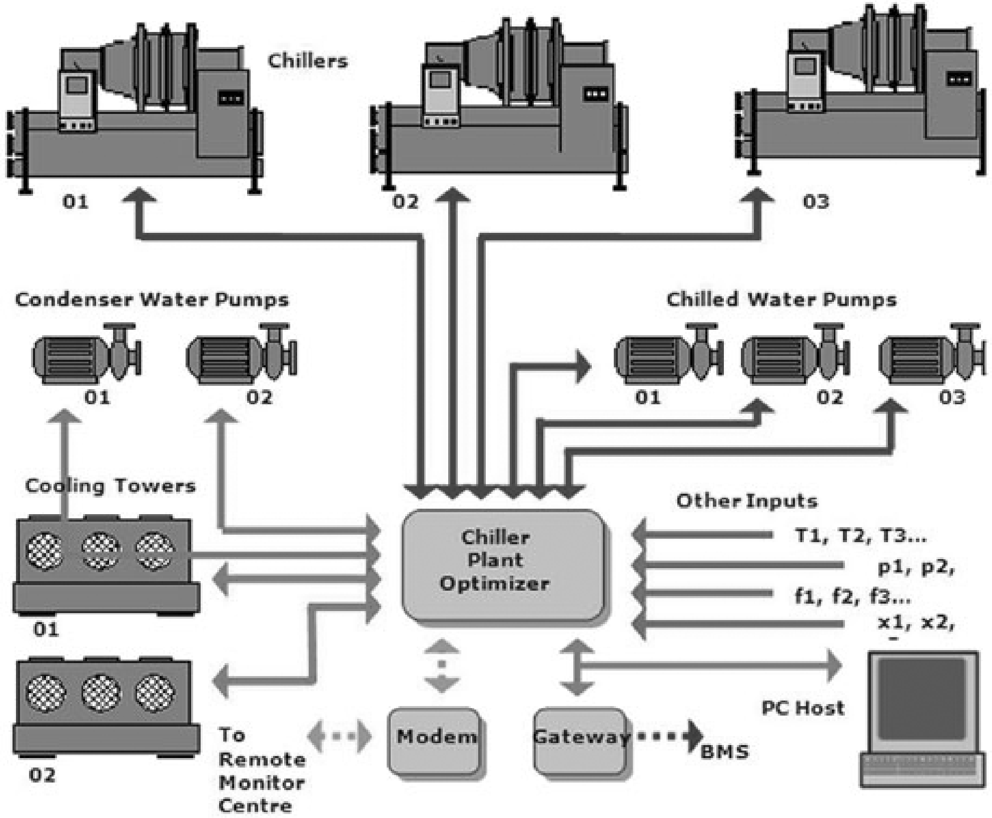
Chapter - 13 Control Strategies

၁၃.၁ Starting Sequence and Shutdown Sequece of Chilled Water Plant

Chilled water plant တစ်ခုတွင် အဓိကအားဖြင့် chiller များ၊ chilled water pump များ၊ condenser water pump များနှင့် cooling tower များ ပါဝင်ကြသည်။ Chilled water plant စတင်မောင်းသည့်အခါ နှင့် ပိတ်သည့်အခါ သတ်မှတ်ထားသည် အစီအစဉ်များတိုင်း ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၁၃-၁ Schematic diagram of chilled water plant

၁၃.၁.၁ Starting Sequence of Chilled Water Plant

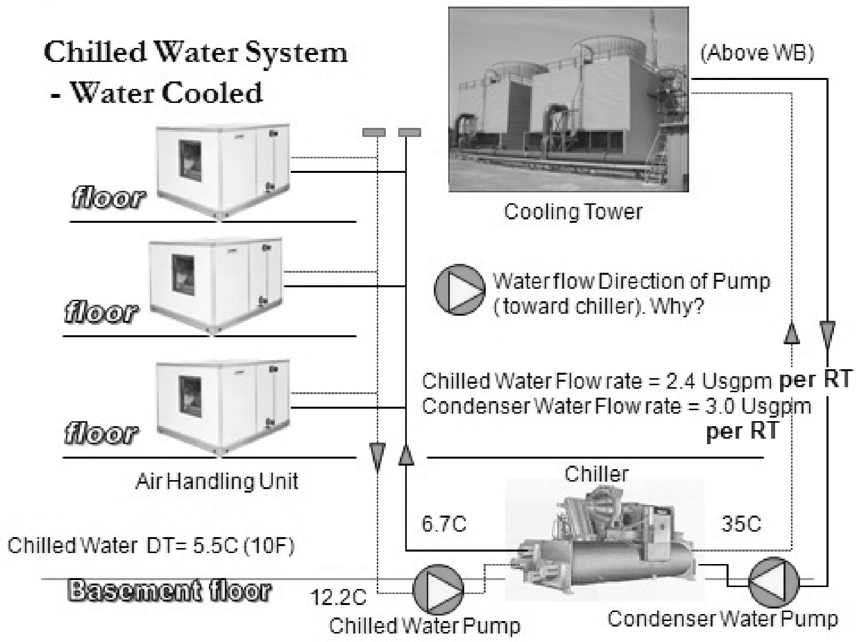
Centralized chilled water plant များကို configuration အမျိုးမျိုးဖြင့် တပ်ဆင်ကြသည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် chilled water plant configuration သုံးမျိုး ရှိသည်။

(၁) Primary only configuration
(၂) Primary and secondary configuration နှင့်
(၃) Variable primary configuration တို့ ဖြစ်သည်။

Water Cooled Chilled Water Plant

Water cooled chiller plant sequencing လုပ်ခြင်းအကြောင်းကိုသာဖော်ပြထားသည်။ Air cooled chilled water plantတွင် cooling tower နှင့် condenser water pump မ,ပါဝင်သောကြောင့် ပို၍ ရှင်းလင်း လွယ်ကူသည်။

Primary only configuration တွင် primary chilled water pump သာပါရှိသည်။ Secondary chilled water pump မပါဝင်ပေ။ Primary and secondary configuration တွင် primary chilled water pump နှင့် secondary chilled water pump နှစ်မျိုးစလုံး ပါဝင်သည်။ Water cooled chiller plant များအားလုံးတွင် condenser water pump ပါဝင်သည်။



ပုံ ၁၃-၂ Water cooled chilled water system schematic

Equipment များ တစ်ခုနှင့် တစ်ခုသော်လည်းကောင်း၊ သက်ဆိုင်သည့် valve များနှင့် သော်လည်းကောင်း interlock လုပ်ထားကြသည်။ Interlock ဆိုသည်မှာ စက်များနှင့် လူများ ဘေးအန္တရာယ်ကင်းဝေးစေရေး(equipment and humam safety)နှင့် electrical လိုအပ်ချက်များ၊ mechanical လိုအပ်ချက်များ အရ တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အပြန်အလှန် ထိန်းချုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ဥပမာ - water cooled chiller တွင် chilled water pump နှင့် condenser water pump မမောင်းဘဲ water cooled chiller ကို မောင်း၍မရအောင် လုပ်ထားခြင်းသည် interlock ဖြစ်သည်။

Interlock လုပ်ရာတွင် hardwire interlock နှင့် software interlock ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ Hardwire interlock ဆိုသည်မှာ control panel တွင် ဝါယာကြိုးဖြင့် သွယ်တန်းပြီး interlock ခြင်း ဖြစ်သည်။ Software interlock ဆိုသည်မှာ မည်သည့် ဝါယာကြိုးကိုမျှ အသုံးမပြုဘဲ DDC controller အတွင်းရှိ program တွင် ထည့်သွင်း ရေးသားထားခြင်း ဖြစ်သည်။

Centralized chilled water plant တစ်ခု၏ operation ကို စတင်ရန် အထက်ပါ equipment များကို တစ်ခုပြီးမှ တစ်ခု အစီအစဉ်အတိုင်း စတင်မောင်းရသည်။ ထိုသို့ စနစ်တကျ စမောင်းခြင်းကို "**Starting Sequence**" ဟုခေါ်သည်။

(၁) Air Handling Unit/Fan Coil Unit များ ကို စမောင်းရမည်။ Air Handling Unit/Fan Coil Unit (AHU/FCU) သည် ရပ်ထားသည့်အခါတွင် AHU/FCU ၏ chiller water control valve များသည် ပိတ်(fully closed position)နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Singapore Stand SS553:2009 (CP13) အရ AHU/FCU များ ရပ်နေချိန်၌ control valve များကို ပိတ်ထားရမည်။

AHU/FCU ၏ chiller water control valve များ အားလုံး ပိတ်နေခိုက်၌ chiller water pump ကို စတင်မောင်းရန် လုံးဝမဖြစ်နိုင်ပါ။ လုံလောက်သည့်ရေပမာဏ စီးဆင်းလည်ပတ်မည် မဟုတ်ပါ။ ထို့ကြောင့် AHU/FCU များကို ပထမဦးစွာ စတင်မောင်းရန် လိုအပ်သည်။ များသောအားဖြင့် AHU/FCU နှင့် chiller water control valve များကို interlock လုပ်ထားသည်။

(၂) AHU/FCU များကို မောင်းပြီးသည့်နောက် primary chilled water pump ကို စမောင်းရန်အတွက် primary chilled water pump ၏ isolation valve ကို အရင် ဖွင့်ရန် လိုအပ်သည်။ Pump ကို isolation valve များနှင့် interlock လုပ်ထားသည်။ Primary chilled water pump ၏ isolation valve ပွင့်ပြီးသည့်နောက် primary chilled water pump ကို စတင် မောင်းသည်။

တစ်လုံးထက် ပိုများသော chiller များကို မောင်းရန် လိုအပ်လျှင် primary chilled water pump များကိုလည်း လိုအပ်သည့် အရေအတွက်အတိုင်း မောင်းရမည်။ ဥပမာ - chiller (၃)လုံးအတွက် primary chilled water pump (၃)လုံးမောင်းရမည်။ Pump များကို တစ်လုံးပြီးမှ တစ်လုံး မောင်းရမည်။ ပထမပန့် မောင်းပြီးနောက် full load condition တွင် stable ဖြစ်မှ နောက်ထပ်ပန့် တစ်လုံးကို စတင် မောင်းသည်။

တစ်ချို့သော centralized chiller plant များတွင် secondary chilled water pump ရှိတတ်သည်။ Secondary chilled water pump ရှိပါက secondary chilled water pump ၏ isolation valve ကို အရင်ဖွင့်ပါ။ Pump ကို isolation valve များနှင့် interlock လုပ်ထားသည်။ ထို့နောက် secondary chilled water pump ကို မောင်းသည်။

(၃) Cooling tower ၏ isolation valve ကို အရင်ဖွင့်သည်။ Cooling tower ကို isolation valve များနှင့် interlock လုပ်ထားသည်။ Cooling tower ကို မောင်းပါ။ Cooling tower ၏ isolation valve များ ပိတ်နေလျှင် condenser water pump ကို စတင်မောင်းရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ရေလည်ပတ်မည် မဟုတ်ပါ။

(၄) Condenser water pump ၏ isolation valve ကို အရင် ဖွင့်သည်။ ထို့နောက် condenser water pump ကို မောင်းပါ။ Pump ကို isolation valve များနှင့် interlock လုပ်ထားသည်။ တစ်လုံးထက် ပိုများသော chiller များ ကို မောင်းရန် လိုအပ်လျှင် condenser water pump များကိုလည်း လိုအပ်သည့် အရေအတွက် အတိုင်း မောင်းရမည်။ Pump များကို တစ်လုံးပြီးမှ တစ်လုံး မောင်းရမည်။ ပထမပန့် မောင်းပြီး full load condition တွင် stable ဖြစ်မှ နောက်ထပ် ပန့်တစ်လုံးကို စမောင်းသည်။

(၅) Chiller ကို မောင်းသည်။ Chiller အတွင်း၌ chilled water နှင့် condenser water တို့၏ စီးဆင်း(flow)နေမှုကို စစ်ဆေးရန် flow switch သို့မဟုတ် differentical pressuer switch တပ်ဆင်ထားသည်။ Chiller ကို chilled water flow switch နှင့် condenser water flow switch တို့ဖြင့် interlock လုပ်ထားသည်။

Equipment တစ်ခုနှင့် တစ်ခုကြားတွင် သင့်လျော်သော အချိန် အနည်းငယ်ခြားထား(time delay) သင့်သည်။ ထို equipment များကို operator က manual မောင်းနိုင်သလို သတ်မှတ် ထားသည့် schedule အတိုင်း Buildig Automation Sysetm (BAS)၏ cotroller များက အလိုလျောက် မောင်းပေးနိုင်သည်။

အထက်ပါ starting sequence ကို chiller plant အများစုတွင် အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ သို့သော် လုံးဝ ချွတ်စွတ် တူသော(indentical) chiller plant room ရှိရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် အကြံပေးပညာရှင်များ (consultant)၊ ပိုင်ရှင်(building owner)၊ အင်ဂျင်နီယာအဖွဲ့(engineering team)တို့သည် မိမိ chiller plant နှင့် အသင့်လျော်ဆုံးသော starting sequence ကို "**Fine Tuning**" လုပ်ယူကြသည်။

Air Handling Unit/Fan Coil Unit များမှ စတင် မောင်းနှင်နိုင်သလို cooling tower မှလည်း စတင် မောင်းနိုင်သည်။ Primary pump နှင့် secondary pump တွင်လည်း မိမိ chiller plant နှင့် အသင့်လျော်ဆုံးသော pump မှ စတင် နိုင်သည်။

၁၃.၁.၂ Shutdown Sequece of Chiller Plant Room

Shutdown sequence မှာ starting sequence ၏ အစီအစဉ်များကို ပြောင်းပြန်အတိုင်း ပိတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ (၂၄)နာရီမောင်းရန် လိုအပ်သည့် chiller plant room များကို တစ်ခါတစ်ရံမှသာ shutdown လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

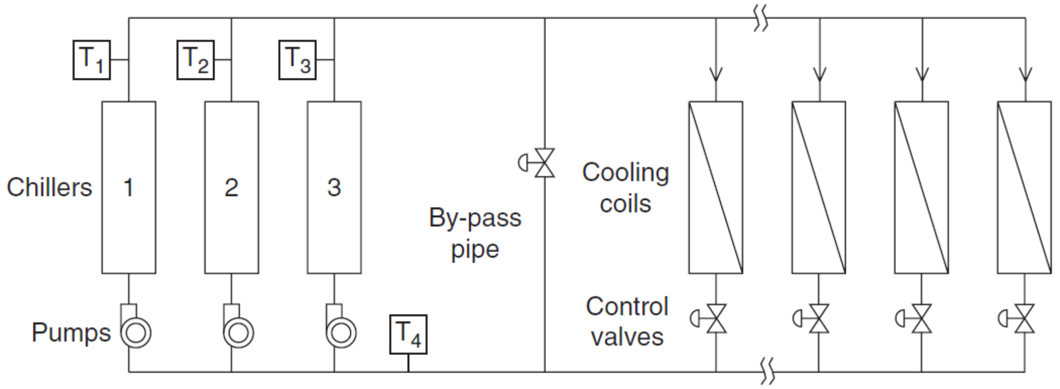
> ညတိုင်း ရပ်နား(shutdown)ရန် လိုအပ်သည့် chilled water plant များတွင် shutdown ရပ်ရမည့် အချိန်(timing)သည် အလွန်အရေးကြီးသည်။ နောက်ဆုံး chiller ကို အဆောက်အဦ တစ်ခုလုံး မပိတ်ခင် အနည်းဆုံး (၄၅)မိနစ် သို့မဟုတ် နာရီဝက်ကြို၍ ရပ်နား(shutdown) နိုင်သည်။ ထိုသို့ ကြိုပိတ်ခြင်း(early shutdown)ဖြင့် စွမ်းအင်ချွေတာ(energy saving) နိုင်သည်။ Chiller ပိတ်(shutdown) ပြီးသည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် cooling tower နှင့် condenser water pump ကို ပိတ်(shutdown) နိုင်သည်။ Chilled water pump ကို အနည်းဆုံး(၁၅)မိနစ် ကြို၍ ပိတ်(shutdown) နိုင်သည်။ AHU/FCU ကို (၅)မိနစ် ကြို၍ ပိတ်(shutdown) နိုင်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် chiller ရပ်တန့်(shutdown)နေသော်လည်း အေးနေသည့် chiller water ကို ဆက်လက် လည်ပတ်စေခြင်း(circulation)ဖြင့် အအေးဓာတ်(coolness) ဆက်လက် ရရှိနိုင်သည်။

၁၃.၂ Typical chiller sequencing strategies

Chiller sequencing ဆိုသည်မှာ အဆောက်အဦ၏ cooling load လိုအပ်ချက်နှင့် ကိုက်ညီသည့် chiller များ အစီအစဉ်တကျ အလှည့်ကျ စတင်မောင်းခြင်း နှင့် ရပ်နားခြင်း ဖြစ်သည်။ Cooling load ၊ chilled water temperature နှင့် chiller motor loading တို့ကို အခြေခံ၍ chiller sequencing လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။

၁၃.၂.၁ Chiller Sequencing for Systems with only Primary Pumping

Chilled Water Leaving Temperature ကို အခြေခံ၍ Chiller Sequencing လုပ်ခြင်း



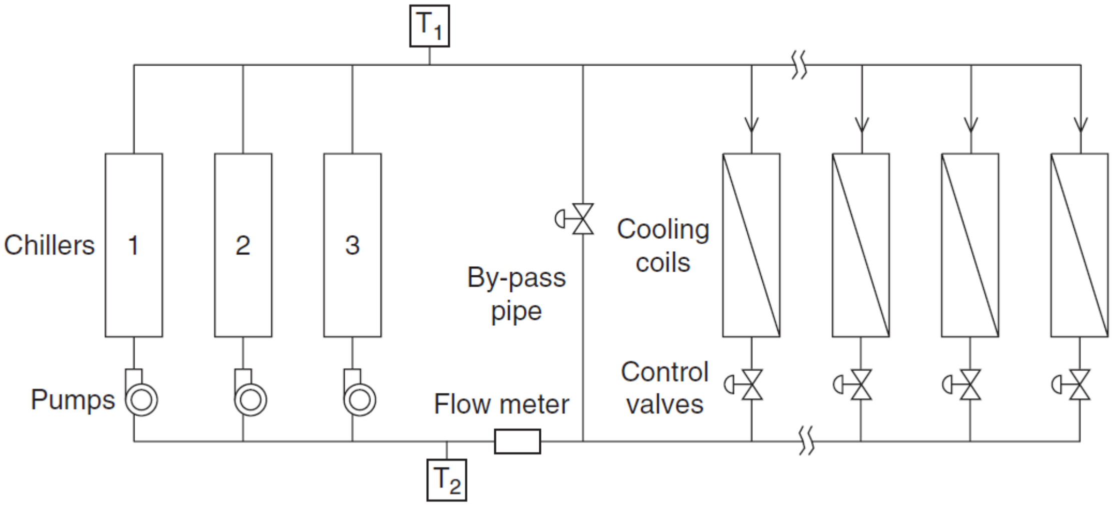
ပုံ ၁၃-၃ Chilled water temperature ကို အခြေခံ၍ Chiller sequencing ပြုလုပ်ပုံ

Chilled water temperature ကို အခြေခံ၍ chiller များကို sequenceing လုပ်ခြင်းသည် အရိုးရှင်းဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ ပုံ(၁၃-၃)တွင် ဖော်ပြထားသည့် T1 ၊ T2 သို့မဟုတ် T3 နေရာများတွင် ရှိသည့် chilled water leaving temperature သည် set point ထက် ပိုမြင့်နေလျှင် chiller များမှ ထုတ်ပေးသည့် cooling capcity သည်

အဆောက်အဦ၏ cooling load ကို လုံလောက်အောင် မထုတ်ပေးနိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် နောက်ထပ် chiller ကို စတင် မောင်းပေးရန် လိုအပ်သည်။

၁၃.၂.၂ Chiller Sequencing for Systems with only Primary Pumping

Cooling Load and Chilled Water Temperature ကို အခြေခံ၍ Chiller Sequencing လုပ်ခြင်း



ပုံ ၁၃-၄ Cooling load နှင့် chilled water temperature အခြေခံ၍ chiller sequencing ပြုလုပ်ပုံ

Cooling load နှင့် chilled water temperature ကို အခြေခံ၍ chiller sequencing လုပ်နည်းသည် အများဆုံး အသုံးပြုသည့်နည်း ဖြစ်သည်။ ပုံ(၁၃-၄)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း chilled water temperature difference (T2 – T1) နှင့် chilled water flow rate ကို အခြေခံ၍ cooling load ကို တွက်ယူသည်။

အောက်ပါအခြေအနေ နှစ်မျိုးလုံး တစ်ပြိုင်နက် ဖြစ်လျှင်(AND) သို့မဟုတ် တစ်မျိုးမျိုးဖြစ်လျှင်(OR) နောက်ထပ် chiller ကို စတင် မောင်းပေးရန် လိုအပ်သည်။

(က) T1 နေရာတွင်ရှိသည့် chilled water temperature သည် set point ထက်ပိုမြင့်နေလျှင်

AND / OR

(ခ) အဆောက်အဦcooling load သည် မောင်းနေသည့် chiller များမှ ထုတ်ပေးသည့် cooling capacity ထက်ပိုနည်းနေလျှင်

အောက်ပါအခြေအနေ နှစ်မျိုးလုံး တစ်ပြိုင်နက်ဖြစ်လျှင(AND)သော်လည်းကောင်း၊ တစ်မျိုးမျိုး ဖြစ်လျှင်(OR) သော်လည်းကောင်း မောင်းနေသည့် chiller များအနက်မှ တစ်လုံးကို ရပ်နားရန် လိုအပ်သည်။

(က) T1 နေရာတွင်ရှိသည့် chilled water temperature သည် set point ထက် ပိုနိမ့်နေလျှင်

AND / OR

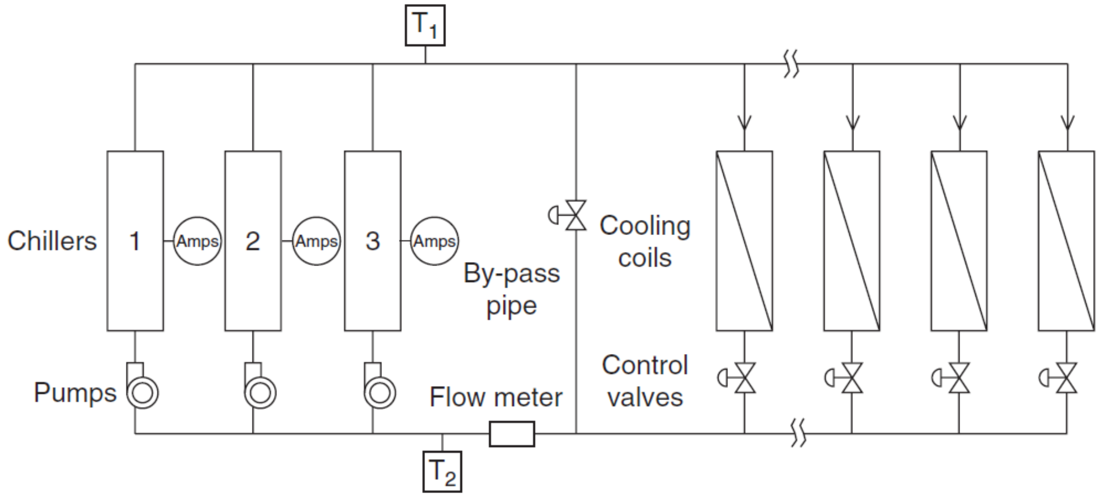
(ခ) အဆောက်အဦ cooling load သည် မောင်းနေသည့် chiller များမှ ထုတ်ပေးသည့် cooling capacity ထက် ပိုများနေလျှင်

Cooling load ကို အဓိကထား၍ chiller sequencing လုပ်ခြင်းသည် သင့်လျော်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။

သို့သော် chiller များသည် ဒီဇိုင်းအခြေအနေတွင် မောင်းနေခြင်းမဟုတ်လျှင် (off-design operating conditions) design capacity ထက် ပိုများသည့် capacity ကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ ဥပမာ - condenser water supply temperature ကို နိမ့်အောင်ပြုလုပ်လျှင် သို့မဟုတ် chilled water temperature ကို မြင့်အောင်ပြုလုပ်လျှင် chiller သည် rated capacity ထက်ပိုများသည့် capacity ကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။

၁၃.၂.၃ Cooling load ၊ Chilled Water Temperature နှင့် Motor Loading

Cooling load ၊ Chilled Water Temperature နှင့် Motor Loading ကို အခြေခံ၍ Chiller Sequencing လုပ်ခြင်း



ပုံ ၁၃-၅ Chiller sequencing using cooling load ၊ chilled water temperature and motor loading

ပုံ(၁၃-၅)တွင် ဖော်ပြထားသည့်နည်းသည် primary only chiller water system များတွင် chiller sequencing လုပ်ရန် အသင့်လျော်ဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ Recommended strategy ဖြစ်သည်။

အောက်ပါ အခြေအနေတို့တွင် နောက်ထပ် အသင့်စောင့်နေသည့် အရန်(standby) chiller တစ်လုံးကို ထပ်မောင်းရန်(cut in) လိုအပ်သည်။

(၁) T1 နေရာတွင် ရှိသည့် chiller မှ အထွက်ရေ အပူချိန်(leaving chilled water temperature)သည် set point ထက် အချိန်အတော်ကြာ ပိုများနေလျှင် သော်လည်းကောင်း၊

(၂) အဆောက်အဦ cooling load သည် မောင်းနေသည့် chiller များ၏ capacity ထက် အချိန် အတော်ကြာ ပိုများနေလျှင် သော်လည်းကောင်း၊

(၃) Chiller မော်တာ၏ ampere သည် full load ampere နှင့် အချိန်အတော်ကြာ တူညီလုနီးပါးဖြစ်လျှင် သော်လည်းကောင်း

အထက်ပါ အခြေအနေသုံးခုကို တစ်ပြိုက်နက်ဖြစ်သည့်အခါ(AND)မှသာ standby chiller ကို မောင်းနိုင်သည်။ သို့တည်းမဟုတ် ကြိုက်သည့် အခြေအနေ နှစ်ခု တစ်ပြိုက်နက် အချိန်(၅)မိနစ်ထက် ကြာအောင် ဖြစ်နေလျှင် (AND) အရန်(standby) chiller ကို စမောင်းနိုင်သည်။

လက်ရှိမောင်းနေသည့် chiller များအနက်မှ တစ်လုံးကို ရပ်နား(cut out)ရန် အခြေအနေများမှာ အောက်ပါ အတိုင်း ဖြစ်သည်။ ထိုအခြေအနေများကို cut out condition ဟုခေါ်သည်။

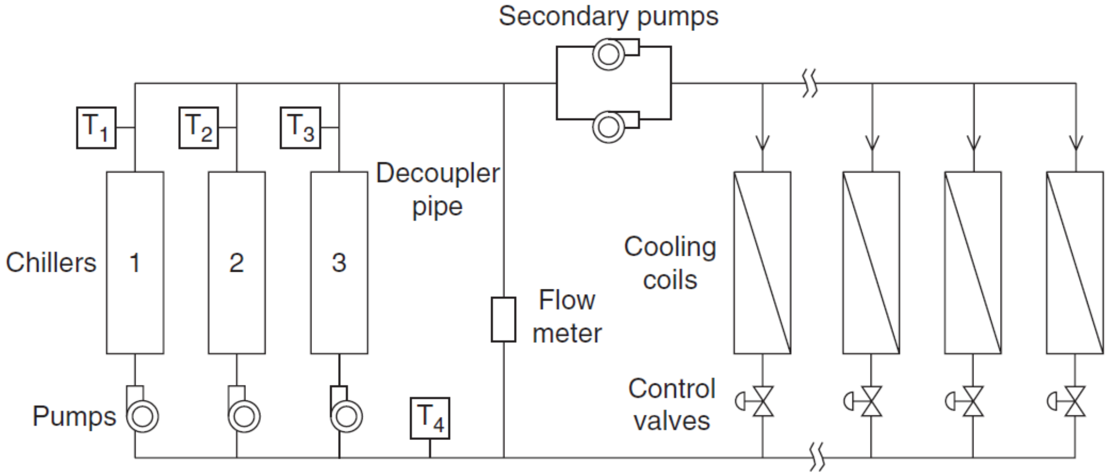
(၁) T1 နေရာတွင် ရှိသည့် chiller မှ အထွက်ရေ အပူချိန်(leaving chilled water temperature)သည် set point ထက် ပိုနိမ့်နေလျှင် သော်လည်းကောင်း၊

(၂) Cooling load သည် operating chiller များ၏ capacity ထက် ပိုနည်းနေလျှင် သော်လည်းကောင်း၊

(၃) Chiller motor ၏ ampere သည် full load ampere ထက် ပိုနည်းနေလျှင် သော်လည်းကောင်း

လက်ရှိမောင်းနေသည့် chiller များ အနက်မှ အလှည့်ကျသည့် chiller ကို ရပ်တန့်စေရမည်။

ဤနည်းဖြင့် chiller sequencing လုပ်ရာတွင် off-design operating တွင် ဖြစ်စေ၊ design operating တွင် ဖြစ်စေ chiller မော်တာ ၏ loading ကို ထည့်သွင်း ထားသည်။



ပုံ ၁၃-၆ Chiller sequencing for primary-secondary systems using decoupler flow and chilled water temperature

Primary-secondary pumping system တွင် primary loop နှင့် secondary loop ဟူ၍ chilled water pumping loop နှစ်ခု ပါဝင်သည်။ Primary loop သည် chiller အတွင်း လည်ပတ်နေသည့် loop ဖြစ်သည်။ Chilled water သည် secondary loop ဖြစ်သည့် AHU နှင့် FCU များနှင့် header အတွင်း လည်ပတ်နေသည်။ Primary loop နှင့် secondary loop နှစ်ခုအကြားတွင် hydraulically decoupled လုပ်ထားသည့် ပိုက်ရှိသည်။

ပုံ(၁၃-၆)တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း decoupler pipe တွင် bi-directional flow meter တပ်ဆင်ထားသည့်နည်းသည် အရိုးရှင်းဆုံးနည်းဖြစ်သည်။ Flow meter သည် အသွားအပြန်နှစ်ဖက်စလုံးကို တိုင်းနိုင်သည်။ Return side မှ supply side သို့ စီးဆင်းနေလျှင် secondary loop အတွင်း လည်ပတ်နေသည့် chiller water ပမာဏသည် primary loop အတွင်း လည်ပတ်နေသည့် chiller water ပမာဏထက် ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် နောက်ထပ် chiller လုံးကို ထပ်မောင်းရန် လိုအပ်သည်။ ထို့အတူ နောက်အခြေအနေတစ်မျိုးမှာ T1 ၊ T2 သို့မဟုတ် T3 စသည့်နေရာများရှိ chilled water leaving temperature သည် set point ထက်ပိုများနေလျှင် မောင်းနေသည့် chiller များမှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် cooling capacity သည် အဆောက်အဦ၏ cooling load ကို မှီအောင် မထုတ်ပေးနိုင်သောကြောင့် chiller နောက်တစ်လုံး ထပ်မောင်းရန် လိုအပ်သည်။

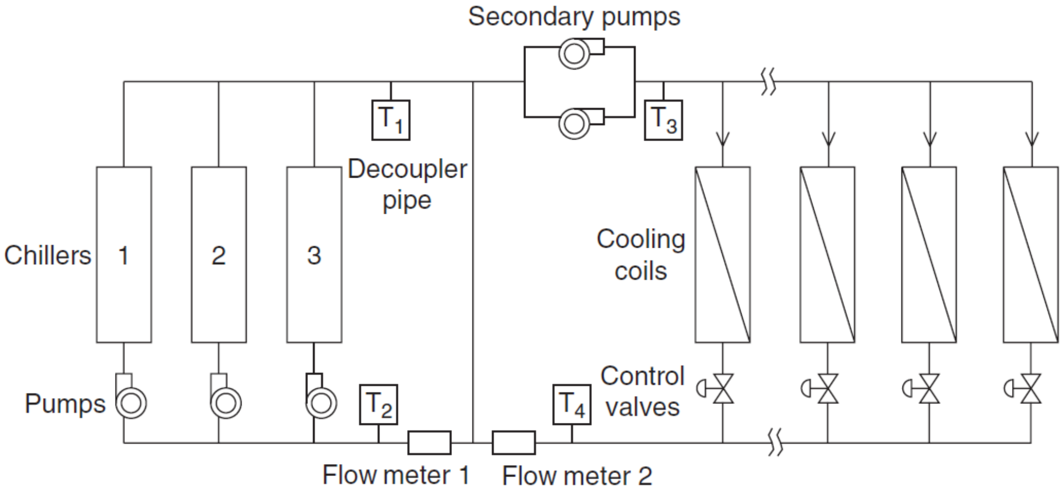
Decoupler အတွင်း supply side မှ return side သို့ chilled water စီးဆင်းနေပြီး chiller တစ်လုံးချင်းစီ၏ ဒီဇိုင်း flowထက် ၁၀% ပိုများနေလျှင် မောင်းနေသည့် chiller များအနက်မှ တစ်လုံးကို ရပ်နားနိုင်သည်။ ဤနည်းသည် အမှန်တကယ်ဖြစ်ပေါ်သည့်cooling load သို့မဟုတ် chiller loadingကိုအခြေခံ၍ sequenceing ပြုလုပ်ခြင်းမဟုတ်ပါ။

၁၃.၂.၄ Strategy for Chiller Sequencing for Systems with Primary-Secondary Pumping

Primary-secondary pumping များအတွက် အသင့်လျော်ဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ Recommended strategy ဖြစ်သည်။ ပုံ(၁၃-၇)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း primary chilled water loop အတွင်း လည်ပတ်နေသည့် flow rate နှင့် secondary chilled water loop အတွင်း လည်ပတ်နေသည့် flow rate ကို တိုင်းရန် အတွက် chilled water flow meter နှစ်ခု လိုအပ်သည်။ Flow rate နှစ်ခု ကွာခြားချက်ကြောင့် decoupler pipe အတွင်း၌ စီးဆင်းမှု ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

Primary-Secondary system များတွင် decoupler pipe အတွင်း စီးဆင်းသည့် flow ပေါ်တွင် အခြေခံ၍ chiller sequencing ပြုလုပ်သည်။ ပုံ(၁၃-၃)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း return side မှ supply side သို့ စီးဆင်းနေလျှင် secondary loop အတွင်း၌ လည်ပတ်နေသည့် chilled water flow သည် primary loop အတွင်း လည်ပတ်နေသည့် chilled water flow ထက် ပိုများနေသည်။ ထို့ကြောင့် အသင့်စောင့်နေသည့်(standby) chiller

တစ်လုံး ထပ်မောင်းရန် လိုအပ်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။ Chilled water leaving temperature (T1)သည် set point ထက် ပိုမြင့်နေပါက အရန်(standby) chiller ကို မောင်းရန် လိုအပ်နေပြီ ဖြစ်သည်။

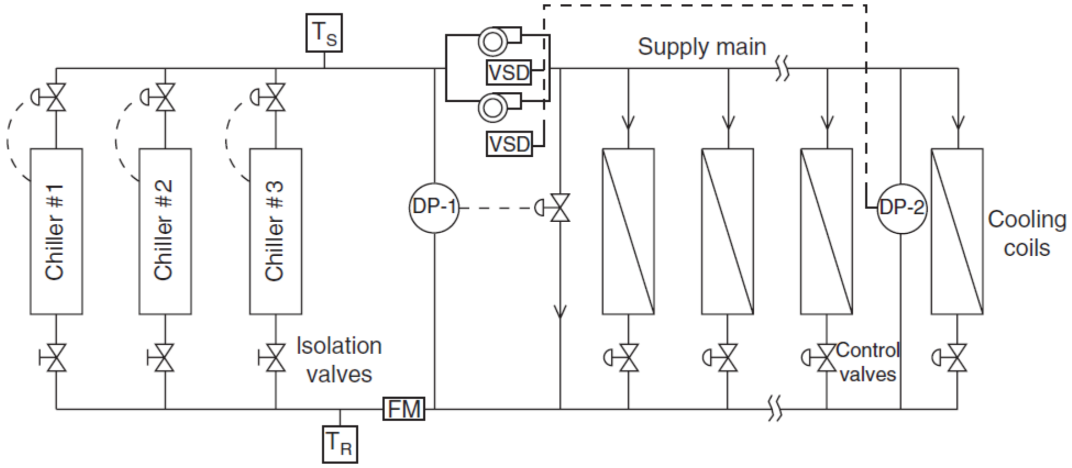


ပုံ ၁၃-၇ Chiller sequencing for primary-secondary systems using individual flow meters and chilled water temperature

Decoupler ပိုက်အတွင်း၌ supply side မှ chilled water သည် return side ဆီသို့ စီးဆင်းနေလျှင်သော်လည်းကောင်း၊ chiller တစ်လုံးအတွင်းသို့ ဒီဇိုင်း chilled water rate ထက် (၁၀)ရာခိုင်နှုန်း ပိုစီးဝင်နေလျှင်သော်လည်းကောင်း လက်ရှိ မောင်းနေသည့် chiller များအနက်မှ အလှည့်ကျသည့် chiller တစ်လုံးကို ရပ်နား (shutdown) နိုင်သည်။

၁၃.၂.၅ Strategy for Chiller Sequencing for Variable Flow Systems

ပုံ(၁၃-၄)တွင် variable flow system တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။ Flow Meter (FM) ၊ chilled water return temperature (TR) နှင့် chilled water supply temperature (TS) sensors တို့မှ တိုင်းယူထားသည့် တန်ဖိုးများဖြင့် cooling load ကို တွက်ယူနိုင်သည်။ တွက်ယူထားသည့် cooling load ကို အခြေခံ၍ chiller sequiencing ပြုလုပ်နိုင်သည်။



ပုံ ၁၃-၈(က) Variable primary flow system

ရပ်နားထားသည့် chiller အတွင်းသို့ chilled water များ စီးဝင်ခြင်း မဖြစ်ရအောင် motorized valve များ တပ်ဆင်ထားရမည်။ Chilled water pump ကို DP-2 နေရာမှ differential pressure sensor တန်ဖိုးကို အသုံးပြု၍

VSD ဖြင့် control လုပ်သည်။ DP-2 သည် pump မှ အဝေးဆုံးနေရာတွင် ရှိသည့် AHU coil ၏ differential pressure ဖြစ်သည်။

DP-1 နေရာမှ differential pressure sensor တန်ဖိုးကို အသုံးပြု၍ motorized by-pass valve ကို control လုပ်သည်။ Chiller များတွင် လိုအပ်သည့် minimum flow ရရှိစေရန်အတွက် သေချာအောင် စီမံပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Chilled water အနည်းငယ်သာ စီးဆင်းလျှင် DP-1 နေရာတွင် တပ်ဆင်ထားသော differential pressure sensor မှ ဖတ်ယူသည့် တန်ဖိုးသည် set-point ထက် နိမ့်နေလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် control loop က bypass valve ဖွင့်ပေး လိမ့်မည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် chiller များအတွင်းသို့ chilled water အချို့ ဝင်ရောက်သွားနိုင်အောင် bypass valve ဖွင့်ပေးရန် လိုအပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

Bypass ဖြစ်သည့် chilled water ပမာဏများခြင်းကြောင့် DP-2 နေရာရှိ differential pressure sensor တန်ဖိုး နည်းသွားလိမ့်သည်။ ထို့ကြောင့် pump ကို ပိုမြန်မြန်မောင်းစေရန် controllerမှ signal ပေးလိမ့်မည်။ Chiller များ၌ လက်ခံနိုင်သည့် အမြင့်ဆုံး စီးနှုန်း(maximum flow) နှင့် အနိမ့်ဆုံးစီးနှုန်း(minimum)အတွင်း ရရှိနေအောင် pump များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ရမည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် 0.9 m/s မှ 3.4 m/s အတွင်းဖြစ်သည်။ Primary circuit တွင် flow meter များ တပ်ဆင်နိုင်သည်။

၁၃.၃ Chilled Water Plant Sequencing and Automation (ဥပမာ)

လက်ရှိ မောင်းနေသည့် project တစ်ခု၏ chilled water plant sequencing လုပ်ခြင်း နှင့် automation လုပ်ခြင်း ကို case study အဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။ ပုံ(၁၃-၈ခ)တွင်ပြထားသည့်အတိုင်း water cooled centrifugal chiller (၃)လုံး၊ chilled water pump (၃)လုံး၊ condenser water pump (၃)လုံး နှင့် cooling tower (၃)လုံး တို့ ပါဝင်သည့် muti-chillers sequencing and control program တစ်ခုကို ဥပမာအဖြစ် ရှင်းပြထားသည်။ Chiller (CH-1)၊ chilled water pump (CWP-1)၊ condenser water pump(CDWP-1)၊ cooling tower (CT-1)တို့ အတွဲလိုက် တွဲထားခြင်းကို chiller system နံပါတ်(၁) ခေါ်သည်။

Air conditioning system တစ်ခုလုံး စတင်လည်ပတ်ရန်အတွက် မောင်းရမည့် အစီအစဉ်ကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

(၁) AHU များအနက်မှ အချို့ကို စတင်မောင်း(start) ရန်
(၂) Chiller system ကို အောက်ပါ အစီအစဉ်အတိုင်း စတင်မောင်း(start) ရန်
  (က) Cooling tower ကို စတင်မောင်း(start)ရန်
  (ခ) Condenser water pump ကို စတင်မောင်း(start)ရန်
  (ဂ) Chilled water pump ကို စတင်မောင်း(start)ရန်
(၃) ထို့နောက် chiller ကို စမောင်းရန်

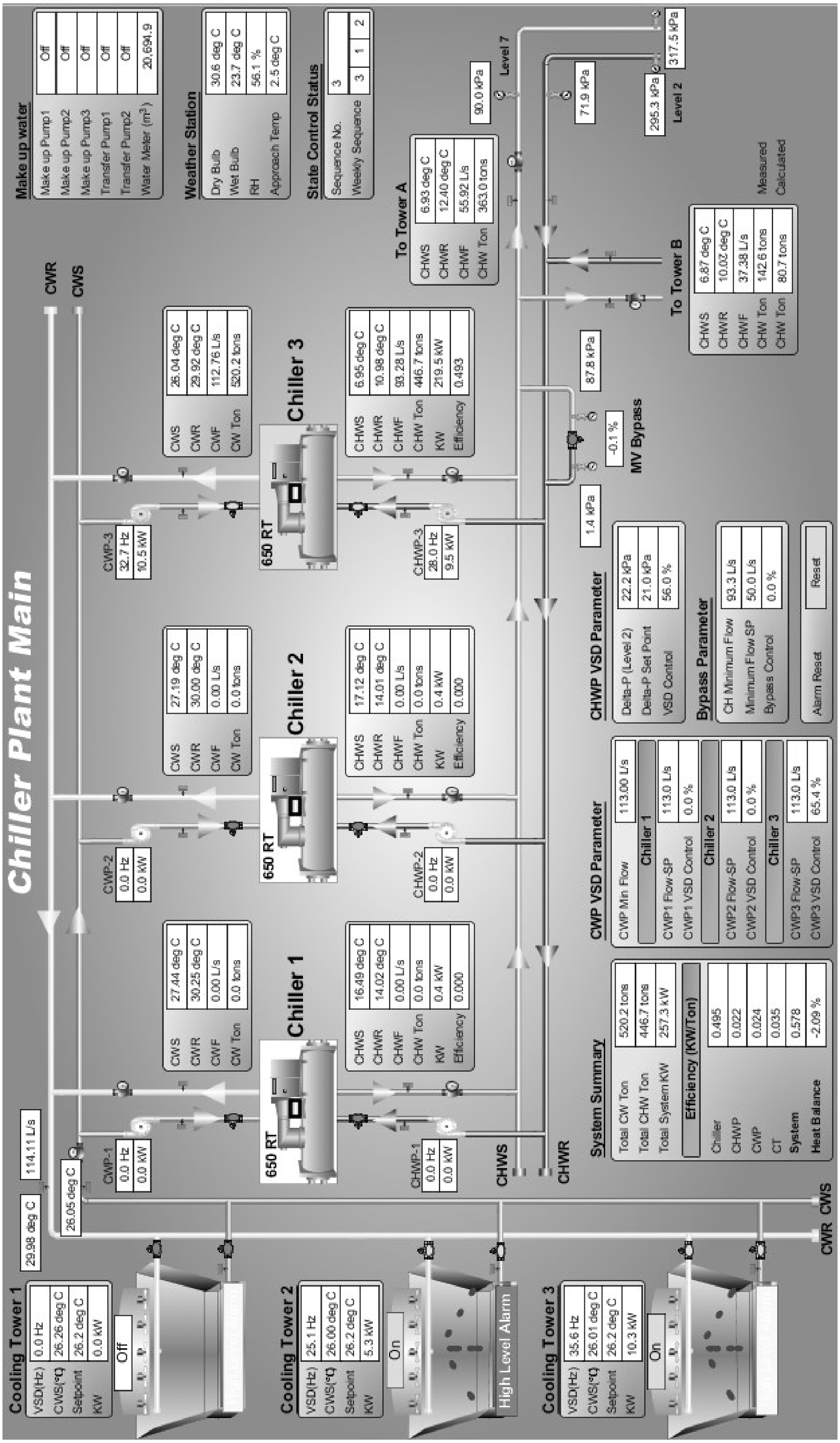
Chiller System Mode of Operation

Supervisory panel console မှ ရွေးချယ်နိုင်သည့် operation mode (၃)မျိုးကို ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Off Mode : Chilled water plant တစ်ခုလုံးကို မည်သည့်နည်းဖြင့်မျှ မောင်း၍ မရပါ။
(၂) BAS Mode : DDC controller များတွင် ထည့်ထားသည့် program များတိုင်း မောင်းမည့် mode ဖြစ်သည်။
(၃) Local Mode : Supervisory panel မှ operation မောင်းခြင်း၊ ရပ်ခြင်း ပြုလုပ်နိုင်သည့် mode ဖြစ်သည်။

Motor Control Center (MCC) panel မှ ရွေးချယ်နိုင်သည့် operation mode (၃)မျိုးကို ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Off Mode : Chilled water plant တစ်ခုလုံးကို မည်သည့်နည်းဖြင့်မျှ မောင်း၍ မရပါ။
(၂) Remote Mode : Supervisory panel control မှ တစ်ဆင့် မောင်းနိုင်သည်။
(၃) Local Mode : Chiller system ရှိ equipment များကို local panel မှ တစ်ခုချင်း မောင်းခြင်း၊ ရပ်ခြင်း ပြုလုပ်နိုင်သည့် mode ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၃-၈(ခ) Chilled water plant graphic

Equal runtime sequencer သည် အပတ်စဉ်(weekly) မောင်းရန် တာဝန်ကျသည့် equipment များကို အစီအစဉ်တကျ ပြောင်း(changeover)ပေးသည်။ Equal runtime sequencer ဆိုသည်မှာ equipment များ မောင်းချိန်(running hours) ညီမျှအောင်ပြုလုပ်ပေးသည့် program ဖြစ်သည်။

(၁) Cooling Tower Operation and Controls

Cooling tower operation ပြုလုပ်ရာတွင် မောင်းနေသည့် chiller အရေအတွက် နှင့် chiller တစ်လုံးချင်း၏ load အပေါ်တွင်မူတည်၍ cooling tower အရေအတွက် မည်မျှမောင်းမည်၊ မည်သည့် cooling tower ကို မောင်းမည် ဆိုသည်ကို ရွေးချယ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

၎င်း programအရ နေ့အချိန်(day mode)တွင် VSD မြန်နှုန်း(speed)နေးနေးဖြင့် cooling tower အားလုံးကို မောင်းရမည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် VSD မြန်နှုန်း(speed)နေးနေးဖြင့် cooling tower အားလုံးကို မောင်းခြင်းသည် full speed ဖြင့် cooling tower အချို့ကို မောင်းခြင်းထက် ပို၍ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု သက်သာသောကြောင့်ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရှိသမျှ CT အားလုံးကို VSD ဖြင့် မော်တာမြန်နှုန်း(speed)လျှော့ချ၍ မောင်းခြင်းဖြစ်သည်။ ညအချိန် (night mode)တွင် မောင်းနေသည့် chiller အရေအတွက်နှင့် တူညီသည့် cooling tower အရေအတွက်ကိုသာ မောင်းရမည်။

(က) Start-up sequence

(၁) Isolation valve များကို ဖွင့်ရန်(open) command ပေးသည်။
(၂) Valve များ ပွင့်(open)သည့် status ပြန်ရပြီးနောက် cooling tower fan ကို စမောင်း(start)သည်။
(၃) Fan မောင်းနေသည့်(on) status ရပြီးနောက် fan operation ကို VSD ဖြင့် စတင် control လုပ်သည်။
(၄) မောင်းနေသည့် cooling tower ၏ fan များအားလုံး ပုံမှန် အလုပ်လုပ်နေကြောင်း သေချာအောင် စောင့်ကြည့်ခြင်း(monitoring) ဖြစ်သည်။

(ခ) Stop Sequence

(၁) Tower fan များကို ရပ်နား(stop)ရန် command ပေးသည်။
(၂) Fan ရပ်(off)သည် status ရသည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် isolation valve များ အားလုံးကို ပိတ်ရန် (close) အမိန့်ပေးသည်။
(၃) Valve များမှ ပိတ်သွား(closed)ကြောင်း status ပြန်ရသည်။

(ဂ) Cooling Tower Fan VSD Controls

Cooling tower fan ၏ VSD ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို နည်း နှစ်နည်းဖြင့် control လုပ်နိုင်သည်။

ပထမနည်း - Condenser water supply temperature ဖြင့် VSD speed ကို control လုပ်နိုင်သည်။
ဒုတိယနည်း - Ambient Wet Bulb temperature(°C)+2.5°C ဖြင့် VSD speed ကို control လုပ်နိုင်သည်။

(၁) Cooling tower မှ ထွက်လာသည့်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature)ကို cooling tower fan VSD အား control လုပ်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ (ပထမနည်း)
(၂) Condenser water supply temperature သို့မဟုတ် cooling tower leaving temperature နှင့် set point ကို နှိုင်းယှဉ်ပြီး VSD ၏ speed ကို control လုပ်ရန်
(၃) Temperature သည် set point ထက် မြင့်နေလျှင် VSD ကို speed ကို မြှင့်တင်(increase)ရန်
(၄) Temperature သည် set point ထက် နိမ့်နေလျှင် VSD ကို speed ကို လျှော့ချ(decrease)ရန်

(ဃ) Cooling Tower Fail Flag

Cooling tower system သည် အောက်ပါ အခြေအနေတို့အနက်မှ တစ်ခုခုဖြစ်လျှင် fail-flag ပြ(activate)ပြီး alarm condition အဖြစ်သို့ ရောက်ရှိ နေလိမ့်မည်။

(၁) Fan (၂)လုံးထက်မက မလည်နိုင်(fail)လျှင် သို့မဟုတ် trip ဖြစ်လျှင်

(၂) Isolation valve များသည် "open" command လက်ခံရရှိပြီးနောက် မပွင့်နိုင်(fail to open)လျှင်

(၃) Isolation valve များသည် "close" command လက်ခံရရှိပြီးနောက် ပိတ်မရ(failed to closed)လျှင်

Fail-flag ပြ(activate)လျှင် သက်ဆိုင်သည့် cooling tower များကို enable လုပ်ခွင့် မပြုတော့ပေ။ တစ်နည်းအားဖြင့် စမောင်းရန် မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။

Chiller System "on" command

အောက်ပါအချက်များအားလုံးနှင့် ကိုက်ညီလျှင် chiller system ၏ "on" command သည် enable ဖြစ်နေလိမ့်မည်။

(၁) Master command ကို enable လုပ်ထားလျှင်

(၂) အနည်းဆုံး cooling tower တစ်လုံးကို မောင်းထားလျှင် (status is ON)

(၃) Chiller တစ်လုံးကမျှ fail-flag မပြလျှင် (not activated) သို့မဟုတ် equipment များ trip မဖြစ်လျှင် သို့မဟုတ် equipment များ local mode ရောက်မနေလျှင်

(၄) Chiller sequence လုပ်ရန် staging control program မှ စမောင်းရန် လိုအပ်လျှင်

Chilled Water System Cooling Load Calculation

Cooling load ပမာဏကို သိရန်အတွက် BTU meter များကို တပ်ဆင်ထားသည်။

(၁) Chiller တစ်လုံးချင်းစီမှ ထုတ်ပေးသည့် cooling capacity ကို သိရန်အတွက် chiller တိုင်းတွင် BTU meter တပ်ဆင်ထားသည်။

(၂) Main chilled water header တွင် BTU meter တပ်ဆင်ထားသည်။
Chilled water system တစ်ခုလုံး၏ cooling capacity ကို သိရန် အတွက် chilled water main header တွင် BTU meter တပ်ဆင်ထားသည်။

(၃) BTU meter များမှ cooling load တန်ဖိုး(reading)များကို MODBUS communication ဖြင့် BAS မှ ဖတ်ယူသည်။

(၄) အောက်တွင် cooling load တွက်ရန်အတွက် သက်ဆိုင်သည့် ပုံသေနည်း(formula)ကို ဖော်ပြထားသည်။

$$\boldsymbol{Differential\ Temperature\ (°C) = [CHW\ Return\ Temp\ (°C) - CHW\ Supply\ Temp\ (°C)]}$$

$$\boldsymbol{Cooling\ Load\ (RT) = \frac{Differential\ Temperature\ (°C)\ x\ CHWFlow\ (l/s)\ x\ 4.18\ kJ/kg\ K}{3.517}}$$

$$\boldsymbol{Cooling\ Load\ (RT) = [Differential\ Temperature)]\ x\ CHWFlow\ (l/s)\ x\ 1.189}$$

Chiller တစ်ခုချင်းစီတွင် power meter တပ်ဆင်၍ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှုန်း(power comsumption)ကို တိုင်းယူသည်။ ထို့ကြောင့် efficiency (kW/RT)ကို အောက်ပါ ပုံသေနည်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\boldsymbol{Chiller(kW/RT) = \frac{Electrical\ Power\ Consumption\ (Power\ Meter)\ [kW]}{Chiller\ Cooling\ Capacity\ (BTU\ meter)[RT]}}$$

Every Initial Startup of the Master Chiller System Command

Chiller တစ်လုံးမျှ မောင်းမနေသည့် အချိန်တွင် chiller များအနက်မှ တစ်လုံးလုံး စတင်မောင်းခြင်းကို "**initial startup**" ဟုခေါ်သည်။

ပထမဦးစွာ 650 RT chiller ကို စမောင်းသည်။

Chiller ကောင်းစွာလည်ပတ်ပြီးနောက် နောက်ထပ် chiller တစ်လုံးကို ထပ်မမောင်းခင် မိနစ်(၂၀)ခန့် စောင့်ကြည့် (delay 20 minutes)သည်။

Staging Controls for Chiller System

လက်ရှိမောင်းနေသည့် chiller များဖြင့် မလုံလောက်၍ နောက်ထပ် chiller တစ်လုံးကို ထပ်မောင်းရန်အတွက် အောက်ပါ အချက်များဖြင့် စစ်ဆေးသည်။

Chilled water supply temperature သည် 9.5°C ထက်များလျှင် (chilled water supply temperature > 9.5°C)

OR

Cooling load သည် chiller capacity 100% နှင့် ညီလျှင်

အထက်ပါ အချက်များနှင့် ကိုက်ညီလျှင် နောက်ထပ် chiller တစ်လုံး ထပ်မောင်းရန် အတွက် အချိန်(၁၀)မိနစ် ပြည့်အောင် စောင့်ရန် count down စလုပ်သည်။ False alarm များ မဖြစ်ပေါ်နိုင်အောင်၊ chiller တစ်လုံး ထပ်မောင်းရန် သေချာအောင် အချိန်ဆွဲခြင်း ဖြစ်သည်။

ထပ်မောင်းသည့် chiller လည်ပတ်ပြီးနောက် အချိန်(၃၀)မိနစ် ပြည့်အောင် စောင့်ရန်အတွက် count down စလုပ်သည်။ အချိန်(၃၀)မိနစ် အတွင်း မည်သည့် chiller မျှ ထပ်မမောင်းရန် နှင့် မရပ်နားရန်(staging up/down inactive) တားဆီးထားခြင်း ဖြစ်သည်။

Staging Controls for Chiller System

လက်ရှိမောင်းနေသည့် chiller များအနက် chiller တစ်လုံး ရပ်နား(shutdown)ရန်အတွက် အောက်ပါအချက်များဖြင့် စစ်ဆေးသည်။

Chilled water differential pressure သည် 5°C ထက်နည်းလျှင် (chilled water differential pressure < 5°C)

AND

Cooling load သည် chiller capacity ၏ 45% ထက်နည်းလျှင်

အထက်ပါ အချက်နှစ်ခုစလုံးနှင့် တစ်ပြိုင်နက် ကိုက်ညီ(AND)လျှင် chiller တစ်လုံး ရပ်နားရန် အချိန်(၁၀)မိနစ် ပြည့်အောင် စောင့်ရန်အတွက် count down စလုပ်သည်။ False alarm များ မဖြစ်ပေါ်နိုင်အောင်၊ chiller တစ်လုံး ရပ်နားရန် သေချာအောင် အချိန်ဆွဲခြင်း ဖြစ်သည်။

Chiller ရပ်နားပြီးနောက် အချိန်(၃၀)မိနစ် ပြည့်အောင် စောင့်ရန်အတွက် count down စလုပ်သည်။ အချိန်(၃၀)မိနစ် အတွင်း မည်သည့် chiller မျှ ထပ်မမောင်းရန် နှင့် မရပ်နားရန်(staging up/down inactive) တားဆီးထားခြင်းဖြစ်သည်။

Alarm Conditions for Chiller System Fail-Flag

အောက်ပါ အခြေအနေများတွင် chiller system fail-flag ပြသည်။

(၁) Chiller ၊ chilled water pump ၊ condenser water pump ၊ cooling tower များအနက်မှ တစ်ခုခု ပျက်လျှင် (failed to run)

(၂) Chiller ၊ chilled water pump ၊ condenser water pump ၊ cooling tower များအနက်မှ တစ်ခုခု trip ဖြစ်လျှင် သို့မဟုတ် local mode သို့ရောက်နေလျှင်

Failure Changeover

(၁) အကြောင်းတစ်စုံတစ်ခုကြောင့် မောင်းနေသည့် chiller system မှ fail-flag ဖြစ်ပေါ်(activate)လာလျှင် chiller သည် ရပ်တန့်ရန်အစီအစဉ်(stop sequence)ကို စတင်ဆောင်ရွက်(initiate)သည်။

(၂) အသင့်စောင့်နေသည့် chiller system တစ်ခုသည် fail ဖြစ်သွားသည့် chiller system အစား မောင်းရန် စတင်သည်။

Startup Sequence

Chiller system သည် enable command ကို လက်ခံရရှိလျှင် အောက်ပါ start-up sequence များကို စတင်ဆောက်ရွက်သည်။

Chiller တစ်လုံးချင်းစီ၏ cooling load ကို သိရန်အတွက် BTU meter များကို chiller တိုင်းတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ အဆောက်အဦ၏ cooling load ကို သိရန်အတွက် BTU meter များကို header တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။

(၁) Condenser Water Pump(CWP) ကို စမောင်း(start)ရန် command ပေးသည်။

(၂) Condenser Water Pump(CWP)မှ ON status ရရှိပြီးနောက် Chilled Water Pump (CHWP) ကို စမောင်း(start)ရန် command ပေးသည်။

(၃) Chilled Water Pump (CHWP)မှ ON status ရရှိပြီးနောက် အချိန်(၅)မိနစ် စောင့်ရန်အတွက် count down စလုပ်သည်။

(၄) Chiller ကို စမောင်း(start)ရန် command ပေးသည်။

Chiller system ကို အောင်မြင်စွာ မောင်းပြီးနောက် အချိန်(၃၀)မိနစ် ပြည့်အောင် စောင့်ရန်အတွက် count down စလုပ်သည်။ အချိန် (၃၀)မိနစ် အတွင်း မည်သည့် chiller မျှ မရပ်တန့်ရန်အတွက် တားဆီးထားခြင်း ဖြစ်သည်။

Shutdown/Stop Sequence

Chiller system ကို disable command ပေးလိုက်လျှင် shutdown sequence ကို အောင်ပါ အစီအစဉ် အတိုင်း ပြုလုပ်လိမ့်မည်။

(က) Chiller ကို ရပ်(stop)ရန် command ပေးသည်။

(ခ) Chiller မှ OFF status ပြန်ရလျှင် ရခြင်း (၅)မိနစ်စောင့်ရန် count down လုပ်သည်။

(ဂ) (၅)မိနစ်ပြည့်ပြီးနောက် CHW pump ကို ရပ်(stop)ရန် command ပေးသည်။

(ဃ) CHWP OFF Status ပြန်ရလျှင် ရခြင်း (၀.၅)မိနစ်စောင့်ရန် count down လုပ်သည်။

(င) (၀.၅)မိနစ်ပြည့်ပြီးနောက် CWP ကို ရပ်(stop)ရန် command ပေးသည်။

(စ) CHWP မှ ရပ်တန့်သွားပြီဖြစ်ကြောင်း OFF status ရရန် စောင့်ကြည့်သည်။

Chiller system တစ်ခုလုံးရပ်တန့်ပြီးနောက် "**prohibited command**" activate ဖြစ်လိမ့်မည်။ Prohibited command ကြောင့် ရပ်ပြီးခါစ chiller သည် (၁၅)မိနစ်အတွင်း ပြန်လည်၍ စတင်မောင်းနိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

Condenser Water Pump VSD Control

(၁) တပ်ဆင်ထားသည့် flow meter မှ ဖတ်ယူ ရရှိသည့် flow rate နှင့် set point ကို နှိုင်းယှဉ်ပြီး VSD ၏ speed ကို control လုပ်ရန်

(၂) စီးနှုန်း(flow rate)သည် set point ထက် နည်းလျှင် VSD speed ကို မြှင့်တင်(increase)ရန်

(၃) စီးနှုန်း(flow rate)သည် set point ထက်များလျှင် VSD speed ကို လျှော့ချ(decrease)ရန်

Chilled Water Pump VSD Control

(၁) တပ်ဆင်ထားသည့် flowmeter မှ ဖတ်ယူ ရရှိသည့် flow rate နှင့် set point ကို နှိုင်းယှဉ်ပြီး VSD ၏ speed ကို control လုပ်ရန်

(၂) စီးနှုန်း(flow rate)သည် set point ထက် နည်းလျှင် VSD speed ကို မြှင့်တင်(increase)ရန်
(၃) စီးနှုန်း(flow rate)သည် set point ထက် များလျှင် VSD speed ကို လျှော့ချ(decrease)ရန်

Cooling Tower Fan VSD Control

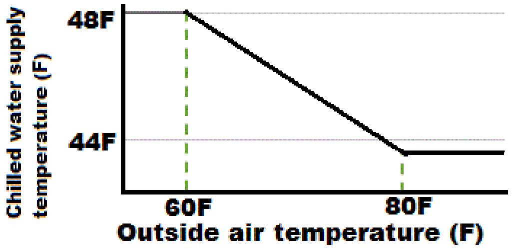
(၁) Condenser water supply temperature ကို set point (တပ်ဆင်ထားသည့် ambient temperature sensor မှ ဖတ်ယူထားသည့် Web Bult အပူချိန်+2.5°C) နှင့် နှိုင်းယှဉ်ပြီး cooling tower Fan VSD ၏ speed ကို control လုပ်ရန်
(၂) Condenser water supply temperature သည် set point ထက် နည်းလျှင် VSD speed ကို လျှော့ချ(decrease)ရန်
(၃) Condenser water supply temperature သည် set point ထက် များလျှင် VSD speed ကို မြှင့်တင်(increase)ရန်

By-Pass Valve Controls

(၁) System operating pressure ကို သိရန်အတွက် differential pressure sensor ကို main chilled water header တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။
(၂) တိုင်းယူရရှိသည့် ဖိအား(pressure)တန်ဖိုးကို set point နှင့် နှိုင်းယှဉ်ပြီး by-pass valve ကို modulate လုပ်သည်။ By-pass valve သည် main header အတွင်းရှိ ဖိအား(pressure) ဖြေလျှော့ရန်အတွက် အသုံးပြုခြင်း ဖြစ်သည်။

Controlling of Chiller Set point via High-level interface

Chilled water supply temperature set point ကို ပုံ ၁၃-၈(ဂ)တွင် ဖော်ပြထားသည့် အတိုင်း ပြင်ပလေ အပူချိန် (outdoor air temperature)ကို အခြေခံ၍ **High-level interface မှ တစ်ဆင့်** reset လုပ်နိုင်သည်။



ပုံ ၁၃-၈(ဂ) Chilled water temperature set point strategy

၁၃.၄ Chillerd Water Plant Optimization Strategies

၁၃.၄.၁ Fixed start/stop Vs Optimal start/stop

Fixed start/stop ဆိုသည်မှာ chiller plant room ၏ နေ့စဉ် စတင်မောင်းချိန်နှင့် ရပ်ချိန် တို့ကို ပုံသေ (fixed) သတ်မှတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ မိုးရွာသည်ဖြစ်စေ၊ နေပူသည်ဖြစ်စေ မောင်းချိန်နှင့် ရပ်ချိန်တို့မှာ မပြောင်းလဲပေ။

Optimal start/stop ဆိုသည်မှာ နံနက်အချိန်တွင် ပြင်ပအပူအချိန်(outdoor temperature)သည် သတ်မှတ်ထားသည့် အပူချိန်ထက် နိမ့်နေပါက chiller plant ကို မိနစ်အနည်းငယ် စောင့်ဆိုင်းပြီးမှ စတင်မောင်းခြင်း၊ ရပ်ရမည့် အချိန်ထက် (၁)နာရီ သို့မဟုတ် နာရီဝက်ခန့် အလိုတွင် ရပ်နားနိုင်သည်။ မိုးရွာခြင်းကြောင့် ပြင်ပအပူအချိန် (outdoor temperature)သည် သတ်မှတ်ထားသည့် အပူချိန်ထက်နိမ့်ပါက chiller plant ကို မိနစ်အနည်းငယ်စော၍ ရပ်နား (shutdown) နိုင်သည်။ နွေ၊ မိုး၊ ဆောင်း ရာသီဥတုကို လိုက်၍လည်း optimal start/stop timing ကို ရွေးချယ် နိုင်သည်။

အချိန်မည်မျှ(မိနစ်) နောက်ကျ၍ မောင်းရမည်ကို ပြင်ပအပူအချိန်(outdoor temperature)မှ ခန့်မှန်း တွက်ချက်နိုင်သည်။ မည်မျှစောစော ကြိုတင်ရပ်နား(shutdown)ရမည်ကိုလည်း outdoor temperature နှင့် building အရွယ်အစားကို လိုက်၍ ခန့်မှန်းနိုင်သည်။ အဆောက်အဦ ကြီးမားလျှင် thermal mass များသောကြောင့် အဆောက် အဦ အတွင်းရှိ အအေးဓာတ်သည် အခန်းအပူချိန်(indoor temperature)ကို ပိုကြာရှည်စွာ ထိန်းထားနိုင်စွမ်း ရှိသည်။

၁၃.၄.၂ Leaving Chilled Water Set point with Constant Primary Flow

VSD တပ်ဆင်ထားခြင်းမရှိဘဲ မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed)ဖြင့် မောင်းသော chiller plant များတွင် leaving chilled water set point reset နည်းကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Leaving chilled water temperature ကို 1°F(0.6°C) မြှင့်လိုက်ရုံဖြင့် chiller စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှုန်း(energy consumption)၏ 1% သို့မဟုတ် 2% ကို လျှော့ချနိုင်သည်။ ချွေတာ(save)နိုင်သည်။ Building automation တပ်ဆင်ထားသည့် အဆောက်အဦ ဖြစ်လျှင် Air Handling Unit နှင့် Fan Coil Unit တို့၏ chilled water control valve position ကို ကြည့်၍ reset ပြုလုပ်နိုင်သည်။

၁၃.၄.၃ Chilled Water Reset ပြုလုပ်နိုင်သည့် နည်းများ

Chilled water set point များ ပြောင်းလဲခြင်းကို reset လုပ်သည်ဟု ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။

(က) Resetting Chilled Water Set point Based on Outdoor Air Temperature

ပြင်ပအပူအချိန်(outdoor temperature) မြင့်လျှင် building heat load များသည်။ ပြင်ပအပူအချိန် (outdoor temperature)သည် သတ်မှတ်ထားသည့် အပူချိန်တစ်ခု အထိ နိမ့်လာလျှင် chilled water set point ကို မြှင့်၍ မောင်းနိုင်သည်။

ဥပမာအားဖြင့် မြန်မာနိုင်ငံ၏ ဒီဇိုင်း အမြင့်ဆုံး ပြင်ပအပူချိန်(outdoor temperature)သည် 35°C မှ 38°C Dry Bulb အတွင်း ဖြစ်သောကြောင့် အဆောက်အဦ cooling load သည် 35°C ကို အခြေခံ၍ တွက်ထားသည်။ အကယ်၍ ပြင်ပအပူချိန်(outdoor temperature)သည် 26.7°C အထိ နိမ့်ဆင်းလာလျှင် chilled water set point ကို မြှင့်တင်နိုင်သည်။ အောက်တွင် chilled water set point reset လုပ်ရန်အတွက် ဇယားကို ဥပမာအဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။ ပုံ(၁၃-၈)နှင့် တွဲ၍ လေ့လာနိုင်သည်။

Chilled Water Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)
6.7°C(44°F) (Standard)	35°C(95°F) or higher
8.9°C(48°F) or higher	26.7°C(80°F) or below

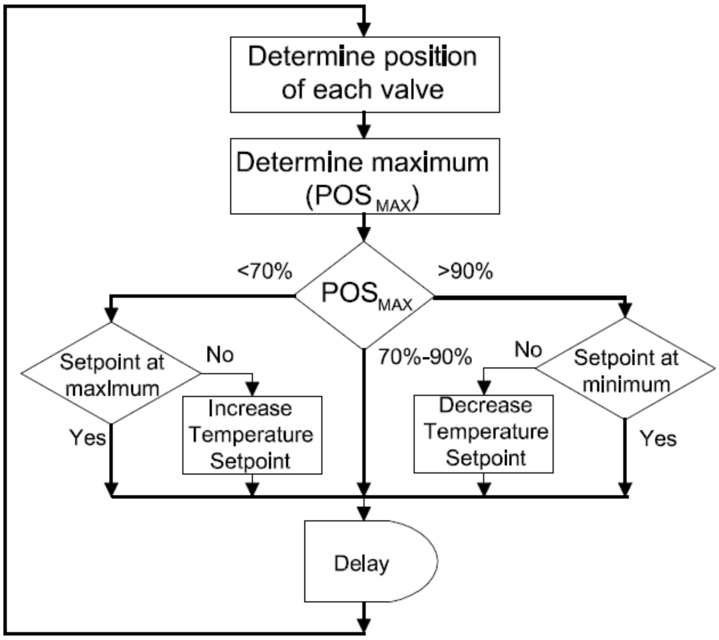
(ခ) Resetting the Chilled Water Set point Based on Total Building Load

လက်ရှိ အဆောက်အဦတစ်ခု၏ တစ်နှစ်တာ load profile ကို လေ့လာပြီးနောက် အဆောက်အဦ cooling load ကို အခြေခံ၍ chillend water reset ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Cooling load ကျဆင်းလာလျှင် (နိမ့်လာလျှင်) chilled water temperature ကို မြှင့်ပေးနိုင်သည်။ အဆောက်အဦတစ်ခု၏ load profile သည် တခြား အဆောက်အဦ တစ်ခု၏ load profile နှင့် မတူညီနိုင်ပေ။ မိမိ အဆောက်အဦ၏ load profile နှင့် သင့်လျော်သော chilled water set point ကို ရှာဖွေ မှတ်သားထားသင့်သည်။

(ဂ) Resetting the Chilled Water Set point Based on Summer/ Winter Mode or Time Schedule

နွေ၊ မိုး၊ ဆောင်း ဥတုရာသီကို လိုက်၍ chiller water set point ကို ပြောင်းလဲနိုင်သည်။ နွေရာသီ၏ အနိမ့်ဆုံး chilled water set point သည် 6.7°C ဖြစ်လျှင် ဆောင်းရာသီ တစ်လျှောက်လုံး၏ အနိမ့်ဆုံး set point သည် 7.2°C ဖြစ်နိုင်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ဆောင်းရာသီတွင် ပြင်ပအပူချိန်(outdoor temperature)ပို နိမ့်သော ကြောင့် set point ကို မြှင့်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

အချိန်ကာလကို လိုက်၍လည်း set point ကို reset လုပ်နိုင်သည်။ Shopping center တစ်ခုသည် ည (၁၀)နာရီတွင် chiller shutdown လုပ်ရန် သတ်မှတ်ထားလျှင် ညရှစ်နာရီခွဲ သို့မဟုတ် ကိုးနာရီအချိန်တွင် chilled water set point ကို 8.5°C အထိ မြှင့်ထားနိုင်သည်။ Shopping center မပိတ်ခင် တစ်နာရီအလိုတွင် customer အရေအတွက် နည်းသွားခြင်း ၊ shopping center အတွင်းရှိ စက်အချို့ကို ရပ်တန့်လိုက်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်သည်။ ဤကဲ့သို့ အဆောက်အဦ cooling load ကို ကြိုတင်၍ ခန့်မှန်း(predict) နိုင်လျှင် chiller မှ unload လုပ်မည့်အချိန်ကို မစောင့်ဘဲ chilled water set point ကို မြှင့်ခြင်းဖြင့် chiller အား ကြိုတင် unload လုပ်ခိုင်းခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၃-၉ Control strategy for optimizing variable speed chilled water pumps

(ဃ) Resetting the Chilled Water Set Point Based on AHUs and FCUs Control Valve Position

Building Automation System (BAS)၏ အကူအညီဖြင့် AHU နှင့် FCU အားလုံး သို့မဟုတ် အများစု၏ valve position ကို သိနိုင်သည်။ Control valve များ အားလုံး သို့မဟုတ် အများစု၏ position (%) သည် valve တစ်ခုခြင်းစီ၏ position (%)ကို ပေါင်း၍ valve အရေအတွက်ဖြင့် စားခြင်း ဖြစ်သည်။ Valve အားလုံး၏ position (%)သည် 90% ထက် ကျော်နေပါက chilled water set point ကို နိမ့်ပေးသင့်သည်။ Valve အားလုံး၏ position သည် 90% ထက် များနေခြင်းသည် air side(demand side)၌ cooling load ပိုမို လိုအပ်နေခြင်း ဖြစ်သည်။

Valve အားလုံး ၏ position သည် 90% နှင့် 70% အတွင်းရှိလျှင် supply side(chiller side) နှင့် demand side(air side) ၏ cooling load သည် ညီမျှနေသည် (match)ဟု အဓိပ္ပာယ် သက်ရောက်သည်။ လက်ရှိ chiller water temperature set point သည် အသင့်လျော်ဆုံး set point ဖြစ်သည်။ ထပ်နိမ့်ရန်၊ မြှင့်ရန် မလိုအပ်တော့ပေ။ Valve အားလုံး၏ position သည် 70% ထက်နည်းလျှင် chilled water set point ကို မြှင့်နိုင်သည်။ လက်ရှိ chilled water set point သည် သတ်မှတ်ထားသည့် အမြင့်ဆုံး set point သို့ မရောက်သေးလျှင် ထပ်မြှင့်နိုင်သည်။ အမြင့်ဆုံး set point သို့ ရောက်နေလျှင် ဆက်မြှင့်ရန် မလိုတော့ပေ။ ပုံ(၁၃-၉)တွင် ပြထားသည့် chilled water reset strategy ၏ control logic မှာ အောက်ပါအတိုင်း ဖြစ်သည်။ ပထမဦးစွာ maximum set point တန်ဖိုးနှင့် minimum set point တန်ဖိုးကို အရင်သိထားရန် လိုအပ်သည်။

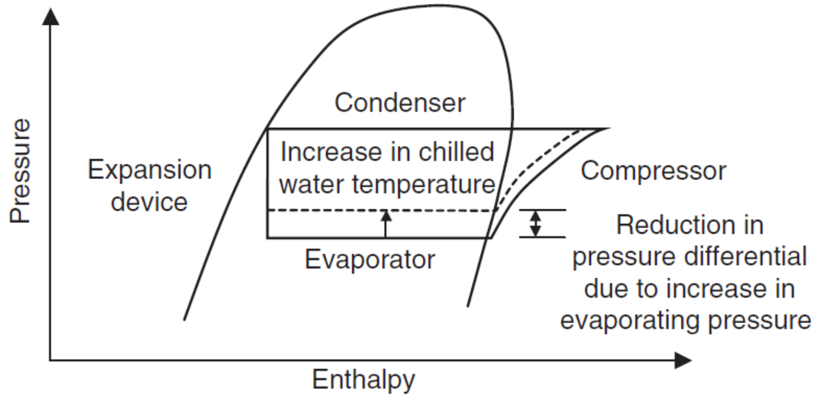
Valve အားလုံး၏ position POS_{MAX} ကို အခြေခံ၍ အပိုင်း (၃)ပိုင်းခွဲရန်

POS_{MAX} သည် 90% ထက်များလျှင် minimum set point ရောက်မရောက် စစ်ဆေးရန် ၊ လက်ရှိ chilled water set point သည် သတ်မှတ်ထားသည့် minimum set point သို့ မရောက်သေးပါက 0.2°C နိမ့်ပါ။ အချိန်အနည်းငယ် စောင့်ကြည့်ပါ။

လက်ရှိ chilled water stepoint သည် minimum set point သို့ (valve အားလုံး၏ position သည် 90% ကျော်နေသမျှ ကာလပတ်လုံး) ရောက်သည့်တိုင် ပြုလုပ်ရသည်။ POS_{MAX} သည် 70% နှင့် 90% အတွင်း ဖြစ်ပါက လက်ရှိ chilled water set point ကို ပြောင်းလဲရန် မလိုပေ။

POS_{MAX} သည် 70% ထက်နည်းပါက maximum set point ရောက်၊ မရောက် စစ်ဆေးပါ။ လက်ရှိ chilled water set point ကို မရောက်သေးပါက 0.2°C ထပ်မြှင့်ပါ။ သတ်မှတ်ထားသည့် အချိန်အနည်းငယ် စောင့်ကြည့်ပါ။

လက်ရှိ chilled water set point သည် maximum set point သို့ (valve အားလုံး၏ position POS_{MAX} သည် 70% ထက် နည်းနေသမျှ ကာလပတ်လုံး) ရောက်သည့်တိုင် ပြုလုပ် ရသည်။



ပုံ ၁၃-၁၀ Pressure–enthalpy diagram showing effect of increasing chilled water temperature

ပုံ(၁၃-၁၀)တွင် P-h diagramသည် vapour compression cycle တစ်ခုကိုဖော်ပြထားသည်။ Compressor သည် evaporator pressure မှ refrigerant ကို condenser pressure အထိရောက်အောင် compress လုပ်ရသည်။

$$\textit{Condenser Pressure} - \textit{Evaporator Pressure} = \textit{Chiller Lift}$$

Chiller lift သည် chiller compressor ၏ အလုပ် လုပ်ရသည့်ပမာဏ(amount of work done) ဖြစ်သည်။ R22 refrigerant ကို အသုံးပြုသည့် chiller compressor ၏ lift သည် entering chilled water temperature နှင့် condenser water leaving temperature အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

ဥပမာ- R-22 refrigerant

7°C နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ဖိအား(corresponding) Evaporator pressure သည် 621KPa ဖြစ်သည်။

8°C နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ဖိအား(corresponding) Evaporator pressure သည် 641KPa ဖြစ်သည်။

29.0 နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ဖိအား(corresponding) Condenser pressure သည် 1162KPa ဖြစ်သည်။

Chiller set point ကို 7°C မှ 8°C သို့ မြှင့်တင်လိုက်လျှင် compressor သည် ဖိအား 621 kPa (7°C) မှ 1162 kPa (29°C)သို့ compress လုပ်ရမည့်အစား ဖိအား 641 kPa(8°C) မှ 1162 kPa(29°C)သို့သာ compress လုပ်ရမည်။ ထို့ကြောင့် 20kPa သက်သာသွားသောကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption) လျော့နည်းသည်။

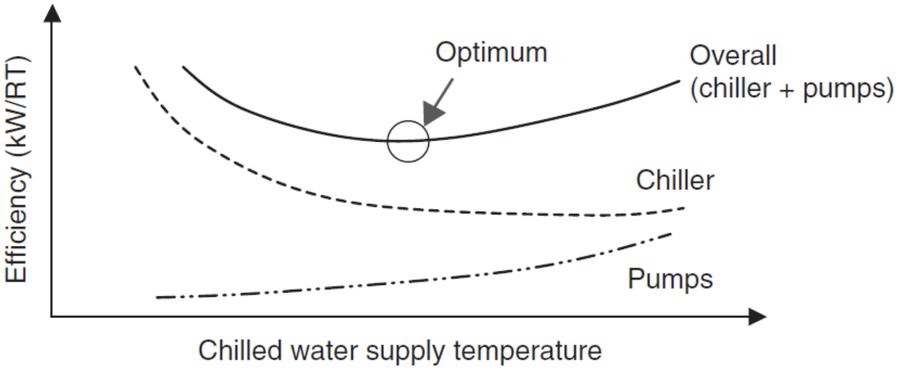
(c) Resetting the Chilled Water Set point Based on Return Temperature

AHRI အရ chiller များ၏ standard CHW supply temperature သည် 6.7°C ဖြစ်ပြီး CHW return temperature သည် 12.2°C ဖြစ်သည်။ CHW return temperature သည် 12°C မှ 10°C သို့ ကျဆင်း လာပါက CHW supply temperature ကို မြှင့်ပေးနိုင်ခြင်းဖြင့် CHW return temperature ကို ဒီဇိုင်း အပူချိန် 12°C သို့ ပြန်ရောက်စေနိုင်သည်။ CHW return temperature သည် ဒီဇိုင်းအပူချိန် 12°C မှ 10°C သို့ နိမ့်ဆင်း လာရသည့် အကြောင်းမှာ cooling load နည်းလာသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ CHW flow rate မှာ ပြောင်းလဲမှုမရှိ(constant) ဟု ယူဆချက်အပေါ်တွင် အခြေခံသည်။

Variable flow system တွင် cooling load နည်းလျှင် CHW flow နည်းသွားသည်။ CHW return temperature ပြောင်းလဲမှု မရှိပေ။ ထို့ကြောင့် ဤကဲ့သို့ reset လုပ်ခြင်းကို constant flow system အတွက်သာ အသုံးပြုနိုင်သည်။

Variable flow CHW pumping system တွင် CHW supply temperature ကို မြှင့်လိုက်သောကြောင့် chiller efficiency ပိုကောင်းလာချိန်တွင် ပိုများသည့် CHW flow rate လိုအပ်သောကြောင့် pump များမှာ ပို၍ အလုပ်

လုပ်ရသည်။ ထို့ကြောင့် စွမ်းအင်(energy) ပိုလိုအပ်သည်။ Chilled water reset လုပ်ခြင်း၏ အကျိုး သက်ရောက်မှုကို chiller နှင့် pump နှစ်ခုလုံး၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) ပေါ်တွင် တွက်ယူရမည်။



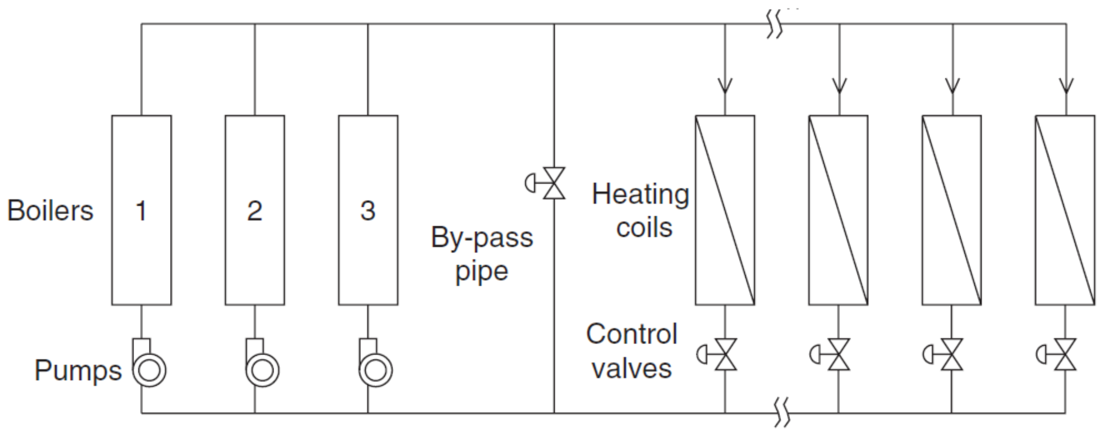
ပုံ ၁၃-၁၁ Effect of chilled water temperature on chiller and pump efficiency.

ပုံ(၁၃-၁၁)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း CHW supply temperature မြင့်လာခြင်းကြောင့် chiller ၏ efficiency ပိုကောင်းလာသည်။ Chilled water pumping efficiency သည် ကျဆင်းလာသည်။ Optimum operating point သည် chiller နှင့် pump နှစ်ခုပေါင်း(overall efficiency)၏ အမြင့်ဆုံး point ဖြစ်သည်။ Optimum operating point သည် chiller နှင့် pump တို့၏ performance characteristic ပေါ်တွင် မူတည်ပြီး အဆောက်အဦကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။

၁၃.၅ Boiler Controls

ဘွိုင်လာ(boiler)များအတွင်း၌ လောင်စာဆီမီးလောင်နှုန်း(combustion rate)သည် လေနှင့်လောင်စာဆီ အချိုး(fuel to air ratio)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Boiler များတွင် load နှင့် အကိုက်ညီဆုံးသော လေနှင့်ဆီ အချိုး (optimum fuel to air ratio) ရရှိရန်နှင့် သင့်လျော်သည့် feedwater level ကို ထိန်းထားရန်အတွက် control system များ လိုအပ်သည်။

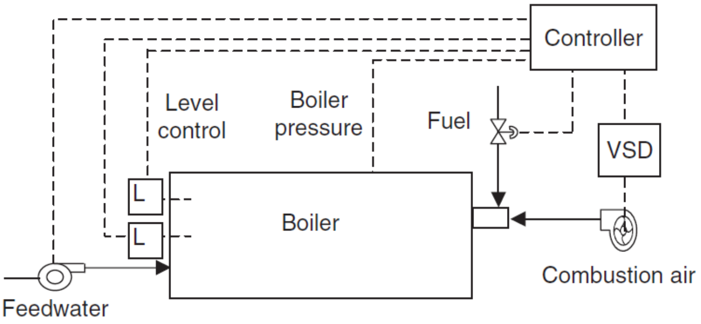
ယေဘုယျအားဖြင့် ရေနွေးငွေ့ဖိအား(steam pressure)ကို အခြေခံ၍ ဘွိုင်လာ(boiler)များကို control လုပ်ကြသည်။ Steam usage (load) နည်းသည်ဖြစ်စေ၊ များသည်ဖြစ်စေ ရေနွေးငွေ့ဖိအား(steam pressure) တည်ငြိမ်အောင်သာ control လုပ်ကြသည်။ Steam usage (load) များလျှင် steam pressure ကျဆင်းသွားသည်။ ထို့ကြောင့် ရေနွေးငွေ့ဖိအား(steam pressure)ကို ထိန်းထားနိုင်ရန် လောင်စာဆီ(fuel) များများ စီးဆင်း (flow) စေပြီး မီးလောင်နှုန်း(combustion rate)များအောင် ပြုလုပ်ကာ control လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။



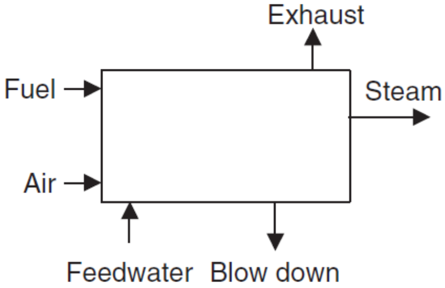
ပုံ ၁၃-၁၂ Typical arrangement of boiler plant used for space heating

ဆီပေးနှုန်း(fuel flow rate)ကို control လုပ်သည့်အခါ လေနှင့်ဆီအချိုး(air-to-fuel ratio)ကို ထိန်းထားရန်အတွက် ထည့်ပေးသည့် လေပမာဏကိုလည်း control လုပ်ရန် လိုသည်။ ပိုအဆင့်မြင့်သည့်(advanced) system များတွင် ခေါင်းတိုင်မှ ထွက်သည့်မီးခိုး(flue gas)အတွင်း၌ ပါဝင်နေသည့် ဓာတ်ငွေ့ အချိုးအစား(composition)ကို အခြေခံ၍ လေနှင့်ဆီအချိုး(air-to-fuel ratio)ကို control လုပ်နိုင်သည်။

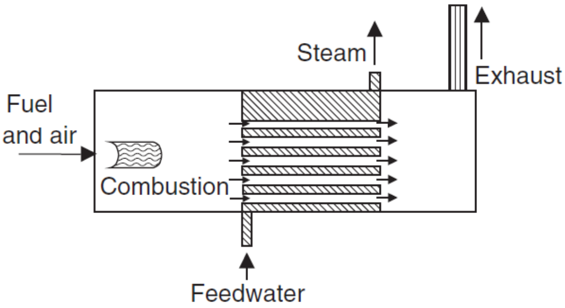
Boiler control system သည် ဘွိုင်လာ(boiler)အတွင်း၌ ရေပမာဏသည် minimum level နှင့် maximum levels အကြားတွင် အမြဲရှိနေစေရန် feedwater pump မှ တစ်ဆင့် control လုပ်ရသည်။



ပုံ ၁၃-၁၃ Typical controls for boilers

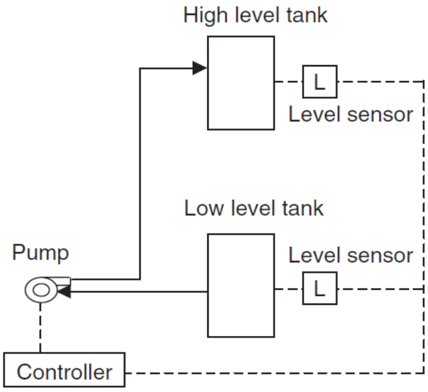


ပုံ ၁၃-၁၄ Main inflows and outflows for a typical boiler.



ပုံ ၁၃-၁၅ Arrangement of fire tube boilers.

၁၃.၆ Water Pump Controls



ပုံ ၁၃-၁၆ Typical level control system for pumps

အဆောက်အဦတွင် အသုံးပြုသည့် pump အများစုသည် chiller control system နှင့် boiler control system တွင် ပါဝင်ကြသည်။ တခြားသော pump များမှာ transfer pump၊ booster pump စသည်တို့ ဖြစ်ကြသည်။

Water transfer pump ကို ကန်(tank)များ၏ ရေအမြင့်(water level)ကို အခြေခံ၍ control လုပ်သည်။ ဥပမာ

(၁) နိမ့်သည့်ရေကန်(Low level tank)၏ water level သည် နိမ့်(low)နေပါက pump မမောင်းရန်။

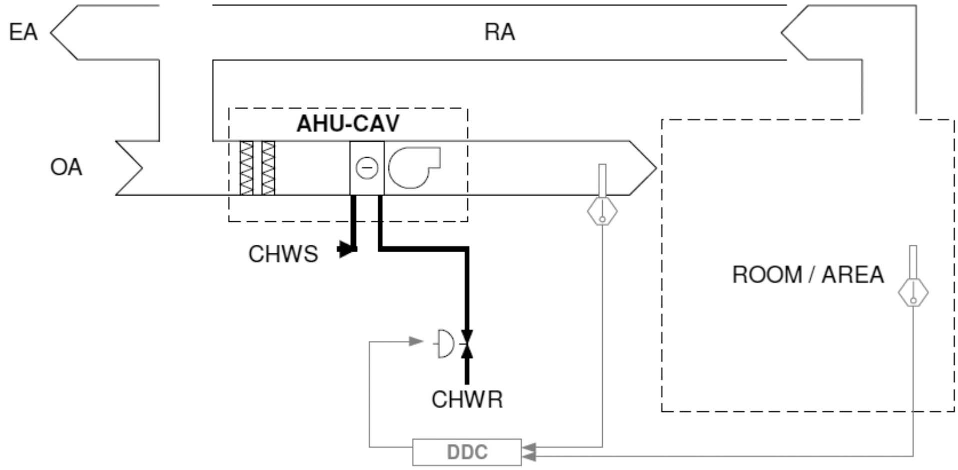
(၂) အမြင့်ရှိရေကန်(High level tank)၏ water level သည် နိမ့်(low)နေပါက pump စမောင်းရန်။

(၃) အမြင့်ရှိရေကန်(High level tank)၏ water level သည် မြင့်(high)နေပါက pump ကို ရပ်နားရန်။

၁၃.၇ AHU Controls

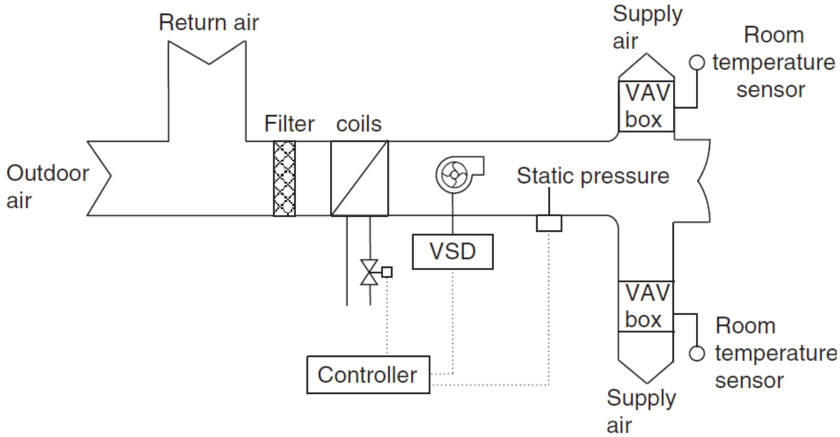
၁၃.၇.၁ Constant Air Volume(CAV) AHU

Air Handling Unit(AHU) များကို Constant Air Volume(CAV) AHU နှင့် Variable Air Volume(VAV) AHU ဟူ၍ နှစ်မျိုး ကွဲပြားသည်။ Constant Air Volume(CAV) AHU control လုပ်နည်းကို အခန်း(၇)တွင် ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၃-၁၇ Constant Air Volume Air Handling Unit (CAV AHU) control schematic

၁၃.၇.၂ Variable Air Volume (VAV) AHU

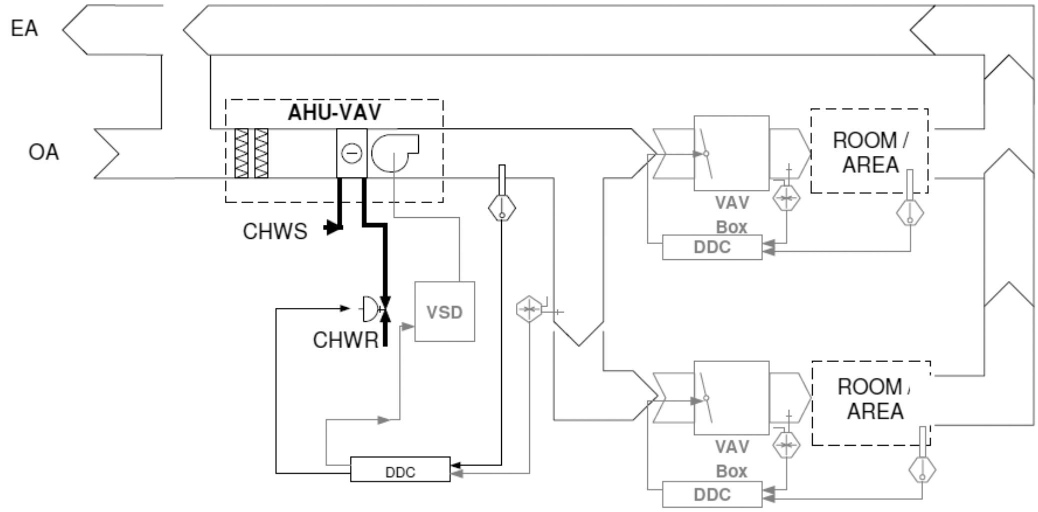


ပုံ ၁၃-၁၈ Control arrangement of a Variable Air Volume (VAV) AHU.

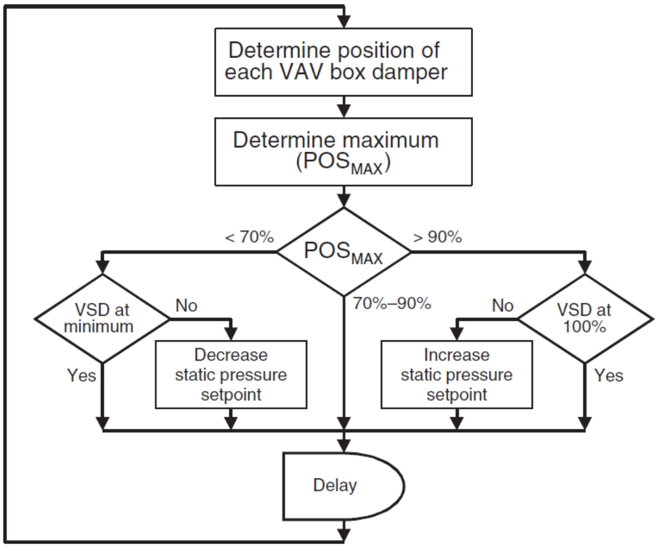
Commercial building များတွင် variable air volume (VAV) system ကို အသုံးပြုကြသည်။ နေရာတိုင်းသို့ လိုအပ်သည့် လေပမာဏကိုသာ အတိအကျ ပေးပို့နိုင်သောကြောင့် စွမ်းအင်သက်သာသည်။ Variable Air Volume (VAV) system ကို thermostats နှင့် VAV box များဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည်။ AHU fan ကို VSD တပ်ဆင်၍ မောင်းသည်။ Distribution duct ထဲတွင် static pressure sensor တပ်ဆင်ထားသည်။ Fan ၏ မြန်နှုန်း (speed)ကို control လုပ်ရန်အတွက် duct အတွင်းရှိ ဖိအား(static pressure) ကို အသုံးပြုသည်။ VAV box နှင့် AHU fan ၏ operation ကို DDC များက control လုပ်သည်။ VAV box များ၏ damper position ကို BAS မှတစ်ဆင့် စောင့်ကြည့်(monitor) နိုင်သည်။

ပုံမှန်အားဖြင့် static pressure set point ကို အသေ(fixed) ထားလေ့ရှိသည်။ သို့သော် static pressure set point ကို ပြောင်းလဲပေးခြင်း (reset လုပ်ခြင်း)ဖြင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုကို ထိရောက်စွာလျှော့ချနိုင်သည်။ System static pressure ကို လျှော့ခြင်းကြောင့် AHU fan စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption)ကို လျှော့ချနိုင်သည်။

VAV system ၏ control သည် air conditioning system များတွင် အရှုပ်ထွေးဆုံး control ဖြစ်သည်။ တစ်နှစ်ပတ်လုံး cooling လုပ်ပေးရန်လိုအပ်သည့် အပူပိုင်းနိုင်ငံများတွင် VAV system ကို အများဆုံး တွေ့ရလေ့ ရှိသည်။ ရုံးအဖြစ် အသုံးပြုသည့် အဆောက်အဦ(office building) များတွင် VAV system ကို မဖြစ်မနေ တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။



ပုံ ၁၃-၁၉ Variable Air Volume Air Handling Unit (VAV AHU) control schematic



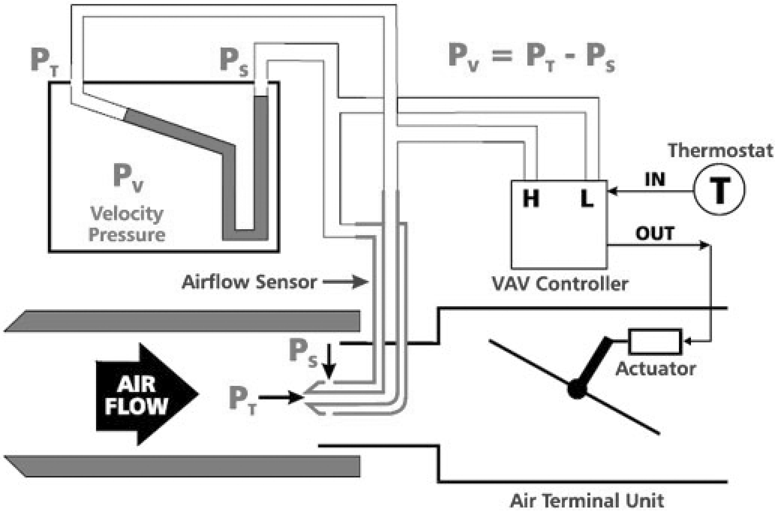
ပုံ ၁၃-၂၀ Typical static pressure reset algorithm

Pressure dependent VAV box ဒီဇိုင်းကို အသုံးပြုလျှင် အလိုလျောက် လေဝင်လေထွက် ကောင်းမွန် ညီညာ(self-balancing)သည်။ VAV system များတွင် reheat ပြုလုပ်ခြင်းသည် စွမ်းအင် ဖြုန်းတီးရာ ရောက်သည်။ Static pressure sensor ကို supply duct အရှည်၏ သုံးပုံ နှစ်ပုံနေရာတွင် တပ်ဆင် ထားလေ့ရှိသည်။ လိုအပ်သည်ထက် ပိုများသည့် static pressure setting ပြုလုပ်ထားခြင်းကြောင့် စွမ်းအင် ဖြုန်းတီးသည်။ အသံဆူညံသည်။

Minimum set point အထိရောက်အောင် AHU fan speed ကို လျှော့ချသည့် control algorithm ဖြစ်သည်။ AHU fan သည် အနိမ့်ဆုံး speed ဖြင့်မောင်းနေချိန်တွင် VAV box အားလုံးနီးပါးသည် 90% open position ထက် မကျော်ပေ။ Control algorithm သည် VAV box များ၏ damper position ကို စောင့်ကြည့်နေ (monitoring)ပြီး AHU fan speed ကို control လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ VAV box များ၏ damper ကျယ်ကျယ်ပွင့်နေလျှင်

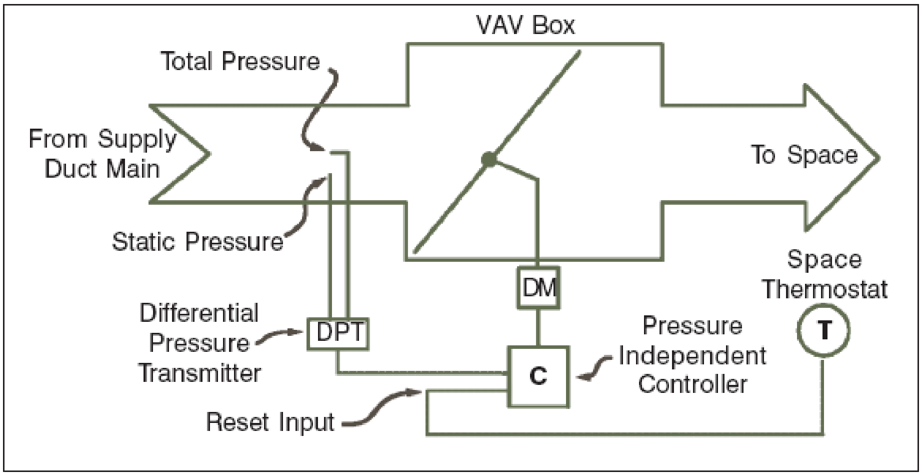
(above 90%) အခန်းများတွင် လေများများ လိုအပ်နေသည်။ ထို့ကြောင့် static pressure set point ကို မြှင့်တင်ပေးရန်လိုသည်။ VAV box များ၏ damper အနည်းငယ် ပွင့်နေလျှင်(below 70%) အခန်းများတွင် လေအနည်းငယ်သာ လိုအပ်နေသောကြောင့် static pressure set point ကို လျှော့ချနိုင်သည်။ အကြမ်းအားဖြင့် VAV system များသည် CAV system များထက် စွမ်းသုံးစွဲမှု ၂၀% ခန့် နည်းသည်။

၁၃.၇.၃ VAV Box Control



ပုံ ၁၃-၂၁(က) VAV Box တစ်ခု၏ control အလုပ်လုပ်ပုံ

VAV box များတွင် pressure dependent နှင့် pressure dependent ဟူ၍ နှစ်မျိုးကွဲပြားသည်။ Pressure independent VAV box များကို အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။ VAV box control လုပ်ရာတွင် velocity တိုင်းရန်အတွက် differential pressure sensor နှင့် အခန်းအပူချိန်(space temperature)ကို ဖတ်ယူရန်အတွက် thermostat ပါဝင်သည်။ VAV box ၏ လေစီးနှုန်း(air flow)ကို control လုပ်ရန်အတွက် motorized damper ပါဝင်သည်။ VAV box ၏ အရွယ်အစားကို လိုက်၍ အမြင့်ဆုံးလေစီးနှုန်း(maximum air flow)နှင့် အနိမ့်ဆုံးလေစီးနှုန်း(manimum air flow)ကို သတ်မှတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၁၃-၂၁(ခ) VAV Box တစ်ခု၏ control

အခန်းအပူချိန်ကို လိုက်၍ လိုအပ်သည့် လေပမာဏကိုသာ VAV box က ထုတ်ပေးသည်။ VAV box ၏ control လုပ်နည်းသည် အောက်ပါအတိုင်း ဖြစ်သည်။

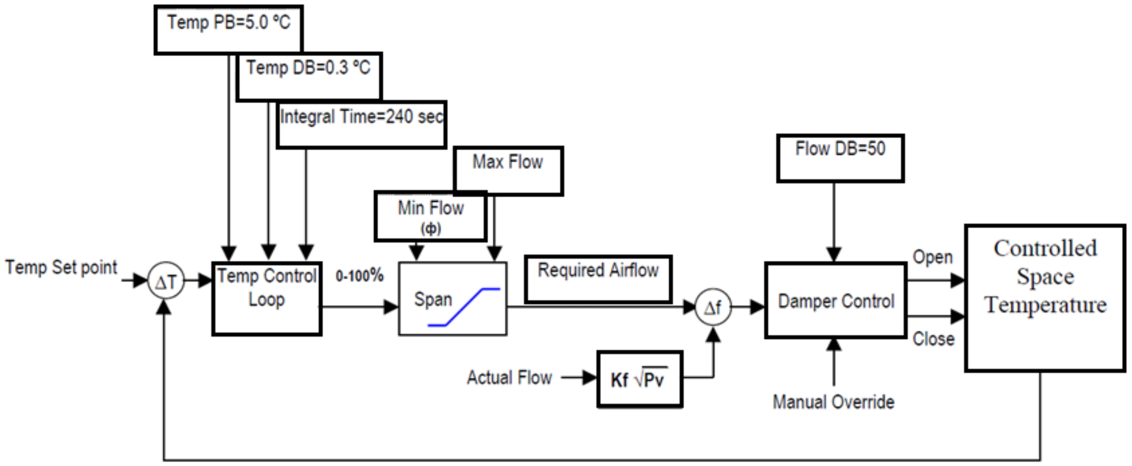
(၁) အခန်းအပူချိန်(space temperature)ကို thermostat က ဖတ်ယူသည်။ ထို့နောက် အခန်းအပူချိန်(space temperature)နှင့် set point ကို နှိုင်းယှဉ်သည်။ Cooling လုပ်ငန်းတွင် အခန်းအပူချိန်(space temperature) သည် set point ထက် ပိုမြင့်နေပါက လက်ရှိ လေထုထည်စီးနှုန်း(volume flow rate)ကို တိုးမြှင့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

(၂) Differential pressure sensor မှ တိုင်းယူရရှိသည့် တန်ဖိုးကို ပုံသေနည်းဖြင့် velocity တန်ဖိုး အဖြစ်သို့ ပြောင်းယူသည်။ Velocity တန်ဖိုး မှ တစ်ဆင့် လက်ရှိလေထုထည်စီးနှုန်း(actual volume flow rate) အဖြစ်သို့ ပြောင်းယူသည်။

(၃) လိုအပ်သည့် လေပမာဏ(required flow) ကို အမြင့်ဆုံးလေစီးနှုန်း(maximum air flow)နှင့် အနိမ့်ဆုံး လေစီးနှုန်း(manimum air flow)မှ တစ်ဆင့် တွက်ယူသည်။ လက်ရှိဖြစ်ပေါ်နေသည့် လေစီးနှုန်း(actual flow)နှင့် လိုအပ်သည့် လေပမာဏ(required flow)ကို နှိုင်းယှဉ်သည်။

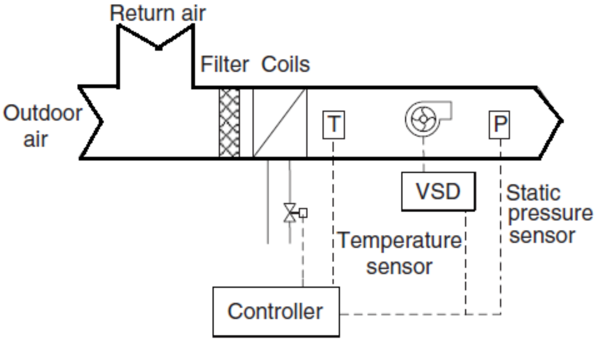
(၄) လက်ရှိဖြစ်ပေါ်နေသည့် လေစီးနှုန်း(actual flow)သည် လိုအပ်သည့် လေပမာဏ(required flow)ထက် နည်းနေပါက controller သည် actuator ကို ပို၍ ကျယ်ကျယ် ဖွင့်ပေးရန် အမိန့်(command) ပေးသည်။ လက်ရှိဖြစ်ပေါ်နေသည့် လေစီးနှုန်း(actual flow)သည် လိုအပ်သည့် လေပမာဏ(required flow)ထက် များနေပါက controller သည် actuator ကို ပို၍ အနည်းငယ် ပိတ်ပေးရန် အမိန့်(command) ပေးသည်။

ဤနည်းဖြင့် လေထုထည်စီးနှုန်း(volume flow rate)ကို control လုပ်ခြင်းဖြင့် အလိုရှိသည့် အခန်းအပူချိန် (space temperature)ကို ရရှိနိုင်သည်။

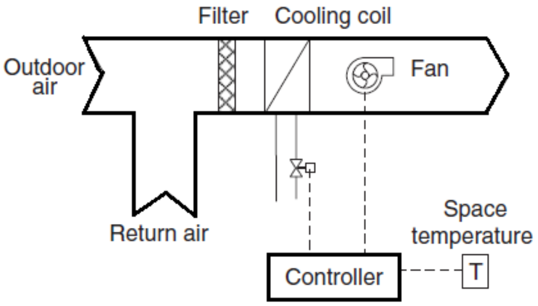


ပုံ ၁၃-၂၁(ဂ) Air flow သည် maximum flow နှင့် minimum flow တန်ဖိုး နှစ်ခုအကြားတွင်သာ ရှိသည်။

၁၃.၈ Fan Coil Unit (FCU) Controls



ပုံ ၁၃-၂၂ FCU control by retrun air temperature



ပုံ ၁၃-၂၃ FCU control by space temperature

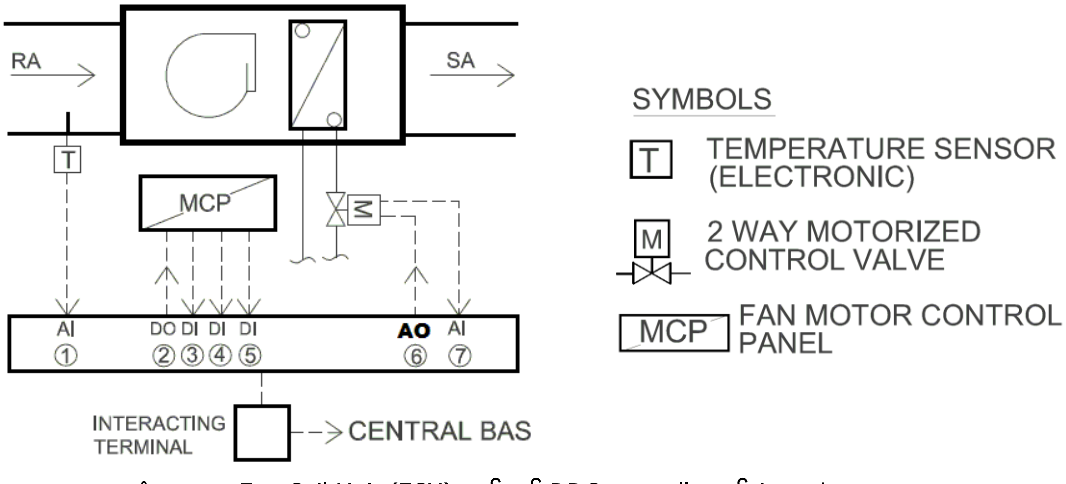
Fan Coil Unit(FCU) များတွင် ဈေးနှုန်းချိုသာသည့် on/off အမျိုးအစား(type) control valve များကို အသုံးပြု ကြသည်။ Cooling load ပြောင်းလဲမှု ဖြစ်ပေါ်သည့်အခါ အခန်းအပူချိန် (space temperature)ကို set point

တွင် ထိန်းထား နိုင်ရန်အတွက် control valve သည် chilled water စီးနှုန်း(flow rate)ကို ထိန်းပေးသည်။FCU ကို တခြားသော device များနှင့်လည်း တွဲသုံးလေ့ရှိသည်။ ဥပမာ အစည်းဝေးခန်း(meeting room)တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် FCU ကို occupancy sensor နှင့်တွဲ၍ control လုပ်သည်။ Occupancy sensor သည် အစည်းဝေးခန်း(meeting room)အတွင်းသို့ လူဝင်ရောက်လာပြီဟု သိလျှင်(detect) FCU ကို စမောင်းသည်။ အခန်းထဲတွင် (၁၀)မိနစ်ခန့် လှုပ်ရှားမှု မရှိလျှင် FCU ကို ရပ်တန့်(shutdown)စေသည်။

အကယ်၍ အလွန်အဆင့်မြင့်သည့် အဆောက်အဦ(intelligent building) ဖြစ်လျှင် FCU များကို facility booking system နှင့် ချိတ်ဆက်ထားသည်။ အစည်းဝေးခန်း(meeting room)ကို အသုံးပြုမည့်သူ(user)သည် facility booking system ၌ booking လုပ်ထားမှသာ FCU ကို မောင်းခွင့်ရအောင် controller က enable လုပ်ပေးသည်။ Booking လုပ်ထားခြင်း မရှိပါက FCU ကို မောင်းခွင့်ပေးလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

Table 13-1 FCU တစ်ခု ၏ Input /Output point schedule

	Input /Output Variables	**DO**	**AO**	**DI**	**AI**	**Software**
1	Return air temperature				1	High/Low Alarm
2	FAN On/Off Control	1				
3	FAN On/Off Status			1		
4	Fan Trip Status			1		Trip Alarm
5	Local /BAS Modes			1		
6	Chilled Water Control Valve		1			
7	Control Valve Position Feedback				1	
	Total:	1	1	3	2	



ပုံ ၁၃-၂၄ Fan Coil Unit (FCU) တစ်ခု၏ DDC controller နှင့် input/output များ

၁၃.၉ Ventilation Fan Controls

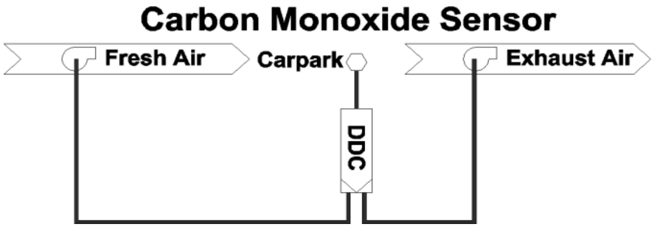
အသုံးပြုပုံ(application)ကို မူတည်၍ ventilation fan များကို control လုပ်ကြသည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် CO_2 level ၊ CO level ၊ အပူချိန်(temperature) တို့ကို အခြေခံ၍ control လုပ်ကြသည်။

၁၃.၉.၁ Ventilation Fan Control by Carbon Monoxide

ကာဗွန်မိုနောက်ဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှုကို အခြေခံ၍ Ventilation Fan များကို Control လုပ်ခြင်း

Singapore Standard 554:2009 IAQ အရ အခန်းအတွင်း လူများနေထိုင်ရာ(indoor occupied space) နေရာများနှင့် လူများ အလုပ်လုပ်ကိုင်သည့် နေရာများအတွက် လက်ခံနိုင်သည့်(recommended) လေထဲ၌

ကာဗွန်မိုနောဆိုဒ် (CO)ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှု(level)သည် 9 PPM ဖြစ်သည်။ PPM ဆိုသည်မှာ part per million ဖြစ်သည်။ လေထုထည် ကုဗမီတာ(၁)သန်းတွင်(CO)ဓာတ်ငွေ့ (၉)ကုဗမီတာ ပါဝင်သည့်ဟု ဆိုလိုသည်။ သို့သော် basement car park အတွင်းရှိ လေထဲတွင် ကာဗွန် မိုနောဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှု (content)ကို Singapore Standards 553 - (formerly CP 13) အရ တစ်နာရီ အတွင်း ပျမ်းမျှ 25 ppm အထိ ခွင့်ပြုသည်။

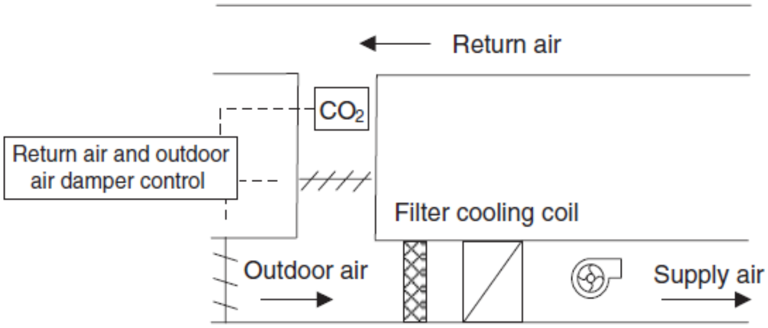


ပုံ ၁၃-၂၅ Basement car park monitoring system- Controller wiring diagram

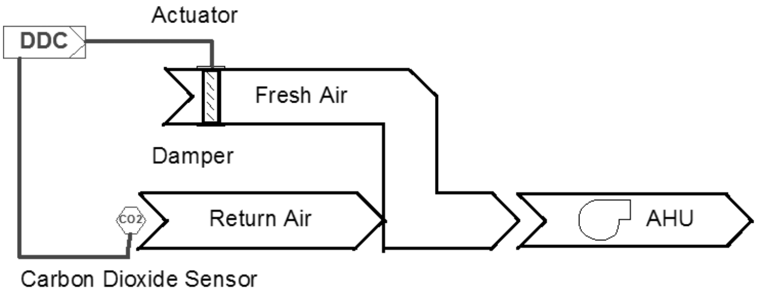
ထို့ကြောင့် မြေအောက် ကားထားရန်နေရာ(basement car park)၏ monitoring system သည် car park အထပ် တစ်ခုအတွင်း သို့မဟုတ် ဇုန်(zone)တစ်ခု အတွင်း၌ ကာဗွန်မိုနောဆိုဒ်(CO)ဓာတ်ငွေ့ sensor ၏ reading အရ 9 PPM သို့ ရောက်လျှင် supply fan နှင့် exhaust fan များကို ပိတ်(shutdown)ရန် နှင့် 25 PPM သို့ ရောက်ရှိပါက supply fan နှင့် exhaust fan များကို ပြန်လည် မောင်းနှင်ရန် ဖြစ်သည်။

အချို့သော basement car park fan များတွင် Variable Speed Drive(VSD) တပ်ဆင်ထားကြသည်။ ထို Variable Speed Drive(VSD) တပ်ဆင်ထားသော basement car park fan ကို လုံးဝ ပိတ်ပစ်နိုင်သလို၊ အလိုရှိသည့် မြန်နှုန်း(speed)သို့ လျှော့ချခြင်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Basement car park ventilation fan များသည် fire alarm system နှင့် interlock လုပ်ထားသည်။ အဆောက်အဦသည် fire alarm activate ဖြစ်၍ "**Fire Mode**" သို့ ရောက်လျှင် basement car park fan များ၏ ဆောင်ရွက်ကိစ္စများကို မပျက်မကွက် ဆောင်ရွက်ရန် လိုအပ်သည်။

၁၃.၉.၂ Ventilation Fan Control by Carbon Dioxide
ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်(CO_2)ဓာတ်ငွေ့ ပါဝင်မှုကို အခြေခံ၍ Ventilation Fan များကို Control လုပ်ခြင်း



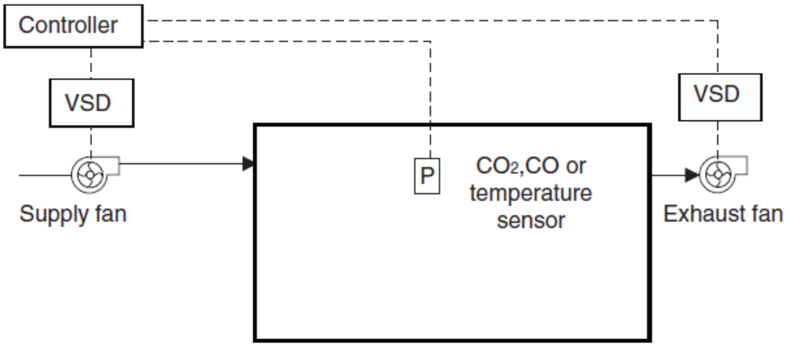
ပုံ ၁၃-၂၆ Outdoor air control based on CO_2 level



ပုံ ၁၃-၂၇ Ventilation control arrangement for maintaining a parameter in a space

လူများသည် အောက်စီဂျင်ကို ရှူသွင်း၍ ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်ကို ရှူထုတ်ကြသည်။ အခန်းတစ်ခု အတွင်း၌ လူများအချိန်ကြာမြင့်စွာ ရှိနေကြလျှင် အခန်းအတွင်းရှိ လေထဲတွင် အောက်စီဂျင်ပါဝင်မှု(oxygen concentration) တဖြည်းဖြည်းနည်းပါးသွားကာ ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်ပါဝင်မှု(carbon dioxide concentraion) တဖြည်းဖြည်းများလာ လိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် အခန်းအတွင်း၌ ရှိနေသူများ(occupants) အတွက် ပြင်ပလေ(outdoor air) ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ပြင်ပမှ ထည့်ပေးသည့် လေသည် သန့်ရှင်းလတ်ဆတ်သည့် လေများ (fresh air) ဖြစ်ရမည်။

ထည့်ပေးရမည့် လေသန့်(fresh air) ပမာဏသည် အခန်းအကျယ် နှင့် ရှိနေသည့် လူဦးရေပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အခန်းအတွင်း၌ လူများများ ရှိလျှင် လေသန့်(fresh air) များများ ထည့်ပေးရန် လိုသည်။ သို့သော် တစ်ခါတစ်ရံ အခန်းအတွင်း၌ ရှိနေသူ အရေအတွက်ကို အတိအကျသိရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် ထည့်ပေးရမည့် လေသန့်(fresh air) ပမာဏကို အခန်းအတွင်းရှိ လေထဲမှ CO_2 ပမာဏပေါ်တွင် မူတည်၍ ဆုံးဖြတ်သည်။ လေထဲ၌ Carbon Dioxide ပါဝင်မှုသည် 1000 PPM ထက် ပိုများလျှင် လေသန့်(fresh air) ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။



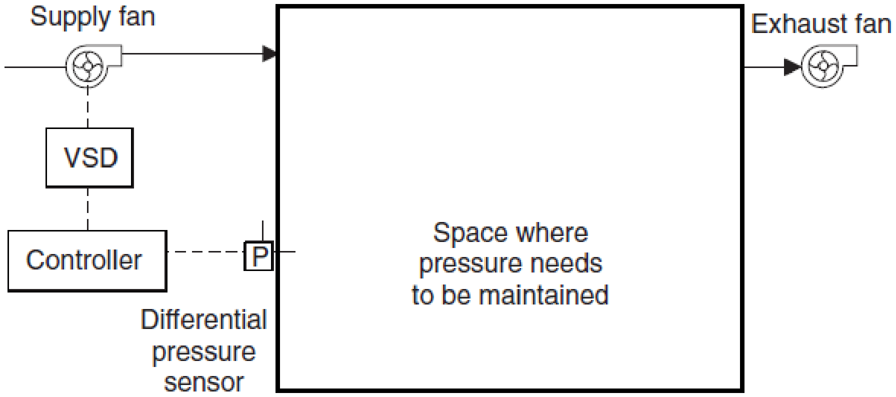
ပုံ ၁၃-၂၈ Ventilation control arrangement for maintaining a parameter in a space.

၁၃.၉.၃ Ventilation Fan Control by Temperature

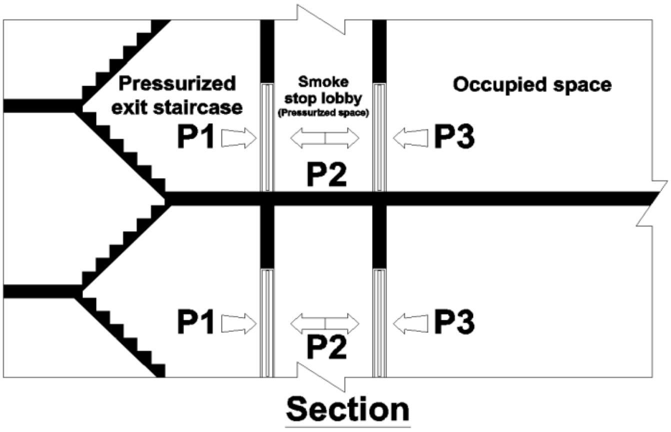
အခန်းအပူချိန်(Temperature)ဖြင့် Ventilation Fan များကို Control လုပ်ခြင်း

စက်ခန်းများ(mechanical rooms)တွင် ventilation fan များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ ယေဘုယျ အားဖြင့် စက်များသည် အပူချိန် 40°C အထိ ခံနိုင်ရည်ရှိသည်။ Operator များသည် အပူချိန် 40°C အောက်တွင် အချိန်အကြာကြာအတန့်ကြာအောင် အလုပ်လုပ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် စက်ခန်း (mechanical room) အပူချိန်သည် 40°C ရောက်လျှင် ventilation fan များကို မောင်းစေပြီး၊ အပူချိန် 35°C အထိ ကျဆင်းသွားပါက ventilation fan များကို ရပ်နားနိုင်သည်။ အပူချိန် 35°C ထက်နည်းသည့် ရာသီဥတုနှင့် ဒေသများတွင် ပြင်ပ အပူချိန်ထက် 5°C ပိုမြင့်သည့် အချိန်၌ ventilation fan များကို ရပ်နားနိုင်သည်။

၁၃.၉.၄ Staricar Pressurization Fan



ပုံ ၁၃-၂၉ Ventilation control arrangement for maintaining static pressure in a space.



P1= Pressurization system pressure

P1>P2>P3

P1-P3>50 Pa

Pressure P1 in staircase is greater than pressure P2 in Smoke stop lobby P2 is greater than pressure P3 of occupied space

ပုံ ၁၃-၃၀ Maintaining pressure differential without smoke stop lobby

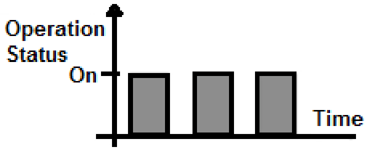
Pressurized exit staircase အတွင်းရှိ လေဖိအားသည် အသုံးပြုသူများ ရှိသည့်နေရာ(occupied area) ထက် အနည်းဆုံး 50 pascal ပိုများရမည်။ စင်္ကာပူရှိ အဆောက်အဦများတွင် ဖိအားပေးထားသော အထွက် လှေကား(pressurized exit staircase) နှင့် occupied area အကြားတွင် smoke-stop lobby ဟုခေါ်သည့် အခန်းငယ်တစ်ခု ပြုလုပ်ထားလေ့ရှိသည်။

ဖိအားမြင့်အောင်လုပ်ထားသည့် လှေကား(pressurized exit staircase)၏ ဖိအားသည် smoke-stop lobby ရှိ လေဖိအားထက် ပိုများရမည်။ Smoke-stop lobby ၏ လေဖိအားသည် အသုံးပြုသူများ ရှိသည့်နေရာ (occupied area)ရှိ ဖိအားထက် ပိုများရမည်။

Pressurized exit staircase ၌ လေဖိအားများလေ မီးခိုးများ မဝင်ရောက်နိုင်လေ ဖြစ်သည်။ သို့သော် လေဖိအားများလွန်းပါက တံခါးဖွင့်ရန် အလွန် ခက်ခဲလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် အနည်းဆုံး လေဖိအားကို 50 Pa ဖြင့် ကန့်သတ်ထားပြီး အများဆုံးကို တံခါးတွန်းဖွင့်ရန် လိုအပ်သည့်အားနှင့် ကန့်သတ်ထားသည်။ လေဖိအားများလေ တံခါးတွန်းဖွင့်ရန် အားများများ လိုလေဖြစ်သည်။ တံခါးပွင့်ရန် လိုအပ်သောအား ပမာဏသည် 110 N ထက် မပိုရပေ။

Duty Cycling

Duty cycling သည် စွမ်းအင်ချွေတာမှု(saving energy)ဖြစ်ရန်အတွက် large load များကို သင့်လျော်သလို ကန့်သတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Duty cycling သည် control လုပ်ရန်ခက်ခဲသော်လည်း လိုအပ်သည်ထက် ပိုကြီးသည့် (oversized) equipment များ တပ်ဆင်ထားသည့်အခါ အလွန်ကောင်းမွန်စွာ အလုပ် လုပ်လေ့ရှိသည်။



ပုံ ၁၃-၃၁ Duty cycling

Duty cycling algorithm ဆိုသည်မှာ အချိန်အနည်းငယ်ခန့်(short duration of time) ပိတ်ထားခြင်း (turns off) ဖြစ်သည်။ ပိတ်ထားနိုင်သည့် အကြာဆုံးအချိန်(maximum off-times) နှင့် ဦးစားပေးအဆင့်(priority)ကို အခြေခံ၍ duty cycling algorithm ကို သတ်မှတ်လေ့ရှိသည်။

၁၃.၁၀ Lighting Control

ခေတ်မီ အဆောက်အဦများတွင် အလင်းရောင်ရရန် အသုံးပြုသည့် မီးလုံး၊ မီးချောင်းများ(lighting)၏ လျှပ်စစ်ဓာတ်အား သုံးစွဲမှုသည် ၅% မှ ၁၂% ခန့်ဖြစ်သည်။ Lighting control ကောင်းမွန်လျှင် လျှပ်စစ် ဓာတ်အား

သုံးစွဲမှုကို သိသိသာသာ လျှော့ချနိုင်သည်။ Timer များဖြင့် မီးလုံးမီးချောင်းများ(lighting)ကို အဖွင့်၊ အပိတ် လုပ်ခြင်းသည် သမာရိုးကျ control လုပ်နည်း ဖြစ်သည်။

Lighting control strategy များသည် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုလျှော့ချရာတွင် အဓိကနေရာမှ ပါဝင်သည်။ Conventional lighting control system များတွင် high-voltage timer များကို အသုံးပြုကြသည်။ High-voltage timer များသည် ဈေးနှုန်းမြင့်မားခြင်း၊ ဗို့အားမြင့်သောကြောင့် ဘေးအန္တရာယ်များခြင်း စသည့် အားနည်းချက်များ ရှိသည်။ Low-voltage lighting control system များသည် ဘေးအန္တရာယ်ကင်းဝေး(safest)ပြီး ကုန်ကျစရိတ်နည်း (cost-effective) သည်။ Low-voltage lighting control system တွင် အောက်ပါ compoment များ ပါဝင်သည်။ Low-voltage lighting control system အတွက် ထုတ်လုပ်ထားသည့် product များစွာ ဈေးကွက်တွင် ရနိုင်သည်။

(က) Lighting control panels
(ခ) Relay panel/module
(ဂ) Dimming panel
(ဃ) Light wall-box dimmers (slide, rotary)
(င) Manual switchers
(စ) Maintained or momentary wall switches with pilot light. Occupancy sensors
(ဆ) Photosensors
(ဇ) Light sensors for dimmable ballast
(ဈ) Infrared (IR) sensor receiver/transmitter

လျှပ်စစ်ဓာတ်အားသုံးစွဲမှုကို လျှော့ချနိုင်သည့် energy management software ၏ feature များ

(၁) Fixed power reduction (e.g., tuning)
(၂) Occupancy-based, time-of-day (e.g., load cycling), and on/off control
(၃) Daylight harvesting
(၄) Demand limiting (e.g., peak demand load shedding)
(၅) Lumen depreciation compensation

၁၃.၁၀.၁ Fixed Power Reduction

ဤနည်းသည် အရိုးရှင်းဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ လုပ်ကိုင်ရမည့်အလုပ်၏ အလင်းလိုအပ်ချက်နှင့် ကိုက်ညီရုံသာ အလင်းရောင်ပေးထားခြင်းဖြင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုကို လျှော့ချနိုင်သည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(consumption)သည် lighting level နှင့် အချိုးကျသည်။ Lighting level နိမ့်လေ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု (energy consumption)နည်းလေ ဖြစ်သည်။

၁၃.၁၀.၂ Occupancy-Based ၊ Time-of-Day and On/Off Control

စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) လျှော့နည်းစေရန်အတွက် occupancy-based lighting control အသုံးပြုနိုင်သည်။ အသုံးပြုသူ(occupancy)ရှိမှသာ မီးလင်းစေပြီး၊ မရှိသည်နှင့် တစ်ပြိုက်နက် မီးပိတ်ခြင်းဖြင့် စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု လျှော့ချနိုင်သည်။ ဥပမာ- အိမ်သာတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် မီးချောင်းများကို occupancy sensor နှင့်တွဲ၍ control လုပ်နိုင်သည်။ Occupancy sensor သည် အိမ်သာ အတွင်းသို့ လူဝင် ရောက်လာပြီဟု သိလျှင်(detect) မီးများကို ဖွင့်(switch on)ပေးသည်။ အခန်းထဲတွင် (၁၀)မိနစ်ခန့် လှုပ်ရှားမှု မရှိလျှင် မီးများကို ပိတ်(switch off) လိမ့်မည်။

On/off control အတွက် occupancy sensor များနှင့် centralized management ကို စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု ပို၍ လျှော့ချနိုင်သည်။ လူများ အမြဲတမ်း ရှိမနေသည့် conference rooms ၊ restrooms သို့မဟုတ် individual offices

စသည့် နေရာများ နှင့် အခန်းများ ၏ lighting ကို control လုပ်ရန်အတွက် occupancy sensor များကို အသုံးပြု နိုင်သည်။

၁၃.၁၀.၃ Daylight Harvesting

နေရောင် သို့မဟုတ် သဘာဝအလင်းရောင်(daylight) ကို အသုံးပြု၍ လျှပ်စစ်မီးရောင်(artificial lighting)သုံးစွဲမှု ကို လျှော့ချခြင်း ဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦများတည်ရှိရာနေရာ၊ မျက်နှာမူရာ(orientation)ဘက် နှင့် တည်ဆောက် ထားပုံကို လိုက်၍ ပြင်ပမှ ဝင်ရောက်လာသည့် အလင်းရောင် ပမာဏ မတူညီကြပေ။ Ambient light sensor များ တပ်ဆင်ထား၍ သဘာဝ အလင်းရောင်(natural) နှင့် artificial light တို့ကို တိုင်းတာပြီး lighting controller က power output ကို ထိန်းညှိ(adjust)ပေးသည်။ Light level ကို လိုသလောက်သာ ထွန်းပေးခြင်းပြီး စွမ်းအင်ချွေတာ နိုင်သည်။ အဆောက်အဦများတွင် daylight harvesting လုပ်ခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု (energy consumption) ၏ ၄% ခန့် လျှော့ချနိုင်သည်။

၁၃.၁၀.၄ Demand Limiting

ကြိုတင်သတ်မှတ်ထားသည့်(pre-determined) demand(kW)သို့ ရောက်လျှင် lighting controller သည် အလင်းရောင်ကို လျှော့ချပေးခြင်း(dimming)ဖြင့် demand limiting သို့မဟုတ် time-delayed dimming ပြုလုပ်နိုင်သည်။ အလင်းရောင်ကို တဖြည်းဖြည်းခြင်း (gradually dimming the lights)လျှော့ချရန် controller က signal ထုတ်ပေးသည်။ (e.g., time-delayed dimming)။ kW demand level သည် kW set point ထက် နည်းသွားသည့် အခါတွင် lighting control system သည် အလင်းရောင်(lux level)ကို ပုံမှန် အခြေအနေသို့ ရောက်အောင် ပြန်တင်ပေးသည်။

လျှော့နည်းသွားသည့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား(kW reduction)သည် လျှော့ချလိုက်သည့်အလင်းရောင်(lux level) နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။ အခန်းတွင်းရှိနေသူများ(occupants) သတိမထားမိလောက်အောင် သိမ်မွေ့ ငြင်သာသည်။

၁၃.၁၀.၅ Lighting Control Systems - Energy management for lighting systems

BAS မှ ဆောင်ရွက်ပေးနိုင်သည့် lighting control များကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Timed control if indoor lighting based on occupancy pattern
(၂) Sensor control of light next to windows
(၃) Timed or sensor control of car park lighting
(၄) Timed or sensor control of light used for display or advertising
(၅) Lighting control by occupancy sensing
(၆) Brightness Sensor
(၇) Dimmer Actuator
(၈) Motion / Movement detector

Variable Air Volume Air Handling Unit(VAV AHU) များသည် CHW supply temperature မြင့်လိုက်ခြင်းကြောင့် blower မော်တာ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption) အနည်းငယ် ပိုများလာနိုင်သည်။ သုတေသန တွေ့ရှိချက်များအရ supply air temperature 11°C မှ 13°C ဖြင့် ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသည့် AHU များ၊ မောင်းနေသည့် AHU များအတွက် CHW supply temperature ကို 8.5°C (47°F) အထိ အမြင့်ဆုံးထား၍ reset လုပ်နိုင်သည်။

Air con system ၏ AHU သို့မဟုတ် FCU cooling coil များသည် sensible cooling ပေးရုံ သာမက လေထဲမှ ရေငွေ့(water vapour)များကိုလည်း ဖယ်ထုတ်ပေးခြင်းဖြင့် indoor air ၏ Relative Humidity ကို ထိန်းပေး ထားသည်။ လေထဲမှ ရေငွေ့ဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်းသည် CHW supply temperature ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Cooling coil

၏ အပူချိန်သည် လေ၏ Dew point temperature ထက် နိမ့်မှသာလျှင် dehumitification (moisture removal) ဖြစ်နိုင်သည်။ CHW supply temperature မြင့်လာလေ dehumitification ဖြစ်မှု နည်းလာလေ ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် conditioning space တွင် Relative Humidity(%) မြင့်တက်လာကာ မလိုလားအပ်သည့် IAQ ပြဿနာများ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။

Equipment များကို ရပ်တန့်နိုင်သည့်နည်းများ

Equipment များကို ရပ်တန့်နိုင်သည့်နည်းများကို ဖော်ပြထားသည်။ Equipment အမျိုးမျိုးကို မူတည်၍ အသုံးပြုရမည့် နည်းလမ်းများ ကွဲပြားနိုင်သည်။

(က) Switch off at specific times of day
(ခ) Switch off depending on heating or cooling demand
(ဂ) Cycle equipment on and off repeatedly
(ဃ) Switch on only on demand, e.g. Fresh air to conference rooms only whe occupied
(င) Optimum start/stop of heating or cooling plant
(စ) Switch off if the projected consumption at any one time indicates that peak power demand will be exceeded.
(ဆ) Enthalpy control

Central cooling and/or heating plants များ၏ Automatic control များတွင် equipment manufacturerများ၏ energy-efficiency control logic များ ပါဝင်လေ့ရှိသည်။ Specialized control system များသည် distributed controls ၊ programmable logic controllers or microprocessor-based systems စသည့် architecture အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

အောက်တွင် အဆောက်အဦ အတွင်းရှိ primary equipment ၊ ancillary equipment နှင့် overall system များတွက် Standard control technology နှင့် strategy များကို ဖော်ပြထားသည်။ မိမိ အဆောက်အဦနှင့် သင့်လျော်သည့် strategy အချို့ကိုသာ အသုံးပြုရန် လိုသည်။

• Return distribution medium temperature
• Stack temperature
• Carbon monoxide and/or carbon dioxide level
• Differential pressures
• Flow rate of distribution medium
• Peak and hourly refrigeration output
• Peak and hourly heat energy output
• Flow rate of fuel(s)
• Night setback
• Economizer cycle
• Heat recovery cycle
• Thermal storage control
• Variable-frequency drive control
• Peak and hourly steam output
• Head pressure for refrigerant and/or distribution medium
• Reset control of temperature and/or pressure
• Variable flow through equipment and/or system control

See Chapter 41 of the 2007 ASHRAE Handbook—HVAC Applications for more information on control strategies and optimization.

၁၃.၁၁ Selection of Controls for Mechanical Ventilation Systems

Table 13-2 Selection of controls for mechanical ventilation systems

Plant	Control function
Ventilation systems start/stop up to 30 kW heating	Time switch; resolution better than 15 minutes, spring reserve/battery back up
Ventilation systems start/stop 30–100 kW heating	Optimum start/stop recommended
Ventilation systems start/stop over 100 kW heating	Optimum start/stop required by current Building Regulations
Fresh air and exhaust dampers; tempered air systems	Open/closed linked with time control of plant
Fresh air, re-circulation and exhaust dampers; central air handling units; minimum fresh air	Full re-circulation when unoccupied; minimum fresh air position when occupied; minimum fresh air preferably controlled with respect to air quality
Fresh air, re-circulation and exhaust dampers; central air handling units; free cooling	Free cooling override of minimum fresh air from heating/cooling sequence; fresh air temperature high-limit or preferably enthalpy control
Tempered air systems	Heating/cooling sequence for constant supply temperature; possible reset supply condition according to ambient temperature or summated demand if appropriate
Single zone air handling units	Heating/cooling sequence from space or return air temperature; possible minimum supply air temperature to prevent dumping of cold air; systems for large spaces (lecture theatres, etc.) reset supply air temperature from return air
Multi-zone air handling units; common cooling coil	Re-heater batteries controlled with respect to space or return air temperature. Common cooling coil controlled from zone requiring most cooling; do not control cooling coil at constant off coil temperature, except in rare case of dew-point system
VAV air handling units: temperature	Heating/cooling sequence for constant supply temperature; possible reset supply temperature according to ambient temperature or summated demand if appropriate
VAV air handling units; supply fan	Speed or pitch control with respect to duct pressure 2/3 of the way along supply duct
VAV air handling units; supply fan, alternative methods	Speed or pitch control with respect to point near supply fan with reset from summated system demand, plus low

	limits; demand based control strategies based on VAV box positions can be used but can be unduly influenced by poorly sized boxes
VAV air handling units; extract fan	Control with respect to supply/extract differential volume
VAV boxes	Control velocity between minimum and maximum with respect to space temperature
Dual duct air handling units	Control hot and cold decks for a constant temperature. Possible reset according to outside temperature or summated demand
Dual duct mixing boxes	Mix hot and cold duct supplies according to space temperature
VAV dual duct	Fans as for VAV; temperature as for dual duct
Fan coil units	Return air (or space) temperature control of heating & cooling in sequence
Induction units	Heating and cooling control in sequence from space or return air temperature; segregation of heating and cooling hydraulic distribution essential for efficient operation
Intermittently occupied areas	Occupancy sensing controls with appropriate default values dependent upon system response
Humidification	Control from space or return relative humidity, supply modulating high limit
De-humidification	Over-ride temperature control of cooling coil to cool air below dew-point; re-heat via re heater batteries as per normal temperature control; supply temperature low limit may be required

-End-