Chapter-6 Overview of Chillers

၆.၁ Chiller အမျိုးအစားများ

HVAC နှင့် ACMV လုပ်ငန်းခွင်များတွင် chilled water ထုတ်ပေးနိုင်သည့် refrigeration machine များကို "**chiller**"ဟု ခေါ်သည်။ အဆောက်အဦများတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် chiller များသည် စွမ်းအင်ကို အများဆုံး အသုံးပြုသည့် equipment များ ဖြစ်ကြသောကြောင့် အားသာချက်များ(advantages)၊ အားနည်းချက်များ(disadvantages) နှင့် ကန့်သတ်ချက်များ(limitations)ကို မှန်ကန်စွာ နားလည်သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်သည်။ ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်း ၊ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း(sizing) ၊ တပ်ဆင်ခြင်း(installation) ၊ မောင်းနှင်ခြင်း(operation) နှင့် ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းခြင်း (maintenance) တို့ကို မှန်ကန်စွာ ပြုလုပ်ရန် အလွန်အရေးကြီးသည်။ အဓိက အသုံးများသည့် chiller သုံးမျိုးကို table 6-1 တွင် နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။

Table 6-1 chiller အမျိုးအစားများကို နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားပုံ

	Reciprocating	**Screw**	**Centrifugal**
Volume	Constant	Variable	Variable
Head	Variable	Variable	Constant
Capacity control	Cylinder Unloading	Slide valve	Pre-rotation vanes
Capacity range	Small	Medium	Large
Moving parts	Many	Two	One
Efficiency	Low	Medium / High	High
Technology	Old	New	New

Compressor များသည် vapor compression chiller များ၏ အရေးအကြီးဆုံး အစိတ်အပိုင်း ဖြစ်သည်။

Compressor များကို (က) Positive displacement အမျိုးအစား နှင့်
(ခ) Dynamic အမျိုးအစား ဟူ၍ နှစ်မျိုး ခွဲခြားထားသည်။

Positive displacement compressor များသည် vapor refrigerant များကို အခန်းငယ်(chamber) တစ်ခုအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်စေပြီးနောက် ထိုအခန်း၏ ထုထည်ကို သေးငယ်အောင်ပြုလုပ်ကာ ဖိအားမြင့်တက်စေခြင်း ဖြစ်သည်။ Reciprocating ၊ rotary နှင့် scroll compressor တို့သည် positive displacement compressor များ ဖြစ်ကြသည်။ ထို compressor များကို မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed)ဖြင့် မောင်းလျှင် ထုထည်စီးနှုန်း ပုံသေ

(constant volume flow rate) ရရှိနိုင်သည်။ Positive displacement compressor များသည် constant displacement machine များ ဖြစ်ကြသည်။ Centrifugal compressor များသည် dynamic compressor များ ဖြစ်ကြသည်။ Constant displacement machine များ မဟုတ်ကြပါ။

Table 6-2 compressor အမျိုးမျိုးနှင့် သက်ဆိုင်သည့်အချက်များ

Compressor Type	Cooling Range (kW)	Refrigerant Type	Capacity Control*
Hermetic and Semi-Hermetic Drive			
— Reciprocating	20–1000	HCFC/HFC/HC	Cylinder unloading
— Single screw	200–2000	HCFC/HFC/HC	Sliding valve
— Twin screw	200–3000	HCFC/HFC/HC	Sliding valve
— Scroll	5–250	HCFC/HFC/HC	—
— Centrifugal	300–15000	HFC	Inlet guide vanes
Open Drive			
— Reciprocating	100–1000	HCFC/HFC/Ammonia	Cylinder unloading
— Screw	200–3000	HCFC/HFC/Ammonia	Sliding valve

Expansion valves may be either thermostatic or electronic; electronic valves have greater potential for close control and data collection for system management.

* For most types of compressor, variable speed capacity control is increasingly an option.

၆.၁.၁ Vapor Compression Chiller Versus Absorption Chiller

Chiller များတွင် လျှပ်စစ်ဖြင့်မောင်းသည့်(electric driven) chiller နှင့် အပူစွမ်းအင်ဖြင့်မောင်းသည့်(heat driven) chiller ဟူ၍ (၂)မျိုး ရှိသည်။ လျှပ်စစ်မော်တာဖြင့် မောင်းသည့်(electric driven)chiller များ သို့မဟုတ် အင်ဂျင်ဖြင့် မောင်းသည့် chiller များသည် vapor compression chiller များဖြစ်ပြီး အပူစွမ်းအင်ဖြင့်မောင်းသည့်(heat driven) chiller များသည် absorption chiller များ ဖြစ်ကြသည်။ Vapor compression chiller သည် လျှပ်စစ်မော်တာ(electric motor) သို့မဟုတ် အင်ဂျင်မှ ရရှိသည့် စက်မှု စွမ်းအင်(mechanical energy)ကို အသုံးပြု၍ vapor compression cycle ကို မောင်းခြင်းဖြစ်သည်။ Absorption chiller သည် အပူ(heat)ကို အသုံးပြု၍ မောင်းသည့် process ဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦများတွင် vapor compression chiller များကို အလွန် အသုံးများသည်။

Vapor compression chiller များတွင် အသုံးပြုထားသည့် compressor အမျိုးအစားကို အခြေခံ၍ အဆင့်အတန်း ခွဲခြားထားသည်။ Centrifugal chiller ၊ reciprocating chiller နှင့် screw chiller တို့သည် အဓိက ကျသည့် chiller အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။

၆.၁.၂ Electric Chillers Vs Non-electric Chillers

Electric Chillers

- ☐ Reciprocating chillers
- ☐ Rotary screw chillers
- ☐ Centrifugal chillers
- ☐ Air-cooled chiller

Non Electric Chillers

- ☐ Absorption chillers
- Single effect absorption chiller
  - ☐ Low pressure steam
  - ☐ Hot water
  - ☐ Use in CHP applications
- Double effect absorption chillers
  - ☐ Medium pressure steam
  - ☐ Direct-fired
  - ☐ Heat recovery

Centrifugal နှင့် screw chiller တို့ကို အောက်ပါ စွမ်းအင်များဖြင့် မောင်းနိုင်သည်။

(က) လျှပ်စစ်မော်တာ(electric motor)
(ခ) သဘာဝဓာတ်ငွေ့သုံးအင်ဂျင် သို့မဟုတ် လောင်စာဆီသုံးအင်ဂျင် (Natural gas or fuel engine)
(ဂ) ရေနွေးငွေ့ တာဘိုင် (steam turbine)
(ဃ) မော်တာနှင့် အင်ဂျင်နှစ်မျိုးလုံးဖြင့်မောင်းနိုင်သည်။(dual drive – engine and electric motor)

၆.၁.၃ Engine Drive Chillers

Rotary compressor များကို သဘာဝဓာတ်ငွေ့(natural gas)၊ ပရိုပိန်း(propane) လောင်စာ စသည်တို့ဖြင့် မောင်းသည့် အင်ဂျင်များနှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။ Reciprocating compressor များ၏ full load COP သည် 1.0 ခန့် ဖြစ်သည်။ Screw compressor များ ၏ full-load COP သည် 1.3 မှ 1.9 အတွင်းဖြစ်သည်။ Centrifugal compressor များ၏ COP သည် 1.9 ခန့် ဖြစ်သည်။

Engine-drive chiller များကို လွန်ခဲ့သည့် နှစ်ပေါင်းများစွာက စတင် အသုံးပြုခဲ့ကြသည်။ အားနည်းချက်များမှာ

(၁) ကုန်ကျစရိတ်များခြင်း(higher first cost)
(၂) လေထုညစ်ညမ်းခြင်း(poor air quality)
(၃) ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု များစွာ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်ခြင်း(much higher maintenance requirements)
(၄) သက်တမ်းတိုခြင်း(short engine life)
(၅) အသံဆူညံခြင်း(noise)
(၆) အရွယ်အစားကြီးမားခြင်း(larger physical size) နှင့်
(၇) အင်ဂျင်(engine) နှင့် refrigeration subsystem တို့ အကြားတွင် integration လုပ်ရန် ခက်ခဲခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

Gas engine drive chiller များသည် electric-drive chiller များထက် ပိုဈေးကြီးသည်။ မောင်းရန် ကုန်ကျစရိတ် (operating cost)ပိုများသည်။

၆.၁.၄ Steam Turbine Driven Chillers

ရေနွေးငွေ့တာဘိုင်(steam turbine)ဖြင့် မောင်းသည့် chiller များလည်း ရှိသည်။

၆.၁.၅ Air Cooled Versus Water Cooled

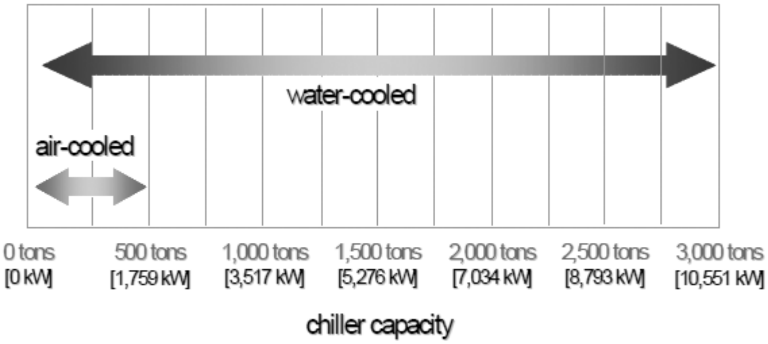
Air Cooled Efficiency and Water Cooled Efficiency

Water cooled chiller များသည် air cooled chiller များထက် ပို၍ energy efficient ဖြစ်သည်။ Air cooled chiller ၏ refrigerant condensing temperature သည် လေထုအပူချိန်(ambient Dry Bulb temperature) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Water cooled chiller ၏ condensing temperature သည် condenser water temperature အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Condenser water temperature သည် ambient Wet Bulb temperature အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

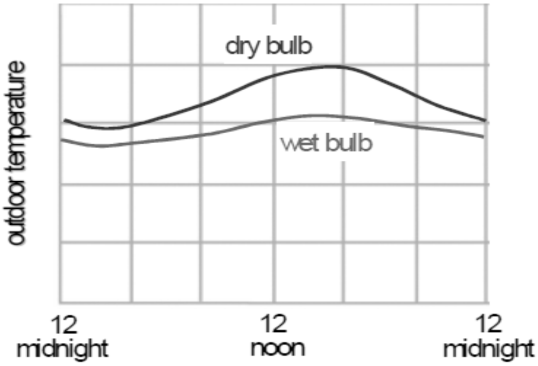
ထို့ကြောင့် water cooled chiller ၏ condensing temperature သည် ambient wet bulb temperature အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Wet bulb temperature သည် dry bulb temperature ထက် ပို၍ နိမ့်သောကြောင့် water cooled chiller ၏ refrigerant condensing temperature (and pressure) သည် air cooled chiller ထက် ပိုနိမ့်သောကြောင့် water cooled chiller များ၏ efficiency သည် air cooled chiller များ၏ efficiency ထက် ပိုကောင်းခြင်း ဖြစ်သည်။

ဥပမာ - ပြင်ပ ဒီဇိုင်း (outdoor design) အပူချိန်သည် 95°F (35°C) dry-bulb temperature နှင့် 78°F(25.6°C) wet-bulb temperature ဖြစ်လျှင် water cooled condenser အတွက် cooling tower မှ condenser water ကို အပူချိန် 85°F(29.4°C)ဖြင့် ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် refrigerant condensing

temperature သည် 100°F(37.8°C) ခန့် ဖြစ်သည်။ ထိုအခိုက်တွင် တူညီသည့် ပြင်ပအခြေအနေ(outdoor conditions)တွင် air cooled condenser ၏ refrigerant condensing temperature သည် 125°F(51.7°C)ခန့် ဖြစ်သည်။ Water cooled chiller သည် အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာသို့ အပူစွန့်ထုတ်ခြင်းကြောင့် condensing pressure ပိုနိမ့်သည်။ Condensing pressure နိမ့်သောကြောင့် compressor ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု နည်းသည်။ Part load condition ၌ efficiency အားသာချက် အနည်းငယ်သာ ရနိုင်သည်။



ပုံ ၆-၁ Water cooled chiller များ နှင့် air cooled chiller များ၏ ရရှိနိုင်သည့်စွမ်းရည်(capacity)ကို နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားပုံ



ပုံ ၆-၂ တစ်နေ့တာ (၂၄)နာရီအတွင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် dry bulb နှင့် wet bulb တို့ကို နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားပုံ

Water cooled chiller ၏ system efficiency ကို တွက်ရာတွင် chilled water pump ၊ cooling tower နှင့် condenser pump တို့၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုကိုပါ ထည့်တွက်ရသည်။ Air cooled chiller ၏ system efficiency တွက်ရာတွင် chilled water pump ၏ စွမ်းအင် သုံးစွဲမှုကိုသာ ထည့်တွက်ရန် လိုသည်။

Table 6-3 air cooled chiller နှင့် water cooled chiller တို့၏ အားသာချက်များ

Air cooled chiller များ၏ အားသာချက်များ	Water cooled chiller များ၏ အားသာချက်များ
-Lower maintenance	-Greater energy efficiency
-Packaged system	-Longer equipment life
-Better low-ambient	
-Simple operation	

Air cooled chiller များကို "**packaged system**" အဖြစ် ဝယ်ယူရရှိနိုင်သည်။ ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် အချိန် တိုတောင်း သည်။ တပ်ဆင်ရန် ရိုးရှင်းလွယ်ကူ(simplified installation)သည်။ စိတ်ချရမှု(reliability)မြင့်မားသည်။ စက်ရုံမှ ထုတ်လုပ် တပ်ဆင်လိုက်သောကြောင့် ထုတ်လုပ်သူက အာမခံသည်။ Water cooled chiller များတွင် condenser water ပိုက်၊ ပန့်(pump)၊ cooling tower နှင့် control လုပ်ငန်းများကို အပိုအဖြစ် လုပ်ဆောင်ရသည်။ အဆောက်အဦအတွင်း တစ်ဆင့်ပြီးမှ နောက်တစ်ဆင့် တပ်ဆင်ခွင့်ရသည်။ စက်ရုံက equipment တစ်ခုချင်းစီကိုသာ အာမခံချက်ပေးသည်။

Water cooled chiller များ၏ သက်တမ်းသည် air cooled chiller များထက် ပိုရှည်သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် air cooled chiller များ၏ သက်တမ်းသည် (၁၅)နှစ်မှ (၂၀) နှစ်အတွင်းဖြစ်ပြီး water cooled chiller များ၏ သက်တမ်းသည် နှစ်(၂၀) မှ နှစ်(၃၀)အတွင်း ဖြစ်သည်။ အဓိက အကြောင်းမှာ air cooled chiller များကို ပြင်ပ(outdoor)တွင် တပ်ဆင်ပြီး water cooled chiller များကို အဆောက်အဦ အတွင်း၌ တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Water cooled chiller များတွင် ရေကို condensing fluid အဖြစ် အသုံးပြုသောကြောင့် operating pressure နိမ့်သည်။

Air cooled chiller များ၏ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု စရိတ်သည် water cooled chiller များထက် ပိုနည်းသည်။ Water cooled chiller များသည် energy efficiency ပိုကောင်းပြီး သက်တမ်း ကြာရှည်ခံသည်။

Table 6-4 air cooled chiller နှင့် water cooled chiller တို့၏ အဓိက အချက်များကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားပုံ

Air Cooled Chiller	Water Cooled Chiller
• Heat removed by refrigerant cycle is rejected to the ambient air • Lower first cost • Limited by efficiency & capacity of installation • Less or no sheltered building space required for chiller • No threat of Legionella outbreak • Don't need make up water • Higher kW/ton than water cooled. Typically 1.0 to 1.5 kW/ton	• Heat removed by refrigerant cycle is rejected to circulating condenser water • Higher first cost • Favorable when efficiency is important & individual chiller operating capacity > 200 RT • More complicated to service and maintain • More building space • Longer life • Water treatment of condenser water circuit • More energy efficient as condensing pressure is lower than air cooled chiller. Generally 0.5 to 0.63 kW/ton.

ပုံ ၆-၃ Air cooled VSD scroll chiller

- R410A refrigerant
- Standard high ambient design (52°C)
- Low ambient (-18°C) option
- Ultra Quiet Fan option
- Cooling Capacity: 55-148 TR
- All models COP>3.0

ပုံ ၆-၄ Air cooled chiller

ပုံ ၆-၅ Air cooled rotary screw chiller(Trane)

ပုံ ၆-၆ Air cooled reciprocating chiller(York)

၆.၁.၆ Gear Drive Versus Direct Drive

Direct drive chiller (turbocore မှ လွဲ၍)များသည် ဝင်ရိုး အပတ်ရည်(shaft speed) 3,600 rpm ဖြင့် မောင်းကြသည်။ ဂီယာကို အသုံးပြု၍ impeller ၏ လည်ပတ်နှုန်းသည် 35,000 rpm အထိ မြှင့်တင်နိုင်သည်။ လည်ပတ်နှုန်းများများ ရနိုင်သောကြောင့် သေးငယ်သည့် impeller ကို အသုံးပြုနိုင်ပြီး စက်၏ ဈေးနှုန်း ချိုသာသည်။ ဂီယာဖြင့် မောင်းသောကြောင့် efficiency loss 1.5% မှ 2% အထိ ဖြစ်ပေါ်နိုင်ပြီး ဘယ်ရင်(bearing) အရေအတွက် များများ လိုအပ်သည်။ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများစွာ ပြုလုပ်ရန် ပိုလိုအပ်သည်။

Impeller အရွယ်အစား(diameter)နှင့် gear ratio ကို အကိုက်ညီဆုံးဖြစ်အောင် ရွေးချယ်နိုင်လျှင် အကောင်းဆုံး စွမ်းဆောင်ရည်(highest performance) ရရှိနိုင်သည်။ Direct drive machine များတွင် impeller အရွယ်အစား(diameter)ကို အကန့်အသတ်ဖြင့်သာ ကြီးအောင်ပြုလုပ်ခွင့် ရသောကြောင့် အကောင်းဆုံး စွမ်းဆောင်ရည်(highest performance) ရရှိရန် အခက်အခဲ ဖြစ်နိုင်သည်။ Direct drive machine များတွင် အဆင့်များစွာ(multiple stages)ပါဝင်သည့် ဒီဇိုင်းမျိုး ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် energy performance ပိုသည်။

York ကုမ္ပဏီမှ YK မော်ဒယ် gear drive centrifugal chiller နှင့် Carrier ကုမ္ပဏီမှ 19XR မော်ဒယ် gear drive centrifugal chiller များကို ထုတ်လုပ်ကြသည်။ Trane ကုမ္ပဏီမှ direct drive chiller များကို ထုတ်လုပ်သည်။

၆.၁.၇ Open Drive Versus Hermetic

Hermetic centrifugal chiller များတွင် မော်တာကို chiller casing အတွင်း၌ ထည့်သွင်း တပ်ဆင်ထားသည်။ မော်တာကို refrigerant ဖြင့် အေးစေသောကြောင့် သန့်ရှင်းနေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် မော်တာမှ စွန့်ထုတ်လိုက်သည့် အပူများကို refrigerant သို့ ရောက်သွားစေသည်။ Hermetic machine များတွင် ယိုစိမ့်မှု ဖြစ်နိုင်ခြေရှိသော်လည်း open machine များထက် ပိုနည်းသည်။ သို့သော် hermetic machine များတွင် မော်တာ ပျက်စီးခဲ့လျှင် ခက်ခဲစွာ လဲလှယ်ရပြီး အချိန် အလွန်ကြာသည်။

Open drive refrigeration machine များတွင် မော်တာသည် compressor casing ၏ အပြင်ဘက်တွင် တည်ရှိသောကြောင့် မော်တာကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သည့် ဆုံးရှုံးမှုများ(motor losses)သည် efficiency rating တွင် မပါဝင်ပေ။ ကြီးမားသည့် refrigeration machine တွင် မော်တာကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဆုံးရှုံးမှုများ(motor losses) သည် 4% မှ 5% အထိ ဖြစ်နိုင်သည်။ Open drive motor မှ စွန့်ထုတ်လိုက်သည့် အပူများသည် စက်ခန်းအတွင်းသို့ ရောက်ရှိသွားသောကြောင့် စက်ခန်း(plant room) အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။ Hermetic နှင့် semi hermetic refrigeration machine များတွင် မော်တာမှ စွန့်ထုတ်လိုက်သည့် အပူများကို refrigerant က သယ်ဆောင်သွားသည်။

အကြောင်းတစ်စုံတစ်ရာကြောင့် open drive refrigeration machine များ၏ မော်တာ ပျက်စီးသည့်အခါ အလွယ်တကူ လဲလှယ်နိုင်သည်။ Refrigeration machine များတွင် မော်တာ ပျက်စီးမှု အလွန်ဖြစ်ခဲသော်လည်း hermetic machine များ၏ မော်တာ ပျက်စီးသည့်အခါ အလွန်ခက်ခဲစွာ ပြုပြင်ရသည်။

Open drive machine များတွင် seal ပါရှိရန် လိုအပ်သောကြောင့် ယိုစိမ့်ခြင်း(leakage) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ High pressure machine များတွင် refrigerant များသည် ပြင်ပသို့ ယိုစိမ့်ခြင်း(leakage) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Low pressure machine များတွင် ယိုစိမ့်ခြင်း(leakage) ဖြစ်ပေါ်လျှင် လေ၊ ရေခိုးရေငွေ့နှင့် အမှုန်များ စက်အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာလိမ့်မည်။ High pressure open machine များကို အသုံးပြုလျှင် စက်အပိုပစ္စည်းကုန်ကျစရိတ်၊ လက်ခသာမက refrigerant အတွက် ကုန်ကျစရိတ်ကိုပါ ထည့်သွင်းတွက်ချက်ရန် လိုအပ်သည်။

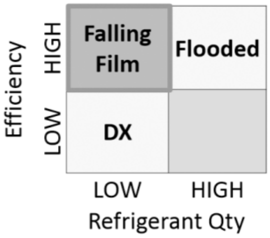
၆.၁.၈ Fixed Orifice Versus Float Valve

Fixed orifice ကို thermal expansion device အဖြစ် အသုံးပြုသည့်အခါ refrigerant စီးဆင်းမှု ပုံမှန်ဖြစ်စေရန်အတွက် condenser နှင့် evaporator အကြားတွင် အနိမ့်ဆုံး ဖိအားကွာခြားချက်(minimum differential

pressure)ထက် မနည်းအောင် ထိန်းထားရန် လိုအပ်သည်။ ထိုသို့ ပြုလုပ်ထားခြင်းကြောင့် part load performance ညံ့ဖျင်းနိုင်သည်။ Fixed orifice နှင့် float valve များအကြောင်းကို အခန်း(၈)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

၆.၁.၉ Falling Film Evaporator Versus Flooded Evaporator

Falling film evaporator ၊ DX evaporator နှင့် flooded evaporator များအကြောင်းကို အခန်း(၇) [chapter-7]တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၆-၇ Falling film evaporator ၊ DX evaporator နှင့် flooded evaporator

Hybrid falling film evaporator

Hybrid falling film evaporator သည် falling film evaporator နှင့် flooded evaporator တို့၏ အားသာချက်များကို ပေါင်းစပ်ထားသည့် အမျိုးအစားဖြစ်သည်။

Tube များအတွင်း၌ ရေစီးဆင်းနေသည်။ Refrigerant သည် tube များ ၏ အပြင်ဘက် shell အတွင်း၌ ရှိနေသည်။ Tube bundle (၂)မျိုး ပါရှိသည်။ အပေါ်ပိုင်း၌ရှိနေသည့် tube bundle ကို refrigerant film ကဖုံးအုပ်ထားသည်။ အောက်ပိုင်း၌ရှိနေသည့် tube bundle သည် refrigerant အရည်များအတွင်း၌ နစ်မြုပ်နေသည်။

၆.၂ Factors Affecting Performance of Refrigeration Systems

Refrigeration system များ၏ performance သည် အောက်ပါအချက်များ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(၁) Evaporating ဖြစ်သည့် အပူချိန်(temperature)

(၂) အသုံးပြုသည့် refrigerant အမျိုးအစား

(၃) ပါဝင်သည့် equipment နှင့် component အမျိုးအစားများ (compressor, evaporator etc)

(၄) Control system နှင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းများ(maintenance)

၆.၂.၁ Evaporating and Condensing Temperatures

> Refrigeration system တစ်ခု၏ Coefficient Of Performance (COP) နှင့် မောင်းရန် ကုန်ကျစရိတ်သည် evaporating နှင့် condensing temperature တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Evaporating temperature ကို 1 K မြှင့်တင်လိုက်ခြင်း သို့မဟုတ် condensing temperature ကို 1 K လျှော့ချနိုင်ခြင်းကြောင့် စွမ်းဆောင်ရည် (performance) 2% မှ 4% အထိ ပိုကောင်းလာနိုင်သည်။

အလိုရှိသည့် cooling temperature အပေါ်မူတည်၍ evaporating temperature ကို သတ်မှတ်သည်။ Heat rejection (cooling) medium ၏ အပူချိန်ကို မူတည်၍ condensing temperature ကို သတ်မှတ်သည်။

Water chilling application တွင် chilled water temperature 6°C အလိုရှိပြီး အမြင့်ဆုံး ပြင်ပ ဒီဇိုင်း (maximum design)အပူချိန် 30°C dry bulb ဖြစ်လျှင် evaporating temperature 1°C နှင့် condensing temperature 45°C သတ်မှတ်လျှင် COP 3.1 ရနိုင်သည်။ အကယ်၍ evaporating temperature 1°C မြှင့်တင်ပြီး condensing temperature ကို 1°C လျှော့ချနိုင်လျှင် system performance သည် 4% မှ 8% အထိ ပိုကောင်းလာနိုင်သည်။

Refrigerant များအားလုံးတွင် အမြင့်ဆုံး(maximum) efficiency ရရှိနိုင်သည့် optimum operation range ကိုယ်စီ ရှိကြသည်။ တချို့ refrigerant များသည် အစားအသောက်များ ရေခဲရိုက်ခြင်း(frozen food processing) နှင့်

သိုလှောင်ခြင်း(storage) စသည့် အပူချိန်နိမ့်နိမ့် ရရန်လိုအပ်သည့် လုပ်ငန်းများ(low temperature application) အတွက် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ တချို့ refrigerant များသည် air conditioning လုပ်ငန်းများ(application)အတွက် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ Refrigerant များ တစ်မျိုးနှင့် တစ်မျိုး စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကွာခြားချက်သည် ၅% ခန့်သာဖြစ်သည်။ မိမိလုပ်ငန်းနှင့် ကိုက်ညီသည့် refrigerant ကို ရွေးချယ်ရန် အလွန်အရေးကြီးသည်။ Compressor ၊ evaporator ၊ condenser နှင့် expansion valve တို့၏ အမျိုးအစား အပေါ်မူတည်၍ refrigeration system စွမ်းဆောင်ရည် (performance) ကွဲပြားသည်။

၆.၂.၂ Effect of Condenser and Evaporator on System Efficiency

Evaporator နှင့် condenser တို့ ၏ ဒီဇိုင်းရွေးချယ်မှုသည် refrigeration system ၏ performance အပေါ်တွင် များစွာ အကျိုးသက်ရောက်စေနိုင်သည်။

Heat exchanger ၏ capacity ကို အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$\Phi = U \times A \times LMTD$$

Φ သည် heat transfer rate (kW) ဖြစ်သည်။

U သည် heat exchanger ၏ thermal transmittance (W/m^2 K) ဖြစ်သည်။

A သည် heat transfer surface area (m^2) ဖြစ်သည်။

LMTD သည် log mean temperature difference (K) ဖြစ်သည်။

ဥပမာ - water chiller များတွင် evaporating temperature 1°C သည် chilled water 6°C သို့ ရောက်စေနိုင်သည်။ Evaporating temperature ကို −1°C သို့ ရောက်အောင် လျှော့ချလိုက်လျှင် evaporator ၏ အဝင်နှင့် အထွက်အကြားတွင် အပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature difference) ပိုများလာနိုင်သည်။ အပူချိန်ကွာဟချက်(temperature difference) ပိုများလာသောကြောင့် heat transfer surface area ကို လျှော့ချနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ဈေးနှုန်း ပိုသက်သာနိုင်သည်။ သို့သော် efficiency 6% ခန့် ညံ့ဖျင်းလိမ့်မည်။ ရေခဲသည့် ပြဿနာ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။

Efficiency ပိုကောင်းစေရန်အတွက် evaporating temperature ကို မြှင့်တင်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Evaporating temperature မြင့်သောကြောင့် အပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature difference) လျော့နည်းလာလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် အပူစီးကူးနိုင်သည့် မျက်နှာပြင် ဧရိယာ(heat transfer surface) ပိုများပေးရန် လိုအပ်သည်။ နေရာကျယ်ကျယ် လိုအပ်ပြီး၊ ဈေးနှုန်း ပိုများ လာလိမ့်မည်။

ထို့အတူ efficiency ပိုကောင်းစေရန်အတွက် condenser ၏ မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area) ပိုများအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် အပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature difference)ကို 15 K မှ 10 K သို့ ရောက်အောင် လျှော့ချနိုင်သည်။ Condensing temperature ကို 40°C ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်နိုင်လျှင် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု 10% မှ 20% အထိ သက်သာအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

ရွေးချယ်လိုက်သည့် evaporator နှင့် condenser အပေါ်တွင် မူတည်၍ system တစ်ခု၏ performance ပြောင်းလဲ နိုင်သည်။ သို့သော် water cooled packaged unit နှင့် air cooled package unit ကဲ့သို့သော 'packaged' system များအတွက် ရွေးချယ်စရာ evaporator နှင့် condenser မျိုးစုံ မရှိနိုင်ပေ။

၆.၂.၃ Operating Speeds

Reciprocating compressor များ၏ operating speed

(၁) Hermetic compressor များသည် ဝင်ရိုးအပတ်ရည်(shaft speed) 3,600 rpm ဖြင့် မောင်းကြသည်။

(၂) Semi hermetic compressor များသည် ဝင်ရိုးအပတ်ရည်(shaft speed) 3600 rpm ဖြင့် မောင်းကြသည်။

(၃) Open drive compressor များသည် ဝင်ရိုးအပတ်ရည် 500 rpm မှ 1500 rpm အတွင်း မောင်းကြသည်။

Screw compressor များ၏ operating speed

Screw compressor များ၏ ပုံမှန် operating speed သည် 3,600 rpm ဖြစ်သည်။

Centrifugal compressor များ၏ operating speed

R 134A ကို အသုံးပြုထားသည့် positive pressure machine များတွင် gearbox ကို အသုံးပြုထားသည်။ မြန်နှုန်းသည် 30,000 rpm ခန့် ဖြစ်သည်။

R 123 ကို အသုံးပြုထားသည့် negative pressure machine များတွင် မော်တာဝင်ရိုးနှင့် compressor ဝင်ရိုးကို တိုက်ရိုက် ချိတ်ဆက်ထားသည်။ မြန်နှုန်းသည် 3,600 rpm ခန့် ဖြစ်သည်။

၆.၂.၄ Chiller အမျိုးမျိုးတို့၏ Coefficient of Performance (COP)

Table 6-5 chiller များ နှင့် ရရှိနိုင်သည့် Coefficient of Performance (COP) နှိုင်းယှဉ်ဖော်ပြထားပုံ

Thermal chillers	
Absorption chillers	Coefficient of Performance (COP)
-Single stage	0.70
-Two stage direct fired	1.00
-Two stage steam fired	1.20
Steam turbine driven centrifugal chiller	1.20
Gas engine driven centrifugal chiller	2.10
Electric centrifugal chiller	
Electric motor driven centrifugal	6.10

၆.၂.၅ Surge ဖြစ်ခြင်း

(၁) Reciprocating compressor များသည် surge ဖြစ်လေ့မရှိပေ။
(၂) Screw compressor များသည် surge ဖြစ်လေ့မရှိပေ။
(၃) Centrifugal compressor များသည် အလွယ်တကူ surge ဖြစ်လေ့မရှိပေ။ သို့သော် surge ဖြစ်နိုင်သည်။

Centrifugal compressor များ တည်ငြိမ်စွာ မောင်းနေနိုင်ရန်အတွက် သတ်မှတ်ထားသည့် အနိမ့်ဆုံး volumetric rate ထက် မနည်းအောင် သတိပြုရန် လိုအပ်သည်။ Centrifugal machine များ၌ သတ်မှတ်ထားသည့် အနိမ့်ဆုံး volumetric rate ထက် ပိုနည်းပါ surge ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။ High discharge pressure ကြောင့်လည်း surge ဖြစ်နိုင်သည်။ Centrifugal compressor များ surge ဖြစ်ပေါ်ခြင်းနှင့် သက်ဆိုင်သည့် အကြောင်းများကို အခန်း(၁၅)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

၆.၂.၆ ယုံကြည်စိတ်ချရမှု(Reliability) နှင့် ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းမှု (Maintenance)

(၁) Reciprocating compressor များတွင် လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်း အများဆုံး ပါရှိသောကြောင့် ပွန်းတီးလွယ်သည်။ တိုက်စားလွယ်သည်။ ပွန်းတီးခြင်းကြောင့် ပင်စတင်(piston) မှ ယိုစိမ့်ခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Capacity လျော့နည်း သွားနိုင်သည်။ COP ညံ့ဖျင်းသွားနိုင်သည်။ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ အထူးလိုအပ်သည်။ အားများ မညီမျှခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Reciprocating compressor တပ်ဆင်ထားရန်အတွက် အုပ်ဖိနပ်(foundation) ကောင်းကောင်း လိုသည်။

(၂) Screw compressor များအတွက် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု အနည်းငယ်သာ လိုအပ်သည်။ Centrifugal compressor လောက် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုလုပ်ရန် မလိုအပ်ပေ။ နာရီပေါင်း(၅၀,၀၀၀)ခန့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု မပြုလုပ်ဘဲ မရပ်မနား အဆက်မပြတ် မောင်းနိုင်သည်။ Screw compressor တွင် first critical speed ၏ တစ်ဝက်ထက် နည်းသည့် speed ဖြင့် မောင်းသောကြောင့် အားသက်ရောက်မှု မညီမျှခြင်း (unbalance) မဖြစ်ပေါ်ပေ။

(၃) Centrifugal compressor များတွင် လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်း အနည်းဆုံးပါဝင်သည်။ Centrifugal machine များ မြန်နှုန်း အလွန်မြင့်သောကြောင့် အားသက်ရောက်မှု မညီမျှခြင်း(unbalance) နှင့် တုန်ခါမှု (vibration) များသည်။ Centrifugal machine များတွင် ပါရှိနေသည့် အစိတ်အပိုင်းများကို ပုံမှန် စစ်ဆေးမှု ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

၆.၂.၇ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ကုန်ကျစရိတ် နှင့် သက်ဆိုင်သည့်အချက်များ

(၁) Gear drive machine များသည် direct drive machine များထက် ပိုများသည့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

(၂) Open drive machine များအတွက် ထိန်းသိမ်းခ ကုန်ကျစရိတ်(maintenance cost)သည် hermetic machine များထက် ပိုများသော်လည်း ပြုပြင်ခ(repair cost) သက်သာသည်။

(၃) Air cooled နှင့် water cooled တို့ ကွဲပြားသောကြောင့် ထိန်းသိမ်းခ(maintenance) နှင့် ပြုပြင်ခ(repair) ကွဲပြားသည်။ Water cooled system များတွင် water treatment နှင့် tube cleaning ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သောကြောင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ကုန်ကျစရိတ် ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် water cooled chiller များ၏ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ကုန်ကျစရိတ်သည် air cooled chiller များထက်ပိုများသည်။ Water cooled chiller များ၏ သက်တမ်း ပိုရှည်သည်။

၆.၂.၈ တပ်ဆင်ထားသည့်နေရာတွင် ပြုပြင်နိုင်မှု(Field Serviceability)

(၁) Reciprocating chiller အများစုကို တပ်ဆင်ထားသည့် နေရာတွင် ပြုပြင်နိုင်သည်။

(၂) Screw chiller များသည် တည်ဆောက်ပုံ ရိုးရှင်းသောကြောင့် တပ်ဆင်ထားသည့်နေရာတွင် ပြုပြင် နိုင်သည်။ အစိတ်အပိုင်းများ လဲလှယ်ခြင်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။

(၃) Centrifugal chiller များ ၏ impeller ကြောင့် အလွန် ပြဿနာများသည်။ Centrifugal impeller များသည် အလွယ်တကူ ရရှိနိုင်သည့် ပစ္စည်းမဟုတ်သလို အလွယ်တကူ တပ်ဆင်နိုင်သည့် ပစ္စည်းလည်းမဟုတ်ပေ။

၆.၂.၉ အပိုပစ္စည်း ရရှိနိုင်မှု(Availability of Spare Parts)

(၁) Reciprocating compressor များ၏ အပိုပစ္စည်းများကို အလွယ်တကူ ရရှိနိုင်သည်။

(၂) Screw compressor ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturers)သည် rotor များ၊ bearing များ စသည် အပိုပစ္စည်း များကို အလွယ်တကူ ရရှိနိုင်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။

(၃) Centrifugal compressor များ၏ impeller များကို အပိုပစ္စည်းများအဖြစ် မရရှိနိုင်ပေ။ လိုအပ်၍ မှာယူလျှင် အနည်းဆုံး ရက်သတ္တပတ် (၁၀)ပတ် မှ (၁၂)ပတ် အချိန်ကြာမြင့်စွာ စောင့်ဆိုင်းရသည်။

(၄) Screw compressor များတွင် sealing လုပ်ရန် နှင့် lubrication လုပ်ရန် ရည်ရွယ်ချက်ဖြင့် rotor chamber အတွင်းသို့ ချောဆီများ ထည့်ပေးသည်။ ထို့နောက် oil separator မှ ချောဆီများကို ပြန်ခွဲထုတ်ပေးသည်။ Screw compressor များတွင် ချောဆီများ လည်ပတ်ရန် oil pump များဖြင့် မောင်းပေးရသည်။

(၅) Reciprocating compressor များတွင် ချောဆီများသည် refrigerant အတူ လည်ပတ်နေနိုင်သောကြောင့် oil separator တပ်ဆင်ထားရန် မလိုအပ်ပေ။

(၆) Centrifugal machine များသည် ချောဆီ ကင်းမဲ့သည့် စက်များဖြစ်သည်။

၆.၂.၁၀ Performance Specifications:

Chiller တစ်လုံး၏ capacity နှင့် performance ကို သတ်မှတ်ရန်အတွက် အောက်ပါ parameter များ၏ တန်ဖိုးများကို သတ်မှတ် ပေးရန် လိုအပ်သည်။

(၁) Maximum cooling capacity (tons)
(၂) Chilled water supply temperature (°F)
(၃) Chilled water return temperature (°F)
(၄) Chilled water flow rate (gpm)
(၅) Maximum evaporator pressure drop (ft wg)
(၆) Evaporator fouling factor (usually 0.0001)
(၇) Condenser water return temperature (°F)
(၈) Condenser water supply temperature (°F)
(၉) Condenser water flow rate (°F)
(၁၀) Maximum condenser pressure drop (ft wg)
(၁၁) Condenser fouling factor (usually 0.00025)
(၁၂) Electrical service: V/ph/Hz
(၁၃) Maximum sound power level (dBA)
(၁၄) Allowable motor type (hermetic and/or open)
(၁၅) Motor FLA
(၁၆) Maximum kW/ton at full load and Maximum IPLV (kW/ton)

၆.၃ Refrigeration Chiller လေးမျိုးကို နှိုင်းယှဉ်ခြင်း

Table 6-6 အသုံးများသည့် refrigeration compressor လေးမျိုးကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြခြင်း

အားသာချက်များ(Advantages)	အားနည်းချက်များ(Disadvantages)
Rotary Vane	
-Good efficiency as booster:equal to screw and better than piston type -Handles low pressure conditions -Mechanically reliable	-Discharge pressure limitation -Overall pressure ratio limited to about 7:1 -Poor part load power characteristics
Reciprocating Piston	
-Basic industry work horse -Full range of sizes & capacities -Efficient part load operation -Relatively inexpensive -Requires minimum amount of support infra-structure	-Volumetric efficiency drops at high overall pressure ratios -Requires frequent maintenance -Not tolerant of liquid -Water cooling necessary for ammonia systems
Rotary Screw	
-Good efficiency at full load -Large capacity units available -Low maintenance costs -Reliable -Tolerant to liquid -Liquid injection cooling option -Infinitely variable capacity control -High operating flexibility	-Poor power performance at low part load conditions -Small sizes expensive -Repairs expensive in remote locations

Centrifugal	
-Efficient at full load -Large capacity units require small space	-Very high speed precision equipment -Useable only with freon type refrigerants -Inefficient at part load -Severe operating restrictions

Table 6-7 refrigerant များ၏ ဒီဇိုင်းအခြေအနေများ(design conditions)

Application	Source Fluid Type and Temperature	Source Refrigerant Temperature	Sink Fluid Type and Temperature	Sink Refrigerant Temperature	Fluid Carnot COP	Refrigerant Carnot COP
Water cooled chillers	44°F water	38°F	85°F water	91°F	12.3	9.4
Air cooled chillers	44°F water	38°F	95°F air	105 °F	9.9	7.4
Air cooled unitary equipment	55°F air	45°F	95°F air	105°F	12.9	8.4
Refrigerator	38°F air	28°F	90°F air	100°F	9.6	6.8
Freezer	5°F air	5°F	90°F air	100°F	5.5	4.3

၆.၄ Positive Pressure Machine (R134a) နှင့် Negative Pressure Machine (R 123 Chiller)

Centrifugal compressor များသည် refrigerant ၏ kinetic energy ကို များအောင် ပြုလုပ်ပေးခြင်းဖြင့် refrigerant ၏ ဖိအား(pressure) မြင့်တက်စေသည်။ Refrigerant သည် compressor မှ အထွက်တွင် expansion ဖြစ်စေပြီး kinetic energy မှ static pressure အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားကာ ဖိအားမြင့်တက်လာသည်။ Compressor နှင့် motor ကို casing တစ်ခုအတွင်း ထည့်ထားပြီး refrigerant gas ဖြင့် မော်တာကွိုင်(motor winding)ကို အေးစေသည်။ ဤကဲ့သို့ အမျိုးအစားကို "**Hermetic motor**" ဟုခေါ်သည်။ Compressor ၏ winding ကို လေ(ambient air) ဖြင့် အေးစေလျှင် "**Open type**" ဟု ခေါ်သည်။

Evaporator မှ low pressure gas သည် compressor သို့ ရောက်ရှိလာသည်။ လိုအပ်သည့် cooling capacity ရရှိရန် chiller ၏ cooling capacity ကို inlet guide vane ဖြင့် refrigerant ၏ စီးဆင်းနှုန်း(flow rate) ကို ထိန်းချုပ်(regulate) ပေးသည်။ Chiller loading ၏ 15% မှ 100% နှင့် ကိုက်ညီသည့် cooling capacity ရအောင် မောင်းနှင်နိုင်သည်။ High pressure gas များသည် condenser ထဲသို့ ရောက်ရှိ သွားပြီး condenser မှ refrigerant gas က အပူ(heat)များကို စွန့်ထုတ်ပစ်လိုက်သောကြောင့် ဖိအားဖြင့်သည့်အငွေ့(gas)အဖြစ်မှ အရည်(liquid) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ ထို liquid refrigerant များသည် evaporator ဆီသို့ ရောက်ရှိကာ chilled water မှ အပူများကို စုပ်ယူပြန်သည်။

R134A နှင့် R22 refrigerant ကို အသုံးပြုသည့် chiller များကို "positive pressure machine" များဟု ခေါ်သည်။ R123 ကို အသုံးပြုသည့် chiller များကို "negative pressure machine" ဟုခေါ်သည်။ Evaporator pressure အပေါ်တွင် အခြေခံ၍ positive pressure machine သို့မဟုတ် negative pressure machine ဟူ၍ ခွဲခြားခြင်း ဖြစ်သည်။ Evaporator pressure သည် လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ထက် ပိုများလျှင် positive pressure machine ဟုသတ်မှတ်၍ လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ထက် နည်းလျှင် negative pressure machine ဟု သတ်မှတ်သည်။

Standard AHRI (ယခင် ARI) rating condition အရ R134a ၏ evaporating pressure သည် 36.6 psig ဖြစ်သည်။ Condensing pressure သည် 118.3 psig ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် မြင့်တက်သွားအောင် ပြုလုပ်ပေးရသည့် ဖိအား(total pressure increased)သည် 81.7 (118.3 - 36.6) psig ဖြစ်သည်။ Chiller compressor က မြင့်တက်သွားအောင် ပြုလုပ်ပေးရသည့် ဖိအား(total pressure increased)ကို "**Lift**" ဟု ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ ထို lift မှာ compressor က ဆောင်ရွက်(perform) ပေးရသည့် work done ဖြစ်သည်။

R123 chiller ၏ evaporating pressure သည် -5.81 psig ဖြစ်သည်။ Condensing pressure မှာ 6.10 psig ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် lift မှာ 11.91 psig ဖြစ်သည်။ Positive pressure machine(R134a chiller) နှင့် negative pressure machine(R123 chiller) နှစ်မျိုးစလုံး၏ refrigerant စီးဆင်းနှုန်း(flow rate)သည် အနည်းငယ်မျှသာ ကွာခြားသည်။ နှစ်မျိုးလုံး အတွက် 3 lb/min per ton ခန့် ဖြစ်သည်။ Cooling effect 1 refrigeration ton ရရန်အတွက် chiller ၏ refrigerant စီးနှုန်း(flow) 3 lb/min လိုအပ်သည်။

R134a ၏ သိပ်သည်းဆ(density)သည် R123 ၏ သိပ်သည်းဆ(density)ထက် ပိုများသောကြောင့် R134a ၏ volumetric သည် R123 chiller ၏ volumetric flow rate ထက် (၅)ဆခန့် ပိုနည်းသည်။ Impeller အရွယ် အစားသည် volumetric flow rate ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ထို့ကြောင့် R134a chiller ၏ အရွယ်အစားသည် cooling capacity တူညီသည့် R123 chiller ထက် ပိုသေးငယ်သည်။

R123 chiller compressor ၏ impeller အရွယ်အစား(diameter)သည် လက်မ(၄၀)ခန့် ရှိသည်။ 60 Hz လျှပ်စစ် ဓာတ်အားဖြင့် မောင်းလျှင် impeller speed သည် 3,600 rpm ဖြစ်သည်။ R134a chiller compressor ၏ impeller သည် (၅)လက်မခန့်သာ ဖြစ်သည်။ Operating speed မှာ 30,000 rpm ခန့် ဖြစ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ မြန်နှုန်းမြင့်မြင့်(high speed) ရရန်အတွက် gear box ကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

Positive pressure machine (R134a chiller)များတွင် refrigerant ယိုစိမ့်မှု(leakage) ဖြစ်သည့်အခါ condenser နှင့် evaporator pressure နှစ်ခုလုံးအတွင်းရှိ ဖိအားသည် လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ထက် ပိုမြင့်သောကြောင့် chiller အတွင်းမှ refrigerant များ အပြင်သို့ ယိုစိမ့်ထွက်သွား(leakage)နိုင်သည်။ သို့သော် negative pressure machine များတွင် ယိုစိမ့်မှု(leakage) ဖြစ်သည့်အခါ chiller အတွင်းသို့ လေထု (atmospheric)ထဲမှ လေ(air)နှင့် ရေခိုးရေငွေ့များ ဝင်ရောက်လာသည်။ လေ(air)နှင့်အတူ ရေငွေ့(water vapor)များနှင့် non condensable gas များ chiller အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာလိမ့်မည်။ Chiller အတွင်းရှိ non condensable gas များကြောင့် chiller ၏ cooling capacity လျော့နည်းလိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် compressor သည် non condensable gas များကို ဖိသိပ်(compress)ရသော်လည်း မည်သည့် refrigeration effectiveness ကိုမျှ မရရှိနိုင်သောကြောင့် cooling capacity ကျဆင်းခြင်း ဖြစ်သည်။

Non condensable gas များကြောင့် full load condition ၌ chiller ၏ efficiency 14% အထိ ကျဆင်းလာနိုင်သည်။ လေထဲမှ ရေခိုးရေငွေ့များနှင့် အညစ်အကြေး(contaminant)များကြောင့် chiller အတွင်း၌ အက်စစ်ဓာတ်များဖြစ်ပေါ်(acid formation)ကာ compressor နှင့် motor winding တို့ မောင်းမရအောင် ပျက်စီးစေနိုင်သည်။ အထူးသဖြင့် hermetic မော်တာ များတွင် ပိုဆိုးဝါးသည့် အခြေအနေကို ဖြစ်ပေါ်စေနိုင်သည်။

ထိုပြဿနာများကို ဖြေရှင်းရန်အတွက် negative pressure machine များတွင် purge unit များကို တပ်ဆင်ထားကြသည်။ Purge unit သည် chiller အတွင်းမှ ရေခိုးရေငွေ့(moisture)များနှင့် non condensable gas များကို ဖယ်ရှားပေးနိုင် သော်လည်း ရာနှုန်းပြည့် ဖယ်ရှားပေးရန် မဖြစ်နိုင်။ Purge unit သည် ရေခိုးရေငွေ့(moisture) များနှင့် non condensable gas များနှင့် အတူ တချို့သော refrigerant များကိုပါ chiller အတွင်းမှ လေထု (atmospheric) ထဲသို့ ထုတ်ပစ်လေ့ရှိသည်။

တခြားသောနည်းတစ်ခုမှာ negative pressure chiller များကို အချိန်ကြာမြင့်စွာ ရပ်နားထားရန် လိုအပ်ခဲ့လျှင် ယိုစိမ့်မှု(leakage)ကို ကာကွယ်ရန်အတွက် evaporator ကို heater ဖြင့် အပူပေးပြီး evaporator pressure

ကို လေထု(atmospheric pressure)ထက် ပိုမြင့်အောင် ပြုလုပ်ထားနိုင်သည်။

Table 6-8 low pressure chiller နှင့် high pressure chiller နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားခြင်း

	Low Pressure Chiller	High Pressure Chiller
Evaporator	Always at negative pressure	Always at positive pressure
	Air leaks inward at low rate	Refrigerant leaks outward at moderate rate
	No refrigerant loss into the equipment room	Refrigerant loss is into equipment room
Condenser	At slightly positive pressure during operation	Always at high positive pressure
	Refrigerant leaks outward at very low rate during operation	Refrigerant leaks outward at very high rate
Monitoring of leak rate	Trane EarthWise purge is able to continuously monitor in-leakage with the run meter	Only ways to monitor leak rate on high pressure chiller are - Periodic leak checks - Purchase refrigerant monitor
	Purge can be connected to a building automation system for notification of increased purge operation (in-leak). Refrigerant monitor can be connected to the building automation system.	Normally the only time that a leak is detected on a high pressure chiller is during spring startup. This means that a chiller which develops a leak in the summer may leak continuously until the following spring.
Typical pressure	HCFC-123	HFC-134a
	Evaporator: 18.7 inches of Mercury	Evaporator: 33.1 psig
	Condenser: 6.1 psig	Condenser: 124.1 psig

Positive pressure chiller များတွင် purge unit မလိုအပ်ပေ။ ယိုစိမ့်ခြင်း(leakage)ဖြစ်လျှင် လွယ်ကူစွာ သိ(detect)နိုင်သည်။ Negative pressure chiller များတွင် လေ(air)များ နှင့် ရေငွေ့(moisture) များ chiller ၏ ချောဆီ(lubricant oil)အတွင်း ဝင်ရောက်သွားသောကြောင့် အချိန်မှန် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance) လုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

၆.၅ Chiller ဝယ်ယူခြင်း

Chiller အရွယ်အစား ပိုကြီးလေ ဈေးနှုန်း ပိုချိုသာလေ ဖြစ်သည်။

၆.၅.၁ Defining Chiller Performance Requirement

Chiller အသစ်ဝယ်ယူရန် အတွက် ပထမဦးစွာ လက်ခံနိုင်သည့် performance ၊ အလိုရှိသည့် capacity နှင့် သင့်လျော်သည့် chiller အမျိုးအစားကို ရွေးချယ်ရန် လိုအပ်သည်။ Chiller အမျိုးအစား(type)များကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Vapor compression cycle ၊ reciprocating compressor ၊ engine drive vapor compression cycle ၊ rotary compressor ၊ absorption cycle 2 stage ၊ indirect fired absorption cycle ၊ 2 stage direct fired စသည်တို့ ဖြစ်ကြသည်။

Chiller တစ်လုံး၏ capacity နှင့် performance ကို သတ်မှတ်ရန်အတွက် အောက်ပါ parameter များကို သတ်မှတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Chiller performance နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်အလက်များကို အခန်း(၁၈)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

လျှပ်စစ်ဖြင့်မောင်းသည့်(electric drive) chiller များအတွက် မော်တာနှင့် သက်ဆိုင်သည့်အချက်များနှင့် လိုအပ်သည့် စွမ်းအင်(input energy)ကို သတ်မှတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

(၁) Allowable motor type (hermetic and/or open)
(၂) Motor FLA
(၃) Maximum kW/ton at full load.
(၄) Maximum IPLV (kW/ton)

အင်ဂျင်ဖြင့်မောင်းသည့်(engine drive) chiller များအတွက် အင်ဂျင်အမျိုးအစား၊ အသုံးပြုသည့် လောင်စာဆီ(fuel)စသည့် အင်ဂျင်နှင့် သက်ဆိုင်သည့် parameter များကို သတ်မှတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Indirect fired absorption chiller များအတွက် ရေနွေးငွေ့(steam) သို့မဟုတ် ရေပူ(hot water)နှင့် သက်ဆိုင်သည့် parameter များကို သတ်မှတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

(၁) Steam operating pressure (psig)
(၂) Maximum steam flow rate (lb/hr)
(၃) High temperature hot water temperature (8°F)
(၄) High temperature hot water flow rate (gpm)

၆.၅.၂ Economic Evaluation of Chiller Systems

ဒီဇိုင်နာ၊ ပိုင်ရှင်(owner)၊ အင်ဂျင်နီယာ တို့သည် မိမိရွေးချယ်သည့် chiller system ၏ စမောင်းသည့်နေ့မှ ပျက်သည့်နေ့အထိ ကုန်ကျမည့်စရိတ်စုစုပေါင်း(total ownership cost or life cycle cost)ကို နှိုင်းယှဉ် ရွေးချယ်သင့်သည်။

Chiller များသည် maximum capacity ဖြင့် မောင်းနေသည့်အချိန်သည် အလွန့် အလွန်နည်းသည်။ ထို့ကြောင့် chiller ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုကို နှိုင်းယှဉ်ရာတွင် peak load သာမက part load ကိုလည်း နှိုင်းယှဉ်ရန် လိုအပ်သည်။ AHRI 550/590-98 ၏ ညွှန်ကြားချက်အရ electric drive chiller များအတွက် ဖော်ပြထားသည့် IPLV part load value ကို အသုံးပြု၍ နှိုင်းယှဉ်ကြသည်။ တခြားအချက်များ အားလုံးတူညီလျှင် IPLV part load တန်ဖိုးနည်းလျှင် မောင်းသည့် အခါ စွမ်းအင်အတွက် ကုန်ကျစရိတ် သက်သာသည်။ ထို့အပြင် IPLV part load တန်ဖိုးကို chiller တစ်လုံးချင်းစီ၏ performance ကောင်း၊ မကောင်း နှိုင်းယှဉ်ရန်အတွက် အသုံးပြုနိုင်သည်။ IPLV part load တန်ဖိုးသည် ရာသီဥတု အေးသောကြောင့် ပြင်ပအပူချိန် ကျဆင်းကာ နိမ့်သည့် condenser water supply temperature အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

တစ်လုံးထက်ပိုများသည့်(multiple) chiller များ မောင်းနေသည့်အခါ chiller တစ်လုံးချင်းစီသည် rated capacity ၏ 40% မှ 80% တွင် မောင်းနေလေ့ ရှိသည်။ ထိုအခါ chilled water system တစ်ခုလုံး၏ optimum efficiency ပိုကောင်းအောင် အလေးထား၍ ဒီဇိုင်းလုပ်သင့်သည်။ IPLV part load တန်ဖိုးထက် chilled water system efficiency သည် ပို၍ အဓိက ကြသည်။

သတ်မှတ်ထားသည့် load profile နှင့်သင့်လျော်သည့် chiller တစ်လုံးကို ရွေးချယ်ရန်အတွက် chiller ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturer)သည် အမျိုးမျိုးသော chiller components (tube quantity, shell length, compressor size/quantity) များကို ရွေးချယ် တည်ဆောက်နိုင်သည်။

Life cycle cost တွက်ချက်ရာတွင် အောက်ပါ အခြေခံအချက်များ(basic elements)ပါဝင်ကြသည်။

၆.၅.၃ စဦးကုန်ကျစရိတ် (First Cost)

First cost သည် စဦးကုန်ကျစရိတ် ဖြစ်သည်။ စဦးကုန်ကျစရိတ်တွင် ဒီဇိုင်းကုန်ကျစရိတ်၊ တပ်ဆင်ခ၊ စက်တန်ဖိုး၊ ပိုက်များ၊ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားကြိုးနှင့် တခြားသော အထွေထွေ စရိတ်များ စသည် တစ်ကြိမ်တစ်ခါသာ အသုံးပြုရမည့် ကုန်ကျစရိတ်များ ပါဝင်သည်။ Table 6-9 chiller ဈေးနှုန်းများကို ဖော်ပြထားသည်။

Table 6-9 chiller အရွယ်အစား၊ COP နှင့် ခန့်မှန်းခြေ ဈေးနှုန်းများ

Chiller Type	Capacity (*) Range (tons)	First Cost (**) Range ($/ton)	COP Range	IPLV Range (COP)
Reciprocating/Scroll	50 - 230 (400)	$200 - $250	4.2 - 5.5	4.6 - 5.8
Screw	70 - 400 (1250)	$225 - $275	4.9 - 5.8	5.4 - 6.1
Centrifugal	200-2000 (10,000)	$180 - $300	5.8 - 7.1	6.5 - 7.9
Engine Driven	100 - 3000 (10,000)	$450 - $600	1.5 - 1.9	1.8 - 2.3

(*) ကွင်းအတွင်း၌ ရနိုင်သည့် အကြီးဆုံးအရွယ်အစား(maximum size)ကို ဖော်ပြထားသည်။

(**) စဦးကုန်ကျစရိတ်(first cost)တွင် ကန်ထရိုက်တာအမြတ်ငွေ(contractor mark-ups)ကိုပါ ထည့်တွက်ထားသည်။

Vapor compression cycle chiller အတွက် ကုန်ကျစရိတ်(ancillary cost)များ

(၁) Refrigeration room safety requirements (ASHRAE Standard 15)
(၂) Additional ventilation required for open motor
(၃) Noise and vibration control နှင့်
(၄) Fuel piping ၊ exhaust venting နှင့် noise control for engine drive chiller တို့ ဖြစ်သည်။

အထွေထွေ ကုန်ကျစရိတ်များမှာ

(၁) Concrete housekeeping pad
(၂) Rigging
(၃) Demolition
(၄) Electrical power
(၅) Controls
(၆) Contractor overhead (insurance ၊ bonds, taxes and general office operations ၊ special conditions) (ပုံမှန်အားဖြင့် 15% မှ 20%)
(၇) Contractor profit (ပုံမှန်အားဖြင့် 5% မှ 20%)

၆.၅.၄ နှစ်စဉ် ကုန်ကျစရိတ် (Annual Recurring Costs)

Chiller များ တပ်ဆင်ပြီးနောက် စတင် မောင်းနှင်လည်ပတ်သည့်နောက်ပိုင်းတွင် စွမ်းအင်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်(energy costs) နှင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ကုန်စရိတ်(maintenance cost)ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ ထိုနှစ်မျိုးသည် chiller မောင်းနေသမျှ ကာလပတ်လုံး နှစ်စဉ် ကုန်ကျမည့် စရိတ်ဖြစ်သည်။

Chiller များ စတင် မောင်းနှင်လည်ပတ်သည့်နေ့မှ ပျက်စီးသည့်နေ့ကို "**economic life**" သို့မဟုတ် "**service life**" ဟုခေါ်သည်။ Reciprocating compressor chiller ၏ service life သည် (၁၅)နှစ်ခန့် ဖြစ်သည်။ Rotary compressor နှင့် absorption chiller များ၏ သက်တမ်း(service life)သည် (၂၃)နှစ်ခန့် ဖြစ်သည်။ စွမ်းအင်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်(energy cost)ကို တွက်ရန်အတွက် အောက်ပါ အချက်နှစ်ချက်ကို သိရန် လိုအပ်သည်။

(၁) Chiller မှ သုံးစွဲသည့် လျှပ်စစ်စွမ်းအင် ပမာဏ(amount of electrical energy)နှင့်

(၂) လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခ ကောက်ခံနှုန်း တို့ဖြစ်သည်။

စွမ်းအင်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်(energy costs)သည် သုံးစွဲလိုက်သည့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပမာဏ(electrical energy consumption-kWh) နှင့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားနှုန်း(cost for electricity -$/kWh) တို့၏ မြှောက်လဒ်ဖြစ်သည်။ နှစ်စဉ်ကုန်ကျမည့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ကုန်စရိတ်(maintenance costs)ကို တွက်ယူရန် အနည်းငယ် ခက်ခဲသည်။ တချို့နှစ်များတွင် ပုံမှန် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုသာလိုအပ်ပြီး တချို့နှစ်များတွင် အသေးစားပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု သို့မဟုတ် အကြီးစား အသေးစား ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ လိုအပ်သည်။ နှစ်စဉ် ပုံမှန် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု ကုန်ကျစရိတ်သည် အစဦး ကုန်ကျစရိတ်(initial equipment cost)၏ ၁% မှ ၃% အတွင်း ဖြစ်သည်။

၆.၅.၅ Procurement Strategies

(၁) Calculate or estimate the required plant total tonnage;

(၂) Pick a short list of chiller vendors based on past experience, local representation, etc;

(၃) Request chiller bids based on a performance specification;

(၄) Adjust bids for other first-cost impacts;

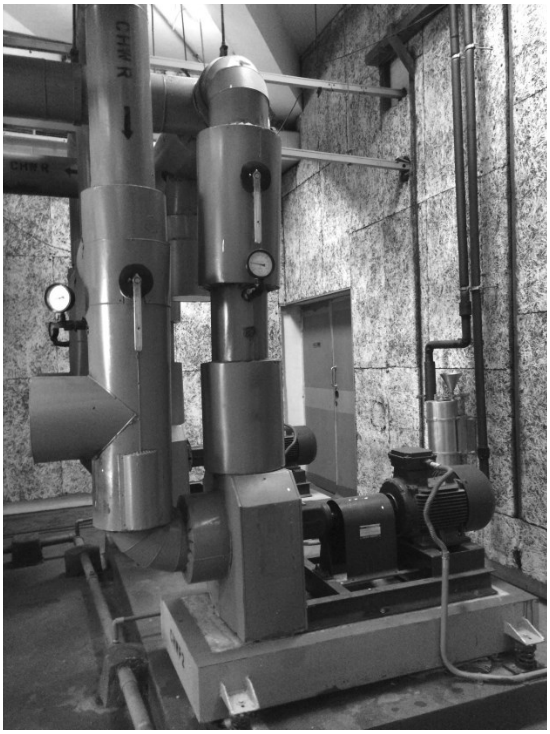
(၅) Estimate energy usage of options with a detailed computer model of the building/plant;

(၆) Estimate maintenance cost differences between options;

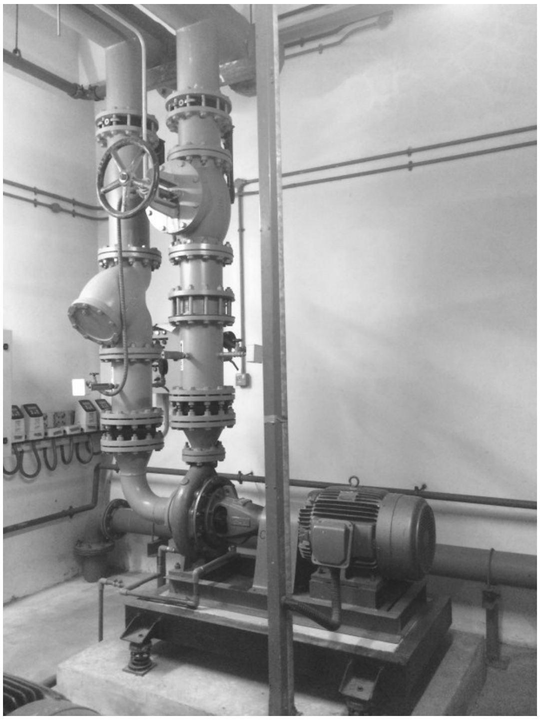
(၇) Calculate life-cycle costs;

(၈) Select the chiller option with the lowest life cycle cost.

Equipment Pipe Connection

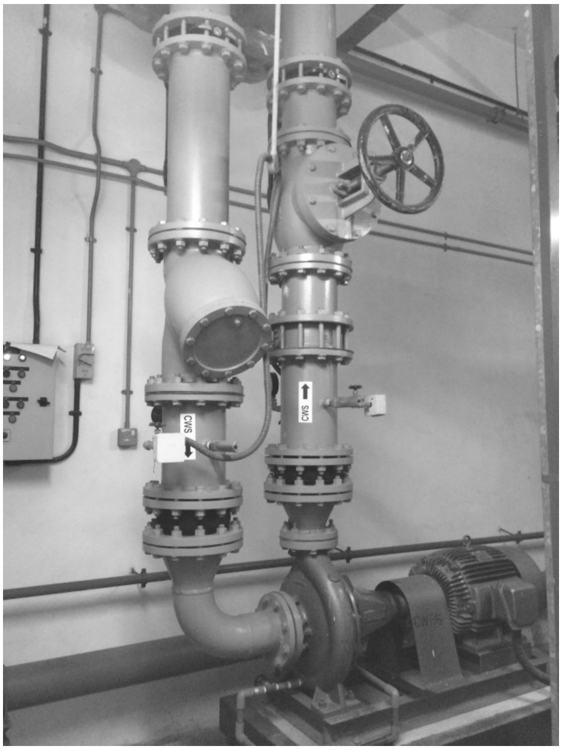


ပုံ ၆-၈ Chiled water pump pipe connection



ပုံ ၆-၉ Condenser water pump pipe connection

ပုံ ၆-၁၀ Chiller pipe connection



ပုံ ၆-၁၁ Condenser water pump pipe connection

-End -