Chapter-20 Efficiency and Energy Saving

၂၀.၁ Chiller Efficiencies

Air cooled reciprocating compressor chiller များ၏ peak load efficiency သည် 1.0 မှ 1.3 kW/ton အတွင်း ဖြစ်သည်။ Peak load COP သည် 3.52 မှ 2.70 အတွင်း ဖြစ်သည်။ Air cooled chiller များ၏ capacity သည် လေထုအပူချိန်(ambient air temperature) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေထုအပူချိန် 35°C ကိုမူတည်၍ chiller များ၏ capacity ကို သတ်မှတ်ကြသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် Air cooled chiller များ၏ rated capacity သည် 35°C ကို အခြေခံထားသည်။ လေထုအပူချိန် 35°C ထက်ပိုများလျှင် rated capacity လျော့နည်းသွားနိုင်သည်။ လေထုအပူချိန် 35°C ထက်လျော့နည်းလျှင် rated capacity ပိုများလာနိုင်သည်။ Water cooled rotary chiller များ၏ peak load efficiency သည် 0.5 မှ 0.7 kW/ton (COP of 7.0–5.0)အတွင်း ဖြစ်သည်။

၂၀.၁.၁ Chiller Efficiency ကျဆင်းရသည့် အကြောင်းများ

(က) Load အလွန်များခြင်း သို့မဟုတ် နည်းခြင်းကြောင့် chiller ၏ အကောင်းဆုံး efficiency ရနိုင်သည့်နေရာတွင် မမောင်းနိုင်ခြင်း
(ခ) Lift များခြင်း
(ဂ) Part load performance ညံ့ဖျင်းခြင်း (poor part-load performance)
(ဃ) Control system ဟောင်းနေခြင်း သို့မဟုတ် ညံ့ဖျင်းခြင်း (poor/outdated control systems) နှင့်
(င) Equipment များ၏ efficiency မကောင်းခြင်း (low efficiency equipment) တို့ ဖြစ်သည်။

၂၀.၁.၂ စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည့် နည်းလမ်းများ (Potential Energy Efficiency Measures)

အောက်တွင် စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည့် နည်းများကို ဖော်ပြထားသည်။ တချို့သော နည်းများကို စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည့် နည်းပညာတစ်ခုအဖြစ်သာ ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။ လက်တွေ့တွင် ဆောင်ရွက်ရန် ခက်ခဲခြင်း၊ ကုန်ကျစရိတ်များ၍ တွက်ခြေမကိုက်ခြင်း၊ ပိုလွယ်ကူ၍ ထိရောက်သည့်နည်းများဖြင့် အစားထိုးနိုင်ခြင်း စသည့် အခြေအနေမျိုးနှင့် ကြုံတွေ့နိုင်သည်။ System အလုပ်လုပ်ပုံကို ပို၍ နားလည်သဘောပေါက်စေရန်နှင့်နည်းပညာ ဗဟုသုတရစေရန်အတွက် ထည့်သွင်းဖော်ပြခြင်းသာ ဖြစ်သည်။

(က) Suction line ကို ကောင်းစွာ insulate လုပ်ထားခြင်း နှင့် low pressure receiver တပ်ဆင်ထားခြင်း
(ခ) Suction pressure မြင့်တက်အောင်ပြုလုပ်ခြင်း
(ဂ) Head pressure လျော့ချခြင်း

(ဃ) High efficiency compressor များကို တပ်ဆင် အသုံးပြုခြင်း
(င) Single stage compressor များကို two stage system များဖြင့် အစားထိုး လဲလှယ် အသုံးပြုခြင်း
(စ) Compressor ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျှော့ချရန်အတွက် subcooling လုပ်ခြင်း နှင့်
(ဆ) Refrigeration system များမှ စွန့်ထုတ်ပစ်ရမည့်အပူများ(waste heat)ကို ပြန်လည်အသုံးချခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

Condenser များအတွက် စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည့် နည်းလမ်းများမှာ
(၁) Evaporative condenser capacity ပိုများအောင် ပြုလုပ်ခြင်း
(၂) Air cooled condensers များကို water cooled condenser ဖြင့် အစားထိုး လဲလှယ်ခြင်း နှင့်
(၃) Evaporative condenser fans များတွင် VSD တပ်ဆင်မောင်းခြင်း တို့ ဖြစ်သည်။

Evaporator များအတွက် စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည့် နည်းလမ်းများမှာ
(၁) Control evaporator defrost based on demand နှင့်
(၂) Control evaporator fans with VSD တို့ ဖြစ်သည်။

Table 20-1 effect of suction temperature on cycle efficiency

Suction Temperature	**မြင့်တက်ခဲ့လျှင်(Increasing)**	**လျှော့ချနိုင်ခဲ့လျှင်(Decreasing)**
Compressor work	လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။	ပိုများလာလိမ့်မည်။
Refrigerating effect	ပိုများလာလိမ့်မည်။	လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။
COP	ပိုများလာလိမ့်မည်။	လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။

Table 20-2 effect of condensing temperature on cycle efficiency

Condensing Temperature	**မြင့်တက်ခဲ့လျှင်(Increasing)**	**လျှော့ချနိုင်ခဲ့လျှင်(Decreasing)**
Compressor work	ပိုများလာလိမ့်မည်။	လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။
Refrigerating effect	လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။	ပိုများလာလိမ့်မည်။
COP	လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။	ပိုများလာလိမ့်မည်။

အောက်ပါအချက်များသည် chiller performance ကောင်းခြင်း သို့မဟုတ် ညံ့ဖျင်းခြင်းကို ဖြစ်စေနိုင်သည့် chiller အတွင်းပိုင်း(internal)နှင့် သက်ဆိုင်သည့်အချက်များ ဖြစ်သည်။

(က)Refrigerant
(ခ) Capacity controls
(ဂ) Metering device
(ဃ)High approach temperature
(င) Non-condensable gases
(စ) Oil
(ဆ) Oil return system
(ဇ) Motor နှင့်
(ဈ) Transducers၊ sensors and control center တို့ဖြစ်သည်။

အောက်ပါအချက်များသည် chiller performance ၏ ကောင်းခြင်း၊ ညံ့ဖျင်းခြင်း ဖြစ်စေနိုင်သည့် chiller ပြင်ပ (external) အစိတ်အပိုင်းများ သို့မဟုတ် အခြေအနေများ ဖြစ်သည်။

(က)Water pumps
(ခ) Cooling tower
(ဂ) Valves
(ဃ)Terminal unit
(င) Cooling load
(စ) Electrical
(ဆ) Control operation နှင့်
(ဇ) Flow control တို့ဖြစ်သည်။

Chiller performance အပေါ်အကျိုးသက်ရောက်နိုင်သည့် refrigerant နှင့်သက်ဆိုင်သည့် အချက်များ
(က) Chiller အတွင်း၌ refrigerant များ လိုအပ်သည်ထက် ပိုများနေခြင်း(overcharge)
(ခ) Chiller အတွင်း၌ refrigerant များ လိုအပ်သည်ထက် လျော့နည်းနေခြင်း(undercharge)

(ဂ) Chiller အတွင်း၌ refrigerant ထဲတွင် အညစ်အကြေးများနှင့် ရေစိုးရေငွေ့များ ရောနှောနေခြင်း (contamination)

Efficiency နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက် (၄)ချက်

(၁) Suction and discharge pressures

(၂) Capacity control လုပ်နည်း (method)

(၃) Speed နှင့်

(၄) အသုံးပြုထားသည့် refrigerant အမျိုးအစားတို့ ဖြစ်သည်။

Suction Pressure

Refrigeration system ကို ဒီဇိုင်းလုပ်စဉ်က suction pressure ကို သတ်မှတ်ထားသော်လည်း လက်တွေ့ မောင်းသည့်အခါ ဒီဇိုင်းတန်ဖိုးမှ များစွာ ကွာခြားသည်။ Suction pressure နိမ့်ကျခြင်းကြောင့် evaporator temperature နိမ့်ကျသည်။ Suction pressure(psig) မြင့်တက်လာသောကြောင့် specific volume(ft^3/lb) လျော့နည်းသွားပြီး chiller ၏ capacity ပိုများ လာလိမ့်မည်။

(၁) Screw compressor (twin type) များတွင် suction pressure များစွာ ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် operation efficiency အနည်းငယ်သာ ပြောင်းလဲသည်။

(၂) Reciprocating compressor များတွင် suction pressure ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် efficiency များစွာ ပြောင်းလဲသည်။

(၃) Centrifugal compressor များသည် suction pressure ပြောင်းလဲခြင်းကို လက်မခံနိုင်ကြပေ။ Suction pressure အနည်းမျှ ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် ပြဿနာဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် screw နှင့် reciprocating chiller များတွင် control setting များ ပြောင်းလဲပေးခြင်းကြောင့် cooling capacity ပိုများလာနိုင်သည်။ Modification လုပ်ခြင်းကြောင့် cooling capacity ပိုများလာနိုင်သည်။

Discharge Pressure

Discharge pressure ပိုများခြင်းကြောင့် condensing temperature ပိုများသည်။ Compressor မှ ထွက်လာသည့် refrigerant အပူချိန် (discharge temperature)သည် အပူများကို စွန့်ထုတ်(reject heat)သည့် အပူချိန်ဖြစ်သည်။ Condensing medium သို့မဟုတ် condensing temperature 15° ပိုများလာခြင်းကြောင့် (40°F မှ 55°F) capacity 13% ခန့် လျော့နည်း သွားလိမ့်မည်။ Compressor စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု 27% ပိုများသည်။ Discharge pressure သည် refrigeration system များတွင် အလွန်အရေးကြီးသည့်အရာ ဖြစ်သည်။ အထူးသဖြင့် water cooled condenser အတွက် ပို၍ အရေးကြီးသည်။ Discharge gas အပူချိန်ကို နိမ့်ချနိုင်ခြင်းကြောင့် fouling ဖြစ်ခြင်း လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။ Condenser ၌ fouling မဖြစ်ပေါ်ခြင်းကြောင့် အပူကူးပြောင်း(heat transfer)နှုန်းကို မည့်ဖျင်းအောင် ထိန်းထားနိုင်ကာ chiller efficiency အမြဲကောင်းနေလိမ့်မည်။

(၁) Screw compressor များတွင် lubricant cooling system ပုံမှန် အလုပ်လုပ်စေရန်အတွက် refrigerant gas ၏ discharge pressure/temperature ကို နိမ့်နိုင်သမျှနိမ့်အောင် ထိန်းထားရမည်။

(၂) Reciprocating compressor များတွင် အမြင့်ဆုံး discharge pressure/temperature ဖြစ်ပေါ်သည်။

(၃) Centrifugal compressor များတွင် inter-stage cooling ကို အသုံးပြု၍ system pressure/ temperature ကို နိမ့်အောင် ထိန်းထားနိုင်သည်။

Compression Ratio

Compression ratio များလေ compressor သည် ခက်ခဲစွာ အလုပ် ပိုလုပ်ရလေ ဖြစ်သည်။ Chiller ၏ capacity ပိုများလာလေဖြစ်သည်။ Compression ratio လျော့နည်းခြင်းကြောင့် specific volume (ft^3/lb) လျော့နည်းသွားကာ chiller capacity ကျဆင်းသွားလိမ့်မည်။

(၁) Reciprocating compressor များ၏ compression ratios သည် 10 း 1 ဖြစ်သည်။

(၂) Screw compressor များ၏ compression ratio သည် 20 း 1 ဖြစ်သည်။ Screw compressor များကို operating design pressure အတွင်း၌ မည်သည့် discharge pressure တွင်မဆို မောင်းနိုင်သည်။

(၃) Centrifugal compressor များ၏ compression ratio သည် 3း1 ဖြစ်သည်။ Suction သို့မဟုတ် discharge pressure ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် hunting သို့မဟုတ် surging ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Water chiller များတွင် evaporator အတွင်း၌ စီးဆင်းနေသည့် refrigerant flow rate ကို control လုပ်၍ capacity control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ အသုံးပြုထားသည့် compressor အမျိုးအစားနှင့် တခြား အချက်များ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Centrifugal chiller များ၌ guide vane သည် လုံးဝ ပိတ်သည့် အခြေအနေသို့ရောက်လေ efficiency ညံ့ဖျင်းလေ ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် loading(%) နည်းလေ efficiency ညံ့ဖျင်းလေ ဖြစ်သည်။

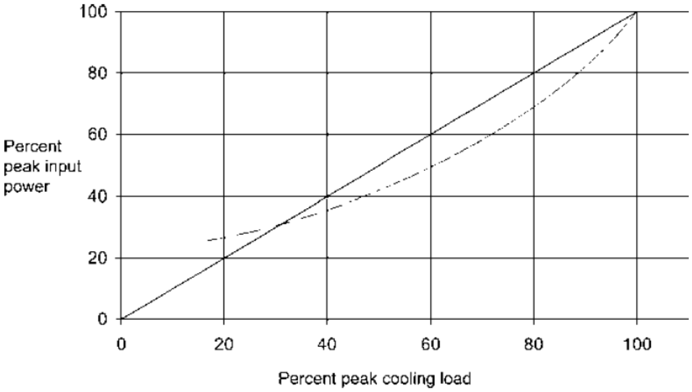
Positive displacement compressor များတွင် lift သည် မြန်နှုန်း(speed)နှင့် မသက်ဆိုင်ပေ။ တစ်နည်းအားဖြင့် positive displacement compressor သည် မည်သည့်မြန်နှုန်းဖြင့် မောင်းနေပါစေ တူညီသည့် lift ပမာဏကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Centrifugal compressor များတွင် speed control နှင့် inlet guide vane ကို တွဲ၍ အသုံးပြုသည်။ Variable speed screw compressor များတွင် speed control နှင့် slide valve ကို တွဲ၍ အသုံးပြုထားသောကြောင့် မည်သည့် operating condition တွင်မဆို စွမ်းအင်လျှော့ချနိုင်မှု အများဆုံး(maximum energy reduction) ရရှိနိုင်သည်။ မြန်နှုန်း(speed)နှင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption)သည် သုံးထပ်ကိန်းဖြင့် စပ်ဆက်နေသောကြောင့် မြန်နှုန်း(speed) အနည်းငယ် လျှော့ချလိုက်ရုံဖြင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) များစွာ လျော့နည်းသွားနိုင်သည်။

Lift မြင့်မြင့်(high compression ratio)လိုအပ်သည့် လုပ်ငန်းများတွင် cooling load လျော့နည်းသွားသော်လည်း လိုအပ်သည့် lift ပမာဏ မပြောင်းလဲသောကြောင့် variable speed screw chiller များသည် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သည်။ ဥပမာအားဖြင့် ပူအိုက်စိုစွတ်သည့်ရာသီဥတု(hot and humid climate)မျိုးတွင် ပြင်ပအပူချိန်(outdoor air temperatures dry bulb/wet bulb) အမြဲတမ်း မြင့်နေသော်လည်း cooling load ပြောင်းလဲနိုင်သည်။ Variable speed screw chiller များသည် 10% မှ 20% ပို၍ efficient ဖြစ်သည်။ 85°F entering condenser water ကို အခြေခံ၍ နှိုင်းယှဉ်လျှင် variable speed centrifugal chiller များသည် constant centrifugal chiller များထက် efficiency ပိုကောင်းသည်။

Table 20-3 စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည့်နည်းများ နှင့် ရရှိနိုင်သည့် ပမာဏ

	Method	Potential Saving (Energy)
(၁)	Use of electronic expansion valves	20%
(၂)	VSD on motors	20%
(၃)	VSD on evaporator and condenser vans	2–3% of total refrigeration costs
(၄)	Evaporator pressure regulators	2.5% greater compressor capacity for each degree of saturated suction temperature
(၅)	Evaporator pressure regulators	2% for each degree increase in saturated suction temperature
(၆)	Reduced temperature lift	3–4% improvement for 1°C reduction
(၇)	Conversion from liquid injection oil cooling to external oil coolers	Over 3%
(၈)	Refrigeration system replacement if older than 10 years	Up to 30–40%
(၉)	Refrigerant selection	3–10%

Rotary compressor chiller များ၌ cooling load လျော့နည်းသည့်အခါ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) လျော့နည်းသွားသည်။ ပုံ(၂၀-၁)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း chiller များသည် efficient ဖြစ်စွာ မောင်းနိုင်သည်။ 40% နှင့် 80% load အတွင်း၌ efficiency အကောင်းဆုံးဖြစ်သည်။ Gas flow rate လျော့နည်းသွားသော်လည်း အပူကူးပြောင်းနိုင်သည့်မျက်နှာပြင်(heat exchange surface)ဧရိယာအပြည့် ရရှိသောကြောင့် cooler နှင့် condenser တို့၌ heat transfer efficiency ပိုကောင်းကာ chiller efficiency ပိုကောင်းခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂၀-၁ Typical rotary compressor part load performance

Table 20-4 တွင် input power နှင့် chilled water supply temperature တို့ ဆက်စပ်နေပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Chilled water supply temperature 44°F သည် AHRI standard ဖြစ်သောကြောင့် compressor input power ကို 0% အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Chilled water supply temperature မြင့်လာလေ input power လျော့နည်းလေ ဖြစ်သည်။

Table 20-4 Rotary chiller input power as a function of chilled water supply temperature

Leaving chilled water temperature (°F)	Compressor input power (approx. % change)
41°F	+7%
42°F	+5%
43°F	+2%
44°F	0%
45°F	-2%
46°F	-6%
47°F	-8%
48°F	-12%
49°F	-16%

Electric drive rotary chiller များတွင် compressor တစ်လုံးတည်းသာ(single compressor) တပ်ဆင်ထားလေ့ ရှိသည်။ သို့သော် dual compressor chiller သို့မဟုတ် multiple single compressor တပ်ဆင်ထားသည့် chiller များကိုလည်း တွေ့မြင်နိုင်သည်။

Dual compressor chiller များတွင် compressor တစ်လုံးချင်းစီ၏ capacity သည် rated capacity ၏ 50% ဖြစ်သည်။ Design load ၏ 50% မှ 100% အတွင်း compressor နှစ်လုံး မောင်းရန် လိုအပ်သည်။ Load သည် 50% ထက် လျော့နည်းသွားလျှင် compressor တစ်လုံးကို ရပ်နားထားပြီး ကျန် compressor တစ်လုံးဖြင့် မောင်းနေလိမ့်မည်။ ဤ configuration ၏ အားသာချက်မှာ operating point သည် 15% of full load (30% of 50%) ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် chiller full load capacity ၏ 15% အထိ efficient ဖြစ်စွာ မောင်းနိုင်သည်။

Negative pressure chiller များသည် positive pressure chiller ထက် ပို၍ efficiency ကောင်းသည်။ Negative pressure chiller များ၏ peak load efficiency သည် 0.5 kW/ton ထက် ပိုကောင်းနိုင်သည်။ Positive pressure chiller များ၏ efficiency သည် 0.55 kW/ton ခန့် ရရန် ခက်ခဲသည်။ Positive pressure chiller များသည် အရွယ်အစား သေးငယ်ပြီး ပေါ့ပါးသောကြောင့် စက်ခန်းကျဉ်းကျဉ်းအတွင်း၌ တပ်ဆင်နိုင်သည်။

Negative pressure chiller များ၏ အစဦး ကုန်ကျစရိတ်(first cost)သည် positive pressure machine များထက် ပိုများသည်။

TABLE 20-5 chiller efficiency and estimated energy cost

Electrical input (kW/ton)	Heat input (Mbh/ton)	Cost* ($/ton-hr)	COP	Application/compressor type
—	18.5	0.114	0.67	Single stage absorption
—	14.1	0.087	0.85	Two stage absorption
—	12.0	0.074	1.0	Direct-fired absorption
	12.0	0.074	1.0	Engine-drive reciprocating
	7.5	0.046	1.6	Engine-drive screw
	6.3	0.039	1.9	Engine-drive centrifugal
1.2	—	0.086	2.9	Air-cooled pos disp
1.0	—	0.072	3.5	Air-cooled rotary
0.8	—	0.058	4.4	Water-cooled rotary
0.7	—	0.500	5.0	Water-cooled rotary
0.6	—	0.043	5.8	Water-cooled rotary
0.5	—	0.036	7.0	Water-cooled rotary
0.4		0.029	8.8	Water-cooled rotary

* Based on year 2000 U.S. average commercial energy costs: Electricity, $0.072/kWh; Natural Gas, $0.616/therm (100,000 Btu).

၂၀.၂ Single Stage Chiller

Optimum efficiency အမြဲ ရရှိနေရန်အတွက် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance)များ ဂရုတစိုက် ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Part load efficiency သည် compressor နှင့် chiller design အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Impeller ပေါ်တွင် သက်ရောက်နေသည့် အား(stress)သည် tip speed ၏ နှစ်ထပ်ကိန်း(square)နှင့် ညီမျှသည်။ Rotational speed သည် impeller အရွယ်အစား(diameter) ဒီဇိုင်းလုပ်ရာတွင် ထည့်သွင်းရသည့် အချက်တစ်ခု ဖြစ်သည်။ Centrifugal compressor များ၏ impeller ကို ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရာတွင် fundamental parameter နှစ်ခုဖြစ်သည့် impeller အရွယ်အစား(diameter) နှင့် impeller tip speed ကို အခြေခံရသည်။ Impeller အရွယ်အစား(diameter)သည် လိုအပ်သည့် ထုထည်စီးနှုန်း(volume flow rate)အပေါ်တွင်မူတည်သည်။ HCFC-123 ကို အသုံးပြုထားသည် negative pressure machine တွင် စီးနှုန်း(flow rate)များများ ရရန် လိုအပ်သောကြောင့် impeller အရွယ်အစား(diameter) ကြီးမားသည်။

Refrigerant line တွင် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) လျော့နည်းအောင် ကြီးမားသည့် ပိုက်ကို အသုံးပြုသည်။ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကြောင့် refrigeration capacity လျော့နည်းပြီး စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု ပိုများ လာနိုင်သည်။ HFC-134a ကို အသုံးပြုသည့် positive pressure machine များတွင် လိုအပ်သည့် gas flow rate နည်းသောကြောင့် သေးငယ်သည့် impeller နှင့် gas line ကိုသာ အသုံးပြုကြသည်။ HCFC-123 များအတွက်

လိုအပ်သည့် gas flow သည် (gas flow rate in cfm per ton) HFC-134a ထက် (၆)ဆခန့် ပိုများသည်။ AHRI standard အရ one refrigeration ton ရရှိရန်အတွက် HCFC-123 gas flow rate 18.1 cfm (8.54 l/sec) လိုအပ်သည်။ HFC-134a ကို အသုံးပြုလျှင် 3.2 cfm (1.5 l/sec) per ton သာ လိုအပ်သည်။

Wheel eye diameter သည် အဓိကအချက်(major factor)ဖြစ်သည်။ Wheel eye diameter ကို အခြေခံ၍ overall impeller အရွယ်အစား(diameter)နှင့် geometry ကို ဒီဇိုင်းလုပ်ရသည်။ Centrifugal equipment ဒီဇိုင်နာများ သတိပြုသင့်သည့် အချက်မှာ tip speed လိုအပ်ချက်(requirement) ဖြစ်သည်။ လုံလောက်သည့် ဖိအားကွာခြားချက်(pressure difference) သို့မဟုတ် "lift" ရရှိရန် အတွက် centrifugal impeller များကို သင့်လျော်သည့် "tip speed" ဖြင့် မောင်းရမည်။ Tip speed သည် impeller ထိပ်ဖျား၏ အလျင်(velocity of the "tip" of the impeller) ဖြစ်သည်။

Refrigerants HCFC-123 နှင့် HFC- 134a အတွက် tip speed သည် 670 မှ 700 ft/sec (204 to 213 m/sec) အတွင်း ဖြစ်သည်။ Impeller angular velocity (rpm)သည် impeller diameter နှင့် သက်ဆိုင်သည်။ လိုအပ်သည့် gas flow rate ရရှိရန်အတွက် negative pressure impeller များသည် positive pressure machine ထက် ပိုကြီးမားခြင်း ဖြစ်သည်။

Diameter နှင့် tip speed တို့၏ ဆက်သွယ်ချက်ကို အောက်ပါညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$\boldsymbol{RPM = \frac{[Tip\,Speed(fps) \times 229.2]}{Diameter(in.)}}$$

$$\boldsymbol{RPM = \frac{[Tip\,Speed(m/s) \times 1910]}{Diameter(cm)}}$$

လိုအပ်သည့် မြန်နှုန်း(speed) ရရှိရန် သေးငယ်သည့် impeller ကို အပတ်ရေ(rpm) များများဖြင့် လည်ပတ်ရန် လိုအပ်သည်။ Impeller များတွင် tip speed တူညီလျှင် သက်ရောက်ခြင်းခံရသည့် အား(stress)များ တူညီကြသည်။

Impeller shaft static ၊ rotational နှင့် torsional load များကို ခံနိုင်သည့် အရွယ်အစား ဖြစ်ရမည်။ Impeller အရွယ်အစား ကြီးမားလျှင် shaft အရွယ်အစား ကြီးမားရန် လိုအပ်သည်။ Impeller နှင့် shaft တို့၏ အရွယ်အစားပေါ်တွင် မူတည်၍ ဘယ်ရင်(bearing)ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်း၊ ရွေးချယ်ခြင်း ပြုလုပ်ကြသည်။ ဘယ်ရင်ဒီဇိုင်း (bearing design)၏ အဓိက အချက်များမှာ

(၁) Load per unit of bearing area
(၂) Relative velocity of the two bearing surfaces
(၃) Bearing dimensions နှင့်
(၄) Viscosity of the lubricating oil တို့ ဖြစ်သည်။

Bearing surface velocity သည် inner bearing surface ၏ tip speed သို့မဟုတ် shaft ဖြစ်သည်။

၂၀.၃ Low Delta T ဖြစ်ပေါ်စေသည့် အဓိက အကြောင်းများ (Major Causes)

(၁) Dirty coils
(၂) Controls calibration
(၃) Leaky 2 way valves နှင့်
(၄) 3 Way valves at end of index circuit တို့ ဖြစ်သည်။

၂၀.၃.၁ Chilled Water – Low Delta T Syndrome

Chilled water ကို efficient ဖြစ်အောင် (အကျိုးရှိအောင်) အသုံးမချနိုင်သောကြောင့် low ΔT syndrome ဖြစ်ပေါ်သည်။ Plant များတွင် ဒီဇိုင်း return water temperature ထက် လက်ရှိ chilled water return temperature က ပိုနိမ့်သောကြောင့် ΔT တန်ဖိုး လျော့နည်းခြင်း ဖြစ်သည်။

Low ΔT syndrome ဖြစ်ရသည့် အကြောင်းများမှာ

(၁) Coil နှင့် control valve ရွေးချယ်မှု(selection) မှားယွင်းခြင်း

လိုအပ်ထက် ပိုကြီးသည့်(oversized) coil သို့မဟုတ် လိုအပ်ထက်ပိုသေးငယ်သည့်(undersized) coil များကြောင့် နေထိုင်သူများ သက်သာ(occupant comfort) ဖြစ်ရန် ခက်ခဲသည်။ Chilled water temperature နှင့် design temperature မကိုက်ညီခြင်း(mismatched) ဖြစ်ပေါ် သည်။

(၂) Cooling coil ၏မျက်နှာပြင် ညစ်ပတ်နေခြင်း(dirty coils)

Coil ၏ overall heat transfer capacity ကျဆင်းခြင်းကြောင့် control system မှ two-way control valve များကို လိုသည်ထက် ပိုဖွင့်ပေးသည်။ ထို့ကြောင့် chilled water စီးနှုန်း လိုအပ်သည်ထက် ပိုများက return water temperature နိမ့်ကျသွားသည်။

(၃) Cooling coil ၌ laminar coil ဖြစ်ပေါ်ခြင်း

Cooling coil ၌ laminar coil ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် overall heat transfer capacity ကျဆင်းသွားသည်။

(၄) ဒီဇိုင်း အခြေအနေနှင့် လက်ရှိမောင်းနေသည့် အခြေအနေတို့ မကိုက်ညီခြင်း (mismatched design condition)

System component များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်းကြောင့် မတူညီသည့် chilled water ΔT return water temperature လျော့နည်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။ Chilled water ΔT နှင့် cooling coil ΔT တို့ မကိုက်ညီခြင်း။

(၅) Three-way control valve များကို အသုံးပြုထားခြင်း

Three-way control valve များကို အသုံးပြုထားလျှင် part load အခြေအနေ၌ bypass ဖြစ်ခြင်းကြောင့် chilled water coil အတွင်းသို့ စီးဝင်သည့် return water temperature ကျဆင်းသည်။

(၆) အလွန်နိမ့်သည့် supply air temperature setpoint သတ်မှတ်ထားခြင်း

Supply air temperature setpoint သည် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့်ထက် ပိုနိမ့်သည့် control လုပ်ရန် ခက်ခဲပြီး return water temperature နိမ့်ကျခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။

(၇) System differential pressure သည် valve shut-off ထက် ပိုများခြင်း

Control valve များကို over ride လုပ်၍ ဖွင့်ခြင်း(open)ကြောင့် coil အတွင်းသို့ လိုအပ်သည်ထက် ပိုများသည့် chilled water များ ဝင်ရောက်လာပြီး system flow ပိုများကာ return water temperature နိမ့်ကျခြင်း ဖြစ်စေသည်။

(၈) Coil piping configuration မကောင်းခြင်း

Cooling coil ၌ water နှင့် air counter flow ဖြစ်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်သင့်သည်။ Control flow မဖြစ်လျှင် cooling coil ၏ heat transfer efficiency ကျဆင်းသွားလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် chilled water return temperature နိမ့်ကျနိုင်သည်။

(၉) Chilled water supply နှင့် return ရောနှောခြင်း(mixing)

Primary-secondary system များ ၌ part load condition အခြေအနေတွင် primary loop အတွင်း၌ လည်ပတ်နေသည့် ရေပမာဏသည် secondary loop တွင် လည်ပတ်နေသည့် ရေပမာဏထက် ပိုများသည့်အခါ chilled water supply ဘက်မှ ရေများ chilled water return ဘက်သို့ bypass လိုင်း သို့မဟုတ် de-coupler ပိုက်မှ တစ်ဆင့် စီးဆင်းနေခြင်း ဖြစ်သည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် low ΔT syndrome ဖြစ်ပေါ်ရသည့် အဓိက အကြောင်းများသည် building operation နှင့် သက်ဆိုင်သည်။ Chilled water plant operator က control လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ သို့သော် chilled water pumping scheme နှင့် design configuration တို့က low ΔT အပေါ်တွင် အကျိုးသက်ရောက်စေနိုင်သည်။

Table 20-6

ပြဿနာဖြစ်ပေါ်ရသည့် အကြောင်းများ	ဖြေရှင်းနိုင်သည့် နည်းလမ်းများ
Improper set point of supply air	Check set points regularly, lock set points when possible
Use of 3-way valves	Don't use 3-way valves
Improper coil selection	Select coil delta T same as chiller delta T
Improper control valve selection	Select valve with correct Cv
Improper control valve selection	Select actuator for positive shut off of valve
No control valve interlock	Interlock control valve to close when AHU is shut off
Improperly piped coils	Pipe coils in counter flow arrangement
Improper tertiary connection and control	Design connection and controls to maintain proper delta T

Low ΔT syndrome ဖြစ်ပေါ်ပုံကို ဥပမာအဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။ တက္ကသိုလ်ကျောင်းဝန်း(university campus)တစ်ခု၏ chilled water plant တစ်ခုတွင် 3,000-ton electric motor driven centrifugal chiller များ တပ်ဆင်ထားသည်။ ဒီဇိုင်း chilled water supply temperature သည် 42°F ဖြစ်ပြီး chilled water return temperature သည် 54°F(12°F ΔT) ဖြစ်သည်။ စီးနှုန်း(Flow rate) သည် 6,000 gallons per minute (gpm) ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ plant သည် cooling load 6,000 tons ရအောင် မောင်းပေးရန် လိုအပ်လျှင် building ရှိ AHU/FCU များ၏ efficiency ညံ့ဖျင်းမှုကြောင့် chilled water return temperature သည် 50°F(8°F ΔT) အထိ ကျဆင်းသွားသည်။ Constant flow ဖြင့် မောင်းနေသောကြောင့် chiller တစ်လုံးချင်းစီ၏ evaporator အတွင်း၌ 6,000 gpm စီးဆင်းနေသည်။ Return water temperature သည် မည်သည့် အပူချိန်ဖြစ်ပါစေ၊ capacity သည် evaporator flow rate နှင့် temperature differentialတို့ နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုး(directly proportional) ကျသည်။ Return water temperature သည် 50°F ဖြစ်လျှင် chiller တစ်လုံးချင်းစီ၏ capacity လျော့နည်း သွားမည်။

$$\boldsymbol{Capacity\ (RT)} = \frac{\mathbf{500\ \times\ GPM\ \times\ \Delta T(^{\circ}F)}}{\mathbf{12000\ Btu \cdot h/ton}}$$

Chiller တစ်လုံးချင်းစီသည် rated capacity မှ သုံးပုံတစ်ပုံ [one-third] (4°F/12.0°F) သို့မဟုတ် 1,000 tons လျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် 3000 RT chiller သည် 2,000 tons သာ ထုတ်ပေးနိုင်လိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် 6000 RT ရရှိရန်အတွက် 3000 RT သုံးလုံး မောင်းပေးရန် လိုအပ်သည်။ CHWR temperature နိမ့်ကျလာသည့်အခါ ΔT လျော့နည်းလာခြင်းကြောင့် လိုအပ်သည့် cooling capacity ရရှိရန်အတွက် flow rate မြှင့်တင်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

၂၀.၄ Energy Efficiency

Refrigeration system များတွင် energy efficiency ပိုကောင်းစေနိုင်သည့် နည်းလမ်း(၇)ခုကို ဖော်ပြထားသည်။

(၁) System Lift ကို လျှော့ချခြင်း

Refrigeration system များတွင် "lift" သည် suction pressure နှင့် discharge pressure တို့၏ ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။ Suction pressure မြှင့်တင်ခြင်း သို့မဟုတ် discharge pressure လျှော့ချခြင်းဖြင့် lift နည်းအောင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် compressor efficiency ပိုကောင်းစေနိုင်သည်။

(၂) Part Load Performance ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်း

System အများစုတွင် evaporator ၊ compressor နှင့် condenser တို့သည် အချိန်တိုင်းလိုလို full capacity ထက် နိမ့်သည့် အခြေအနေတွင် မောင်းနေကြသည်။ Capacity control လုပ်နိုင်သည့်နည်းများစွာ ရှိသည့် အနက် efficient ပိုကောင်းစေမည့်နည်းများကို အသုံးပြုသင့်သည်။

(၃) Equipment များ လဲလှယ်ခြင်း၊ ပိုကောင်းအောင်ပြုလုပ်ခြင်း (Upgrading)

မော်တာများ ၊ condenser များ စသည့် refrigeration equipment များ upgraded လုပ်ခြင်း သို့မဟုတ် လဲလှယ်ခြင်း၊ efficiency ဖြစ်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်းနှင့် configuration လုပ်ခြင်းတို့ ပြုလုပ်သင့်သည်။

(၄) System Design ပိုကောင်းစေမည့်နည်းများကို အသုံးပြုခြင်း

Refrigeration system တစ်ခုကို ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရာတွင် multistage compression ၊ liquid subcooling ၊ defrost configuration နှင့် heat recovery စသည့် energy efficiency ပိုကောင်းစေမည့် အစီအမံ(feature) များကို ထည့်သွင်း အသုံးပြုသင့်သည်။

(၅) Refrigeration Load လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်း

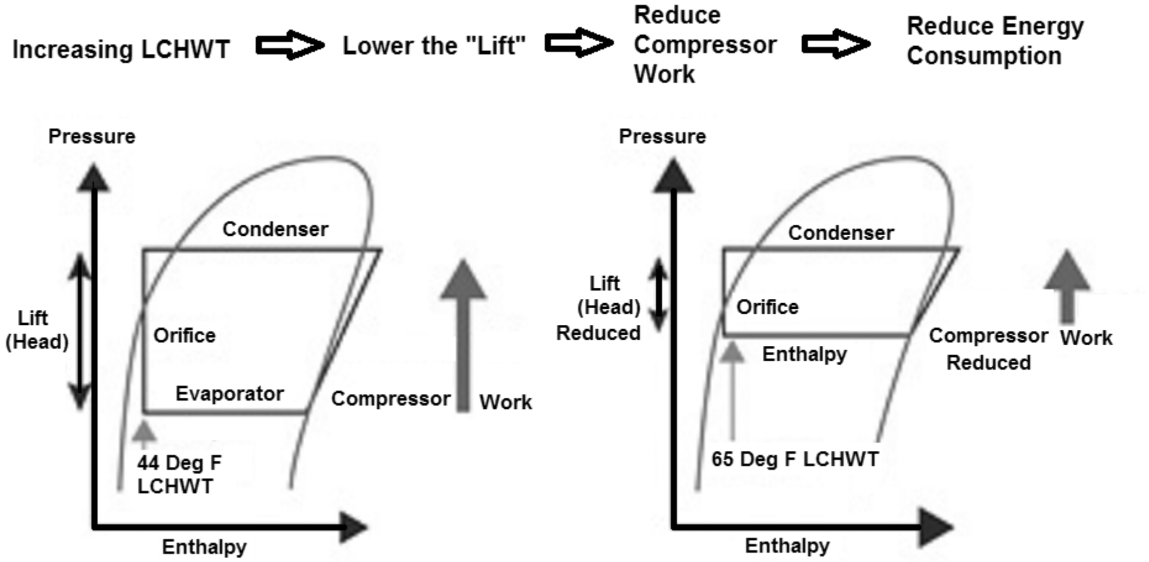
Cooling load လျှော့ချနိုင်သည့်နည်း များစွာ ရှိသည်။ Insulation ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်း၊ ပိုကောင်းသည့် တံခါးများ(doors)ရွေးချယ်တပ်ဆင်ခြင်း နှင့် efficient ဖြစ်သည့် lighting system တပ်ဆင်ထားခြင်း တို့ဖြင့် cooling load လျှော့ချနိုင်ပြီး စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုကို ပိုလျော့နည်းစေနိုင်သည်။

(၆) Commissioning

Commissioning လုပ်ခြင်းသည် စစ်ဆေးခြင်း(inspection) ၊ သုံးသပ်ခြင်း(review) နှင့် setpoint များ ချိန်ခြင်း (adjustment) ၊ control strategies နှင့် equipment feature များ စစ်ဆေးခြင်း၊ ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသည့် အတိုင်း (design intent) အလုပ်လုပ်စေရန် သေချာအောင်ပြုလုပ်ခြင်း၊ original specification များနှင့် ကိုက်ညီစေရန် ဆောင်ရွက်ခြင်း၊ performance နှင့် efficiency ပိုကောင်းစေရန် ပြုလုပ်ခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

(၇) Operation and Maintenance (O&M)

Optimal efficiency ရရှိရန်အတွက် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ အမြဲပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၂၀-၁ Leaving chilled water temperature (LCHWT)ကို မြှင့်တင်ခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့နည်းပုံ

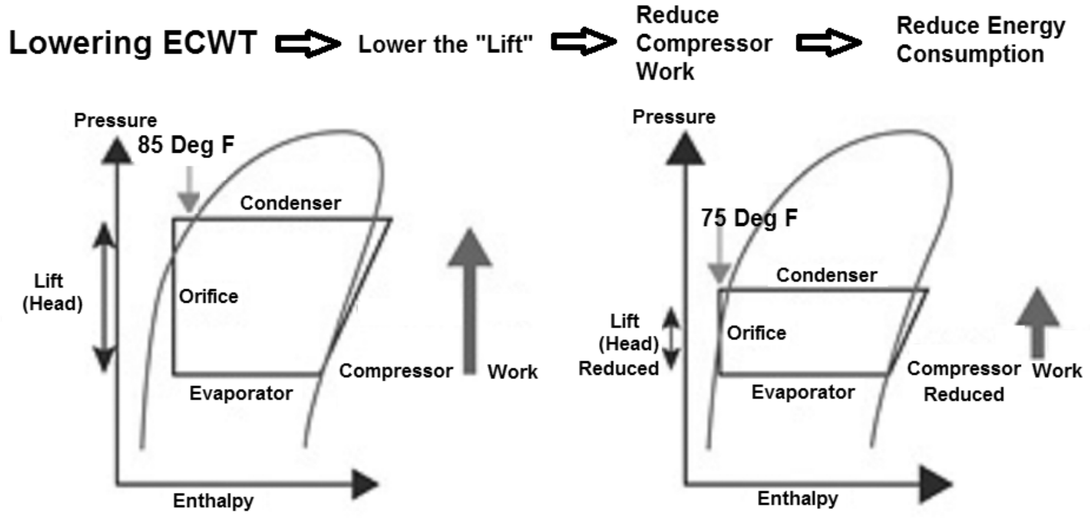
Reducing Lift

Lift နှင့် ပတ်သက်သည့် ယေဘုယျစည်းမျဉ်း သုံးမျိုးရှိသည်။

(၁) Suction pressure မြှင့်တင်ပေးခြင်းဖြင့် compressor capacity ပိုများစေနိုင်သည်။

(၂) Discharge pressure လျှော့ချခြင်းဖြင့် power လျော့နည်းစေနိုင်သည်။

(၃) Suction pressure မြှင့်တင်ပေးခြင်း သို့မဟုတ် discharge pressure လျှော့ချခြင်းဖြင့် BHP/RT (brake horsepower per refrigeration ton) efficiency ပိုကောင်းလာနိုင်သည်။



ပုံ ၂၀-၂ Entering Condenser water temperature (ECWT)ကို နိမ့်ချခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့နည်းပုံ

Raising Suction Pressure မြှင့်တင်ပေးရာတွင် ရင်ဆိုင်ရမည့် အတားအဆီးများ (Barriers)

တချို့သော system သို့မဟုတ် equipment များတွင် suction pressure မြင့်တက်အောင် ပြုလုပ်လိုက်ခြင်းကြောင့် efficiency ပိုကောင်းနိုင်သော်လည်း မလိုလားအပ်သည့် ပြဿနာများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Suction pressure မြင့်တက်လာခြင်းကြောင့် refrigerant flow rate နှင့် velocity ပိုများလာက oil separator တွင် ပြဿနာဖြစ်နိုင်သည်။ Screw compressor ၏ velocity ပိုများလာခြင်းကြောင့် oil separator သည် refrigerant မှ ချောဆီများကို ခွဲထုတ်ပစ်ရန် ခက်ခဲလာလိမ့်မည်။ ထို့ပြင် suction pressure မြင့်တက်လာခြင်းကြောင့် capacity ပိုများပြီး overall efficiency ပိုကောင်းလာနိုင်သော်လည်း compressor ၌ သုံးစွဲသည့် horsepower ပိုများသောကြောင့် ဝန်ပိခြင်း(overload) ဖြစ်နိုင်သည်။ မော်တာတွင် unload လုပ်ရန်အတွက် current limiting device တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ် သည်။ Suction pressure မြှင့်တင်ခြင်း မပြုလုပ်ခင် oil separator ၏ performance နှင့် compressor ၏ မော်တာ အရွယ်အစားကို စစ်ဆေးသင့်သည်။

Reducing Discharge Pressure

"Discharge pressure" ကို "condensing pressure" သို့မဟုတ် "head pressure" ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ Compressor discharge နှင့် condenser တို့ အကြားတွင် အလွန် မြင့်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု မဖြစ်ပေါ်သမျှ ကာလပတ်လုံး အပြန်အလှန် လဲလှယ်ခေါ်ဆိုနိုင်သည်။

Reducing Condensing Pressure

System များအားလုံးတွင် ဖြစ်နိုင်သည့် အနိမ့်ဆုံး condensing pressure ဖြင့် မောင်းသင့်သည်။

Condensing Pressure ကို လျှော့ချနိုင်ခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်မှုအပြင် တခြားရရှိနိုင်သည့် အကျိုးကျေးဇူးများ

(၁) ဖိအား(pressure)နိမ့်သောကြောင့် equipment များတွင် သက်ရောက်ခြင်းခံရသည့်အား(stress) လျော့နည်းသွားသည်။ အထူးသဖြင့် reciprocating compressor များတွင် ပို၍ လျော့နည်းသည်။

(၂) Condensing pressure နိမ့်ခြင်းကြောင့် compressor capacity နှင့် system capacity ပိုများနိုင်သည်။

(၃) Condensing pressure နိမ့်ချထားခြင်းကြောင့် မောင်းနေချိန်တွင်(in operation) အထူးဂရုစိုက် ပြုလုပ်ရန် လိုသည်။

Effect of Reducing Discharge

Refrigeration system များ၌ condensing temperature 1°F လျှော့ချနိုင်ခြင်းကြောင့် efficiency 1% မှ 2% ပိုကောင်းလာနိုင်သည်။ အမှန်တကယ် ချွေတာနိုင်သည့် စွမ်းအင်ပမာဏသည် compressor မောင်းနေသည့် pressure ratio အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Minimum Condensing Pressure versus Approach

"Minimum allowable condensing pressure" နှင့် "approach" ကို ရှင်းလင်းကွဲပြားစွာ သဘောပေါက်သင့်သည်။ Discharge pressure လျှော့ချခြင်းနှင့် ပတ်သက်၍ လွဲမှားသည့် အယူအဆ(common misconception) ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။

Reducing Condenser Approach

Condenser approach temperature ကို လျှော့ချခြင်းသည် condensing pressure ကို လျှော့ချနိုင်သည့် နည်းလမ်းတစ်ခု ဖြစ်သည်။ Condenser capacity ပိုများစေနိုင်သည်။ Energy consumption လျော့နည်းစေနိုင်သည်။ Outdoor condition ကို လိုက်၍ လျှော့ချနိုင်သည်။ အပြင်ပအပူချိန်(outdoor temperature)သည် ရာသီဥတု(season) နှင့် တည်နေရာ(geographical location)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲသည်။

Refrigeration system သည် minimum allowable condensing pressure set point ထက် ပိုမြင့်သည့် အပူချိန်တွင် မောင်းနေလျှင် condensing temperature သည် ambient wet bulb temperature ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲ နေသည်။ ပိုများလာသည့် condenser capacity ကြောင့် approach လျှော့ချပေးနိုင်သည်။ Wet bulb temperature နှင့် condensing pressure ကျဆင်းခြင်းကြောင့် compressor ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy use) လျော့နည်းသွားသည်။

System ကို ခွင့်ပြုထားသည့် အနိမ့်ဆုံး(minimum allowable) condensing pressure ၌ မောင်းနေချိန်တွင် condenser capacity ပိုများလာသောကြောင့် ဖိအား(pressure)ထပ် မကျနိုင်တော့ပေ။ Condenser system များ၌ VSD ၊ step fan motor စသည်တို့ကို အသုံးပြု၍ capacity လျှော့ချနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် condenser အတွက် အသုံးပြုရမည့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့နည်းစေနိုင်သည်။

> ပိုကြီးသည့် condenser များကို ရွေးချယ်သည့်အခါ air velocity၊ air pressure drop နှင့် fan power တို့ထက် အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer)ဖြစ်ပေါ်မည့် မျက်နှာပြင် ဧရိယာ(surface area)ပိုများသည့် condenser များကို ဦးစားပေး ရွေးချယ်သင့်သည်။

လက်တွေ့အခြေအနေများတွင် condenser များသည် သတ်မှတ်ထားသည့် performance ထက် လျော့နည်းသည်။ Design rating ကြောင့် condenser rating၊ heat rejection load၊ saturated condensing temperature နှင့် ambient wet-bulb temperature အပေါ်တွင် အခြေခံ၍ condenser များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ကြပြီး၊ ထိုအချက်များမှ လွဲချော်ခဲ့လျှင် သို့မဟုတ် သွေဖီခဲ့လျှင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့်အတိုင်း မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။

သတ်မှတ်ထားသည့် performance ထက် လျော့နည်းခြင်း(under perform)ကို ဖြစ်စေသည့်အချက်များမှာ

(၁) Condenser များတွင် လေဝင်လေထွက် မကောင်းခြင်း၊ နေရာအကွာအဝေး(spacing) မမှန်ခြင်း ၊ proximity to steam သို့မဟုတ် တခြားသော humidity source များရှိနေခြင်း

(၂) ပိုက်အရွယ်အစားသေးငယ်ခြင်းကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) များခြင်း၊ condensation ဖြစ်ပေါ်မည့် မျက်နှာပြင် ဧရိယာ(surface area)နည်းခြင်းနှင့် refrigerant အတွင်း၌ non-condensable gas များရှိနေခြင်း

(၃) ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance) မလုံလောက်ခြင်း၊ ဥပမာ- tube အတွင်း scaling ဖြစ်ပေါ်ခြင်း၊ refrigerant

အတွင်း၌ non-condensable gas များရှိနေခြင်း၊ ရေပန်းများ(spray)ကောင်းစွာအလုပ်မလုပ်ခြင်း၊ ဘဲလ်ကြိုးများချော်နေခြင်း(belt slippage)၊ ရေဖိအား(water pressure) မလုံလောက်ခြင်း နှင့် drift eliminator ၌ ပိတ်ဆို့နေခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

Reducing Minimum Condensing Pressure

Refrigeration system တစ်ခုကောင်းစွာ ပုံမှန်လည်ပတ်နေနိုင်သည့် အနိမ့်ဆုံးဖိအားသည် ခွင့်ပြုထားသည့် အနိမ့်ဆုံး(minimum allowable) condensing pressure ဖြစ်သည်။ Compressor limitations၊ liquid transfer issues နှင့် defrost စသည့် တခြားသော အချက်အလက်များသည် minimum allowable pressure အပေါ် အကျိုးသက်ရောက် နိုင်သည်။

Condensing pressure သည် ရာသီဥတု အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပြင်ပအပူချိန်(outdoor air temperature)အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ပြင်ပအပူချိန်(outdoor air temperature)မြင့်မားသည့် အချိန်တွင် အနိမ့်ဆုံး condensing pressure ရရှိရန် ခက်ခဲသည်။ Refrigeration system များတွင် အနိမ့်ဆုံး ဖိအား(minimum pressure)သည် 80 psig မှ 90 psig အတွင်းဖြစ်သည်။ အလွန် နိမ့်သည်။ ရရှိရန် ခက်ခဲသည့် အနိမ့်ဆုံး ဖိအား(minimum pressure)ဖြစ်သည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။

၂၀.၅ Chiller Efficiency ကောင်းစေမည့် နည်းများ

၂၀.၅.၁ Chilled Water Reset

Chiller များ၏ စံ(AHRI standard အရ) chilled water leaving temperature သည် 6.7°C ဖြစ်သည်။ 6.7°C ကို အခြေခံ၍ AHU များ၏ cooling coil များအရွယ်အစား(size)ကို ရွေးချယ် တပ်ဆင်ထားသည်။ အပူဆုံးနှင့် စိုထိုင်းမှု အများဆုံး အချိန်အတွက်သာ chilled water leaving temperature သည် 6.7°C ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။

သို့သော် မိုးအုံ့သောနေ့များ(cloudy days) ၊တိမ်ထူထပ်သောနေ့များ၊ မိုးရွာသောနေ့များ နှင့် ပြင်ပ အပူချိန် နိမ့်သည့် နေ့များအတွက် chilled water leaving temperature သည် 6.7°C ဖြစ်ရန် မလိုအပ်ပေ။ ထိုကဲ့သို့ အခြေအနေမျိုးတွင် chilled water leaving temperature set point ကို 6.7°C ထက် ပို၍ မြင့်တင်ထားခြင်းဖြင့် chiller efficiency ပို ကောင်းစေနိုင်သည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုလျှော့နည်း(energy saving) စေနိုင်သည်။ နိမ့်သော chilled water leaving temperature ရရှိရန်အတွက် chiller ၏ evaporator အတွင်း၌ refrigerant ဖိအား နိမ့်နိမ့်သာ လိုအပ် သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ နိမ့်သော refrigerant pressure ဖြစ်ရန်အတွက် chiller ၏ compressor သည် ပို၍ မြင့်မားသော refrigerant differential pressure ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် compressor အတွက် work input ပိုလိုအပ်သည်။

အကြမ်းဖြင်းအားဖြင့်(rule of thumb) chilled water leaving temperature ကို 1.0°C မြှင့်လိုက်တိုင်း compressor မော်တာ၌ 2% စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving) ဖြစ်နိုင်သည်။ အသေးစိတ်နားလည်ရန် အတွက်

chiller တစ်လုံး အလုပ်လုပ်ပုံကို အသေးစိတ် နားလည် သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်သည်။

Outdoor temperature နှင့် RH (%) ကို လိုက်၍ chilled water leaving temperature setpoint ပြောင်းလဲပေးခြင်းကို "**chilled water temperature reset**" ဟု ခေါ်သည်။ လူကိုယ်တိုက်ရိုက်(manually) reset လုပ်နိုင်သလို BAS system မှတစ်ဆင့် auto reset လုပ်နိုင်သည်။

ဥပမာ- Trane chiller အမျိုးအစား ECV6E 56 (HFC 134a) မှ နံနက် 9:45 am မောင်းနေသည့် data များကို ဖော်ပြထားသည်။ Chilled water set point မှာ 6.7°C ဖြစ်သည်။

Table 20-7

Chilled Water Set Point	6.7°C
Leaving Chilled Water	6.7°C
Entering Chilled Water	10.1
Laving Condenser Water	28.4°C
Entering Condenser Water	30.7°C
Active Control Set Point	100%
Evaporator refrigerant Pressure	254.2Kpa
Condenser refrigerant Pressure	681.2Kpa
Saturated refrigerant Temperature	5.0°C
Condenser refrigerant Temperature	31.7°C
Evaporator Approach Temperature	1.6°C
Condenser Approach Temperature	1°C

Chiller မှ ထွက်လာသည့်ရေအပူချိန်(leaving chilled water temperature) 6.7°C ရရှိရန် အတွက် set point ကို 6.7°C အဖြစ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Leaving chilled water temperature သည် chilled water supply temperature ဖြစ်သည်။

Leaving chilled water သည် 6.7°C ရရန်အတွက် refrigerant temperature သည် 5.0°C ခန့် ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် refrigerant temperature သည် အမြင့်ဆုံး 5.0°C ဖြစ်မှသာ leaving chilled water 6.7°C မှ အပူ(heat)များ refrigerant ဆီသို့ ကူးပြောင်း(transfer) သွားနိုင်လိမ့်မည်။ Evaporator အတွင်း၌ refrigerant ၏ temperature 5.0 ဖြစ်ပေါ်ရန် HFC 134a Refrigerant အမျိုးအစားအတွက် evaporator refrigerant pressure သည် 254.2Kpa ဖြစ်ရမည်။

ကျန်သည့် condenser ဘက်ကို မပြောင်းလဲဟု ယူဆလျှင် leaving chilled water temperature နိမ့်နိမ့်ရရန်အတွက် evaporator refrigerant pressure နိမ့်ရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် compressor မှ ပို၍ အလုပ်လုပ်ရန် လိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် leaving chilled water temperature setpoint အနည်းငယ် မြှင့်တင်လိုက်ပါက evaporator pressure (kPa) အလွန်နိမ့်ရန် မလိုအပ်တော့ပေ။ Compressor သည် အပြင်းအထန် အလုပ် လုပ်ရန် မလိုတော့ပေ။ ထို့ကြောင့် စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving) ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

၂၀.၅.၂ Chiller အတွင်း၌ မှန်ကန်သည့် Refrigerant ပမာဏ ထည့်သွင်းထားခြင်း

Chiller တစ်လုံး အတွင်း၌ သင့်လျော်မှန်ကန်သော refrigerant ပမာဏကို ထည့်ထားရန်(charge လုပ်ထားရန်) အထူး အရေးကြီးသည်။ သတ်မှတ်ထားသော refrigerant ပမာဏထက် လျော့နည်းနေ(under charge)ပါက chiller သည် rated capacity ကို ထုတ်ပေးနိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ 500 RT chiller တစ်လုံးအတွင်း၌ သတ်မှတ် ထားသော refrigerant ပမာဏထက် လျော့နည်းပါက 500 RT မရှိနိုင်ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် 500 RT ရရှိရန် အတွက် လုံလောက်သော refrigerant ပမာဏ chiller အတွင်း၌ မရှိသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

သတ်မှတ်ထားသော refrigerant ပမာဏထက် ပိုများသော refrigerant ပမာဏထည့်သွင်း(over charged) ထားပါက ရသင့် ရထိုက်သော rated efficiency ကို မရရှိနိုင်တော့ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် work input ပိုမို လိုအပ်ပြီး (ပိုများသော refrigerant ပမာဏကို compress လုပ်ရန်အတွက်) တူညီသော refrigeration output ကိုသာ ရရှိသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Head pressure မြင့်တက်လာသောကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) ပိုများလာလိမ့်မည်။

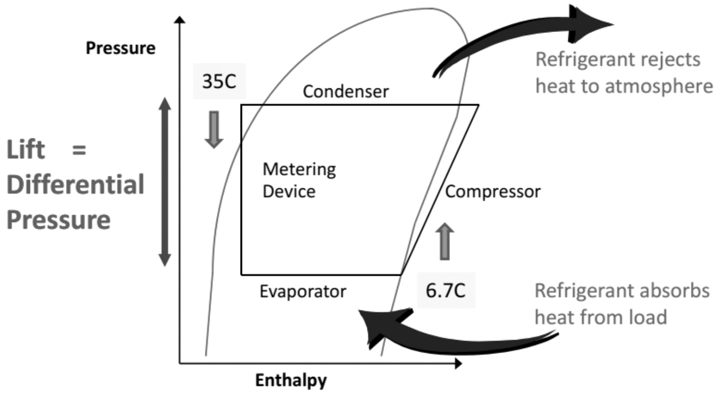
Chiller တစ်လုံးအတွင်း၌ refrigerant ပမာဏ မည့်မျှရှိသည်ကို အတိအကျသိရန် စစ်ဆေးခြင်း ကိစ္စသည် မလွယ်ကူသည့် ကိစ္စဖြစ်သည်။ ခန့်မှန်းမှုမျိုးသာ လုပ်နိုင်သည်။

၂၀.၅.၃ Refrigerant ယိုစိမ့်မှု (Leak) မရှိအောင် ပြုလုပ်ခြင်း

Chiller များ အားလုံး refrigerant ယိုစိမ့်ခြင်း(leak) ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။ Positive suction pressure chiller ဆိုသည်မှာ chiller ၏ suction (condenser) နှင့် discharge (evaporator) pressure နှစ်မျိုး စလုံးသည် လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ထက် ပိုမြင့်သည်။ အနိမ့်ဆုံးဖိအားသည် လေထုဖိအား(atmospheric)ထက် ပိုမြင့်သောကြောင့် positive pressure ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။ Chiller ၏ suction pressure ၌ positive ဖြစ်ခြင်း သို့မဟုတ် negative ဖြစ်ခြင်းသည် ထို chiller တွင် အသုံးပြုထားသော refrigerant အမျိုးအစားပေါ်တွင် မူတည်သည်။ R134a အသုံးပြု chiller သည် positive suction pressure chiller ဖြစ်သည်။ Positive suction pressure chiller သည် chiller အတွင်းမှ refrigerant သည် လေထုအတွင်းသို့ ထွက်သွားခြင်းကို ယိုစိမ့်(leak)သည်ဟု ခေါ်ဆိုသည်။

Chiller အတွင်းရှိ refrigerant များ ယိုစိမ့်ခြင်း(leak)ကြောင့် လိုအပ်သည့် refrigerant ပမာဏ ထက် လျော့နည်းကာ သတ်မှတ်ထားသော(rated) cooling capacity မထုတ်ပေးနိုင်တော့ပေ။ ထို့ကြောင့် လိုအပ်သည် ထက် ပိုများသည့် chiller အရေအတွက် မောင်းရန် လိုအပ်သည်။ ဥပမာ- 300RT chiller သည် refrigerant leak ဖြစ်ခြင်း ကြောင့် 250RT cooling capacity ကိုသာ ပေးနိုင်သည်။ အကယ်၍ 280RT building load လိုအပ်သည့် အချိန်တွင် ထို 300RT chiller တစ်လုံးတည်း မောင်းခြင်းဖြင့် လုံလောက်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

R123 အသုံးပြုထားသည့် chiller များတွင် negative suction pressure chiller ဖြစ်သည်။ ယိုစိမ့်မှု(leak) ဖြစ်လျှင် လေထုအတွင်းမှ လေ(air)များသည် chiller အတွင်းသို့ဝင်ရောက်လာပြီး refrigerant နှင့် ရောနှောသွား ကြသည်။ Chiller အတွင်း၌ လေများ သို့မဟုတ် non condensable များရှိနေခြင်းကြောင့် efficiency နှင့် capacity ကျဆင်းနိုင်သည်။



ပုံ ၂၀-၃ Reduce lift

၂၀.၅.၄ Supply Temperature ကို မြှင့်တင်ခြင်း

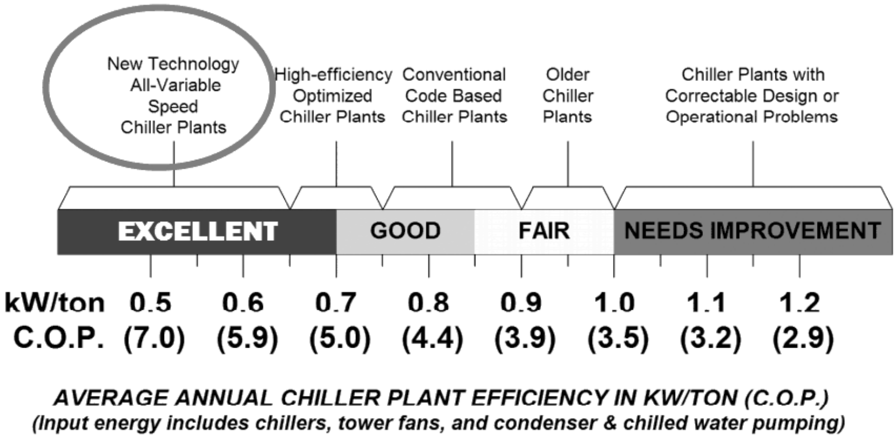
လက်ခံနိုင်သည့် အပူချိန်အထိ chilled water supply temperature မြှင့်တင်ခြင်းကြောင့် evaporating temperature ပိုမြင့်လာပြီး refrigeration efficiency ပိုကောင်းလာလိမ့်မည်။ 6°C chilled water supply temperature ၏ ကုန်ကျစရိတ်သည် 10°C ၏ ကုန်ကျစရိတ်ထက် 10% ခန့် ပိုများသည်။ Chilled water supply temperature မြှင့်တင်ခြင်းကြောင့် chiller efficiency ပိုကောင်းလာသော်လည်း fan coil unit များ၊ distribution system များ၊ terminal unit များ၌ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု အနည်းငယ် ပိုများလိမ့်မည်။

Supply temperature မြှင့်တင်နိုင်သည့်နည်းများ

(၁) ကြီးမားသည့် efficient heat exchanger များကို တပ်ဆင်ခြင်း

(၂) Chilled water သို့မဟုတ် supply air volume flow rate ကို မြှင့်တင်ပေးခြင်းဖြင့် supply temperature မြင့်မြင့်ဖြင့် မောင်းနိုင်သည်။ သို့သော် အရွယ်အစား ကြီးမားသည့် pump နှင့် fan များကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။ Pump နှင့် fan များ ကြီးပေးရန် မဖြစ်နိုင်ပါက pipe နှင့် duct များ၏ အရွယ်အစားကို ကြီးမားအောင် ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည်။

(၃) Evaporator အတွင်းသို့ chilled water စီးနှုန်း(flow) ပိုများစေခြင်းကြောင့် ပန့်အတွက်လိုအပ်သည့်စွမ်းအင် ပိုများလာနိုင်သည်။ ကြီးမားသည့် ပိုက်အရွယ်အစားကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် ကုန်ကျစရိတ် ပိုများလာနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် chilled water supply temperature မြှင့်တင်ခြင်းနည်းသည် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂၀-၄ ASHREAE မှ သတ်မှတ်ပေးထားသည့် annual average chiller plant efficiency (kW/RT)

၂၀.၆ Efficiency နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်များ

(က) Low-temperature လုပ်ငန်းများ(application)တွင် two stage refrigeration သည် single stage ထက် ပို၍ efficient ဖြစ်သည်။ စားသောက်ကုန်လုပ်ငန်း(food processing) နှင့် စားသောက်ကုန် သိမ်းဆည်း (storage)သည့် လုပ်ငန်းများအတွက် ammonia သည် efficient အဖြစ်ဆုံး refrigerant ဖြစ်သည်။

(ခ) Stamped-steel fan blade များသည် efficient မဖြစ်ကြပေ။

(ဂ) Evaporator များတွင် အသုံးပြုသည့် axial fan များသည် centrifugal fan များထက် ပို၍ efficient ဖြစ်ကြသည်။

(ဃ) မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed)ဖြင့် မောင်းသည့် evaporator fan များကို အများဆုံး တွေ့မြင်နိုင်သည်။ မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed)ဖြင့် မောင်းသောကြောင့် စွမ်းအင် ဖြုန်းတီးမှု(waste energy) ဖြစ်ပေါ်သည်။

(င) ယေဘုယျအားဖြင့် ammonia evaporator များသည် recirculated သို့မဟုတ် flooded evaporator များ ဖြစ်ကြသည်။

(စ) Solenoid များ၊ pressure regulator များ နှင့် valve များကောင်းစွာ အလုပ်မလုပ်ခြင်းကြောင့် system efficiency ကျဆင်းနိုင်သည်။

-End-