အစိုင်အခဲ ကလေးများကို စစ်ပေးသည့် (Solid particulated) လေစစ်များ (filters) ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Particulated Filter များသည် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) အလွန်နည်းသည်။

> လေစစ်(filter) များ၏ pressure differential သည် 2 psi အထိ မြင့်တက်လာလျှင် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား အတွက် ကုန်ကျစရိတ် 1% ခန့် ပိုများ လာနိုင်သည်။ လေစစ်(filter)၏ အဝင်နှင့် အထွက် ဖိအား ကွာခြားချက်(pressure differential) နှစ်ဆခန့် ပိုများ လာလျှင် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လေးဆခန့် ပိုများ လာလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် သင့်လျော်သည့် လေစစ်(filter)များကို တပ်ဆင် အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။။

လိုအပ်သည်ထက် ပိုမိုသန့်စင်အောင်ပြုလုပ်ခြင်း(over filtering) ကြောင့်လည်း စွမ်းအင် လေလွင့်မှု ဖြစ်စေသည်။

လေစစ်(filter)ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) နည်းစေရန် low differential mist eliminator style filter များ၊ လိုသည်ထက် ပိုကြီးအောင် ပြုလုပ်ထားသည့် လေစစ်(filter)များ(over sized filter)ကို အသုံးပြုသင့်သည်။

ဥပမာ - 100HP compressorတစ်လုံးကို တစ်နေ့လျှင်(၈)နာရီ နှစ်ဆိုင်း(2 shift)ဖြင့် 100 psig ရရန်အတွက် မောင်းလျှင် တစ်နှစ်စာ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခ ကုန်ကျစရိတ်သည် $32,330 ဖြစ်သည်။ 100 psig ဖြင့် မောင်းရမည့်အစား လေစစ်(filter)၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)များလာမှုကြောင့် 110 psig ဖြင့် ထို 100 HP compressor ကို မောင်းရလျှင် စွမ်းအင် ၅%နှုန်း ပိုမိုသုံးစွဲရပြီး တစ်နှစ်လျှင် $1615 ပိုကုန်ကျလိမ့်မည်။ စနစ်တကျ သေချာစွာ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်လျှင် ဖိအားကွာခြားချက်(pressure differential)သည် 1 psi ထက် လျော့နည်းနိုင်သည်။

၉.၆.၁ လေစစ်အမျိုးအစားများ (Compressed Air Filter)

ချောဆီ(lubricant)နှင့် moisture များ ဖယ်ရှားဖြစ်ရန်အတွက် Coalescing filter များကို အသုံးပြုကြသည်။ Odors နှင့် taste များ ဖယ်ရှားဖြစ်ရန်အတွက် Absorbent filter များကို အသုံးပြုသည်။ Desiccant-type dryer ၏ အောက်ဖက်တွင် desiccant အမှုန်ကလေးများကို ဖယ်ရှားရန်အတွက် particulate filter ကို အသုံးပြုသင့်သည်။ Coalescing-type filter ကို desiccant bed များ fouling ဖြစ်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်အတွက် desiccant-type dryer ၏ အရှေ့ဘက်တွင်(before dryer)တွင် တပ်ဆင် အသုံးပြုသင့်သည်။ အသုံးပြုသည့် နေရာသို့ desiccant အမှုန်ငယ်ကလေးများ("Fines")မရောက် သွားစေရန် အတွက် one micron အမှုန်ကို စစ်ပေးနိုင်သည့် လေစစ်(filter)ကို အသုံးပြုသင့်သည်။ အခြားသောအထူး (special) လိုအပ်ချက်များရှိပါက လေစစ်(filter) တစ်မျိုးမျိုးကို ထပ်မံ အသုံးပြုသင့်သည်။

Air compressor၏ အောက်ဖက်တွင် အမှုန်၊ condensate ရေ နှင့် ချောဆီ(lubricant) စသည့် အညစ်အကြေး(contaminant)များကို ဖယ်ရှားရန်အတွက် လေစစ်(air filter)များကို အသုံးပြု ကြသည်။

လိုအပ်သည့်အဆင့် အထိသာ လေများကို သန့်စင်သင့်သည်။ လိုအပ်သည်ထက် ပို၍ သန့်စင်ခြင်း (over filtration)ပြုလုပ်ပါက ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)များလာပြီး စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption)လည်း ပိုများလာလိမ့်မည်။

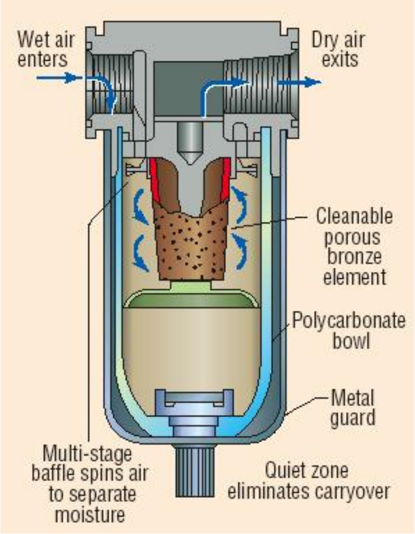
လေသန့်စင်သည့် element များနှင့် လေစစ်(filter)များ၌ pressure differential sensor များ တပ်ဆင်၍ သတ်မှတ်ထားသည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ထက်ပိုများလာပါက လေစစ်(air filter)များကို ဆေးကြောခြင်း၊ လဲလှယ်တပ်ဆင်ခြင်း စသည်တို့ ပြုလုပ်သင့်သည်။

General guidelines for filter types

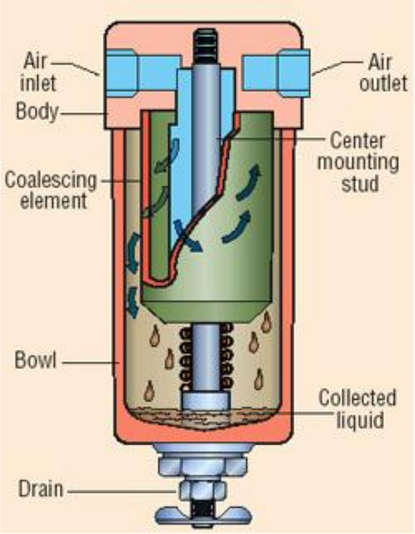
Filter type	Application	Max Δp with working pressure of 7 bar	Special demands
Regular filters	Particle removal	0.14 - 0.5	No
Micro filter	Removal of all kinds of particles and fluids	0.17 - 0.7	Installation of an ordinary Pre-filter
Active carbon filter	Removal of fumes and odors	0.0017 - 0.13	Installation of ordinary and micro pre-filter
Sterile filter	Removal of biological load	3.0 - 5.3	Installation of ordinary, micro and active carbon pre-filter

Compressed air ထဲတွင် ရှိနေသည့် အမှုန်(particle)များကို နည်းအမျိုးမျိုးဖြင့် သန့်စင်ဖယ်ရှားနိုင်သည်။ အမှုန်(particle)များ၏ အရွယ်အစားသည် လေစစ်(filter)ရှိ အပေါက်များထက် ပို၍ ကြီးနေလျှင် သန့်စင် ဖယ်ရှားနိုင်သည်။ 1 µm(one micron)ထက်ကြီးသည့် အမှုန်များကို ဖယ်ရှားနိုင်သည်။ ပိုသေးငယ်သည့် အပေါက်များပါရှိသည့် လေစစ်(filter)များသည် efficiency ပိုကောင်းသည်။

Pre filter ကို micro filter ၏အရှေ့တွင် တပ်ဆင်ထားလေ့ ရှိသည်။ အလွန် မသန့်ရှင်းသည့် နေရာများ သို့မဟုတ် ဖုန်ထူသည့် နေရာများတွင် မောင်းသည့် compressor များအတွက် လိုအပ်သည်။ Compressed air သည် micro filter ကို ဖြတ်ပြီးနောက် ချောဆီ(oil)များ သန့်စင် သွားသည်။ သို့သော် hydrocarbon ၊ အနံ့ဆိုး နှင့် အခြားသော အရာဝတ္ထုများ ကျန်သေးသည်။



ပုံ ၉-၂၄ Cutaway view of air flow through compressed air point-of-use filter.



ပုံ ၉-၂၆ Cutaway view of air flow through typical coalescing compressed air filter.

Active carbon filter သည် compressed air ထဲမှ hydrocarbon များကို သန့်စင် ဖယ်ရှားပေးသည်။ ထို့နောက် လုံးဝ သန့်စင်ပြီး ဗက်တီးရီးယား(bacteria) ကင်းဝေးသည့် compressed air ကို ရရှိရန် sterile filter ကို အသုံးပြုရန် လိုသည်။ Compressed air system တွင်ပါဝင်သည့် လေစစ်(filter)တိုင်းသည် ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop)ကို ဖြစ်စေသည်။ ထို့ကြောင့် compressor မှ ဖိအားမြင့်မြင့်(high pressure) ထုတ်ပေးရန် လိုသည်။

ဥပမာ compressed air system တစ်ခုတွင် ဖိအား(system pressure) 7bar ရရန်အတွက် လေစစ် (filter)များ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)သည် 1 bar ဖြစ်လျှင် ၆-၇% ပို၍ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု များလိမ့်မည်။ လေစစ်(filter) အရွယ်အစား မမှန်ကန်ခြင်း၊ လေစစ်(filter)အမျိုးအစား မမှန်ကန်ခြင်း၊ မလိုအပ်ပဲ လေစစ်(filter) များစွာ အသုံးပြုထားခြင်းနှင့် လေစစ်(filter)များကို ကောင်းစွာ ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းမှု မရှိခြင်းတို့ကြောင့် ဖိအား ကျဆင်းမှု(pressure drop) မြင့်မားစေသည်။ ထို့ကြောင့် compressor ကို လိုအပ်သည့် ဖိအားထက် ပိုများသည့် ဖိအားဖြင့် မောင်းပေးရန် လိုသည်။

System အသစ်တစ်ခုကို ဒီဇိုင်း လုပ်သည့်အခါဖြစ်စေ သို့မဟုတ် လက်ရှိသုံးနေသည့် system တစ်ခုကို ပြန်လည် စစ်ဆေးသည့်အခါဖြစ်စေ အောက်ပါ အချက်များကို အလေးပေး စဉ်းစားသင့်သည်။

(၁) အများဆုံးလေ လိုအပ်ချက် (peak air demand)

(၂) ပိုက်အမျိုးအစား နှင့် ပိုက်ပြုလုပ်ထားသည့်ပစ္စည်း (piping - size and the type of material)

(၃) အညစ်အကြေးများပါဝင်နေမှု(contamination levels)

(၄) လိုအပ်သည့် လေအရည်အသွေး(required air quality at each usage points and the demand for each quality)

(၅) Compressor တပ်ဆင်ထားပုံ (configuration)

(၆) လေစစ်သည့်နေရာ(filtration points)၏ Compressed air အပူချိန်နှင့် လေထုအပူချိန် (ambient temperature)

(၇) Air dryer တပ်ဆင်ထားပုံ (configuration) နှင့်

(၈) ဘားများ(isolation valves in the system) တို့ဖြစ်သည်။

၉.၆.၂ လေစစ်များ ရွေးချယ်ခြင်း(Filter Selection)

Compressed air ၏ အသုံးပြုပုံ သို့မဟုတ် အသုံးပြုသည့်နေရာကိုလိုက်၍ သန့်ရှင်းမှု(degree of contamination) ကွဲပြားသည်။ သန့်စင်မှု(purity)လိုအပ်ချက်သည်လည်း အသုံးပြုပုံ သို့မဟုတ် အသုံးပြုသည့် နေရာကိုလိုက်၍ ကွဲပြားသည်။ လေစစ်(filter)များ၏ စွမ်းဆောင်ရည်ကိုလိုက်၍ လေစစ်(filters)များကို ရွေးချယ်သင့်သည်။ ရွေးချယ်ရာတွင် အတွေ့အကြုံကောင်းများရှိသူ သို့မဟုတ် ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)များ ၏ အကြံဉာဏ်ကောင်းများကို ရယူသင့်သည်။

အောက်ပါအချက်များကို အလေးထားစဉ်းစားသင့်သည်။

(၁) အများဆုံးလေ လိုအပ်ချက် (peak air demand)

(၂) ပိုက်အရွယ်အစား (piping size)

(၃) ပိုက်ပစ္စည်း (piping material)

(၄) ပိုက်အတွင်းရှိ အညစ်အကြေးများ (contamination levels within the pipe)

(၅) လေသန့်စင်မှု၏ အကျိုးဆက်များ(effects of any treatment)

(၆) လေအရည်အသွေး အဆင့်အတန်း (air classification class needed at each of the usage points)

(၇) လေလိုအပ်ချက်နှင့် ကိုက်ညီသည့် လေအရည်အသွေး အဆင့်အတန်း(air demand for each class)

(၈) Compressor တပ်ဆင်ထားပုံ (configuration)

(၉) လေစစ်သည့်နေရာ(filtration points)၏ Compressed air အပူချိန်နှင့် လေထုအပူချိန်

(၁၀) Air dryer တပ်ဆင်ထားပုံ (configuration)

(၁၁) ဘားများ(isolation valves in the system)

၉.၆.၃ ရွေးချယ်နည်းအဆင့်ဆင့်(Filter Selection Procedure)

(၁) ဖြစ်နိုင်သည့် အမြင့်ဆုံးလေစီးနှုန်း(maximum flow rate)ကို တွက်ပါ။ Air compressor ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)ထံမှ ရရှိနိုင်သည်။ အမြင့်ဆုံးလေစီးနှုန်း(maximum flow rate)ကို SCFM ဖြင့်ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။

(၂) System ကို မောင်းနေစဉ်(operation လုပ်နေစဉ်) လေစစ်(filter)ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်မည့် လက်ခံနိုင်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို သတ်မှတ်ပါ။

(၃) လေစစ်(filter) တပ်ဆင်ထားမည့်နေရာကို လိုက်၍ ဖယ်ထုတ်သန့်စင်မည့် အညစ်အကြေး (contaminant) အမျိုးအစား နှင့် အရွယ်အစားကို သတ်မှတ်ပါ။

(၄) အမြင့်ဆုံးဖိအားကျဆင်းမှု(maximum pressure drop)ကို တွက်ယူပါ။ လေစစ်ထုတ်လုပ်သူများ(filter manufacture)များက 'Wetted Pressure Drop"တန်ဖိုး နှင့် "Dry Pressure Drop"တန်ဖိုးများဟူ၍ ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ တန်ဖိုးများသည့် လေစစ်(filter)များ မညစ်ပေခင်ဖြစ်နိုင်သည့် တန်ဖိုးများ ဖြစ်ပြီး ညစ်ပေသွားသည့်အခါတွင် ထိုထက်ပိုများ လိမ့်မည်။ ပျမ်းမျ ဖိအားကျဆင်းမှု(average pressure drop) သည် 6 မှ 10 psig အတွင်း(41 မှ 69 kPa အတွင်း) ဖြစ်သည်။

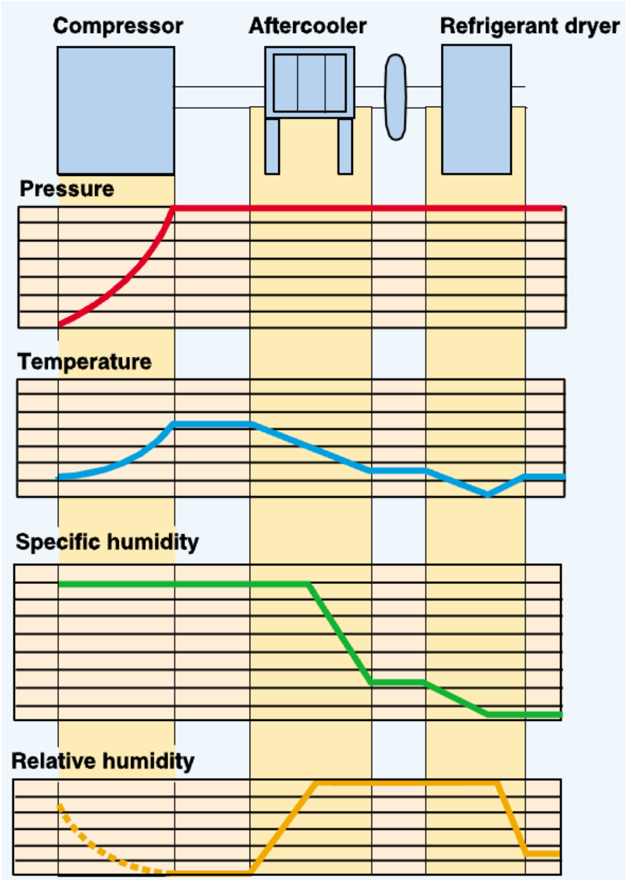
(၅) လေစစ်(filter)element များလဲရမည့်အချိန်ကို စောင့်ကြည့်ပါ။ အရောင်ပြောင်းလဲသွားခြင်း ကိုကြည့်၍ လေစစ်(filter) element များလဲရမည့်အချိန်ကို ခန့်မှန်းနိုင်သည်။

(၆) ထုတ်လုပ်သူများ၏ ကက်တလောက်(manufacturer's catalog)မှ သင့်လျော်သည့် လေစစ်(filter) အမျိုးအစားနှင့် အရွယ်အစားကို ရွေးချယ်ပါ။ လေစစ်(filter)များရွေးချယ်ရာတွင် effectiveness နှင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) သည် အရေးကြီးသော အရာများ ဖြစ်သည်။

အမှန်တကယ် လိုအပ်သည်ထက် ပို၍ သန့်စင်အောင် လုပ်ပေးနိုင်သည့် လေစစ်(filter)ကို မရွေးချယ်မိစေရန် သတိပြုပါ။ တစ်နေရာတည်း၌သာ အလွန်သန့်စင်သည့် လေလိုအပ်ပါက ထိုနေရာအတွက်သာ သန့်စင်ပေးမည့် point-of-use filter သီးသန့် တပ်ဆင်ပေးပါ။ Main supply တစ်ခုလုံးကို သန့်စင်အောင် လုပ်ရန်မလို။ လေစစ်(filter) ညစ်ပေသွားသည့်အခါ 3 မှ 10 psig (21 မှ 69 kPa) ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ဖြစ်စေနိုင်သည်။

လေစစ်အဝင်နှင့်အထွက်အကြား ဖိအားကျဆင်းမှု (mmWC)	ပို၍ သုံးစွဲသည့် စွမ်းအင် ရာခိုင်နှုန်း(%)
0	0%
200	1.6%
400	3.2%
600	4.7%
800	7%

အကယ်၍ တစ်နေရာရာ၌ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)အလွန်များနေပါက ထိုနေရာတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် လေစစ်(filter)ကို လိုသည်ထက်ပိုကြီးအောင်(oversize) လုပ်ပေးခြင်းသည် လက်တွေ့ကျပြီး ဖြစ်နိုင်သည့် အရာဖြစ်သည်။ သို့တည်းမဟုတ် လေစစ်(filter) နှစ်ခုကို အပြိုင်ပုံစံ(in parallel)ဖြင့် တပ်ဆင်ပေးပါ။ ပိုကြီးသည့်လေစစ်(filter)အတွက် ကုန်ကျစရိတ် သို့မဟုတ် လေစစ်(filter)အပိုတစ်ခု၏စရိတ် နှင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကြောင့် ပိုကုန်ကျမည့် စွမ်းအင်စရိတ်ကို နှိုင်းယှဉ်ခြင်းဖြင့် မိမိအကျိုးရှိမည့် နည်းကို ဆုံးဖြတ်ရွေးချယ်နိုင်သည်။



ပုံ ၉-၂၈ လေကို ဖိသိပ်ပြီးနောက် လေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ အဆင့်ဆင့် ပြောင်းလဲသွားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

-End-