Chapter - 4 Cooling Towers

၄.၁ Introduction

Air conditioning system များနှင့် industrial cooling process များမှ ထွက်လာသည့် အပူများ (generated heat)ကို စွန့်ထုတ်ပစ်(reject)ရန် လိုအပ်သည်။ စွန့်ထုတ်ပစ်ခြင်း(rejecting) မပြုလုပ်ပါက ထို ထွက်ပေါ်လာသည့် အပူများ(generated heat)သည် တစ်နေရာသို့ ပျံ့လွင့်ကွယ်ပျောက်(dissipated) သွားလိမ့်မည်။ Cooling tower သည် system တစ်ခုအတွင်းမှ အပူ(heat)များကို အနီးရှိ လေထုထဲသို့ စွန့်ထုတ်ပေးနိုင်သော ကိရိယာ(heat rejection device)တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ ထိုသို့ အပူများကို စွန့်ထုတ်နိုင်ရန် အတွက် condenser water အပူချိန်သည် လေထု၏ အပူချိန်ထက် ပို၍ မြင့်မားနေရန် လိုအပ်သည်။

အပူ(heat)သည် အပူချိန်မြင့်ရာ(high temperature) မှ နိမ့်ရာ(low temperature)သို့သာ အလိုလျောက် အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer) ဖြစ်နိုင်သည်။

ပုံ ၄-၁ Cooling tower အမျိုးမျိုး

Chiller သို့မဟုတ် industrial process heat exchanger များမှ ထွက်လာသည့် အပူများ(generated heat)ကို ဖယ်ထုတ်ပစ်ရန်အတွက် ရေကို "**Heat Transfer Medium**" အဖြစ် အသုံးပြုကြသည်။ ရေသည် အလွယ်တကူ ပေါပေါများများ ရနိုင်ပြီး၊ ကုန်ကျစရိတ်လည်း အလွန်သက်သာသည်။ လွန်ခဲ့သော နှစ်ပေါင်း များစွာက ထိုထွက်လာသည့် အပူများ(generated heat)ကို ရေကန်များ၊ ရေအိုင်များ၊ ပင်လယ်များ၊ ချောင်းများ အတွင်းသို့ စွန့်ထုတ်ပစ်ခဲ့ကြသည်။ ထိုသို့ စွန့်ထုတ်မှုကြောင့် ရေကန်များအတွင်းရှိ ရေ၏အပူချိန်မြင့်တက်ကာ ပတ်ဝန်းကျင် ထိခိုက်ပျက်စီးမှု(ecological disturbance)များကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ ရေနေသတ္တဝါများ သေကျေ ပျက်စီးရသည်။

ထို့ကြောင့် ယခုအခါတွင် air conditioning system များ၊ water cooled refrigeration system များ နှင့် process cooling system များမှ စွန့်ထုတ်ပစ်လိုက်သော အပူများ(rejected heat)ကို ဖယ်ထုတ်ရန် အတွက် cooling tower များကို အသုံးပြုလာကြသည်။ Cooling tower တပ်ဆင် အသုံးပြုခြင်းကြောင့် ကုန်ကျစရိတ် အလွန်သက်သာသည်။ သဘာဝပတ်ဝန်းကျင် ထိခိုက်စေမှု(ecological effect)ကိုလည်း လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Air conditioning system များသာမက process cooling system များ နှင့် compressed air system များတွင် အပူများ စွန့်ထုတ်ပစ်ရန်(heat rejection)အတွက် cooling tower များကို အသုံးပြုကြသည်။ Water cooled chiller များနှင့် water cooled package unit များနှင့် တွဲ၍လည်း အသုံးပြုကြသည်။

Cooling tower များသည်

(၁) Sensible heat transfer နည်း

(၂) Latent heat transfer နည်း နှင့်

(၃) အထက်ပါနည်း နှစ်မျိုးလုံးဖြင့် အပူ(heat)များကို လေထဲ(atmosphere)သို့ တစ်ပြိုင်နက် စွန့်ထုတ်ပစ် (reject) ကြသည်။

ရေငွေ့ပျံစေခြင်းဖြင့် အပူကိုဖယ်ထုတ်ခြင်း(evaporative cooling)နည်းသည် latent heat transfer လုပ်ခြင်းဖြင့် စွန့်ထုတ်ပစ်ခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ ပူသောရေများကို cooling tower အတွင်းရှိ fill packing များ အပေါ်သို့ ဖြတ်၍ စီးဆင်းစေသည့်အခါ ရေအချို့သည် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ဖြစ်ကာ ရေ၏အပူချိန် ကျဆင်းသွားသည်။

> ရေငွေ့ပျံစေခြင်းဖြင့် အပူကိုဖယ်ထုတ်ခြင်း(evaporative cooling)နည်းဖြင့် စွန့်ထုတ်(reject) နိုင်သည့် အပူ(latent heat)ပမာဏသည် ရေငွေ့ပါဝင်မှု(moisture content) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေထု၏ Wet Bulb အပူချိန်နိမ့်လေ ရေငွေ့ပါဝင်မှု(moisture content) နည်းလေ ဖြစ်ပြီး cooling tower မှ အပူ(latent heat)ပမာဏများများ စွန့်ထုတ်(reject)နိုင်လေ ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် Wet Bulb အပူချိန် နိမ့်သောလေသည် ပို၍ ခြောက်သွေ့သောကြောင့် ပို၍ evaporative cooling ဖြစ်စေနိုင်သည်။

ထို့အပြင် ပိုနွေးသောရေများ(warmer water)မှ အပူများသည် sensible cooling နည်းဖြင့် အေးသည့် လေ(cool air)ထဲသို့ စွန့်ထုတ်(reject) ခံရသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပိုနွေးသော ရေများ(warmer water)မှ အပူများသည် sensible cooling နည်းဖြင့် အေးသည့်လေ(cool air)ထဲသို့ ကူးပြောင်း(transfer) သွားသည်။

> လေထဲသို့ ကူးပြောင်း(transfer)သွားသည့် "Sensible Heat" ပမာဏသည် လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်(temperature)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေထဲသို့ ကူးပြောင်း(transfer)သွားသည့် "Latent Heat" ပမာဏသည် လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်(temperature)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

၄.၂ Cooling Tower နှင့်သက်ဆိုင်သော အခေါ်အဝေါ်များ(Technical Terms)

Approach – Condenser water supply အပူချိန်(temperature) နှင့် cooling tower အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်(temperature)တို့ ခြားနားချက်သည် "Approach" ဖြစ်သည်။

Approach temperature = Leaving condenser water temperature - Entering air Wet Bulb temperature

ရေဖောက်ထုတ်ခြင်း (Blow Down or Bleed Off)

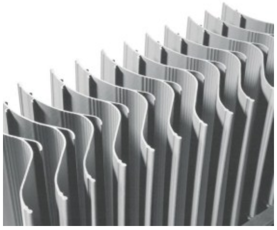
Cooling tower မှ condenser water များသည် ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ကြောင့် တဖြည်းဖြည်း လျော့နည်း သွားသည်။ Condenser water ထဲတွင် ပါရှိနေသည့် အခဲများ(solid) များ၊ ဓာတ်ဆား(salt)များနှင့် အညစ်အကြေးများ(impurities) ပါဝင်နေမှု တဖြည်းဖြည်း မြင့်တက်လာသည်။ အညစ်အကြေးပါဝင်မှု (concentration)များသည့် condenser water များကို ဖောက်ထုတ်၍ ရေအသစ်(fresh water)ထပ်ထည့် ပေးခြင်းဖြင့် ရှိသင့်ရှိထိုက်သော concentration level ရအောင် ထိန်းထားရသည်။ ထိုသို့ အညစ်အကြေးပါဝင်မှု (concentration)မြင့်သည့် condenser water များ ဖောက်ချခြင်းကို "**Blow Down**" သို့မဟုတ် "**Bleed Off**" လုပ်သည် ဟုခေါ်သည်။

Capacity: Cooling tower တစ်လုံးမှ စွန့်ထုတ်ပစ်နိုင်သော အပူပမာဏ (amount of heat that cooling tower can reject)သည် cooling tower ၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) ဖြစ်သည်။

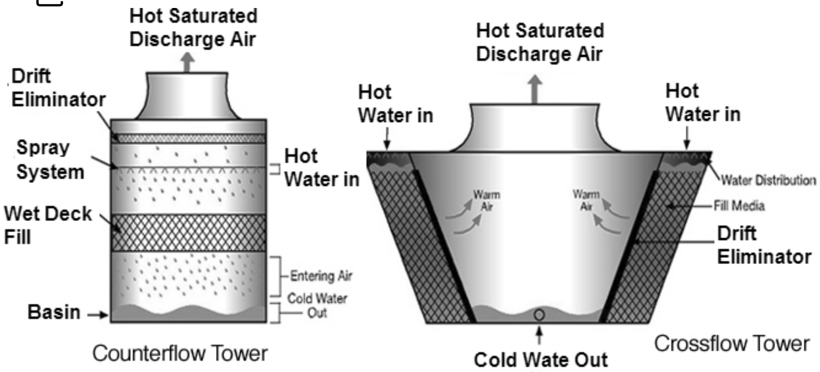
> Cooling tower ၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)ကို တွက်ရန် ရေလည်ပတ်နှုန်း(flow rate)၊ approach temperature နှင့် အနီးရှိ လေထု၏ Wet Bulb အပူချိန် တို့ကို သိရန် လိုအပ်သည်။

Drift: ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation) မဖြစ်ဘဲ fan ၏ လေစုပ်အားကြောင့် cooling tower အပြင်ဘက်သို့ ရေစက်ငယ်များ ရောက်သွားခြင်းကို "**Drift**" ဖြစ်သည် ဟု ခေါ်သည်။

Eliminator: Fan ကြောင့် cooling tower အပြင်ဘက်သို့ ရောက်ရှိသွားမည့် ရေစက်ငယ်များအား ပြန်လည်စုဆောင်းပေးသည့် ကိရိယာကို eliminator ဟုခေါ်သည်။ ("Drift" လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်ပေးသောကြောင့် "**Drift Eliminator**" ဟုခေါ်ခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ၄-၂ Drift Elimimator



ပုံ ၄-၃ Cooling tower တွင် Drift Elimimator တပ်ဆင်ထားပုံ

Cell — သီးခြားမောင်းနိုင်အောင်(independently operate)ပြုလုပ်ထားသော cooling tower ၏ အခန်းငယ်ကို cell ဟု ခေါ်သည်။

Counter Flow — ရေစီးရာလမ်းကြောင်း(water flow path)နှင့် လေသွားလမ်းကြောင်း(air flow path)သည် အပြိုင်ဖြစ်ပြီး ဦးတည်ရာ ဆန့်ကျင်(parallel & opposite direction)ဖြစ်နေလျှင် "**Counter Flow Cooling Tower**" ဟု ခေါ်သည်။

Cross flow — ရေစီးရာလမ်းကြောင်း (water flow path)နှင့် လေသွားလမ်းကြောင်း (air flow path) တို့သည် 90° ထောင့်မှန်(perpendicular)ဖြစ်နေလျှင် သို့မဟုတ် ကြက်ခြေခတ် ပုံစံဖြင့် ဖြတ်သွား ကြလျှင် "**Cross Flow Cooling Tower**" ဟုခေါ်သည်။

Double flow — Cross flow cooling tower ၏ ဘေးနှစ်ဘက်မှ ရေများစီးဆင်းနေလျှင် "**Double Flow**" ဟု ခေါ်သည်။

Evaporation (Loss) — Condenser water သည် အပူကြောင့် အရည်အဖြစ် မှ အငွေ့(vapor)အဖြစ် အသွင်ပြောင်းခြင်း(phase change) ဖြစ်ပြီး ရေငွေ့အဖြစ် cooling tower မှ တစ်ဆင့် လေထဲသို့ ရောက်ရှိသွားခြင်းကို "Evaporation" ဟုခေါ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ ရေငွေ့ပျံခြင်း (evaporation) ဖြစ်ကာ ဆုံးရှုံးသွားသည့် ရေများကို "Evaporation Loss" ဟု ခေါ်သည်။

Fill — ပူသည့် condenser water နှင့် အေးသည့်လေ တို့အကြား အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer) ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည့် ပစ္စည်း ကို "Fill" ဟုခေါ်သည်။ Fill များသည် Heat transfer media သို့မဟုတ် အပူစီးကူးနိုင်သည့် မျက်နှာပြင် (heat transfer surface) ဖြစ်ကြသည်။

Forced Draft — Fan များမှ လေကို cooling tower အတွင်းသို့ ရောက်အောင် မှုတ်ထည့်(push)သောကြောင့် cooling tower အတွင်း၌ ဖိအား(positive pressure)ဖြစ်နေသည့် cooling tower အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။

Induced Draft Cooling tower fan များသည် လေကို cooling water အတွင်းမှ စုပ်ယူ(pull)သောကြောင့် cooling tower cell အတွင်း၌ စုပ်အား(negative pressure) ဖြစ်နေသည့် cooling tower အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။

Lift Cooling tower အပေါ်ရှိ ရေပူကန်(hot water basin)နှင့် အောက်ရှိ ရေအမြင့်(water level) နှစ်ခုအကြား အကွာအဝေး ဖြစ်ပြီး "**Static Head**" ဟုခေါ်သည်။ Condenser water pump head တွက်ရာတွင် ဤအကွာအဝေး(static head)ကို အသုံးပြုသည်။

Make up (water) Condenser water များ cooling tower မှ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ကြောင့် ရေဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ်ပြီး drift ဖြစ်ခြင်းကြောင့်လည်း ရေဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ ထိုသို့ လျော့နည်းသွားသည့် condenser water များအတွက် ပြန်လည် ဖြည့်ပေးရသည့် ရေကို "make up water" ဟုခေါ်သည်။ ပြန်ဖြည့်ရန်အတွက် သိုလှောင်ထားသည့် ရေကန်ကို "make up water tank" ဟုခေါ်သည်။ ဖြည့်မည့် ရေပိုက်ကို "make up water pipe" ဟုခေါ်သည်။

Range Condenser water ၏ အဝင်(entering to cooling tower) အပူချိန် နှင့် အထွက်(leaving from cooling tower)အပူချိန် ကွာခြားချက်။

Range = Entering condenser water temperature at Cooling Tower - Leaving condenser water temperature at cooling tower

၄.၃ Condenser Water Piping Configuration

Chilled water system တစ်ခုကို water cooled chiller များဖြင့် သော်လည်းကောင်း၊ air cooled chiller များဖြင့် သော်လည်းကောင်း အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထား လေ့ရှိသည်။ Water cooled chiller ကို အသုံးပြုပါက circuit သုံးမျိုးရှိပြီး air cooled chiller ကို အသုံးပြုပါက circuit နှစ်မျိုး ရှိသည်။

	Water cooled chiller နှင့် မောင်းသော chilled water system	**Reference**
(၁)	Air side circuit သို့မဟုတ် air distribution system	Serving Room
(၂)	Chilled water circuit သို့မဟုတ် chilled water distribution system	AHU/FCU
(၃)	Condenser water circuit	Chiller

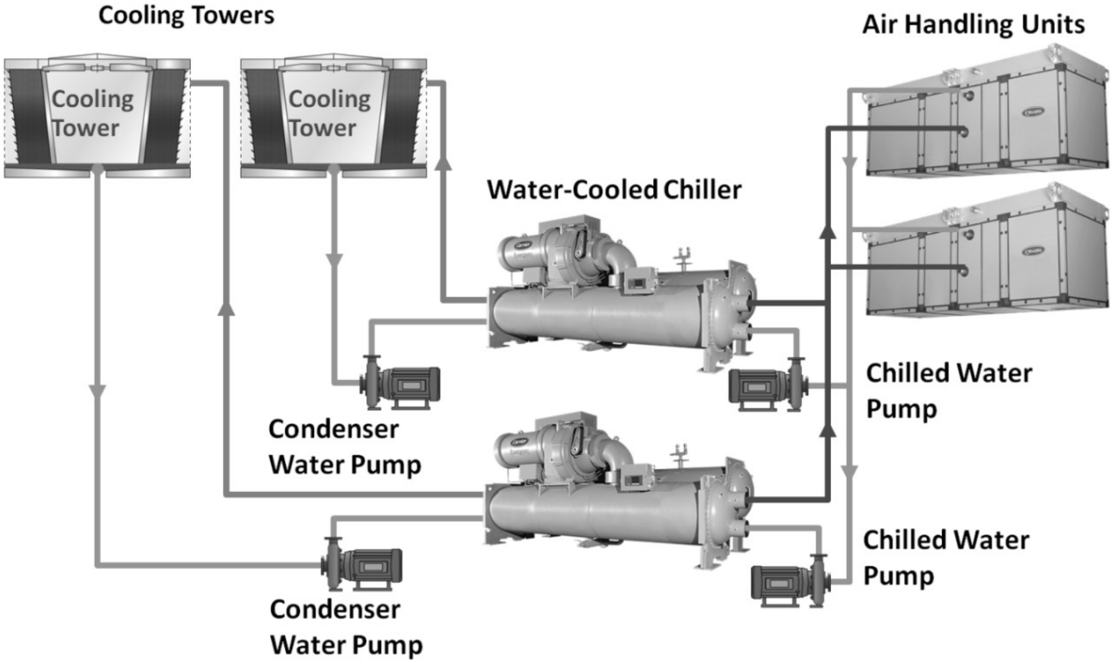
Naming of Circuit

Circuit များ အားလုံးတွင် အဝင်(entering)နှင့် အထွက်(leaving) သို့မဟုတ် supply နှင့် return ဟုသည့် အခေါ်အဝေါ်ကို သုံးစွဲလေ့ရှိသည်။ Equipment များကို ရည်ညွှန်း ပြောဆိုလျှင် အဝင်(entering)နှင့် အထွက်(leaving)ဟူ၍ သုံးစွဲသည်။ System များကို ရည်ညွှန်း ပြောဆိုလျှင် supply နှင့် return ဟူ၍ သုံးစွဲသည်။

Chilled water circuit တွင် building သို့မဟုတ် load side (AHU/FCU) ကို ရည်ညွှန်းရာ(reference) အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Chiller မှ ထွက်သွားသည့်(leaving) chilled water ကို chilled water supply (supply to building) ဟု သတ်မှတ်ပြီး chiller အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် အဝင်(entering) chilled water ကို chilled water return (return from building)ဟု သတ်မှတ်သည်။

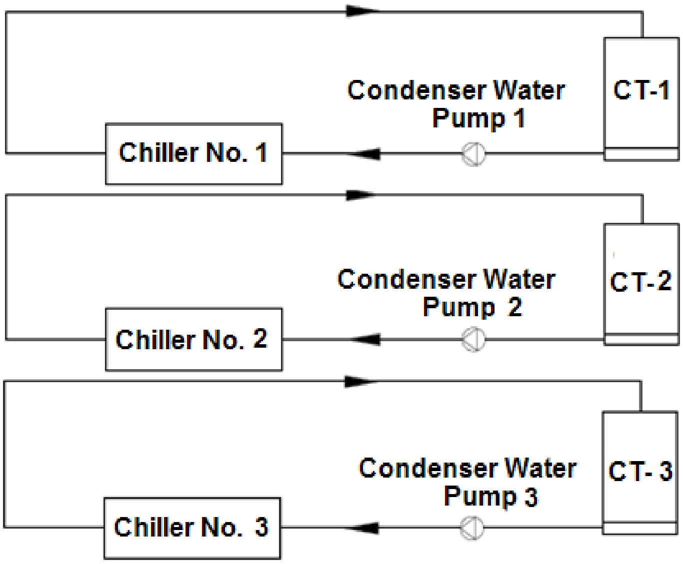
Condenser water circuit တွင် chiller ကို ရည်ညွှန်းရာ(reference)အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Condenser water အထွက်(leaving chilled water)ကို condenser water return (return from chiller)ဟု သတ်မှတ်ပြီး condenser water အဝင်(entering) condenser water ကို condenser water supply (supply to chiller) ဟု သတ်မှတ်သည်။

Air side circuit တွင် serving area ကို ရည်ညွှန်းရာ(reference)အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ AHU မှ ထွက်သွားသည့် လေ(leaving air)ကို supply air(supply to serving area)ဟု သတ်မှတ်ပြီး AHU သို့ ပြန်လာသည့် လေကို return air (return air from serving area)ဟု သတ်မှတ်သည်။



ပုံ ၄-၄ One to One System (Individual System) ပိုက်များ ဆက်ထားပုံကို ဖော်ပြထားပုံ

၄.၃.၁ One to One System (Individual System)

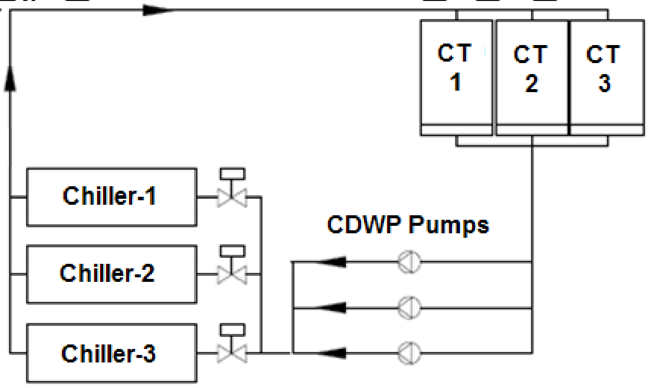


ပုံ ၄-၅ One to One System (Individual System) ပိုက်များ ဆက်ထားပုံ

ပုံ(၄-၅)တွင် chiller တစ်လုံး၊ pump တစ်လုံး နှင့် cooling tower တစ်လုံး တို့သည် သီးခြား condenser water circuit တစ်ခုအဖြစ် တည်ရှိသည်။ Chiller သုံးလုံးရှိသောကြောင့် condenser water circuit သုံးခုရှိသည်။ Condenser water pump သည် သူနှင့် သက်ဆိုင်သည့် chiller ဖြင့်သာ မောင်းနိုင်သည်။ အစုံလိုက်သာ မောင်းနိုင်သည်။

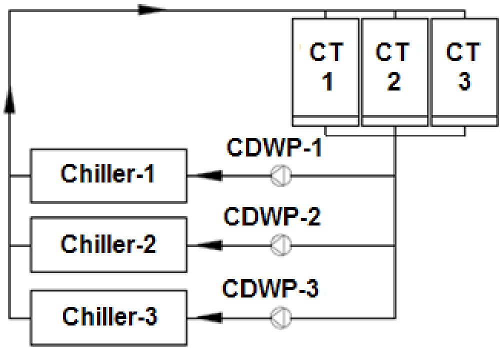
၄.၃.၂ Common Condenser water Header at Chiller and Cooling Tower

ပုံ(၄-၆)တွင် chiller သုံးလုံး၊ pump သုံးလုံး နှင့် cooling tower သုံးလုံးတို့ သည် condenser water circuit တစ်ခုအဖြစ် တည်ရှိသည်။ Condenser water pump သည် မည်သည့် chiller နှင့်မဆို မောင်းနိုင်သည်။



ပုံ ၄-၆ Chiller နှင့် condenser pump ဘက်တွင် common header တပ်ဆင်ထားပုံ

၄.၃.၃ Common Condenser Water Header at Cooling Tower



Chiller သုံးလုံး၊ pump သုံးလုံး နှင့် cooling tower သုံးလုံးတို့ သည် condenser water circuit တစ်ခု အဖြစ်တည်ရှိသည်။ Condenser water pump သည် သက်ဆိုင်သည့် chiller ဖြင့်သာ မောင်းနိုင်သည်။

ပုံ ၄-၇ Chiller နှင့် cooling tower ဘက်တွင် common header တပ်ဆင်ထားပုံ

၄.၄ Cooling Tower အမျိုးအစားများ (Type) နှင့် Configuration

Cooling tower ၏ configuration နှင့် အမျိုးအစား(type)များကို

(က) လေလမ်းကြောင်း၏ ဦးတည်ရာ(air flow direction) နှင့် ရေလမ်းကြောင်း၏ ဦးတည်ရာ(water flow direction) တို့ကို မူတည်၍ counter flow cooling tower နှင့် cross flow cooling tower ဟူ၍ ခွဲခြားသည်။

(ခ) Tower fan များ တပ်ဆင်ထားသည့် နေရာ(location)ကို မူတည်၍ "**Induced Draft**" နှင့် "**Force Draft**" ဟူ၍လည်း ခွဲခြားသည်။

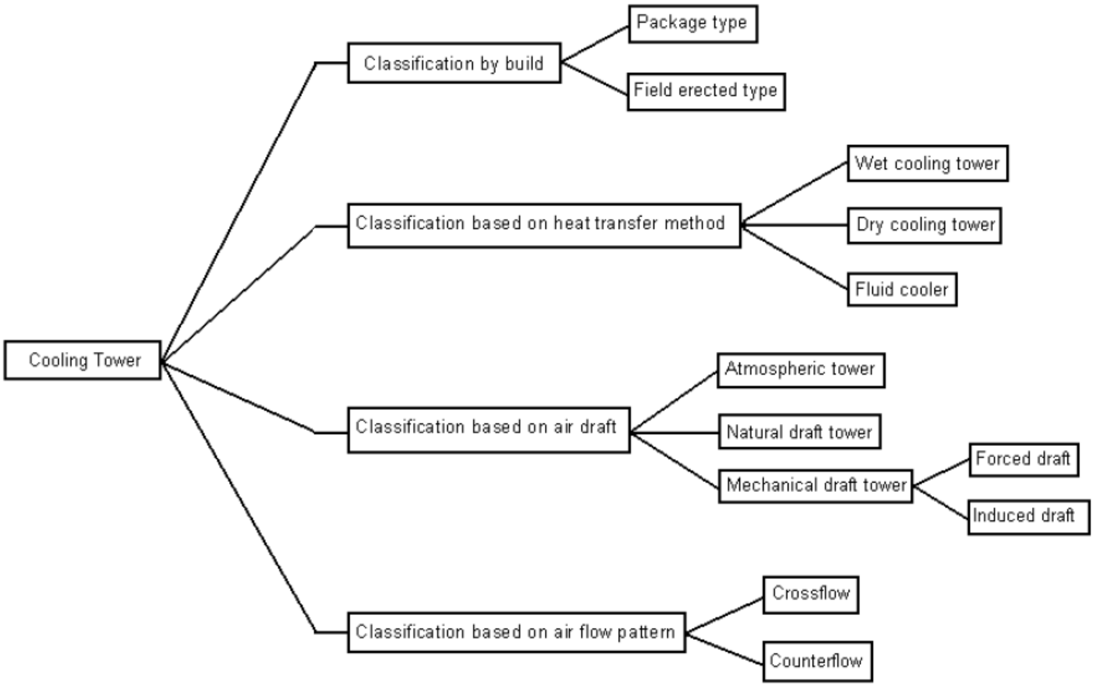
၄.၄.၁ Fan Location

Force draft အမျိုးအစားတွင် fan မှ လေများကို cooling tower အတွင်းသို့ မှုတ်ထည့်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Cooling tower ၏ cell အတွင်း၌ ဖိအား(positive pressure) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Induce draft cooling tower အမျိုးအစားတွင် fan သည် cooling tower ထဲမှ လေကို စုပ်ယူသည်။ Cooling tower ၏ cell အတွင်း၌ စုပ်အား(negative pressure) ဖြစ်ပေါ်သည်။

အဆောက်အဦများရှိ air con system အတွက် အသုံးပြုသော cooling tower များသည် counter flow သို့မဟုတ် cross flow အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။ Counter flow cooling tower အမျိုးအစားကို

လေးထောင့် ပုံသဏ္ဍာန် သို့မဟုတ် အဝိုင်းပုံသဏ္ဍာန် ပြုလုပ်ကြသည်။ Cross flow cooling tower များကို လေးထောင့် ပုံသဏ္ဍာန် ပြုလုပ်ကြပြီး ဘေးနှစ်ဘက်မှ လေများ ဝင်လာစေသည်။

Classification of Cooling Towers

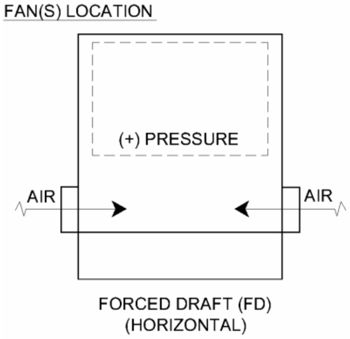


ပုံ ၄-၈ Coolig tower အမျိုးအစား ခွဲခြားပုံ

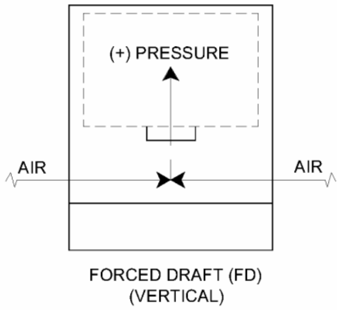
Cooling tower များတွင် လေစီးဝင်သည့်(air flow)ပုံစံသည် induced draft အမျိုးအစားလည်း ဖြစ်နိုင်သည် force draft အမျိုးအစားလည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Induced Draft အမျိုးအစားသည် cooling tower အတွင်းမှလေ များကို fan က စုပ်ယူခြင်း ဖြစ်သည်။

Cooling tower အမျိုးအစား လေးမျိုးမှာ

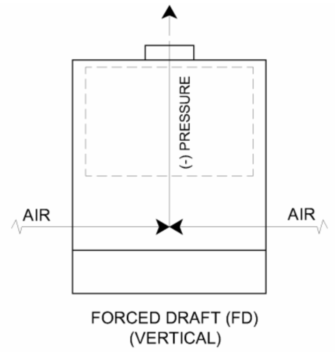
(၁) Induced draft counter flow
(၂) Force draft counter flow
(၃) Induced draft cross flow နှင့်
(၄) Force draft cross flow တို့ဖြစ်သည်။



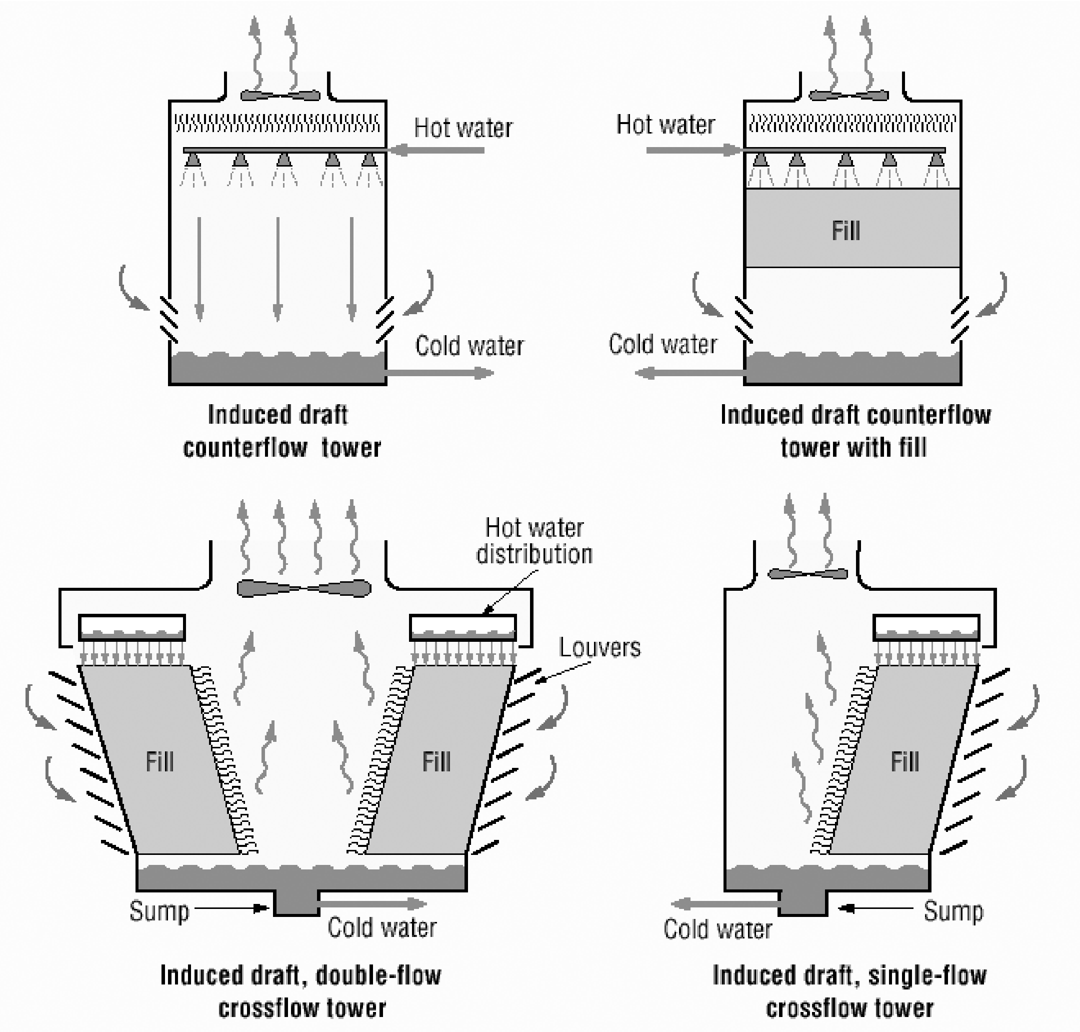
ပုံ ၄-၁၁ Forced draft horizontal (+ pressure)



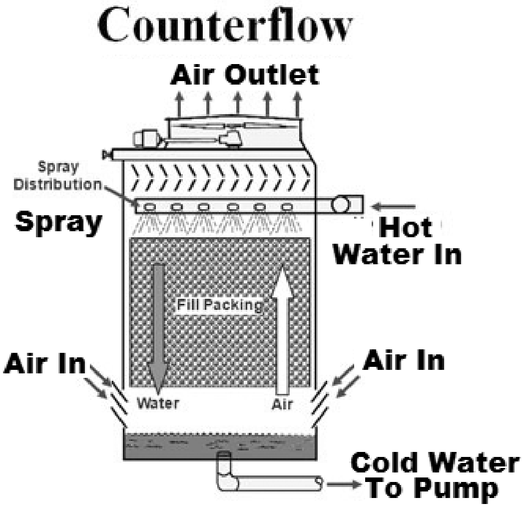
ပုံ ၄-၁၂ Forced draft vertical (+ pressure)



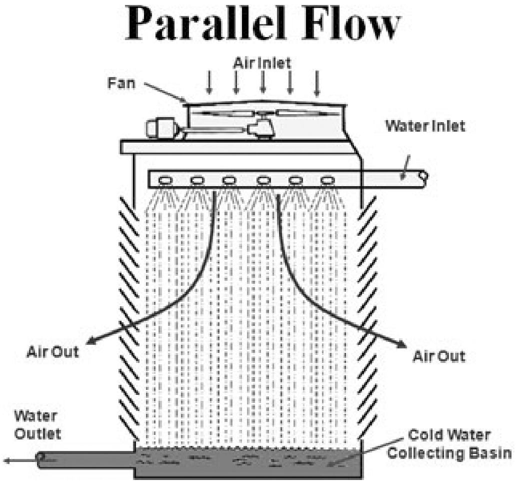
ပုံ ၄-၁၃ (- pressure)



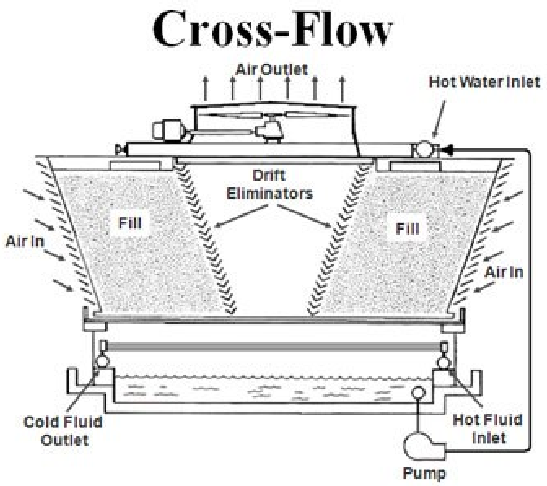
ပုံ ၄-၉ Cooling tower အမျိုးအစားများ



ပုံ ၄-၁၄ Counter flow cooling tower



ပုံ ၄-၁၅ Parallel flow cooling tower



ပုံ ၄-၁၆ Cross flow cooling tower

လေလမ်းကြောင်း၏ ဦးတည်ရာ(air flow direction) နှင့် ရေလမ်းကြောင်း၏ ဦးတည်ရာ (water flow direction) တို့ကိုမူတည်၍ parallel flow ကိုပါ ထည့်၍ သုံးမျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

(၁) Counter flow cooling tower
(၂) Parallel flow cooling tower
(၃) Cross flow cooling tower ဟူ၍လည်း ခွဲခြားနိုင်သည်။

၄.၅ Cross Flow Tower နှင့် Counter Flow Tower တို့၏ အားနည်းချက် နှင့် အားသာချက်များ

Cross flow tower ၏ အားနည်းချက် နှင့် အားသာချက်များ

Condenser Water Side အားသာချက်များ		**Condenser Water Side** အားနည်းချက်များ	
(၁)	Pump head နည်းသည်။ Power နည်းသည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု သက်သာသည်။	(၁)	Infill ပေါ်သို့ ရေများ ညီညီညာညာ ကျစေရန် ခက်ခဲသည်။
(၂)	ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခြင်း(maintenance) လုပ်ရန် လွယ်ကူသည်။	(၂)	Biological fouling ဖြစ်နိုင်သည်။
(၃)	ရေစီးနှုန်း(water flow) မညီညာခြင်းကြောင့် ဖြစ်သော ပြဿနာ နည်းသည်။	(၃)	Cooling tower ၏ အထိုင်ချရန်(foot print) နေရာ ကျယ်ကျယ် လိုအပ်သည်။
Air Side အားသာချက်များ		**Air Side** အားနည်းချက်များ	
(၁)	ဖိအား ကျဆင်းမှု(static pressure loss) နည်းသည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု နည်းသည်။	(၁)	Inlet louver ၏ မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area) ကျယ်ကျယ် လိုအပ်သည်။ လေကို လိုသလို ထိန်းရန် (control) ခက်ခဲသည်။
(၂)	Drift ဖြစ်မှု နည်းသည်။		
(၃)	Capacity များများရရန် cell အရေအတွက် နည်းနည်းသာ လိုသည်။		

Counter Flow Tower ၏ အားနည်းချက် နှင့် အားသာချက်များ

Condenser Water Side အားသာချက်များ		**Condenser Water Side** အားနည်းချက်များ	
(၁)	Spray ဖြင့် ဖြန်းခြင်းကြောင့် ရေထွက်မှု ကောင်းမွန် ညီညာသည်။	(၁)	Spray များ၏ နော်ဇယ်(nozzle) ကြောင့် ဖိအား ဆုံးရှုံးမှု(head loss)များ သည်။ Pump စွမ်းအင် (power)များများ လိုသည်။ စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု များသည်။
(၂)	Approach နည်းရန် အတွက် အလွန် မြင့်သော tower ဖြစ်ရန် လိုသည်။	(၂)	Spray nozzle များကို သန့်ရှင်းရေးလုပ်ရန် နှင့် ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းရန် ခက်ခဲသည်။

Air Side အားသာချက်များ		**Air Side** အားနည်းချက်များ	
(၁)	Counter flow ဖြစ်သောကြောင့် အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer) ပိုကောင်းသည်။	(၁)	Air static pressure loss များသည်။ Louver များများ လိုအပ်သည်။ စွမ်းအင် သုံးစွဲမှုများသည်။
		(၂)	အဝင်၌ လေအလျင်(inlet velocity) များသောကြောင့် အနီးရှိ အမှိုက်များ cooling tower အတွင်း သို့ ဝင်ရောက် လေ့ရှိသည်။
		(၃)	လေစီးနှုန်း(air flow) ညီမျှရန် ခက်ခဲသည်။

Counter flow tower များသည် cross flow tower များထက် အထိုင်ချရန်နေရာ (foot print) ပိုသေးငယ်သောကြောင့် တပ်ဆင်ရန် နေရာကျဉ်းကျဉ်းသာ လိုအပ်သည်။ Counter flow tower များသည် cross flow tower များထက် လေစီးနှုန်း(air flow)ပိုများပြီး ဖိအားကျဆင်းမှု(static pressure loss) များသောကြောင့် fan စွမ်းအား(power) များစွာ လိုအပ်သည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) ပိုများသည်။

၄.၆ Direct Contact သို့မဟုတ် Open Cooling Tower နှင့် Closed Circuit Cooling Tower

Cooling tower များကို direct contact သို့မဟုတ် open cooling tower နှင့် closed circuit cooling tower ဟူ၍ အကြမ်းအားဖြင့် နှစ်မျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

(က) Direct contact သို့မဟုတ် open cooling tower တွင် ရေသည် cooling atmosphere နှင့် တိုက်ရိုက် ထိတွေ့နေပြီး အပူများကို လေထုထဲသို့ တစ်ပြိုင်နက် စွန့်ထုတ်သည်။

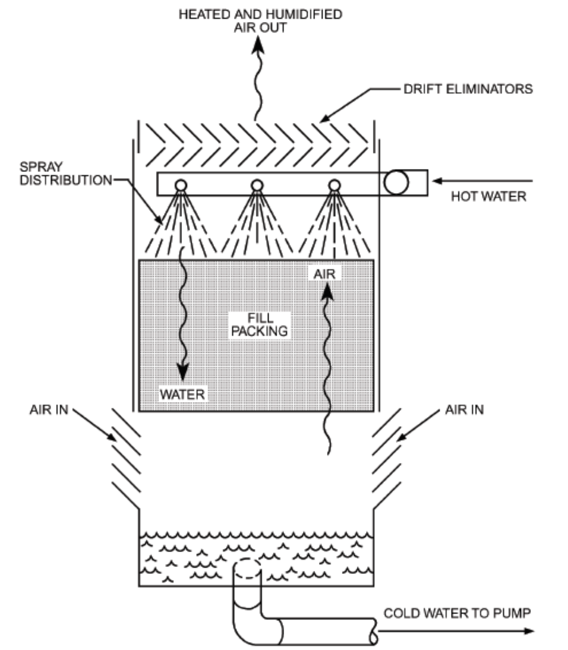
(ခ) Closed circuit cooling tower တွင် ပူနေသည့်ရေ သို့မဟုတ် hot fluid သည် လေထု (atmosphere) နှင့် တိုက်ရိုက်မထိဘဲ indirect contact တစ်မျိုးမျိုးမှ တစ်ဆင့် အပူကို စွန့်ထုတ်သည်။

Indirect contact သို့မဟုတ် closed circuit အမျိုးအစား cooling tower များတွင် external circuit နှင့် internal circuit ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။

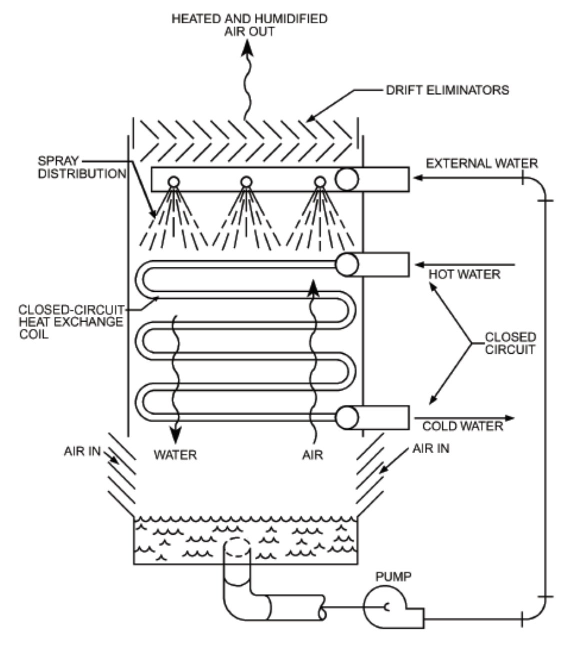
> Closed circuit cooling tower များကို မည်သည့် နေရာတွင်မဆို တပ်ဆင်နိုင်သည်။ Closed circuit cooling tower များကို chiller ထက်နိမ့်သောနေရာများတွင်လည်း တပ်ဆင်နိုင်သည်။ Open circuit cooling tower များကို chiller ထက် မြင့်သောနေရာ၌သာ တပ်ဆင်နိုင်သည်။

အပူစွန့်ထုတ်ရမည့် လိုအပ်ချက်(heat rejection requirement)ကို လိုက်၍ cooling tower အရွယ်အစား(size)၊ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(capacity) နှင့် အမျိုးအစား(type)အမျိုးမျိုးကို ထုတ်လုပ်ကြသည်။ Cooling tower သို့ရောက်ရှိလာသည့် warm water ၏ အပူချိန်၊ cooling tower မှ ထွက်သွားသည့် ရေ၏အပူချိန်(leaving temperature)၊ ရေစီးနှုန်း(water flow rate)၊ လေထု(ambient air)၏ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb အပူချိန် (temperature)ကို လိုက်၍ သင့်လျော်သည့် cooling tower အရွယ်အစား နှင့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(capacity) တို့ကို အခြေခံ၍ ရွေးချယ်ကြရသည်။

AHRI အဖွဲ့၏ သတ်မှတ်ချက်များ(standard) အရ air conditioning system မှ chiller များနှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုသည့် cooling tower ထဲသို့ ဝင်လာသော entering water temperature(from chiller)သည် 35°C(95°F)ဖြစ်ပြီး ထွက်သွားသည့် ရေအပူချိန်(temperature)သည် 29.4°C (85°F) ဖြစ်သည်။



ပုံ ၄-၁၇ Direct-Contact or Open Evaporative Cooling Tower



ပုံ ၄-၁၈ Indirect-Contact or Closed-Circuit Evaporative Cooling Tower

Return(entering water to tower)temperature နှင့် supply(leaving water form tower) temperature ၏ ခြားနားချက်ကို "**Range**" ဟုခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရေအဝင် အပူချိန်နှင့် ရေအထွက်အပူချိန် ခြားနားချက်ဖြစ်သည်။ Cooling tower ထဲမှ ထွက်သွားသည့် ရေ၏ အပူချိန် (leaving water temperature) နှင့် cooling tower ထဲသို့ဝင်လာသည့် လေ(ambient air)၏ Wet Bulb အပူချိန် ခြားနားချက်ကို "**Approach Temperature**" ဟု ခေါ်သည်။

သီအိုရီအရ cooling tower မှ အထွက်ရေအပူချိန်(leaving condenser water temperature)ကို လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်အထိ အေးအောင် လုပ်ပေးနိုင်စွမ်းရှိသည်။ သို့သော် အလွန်ကြီးမားသော cooling tower ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။

နိမ့်သည့် "Approach Temperature" ရရန်အတွက် cooling tower အရွယ်အစား ကြီးမားရန် လိုသည်။ Cooling tower များကို စီးပွားရေးအရ တွက်ခြေကိုက်အောင် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်လိုလျှင် "Approach Temperature" ကို 2.8°C(5°F)ခန့် ထားလေ့ရှိသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် cooling tower မှ အထွက်ရေ အပူချိန်(leaving condenser water temperature)ကို လေထု(ambient air)၏ Wet Bulb အပူချိန်ထက် 2.8°C(5°F) နီးပါးခန့် များအောင် ပြုလုပ်ထားရှိသည်။

Approach Temperature = Leaving condenser water temperature - Ambient Web Bulb temperature

ရေပူများကို လေထဲတွင် ပက်ဖြန်း(spray)ကာ အပူများကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Heat transfer medium သို့မဟုတ် fill ရှိခြင်း၊ မရှိခြင်းသည် cooling tower ၏ အမျိုးအစားပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေနှင့် ထိတွေ့နေသည့် ရေ၏မျက်နှာပြင်အကျယ်(amount of water surface exposed to the air)သည် spray efficiency ကောင်း မကောင်းပေါ်တွင် မူတည်သည်။

လေနှင့် ထိတွေ့သည့် မျက်နှာပြင်(exposed surface) ဧရိယာများလေ cooling tower ၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(capability) ကောင်းလေ ဖြစ်သည်။ လေနှင့် ထိတွေ့နေသည့်အချိန်(time of contact) သည် cooling tower ၏ အမြင့်(high) နှင့် ရေ၏ ဖိအား(pressure of the water distribution system)တို့ ပေါ်တွင်မူတည်သည်။

Cooling tower အရွယ်အစားကြီးမားလေ လေနှင့်ရေ ထိတွေ့ နေသည့်အချိန်(time of contact) ပိုကြာလေ ဖြစ်သည်။ လေနှင့်ရေ ထိတွေ့ နေသည့်အချိန်(time of contact)ကြာလေ cooling tower ၏ အပူ ဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(capability) ပိုကောင်းလေ ဖြစ်သည်။

လေနှင့် ထိတွေ့နေသော ရေ၏ မျက်နှာပြင်(amount of water surface exposed to the air) ဧရိယာ များများနှင့် လေနှင့်ထိတွေ့ နေသည့်အချိန်(time of contact) ကြာရှည်စေရန်အတွက် heat transfer medium သို့မဟုတ် fill များကို တပ်ဆင်ကြသည်။

Cooling tower တွင် တပ်ဆင်မည့် ပိုက်များသည် လုံလောက်အောင် ကြီးမားသော အရွယ်အစား ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။ ထိုပိုက်များ၏ အလျားလိုက် ဘေးသို့ဆန့်ထွက်ခြင်း(expansion) နှင့် ကျုံ့ခြင်း (contraction) တို့ကိုပါ ထည့်သွင်း၍ ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ တစ်ခုထက်ပိုသော ရေအဝင်ပိုက်များ တပ်ဆင်ထားပါက cell တစ်ခုချင်းဆီသို့ ရေအညီအမျှ ဝင်ရောက်စေရန်အတွက် balancing valve များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

Tower များ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခြင်း(maintenance) နှင့် servicing လုပ်သည့်အခါ basin များကို ရေဆေးကြောရန်အတွက် condenser water ပိုက်မှ ရေကို ပိတ်ထား လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် isolation gate valve သို့မဟုတ် shutoff valve များကို အဝင်ပိုက်နှင့် အထွက် ပိုက်များတွင် တပ်ဆင်ထား ရမည်။

နှစ်လုံးထက်ပိုသော tower များကို အပြိုင်ပုံစံ(parallel)ဖြင့် တပ်ဆင်ထားပါက ရေအမြင့်ကို ထိန်းညှိပေးသည့်(equalizer)ပိုက်ကို cooling tower များအားလုံးနှင့် ချိတ်ဆက်မိအောင် တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ Equalizer ပိုက် တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် tower တစ်လုံး၏ basin မှ ရေအမြင့်(level) နိမ့်ဆင်းသွားပါက တခြား tower တစ်လုံးမှ ရေများ ဝင်ရောက်ကာ ဖြည့်ပေးလိမ့်မည်။ ထိုသို့ ရေအမြင့်(level) ထိန်းညှိရန်အတွက် equalizer ပိုက်ရှိ valve များကို ပြုပြင်ထိန်းသိမ်း(maintenance)ချိန်မှ လွဲလျှင် အမြဲ ဖွင့်ထားရမည်။

Cooling tower တွင် တပ်ဆင်မည့်ပိုက်များ၏ အမြင့်(level)ကို ရေအမြင့်(operating water level) ထက် နိမ့်နိုင်သမျှနိမ့်အောင် တပ်ဆင်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Cooling tower ရပ်နား(shutdown)ထားသည့်အခါ ရေမလျှံစေရန် နှင့် pump များကို စတင် မောင်းသည့်အခိုက်တွင် လေမခို(air lock)စေရန်အတွက် ပန့်ကို အဆင်ပြေ ချောမွေ့စွာ "Ramp Up" သို့မဟုတ် "Ramp Down" ပြုလုပ်ပေး ရမည်။

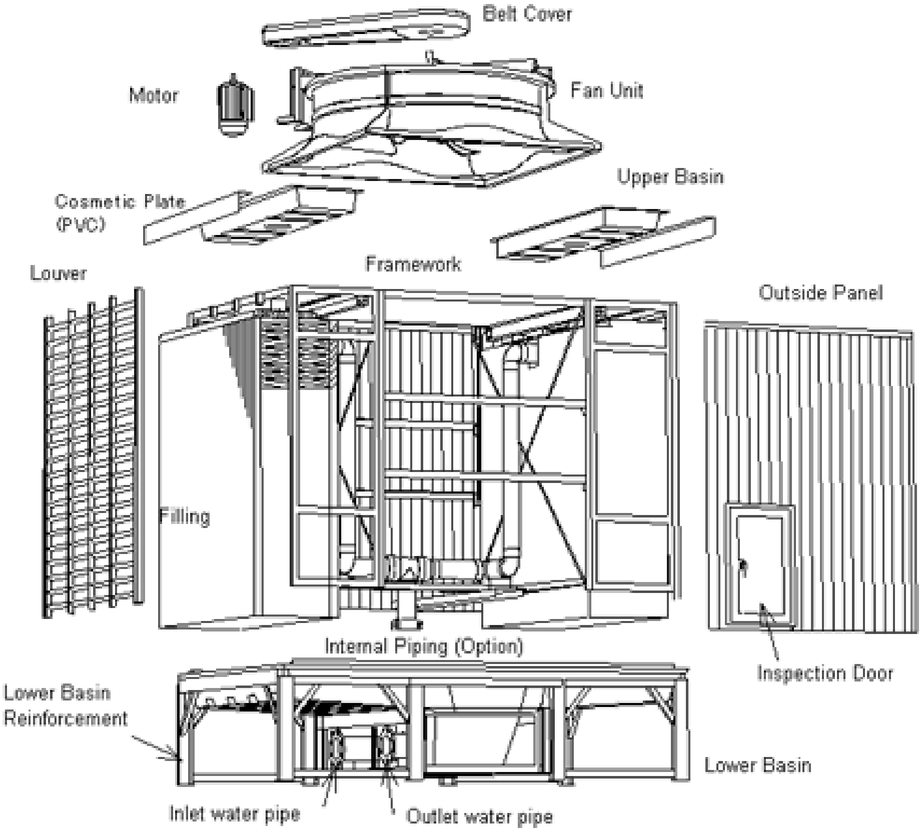
Condenser water pump စတင်မောင်းချိန်၌ ရေစုပ်ယူသည့်ပိုက်လိုင်း(water suction line)၌ လေမခိုစေရန် basin များ အတွင်း၌ လုံလောက်သော ရေပမာဏ ရှိနေရန် လိုအပ်သည်။

၄.၇ Cooling Tower ၌ ပါဝင်သည့် အစိတ်အပိုင်း(Component)များ

Cooling tower တစ်လုံးတွင် အဓိကကျသည့် functional component ခြောက်မျိုး ပါဝင်သည်။

(က)	Fill	(ဃ)	Fan(s)
(ခ)	Wet deck(hot water basin)	(င)	Inlet louver နှင့်
(ဂ)	Cold water basin	(စ)	Drift eliminator တို့ ဖြစ်သည်။

Structure frame နှင့် casing တို့သည် တည်ဆောက်မှုပိုင်းဆိုင်ရာ element များဖြစ်ကြသည်။



ပုံ ၄-၁၉ Cooling Tower တစ်လုံးတွင်ပါဝင်သည့် အစိတ်အပိုင်းများ

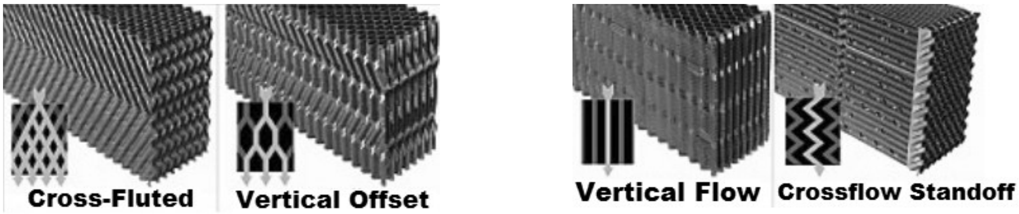
(က) Fill

Fill များကို ရေနှင့် လေအကြားတွင် အပူစီးကူးမှု(heat transfer) ပိုမို ကောင်းမွန်စေရန်နှင့် အပူစီးကူးမှု မျက်နှာပြင် (heat transfer surface) ဧရိယာ ပိုများစေရန်အတွက် အသုံးပြုကြသည်။

(၁) Spray fill ၊

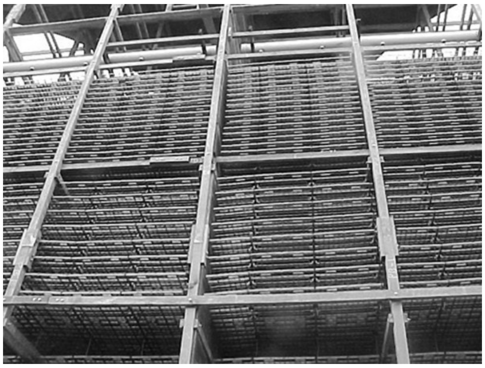
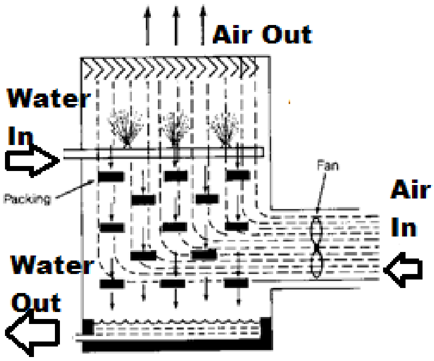
(၂) Splash fill နှင့်

(၃) Film fill ဟူ၍ အမျိုးအစား သုံးမျိုးရှိသည်။

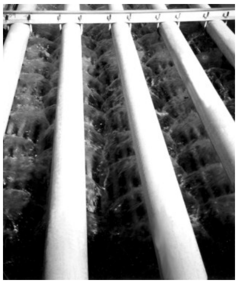
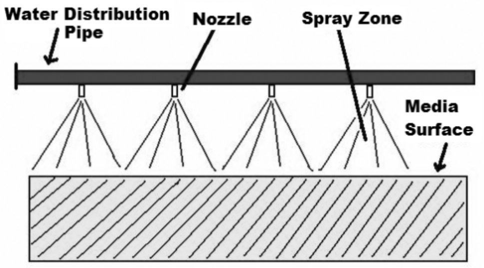


ပုံ ၄-၂၀ Cross-fluted Vertical offset Vertical flow Cross flow standoff

Counter flow နှင့် cross flow tower များတွင် splash type fill နှင့် film type fill နှစ်မျိုးလုံးကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Film-type fill ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသော tower များသည် များသောအားဖြင့် အရွယ်အစား သေးငယ်လေ့ရှိသည်။ Splash type fill အမျိုးအစားအသုံးပြုထားသော cooling tower များတွင် လေနှင့် ရေ စီးဆင်းပက်ဖြန်းခြင်း(air and water distribution) အနည်းငယ် လွဲမှားမှုကြောင့် cooling tower ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) မပြောင်းလဲနိုင်ပေ။

ပုံ ၄-၂၁ Splash type fill

ပုံ ၄-၂၂ Spray fill များ

Spray Fill

Spray fill များကို HVAC cooling tower များတွင် အသုံးပြုလေ့မရှိပါ။ Spray fill များကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် cooling tower ၏ efficiency အလွန်ညံ့နိုင်သည်။ တခြားသော cooling tower များနှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် spray fill များကိုအသုံးပြုထားသည့် cooling tower သည် အရွယ်အစားကြီးမားပြီး လေစီးနှုန်း(air flow rate)များများ ရရန် လိုအပ်သည်။

Film Fill

Film fill များသည် splash fill များကဲ့သို့ ရေကို ရေစက်ငယ်များ ဖြစ်အောင် ခွဲပစ်ခြင်း(breaking) မပြုလုပ်ကြပေ။ Film fill များသည် condenser water များ အရှိန်နည်းနည်းဖြင့် တဖြည်းဖြည်းခြင်း စီးဆင်းသွားစေရန် နှင့် အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer)ဖြစ်ပေါ်စေရန် ဧရိယာများများ ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ ရေ နှင့် လေတို့ ထိတွေ့ရာ နေရာကျယ်ပြန့်ခြင်း၊ ထိတွေ့ချိန် ကြာမြင့်ခြင်းတို့ကြောင့် အပူစွန့်ထုတ်နိုင်စွမ်း (heat rejection capacity) ပိုကောင်းစေသည်။

PVC sheet များ(vacuum formed PVC)များကို အသုံးပြု၍ ဒေါင်လိုက်အလွှာ(vertical layer) ဖြစ်အောင် တည်ဆောက်ထားသည်။ ဒေါင်လိုက်အလွှာ(vertical layer)များကြောင့်

(က) ရေစီးဆင်းမှုကို ညီညီညာညာ ဖြစ်စေသည်။ (uniform water flow)

(ခ) ခုခံမှုနည်းသည့် လေစီးဆင်းခြင်း(low resistance air flow)ကို ဖြစ်စေသောကြောင့် ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(air pressure drop) နည်းသည်။

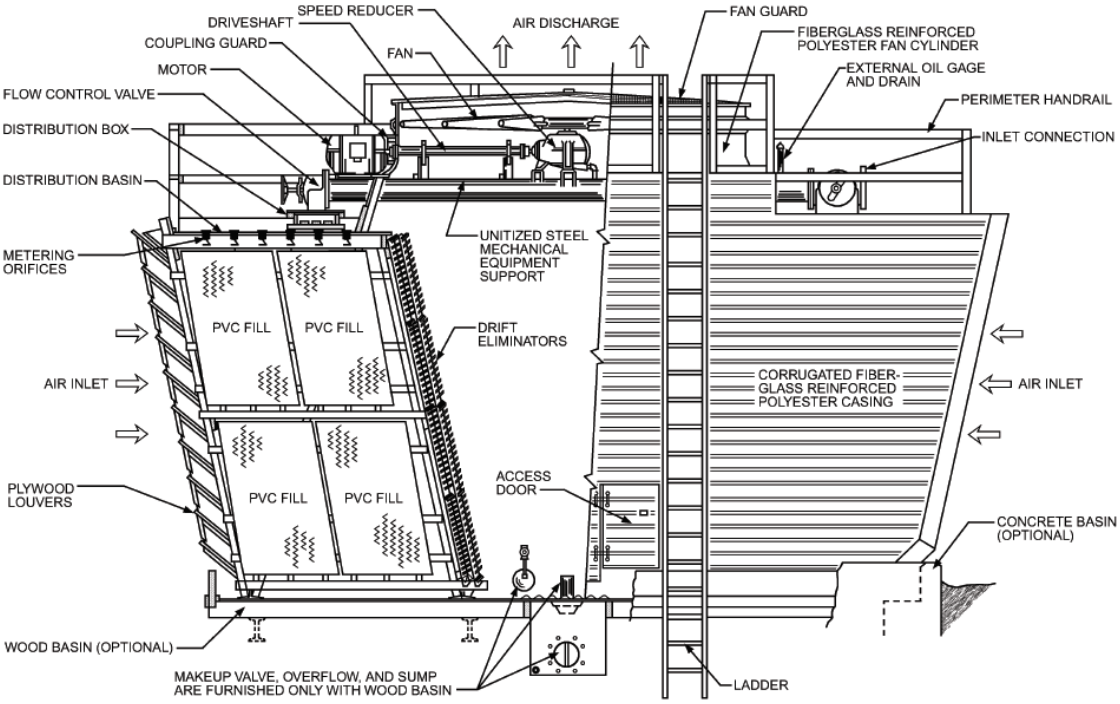
အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)တူလျှင် "Film Fill" များသည် "Splash Fill"များထက် ပို၍ efficient ဖြစ်ပြီး ဈေးသက်သာသည်။ "Film Fill" သုံးသည့် cooling tower များသည် တခြား cooling tower များထက် အရွယ်အစား ပို၍ သေးငယ်သည်။ HVAC cooling tower များအားလုံးသည် ယခုအခါ "Film Fill" များကိုသာ အသုံးပြုကြသည်။

Wooden Structure

ရှေးအချိန်က cooling tower ၏ ဖရိမ်(frame)ကို သစ်သားများဖြင့် တည်ဆောက်ကြသည်။

Steel structure – Galvanized Steel

Cooling tower များသည် လေ နှင့် ရေ တစ်ပြိုင်နက် အမြဲတမ်း ထိတွေ့နေသည့်နေရာ ဖြစ်သော ကြောင့် သံချေး တက်လွယ်သည်။ သံချေးတက်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန် အတွက် သံမဏိ(carbon steel) များကို galvanizing ပြုလုပ်ကြသည်။ Galvanizing ဆိုသည်မှာ သွပ်(zinc)၊ ခဲ(lead)နှင့် အလူမီနီယံ(aluminum)တို့ ကိုရောစပ်၍ သံမဏိ(carbon steel)အပေါ်တွင် အလွှာဖြစ်အောင် ဖုံးအုပ်ခြင်း(coating) ဖြစ်သည်။ Carbon steel structure များကို ပထမဦးစွာ ဟိုက်ဒရိုကလိုရစ်(Hydrochloric)အက်စစ် အပျော့ သို့မဟုတ် ဆာလဖြူရစ် (sulfuric) အက်စစ် အပျော့ဖြင့် ဆေးကြော သန့်စင်ရသည်။



ပုံ ၄-၂၂ Cooling Tower တစ်ခုရှိ အစိတ်အပိုင်းများကို ဖော်ပြထားပုံ

ထို့နောက် Zinc communism chronicle ကန်ထဲသို့ နစ်ရသည်။ အခြောက်ခံပြီးနောက် သွပ်ရည်ကန်(Zinc liquid)ထဲတွင် နစ်ရသည်။ ထို့နောက် ရေဖြင့် ဆေးကြောရသည်။ Water quench bath ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ထိုနည်းကို "Hot Dipped Galvanizing" နည်း သို့မဟုတ် "Dry Kettle" နည်းဟုခေါ်သည်။ Galvanizing အလွှာ၏အထု(film thickness)ကို ounces of zinc per square foot of metal surface ဖြင့် သတ်မှတ်သည်။

ပုံမှန်အားဖြင့် တစ်စတုရန်းပေလျှင် (၂.၃၅)အောင်စနှုန်း(2.35 oz/ft^2)ဖြင့် coating လုပ်ခြင်း သို့မဟုတ် hot dipped galvanizing လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Galvanizing ပြုလုပ်ပြီး သည့် structure များ၊ ဖရိမ်(frame) များကို ဂဟေဆော်ခြင်း(welding) မပြုလုပ်သင့်ပါ။ ဂဟေဆော်ခြင်း(welding) မှဖြစ်ပေါ်လာသော အပူ(heat) ကြောင့် galvanizing လုပ်ထားသည့် အလွှာများ(coating)ထိခိုက် ပျက်စီးသွားနိုင်သည်။

ထိုဂဟေဆော်ခြင်း(welding) ပြုလုပ်သည့် နေရာမှ စ၍ သံချေးတက်လေ့ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် ဖြတ်ခြင်း (cutting)နှင့် ဂဟေဆော်ခြင်း(welding)ပြုလုပ်ပြီးမှသာ galvanizing ပြုလုပ်ရသည်။ Galvanizing လုပ်ပြီး သောအခါ bolt နှင့် nut များကို သုံး၍ တပ်ဆင်(assemble) နိုင်သည်။

Stainless Steel

Stainless steel သည် carbon steel ထက်စာလျှင် ခံနိုင်ရည်(structural strength) ပိုနည်းသည်။ သို့သော် သံချေးတက်ခြင်း ဒဏ်ကို ပိုကာကွယ်နိုင်သည်။ ဈေးကွက်တွင် ရရှိနိုင်သော stainless steel အမျိုးအစားများသည် SS 304 နှင့် SS 315 တို့ ဖြစ်သည်။ ဖရိမ်(frame)များကို သံမဏိ(stainless steel) ဖြင့် ပြုလုပ်လျှင် stainless steel bolt နှင့် nut များကိုသာ အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။

Concrete

အလွန်ကြီးမားသည့် cooling tower များကို အင်္ဂတေ(concrete) ဖြင့် တည်ဆောက်လေ့ရှိသည်။

Fiberglass

ရေပူကန်(hot water basin) နှင့် ရေအေးကန်(cold water basin) များကို fiberglass ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။

Stressed Skin Fiberglass/ Stainless Steel Casing

Casing များကို လေသွားရာ လမ်းကြောင်းအဖြစ် လည်းကောင်း၊ အကာအရံအဖြစ် လည်းကောင်း၊ cooling tower အတွင်းရှိ လေများ အပြင်သို့ မရောက်ရှိစေရန်အတွက် လည်းကောင်း အသုံးပြုကြသည်။

Casing အဖြစ် အသုံးပြုသည့် ပစ္စည်းများ(material)သည် galvanized steel ၊ fiberglass နှင့် UV inhibited plastic panel တို့ ဖြစ်သည်။ Galvanized steel panel ကို သုံးလျှင် epoxy သို့မဟုတ် polymer ကို နောက်ဆုံး အလွှာ(final coating)အဖြစ် ထပ်အုပ် ပေးရသည်။

(ခ) Hot Water Basin သို့မဟုတ် Wet Deck

Hot water basin သို့မဟုတ် Wet deck သည် cooling tower ၏ အပေါ်ပိုင်းတွင် တည်ရှိသည်။ Chiller မှ ထွက်လာသည့် အပူချိန်မြင့်သော condenser water သည် cooling tower အတွင်းသို့ ရောက်သည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် hot water basin ထဲသို့ စီးဝင်သည်။ ရေပူများ စီးဝင်လာသည့် ကန်ငယ် ဖြစ်သောကြောင့် "**Hot Water Basin**" ဟု ခေါ်သည်။

Hot water basin ၏ တာဝန်သည် ပူနွေးနေသော condenser water များကို fill များပေါ်သို့ အညီအမျှ ကျစေရန် ဖြစ်သည်။ သို့မှသာ ညီညာစွာ အပူစီးကူးခြင်း(uniform heat transfer) ဖြစ်စေနိုင်သည်။ Cross flow cooling tower များတွင် hot water basin သည် တိမ်သောရေကန်ငယ်ဖြစ်ပြီး အောက်ခြေရှိ အပေါက်ငယ်များက orifices အဖြစ်ရှိနေသည်။ ပူသော condenser water သည် return ပိုက်မှတစ်ဆင့် hot water basin အတွင်းသို့ ရောက်ရှိကာ ကမ္ဘာမြေဆွဲအား(gravity force)ကြောင့် အပေါက်ငယ် ကလေးများမှ တစ်ဆင့် fill များပေါ် ညီညာစွာ ကျဆင်းသွားသည်။

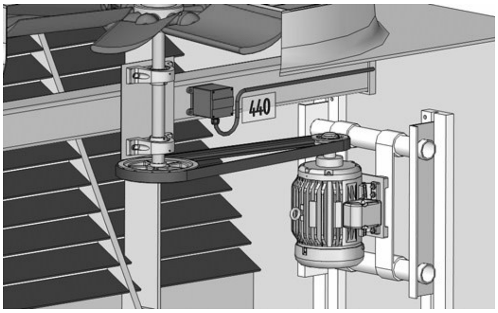
Cross flow cooling tower ၏ hot water basin သည် ဖြုတ်၍၊ တပ်၍ ရသည့်(removable) အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ Counter flow cooling tower ၏ hot water basin သည် လေလမ်းကြောင်း(air steam)တွင် တည်ရှိသည်။

Cold Water Basin

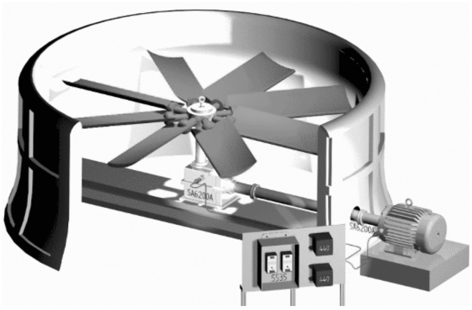
Cold water basin သည် cooling tower ၏ အောက်ခြေပိုင်းတွင်း တည်ရှိပြီး အအေးခံပြီးသည့်ရေ (cold water)များကို ပြန်လည်စုစည်းသည့် အလုပ်ကို လုပ်ဆောင်ပေးသည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် (၁၂)လက်မမှ (၁၈)လက်မ အထိနက်သော ရေကန်အငယ်စားကလေး ဖြစ်သည်။ ထိုကန်ထဲမှ ရေများကို condenser water pump က စုပ်ယူသည်။ Pump မောင်းနေသည့် အချိန်တွင် ရေအနက်သည် (၁၂)လက်မထက် နည်းသည်။ Cold water basin သည် cooling tower တစ်ခုလုံးတွင် အရေးအကြီးဆုံး(critical)လုပ်ငန်းကို လုပ်ဆောင် ပေးရသည်။

(က) Condenser water pump ရပ်တန့်သည့်အခိုက်တွင် ပိုက်အတွင်းရှိ condenser water များကို စုဆောင်းသိမ်းဆည်းထားရန်

(ခ) Condenser water pump စတင်မောင်းသည့်အခိုက်တွင် cold water basin တွင် pump စုပ်ယူရန် အတွက် ရေအလုံအလောက် ရှိနေစေရန်။ (pump စမောင်းသည့် အခိုက်တန့်တွင် return pipe မှ ရေများ ချက်ချင်း မကျရောက်လာနိုင်ပါ)။ ရေမလုံလောက်ပါက လေခိုခြင်း(air lock) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။



ပုံ ၄-၂၃ Belt drive



ပုံ ၄-၂၄ Gear drive သို့မဟုတ် Direct drive

(ဃ) Fan ၊ Motor နှင့် Drive

Cooling tower ၌ အသုံးပြုသော fan နှစ်မျိုးသည် centrifugal fan နှင့် axial propeller fan တို့ ဖြစ်သည်။ Forced draft tower တွင် နှစ်မျိုးလုံး အသုံးပြုပြီး induced draft tower များတွင် axial propeller fan ကိုသာ အသုံးပြုသည်။ Fan များအကြောင်းကို fan အခန်း(၆) (Chapter-6)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြ ထားသည်။ Fan နှင့် fan မော်တာ(motor)များ အကြားတွင် power transmission ပြုလုပ်ရန်အတွက် mechanical drive နှစ်မျိုးကို အသုံးပြုသည်။ ပန်ကာကြိုးဖြင့် မောင်းခြင်း(belt drive) နှင့် ဂီယာဖြင့် မောင်းခြင်း (gear drive)တို့ ဖြစ်သည်။

(င) Intake Louvers နှင့် Drift Eliminator

Cooling tower ၏ fill pack များဆီသို့ လေများရောက်သွားစေရန် လေဝင်ပေါက်များ(intake louvers) ကို တပ်ဆင် ထားရခြင်းဖြစ်သည်။ Drift eliminator များကို cooling tower မှ လေများ ထွက်မည့်နေရာတွင် တပ်ဆင် ထားသည်။ Drift eliminator ၏ တာဝန်သည် လေစုပ်အားကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော ရေစက်များ (water droplet) ကို cooling tower ၏ အပြင်ဘက်သို့ လွင့်ထွက်မသွားအောင် တားဆီးပေးရန်ဖြစ်သည်။ Drift eliminator ကို PVC သို့မဟုတ် steel ဖြင့် ပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။ Drift eliminator များသည် လေ၏ သွားရာ လမ်းကြောင်းကို 90° ကျော် ပြောင်းလဲသွားအောင် သုံးကြိမ် သို့မဟုတ် လေးကြိမ် ပြုလုပ်ပေးခြင်းဖြင့် ရေစက်ငယ်များသည် drift eliminator ၏ ချိတ်တွင် ပိတ်မိ(trap)နေကာ ကျန်ရစ်ခဲ့ပြီး လေများကိုသာ cooling tower မှ ထွက်သွား စေသည်။ ဤနည်းဖြင့် drift eliminator သည် drift ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသော ရေဆုံးရှုံးမှု(water loss) လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

၄.၈ အလုပ်လုပ်ပုံ (Principle of Operation)

Cooling tower တွင် water spray system ၊ fill packing material နှင့် fan တို့ ပါဝင်သည်။ Spray system သည် ရေပူ(hot water)များကို fill packing ပေါ်သို့ ဖြန်းချသည်။ Cooling tower အတွင်း၌ လေ နှင့် ရေ ထိတွေ့နေသည့် မျက်နှာပြင်(contact surface)ဧရိယာ ပိုများလာရန်အတွက် fill packing များကို အသုံးပြုကြခြင်း ဖြစ်သည်။ ရေပူ(hot water)မှ အပူများ စွန့်ထုတ်ရန်အတွက် fan များသည် လေများ(ambient air)ကို cooling tower အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်အောင် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Condenser water မှ စုပ်ယူ သယ်ဆောင်ထားသော အပူများကို cooling tower အတွင်း၌ sensible cooling ဖယ်ထုတ်ခြင်းနည်း နှင့် ရေငွေ့ ပျံစေခြင်းဖြင့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း (evaporative cooling)နည်း နှစ်နည်း တို့ဖြင့် စွန့်ထုတ်ပစ် (reject)သည်။

Cooling tower မှ စွန့်ထုတ်သည့် အပူပမာဏ(amount of heat rejected)သည် ဝင်လာသည့် လေ၏ Dry Bulb အပူချိန်(sensible cooling ဖြစ်ရန်အတွက်)နှင့် Wet Bulb အပူချိန်(evaporative cooling ဖြစ်ရန်အတွက်)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Condenser circuit တွင် ပါဝင်သော equipment များမှာ cooling tower ၊ condenser water pump နှင့် chiller တို့ ဖြစ်သည်။ Condenser water pump သည် condenser water ကို chiller အတွင်းသို့ တွန်းပို့သည်။ Condenser water သည် chiller အတွင်းသို့ ရောက်ရှိပြီး chiller အတွင်းမှ အပူများကို စုပ်ယူ ပြီးနောက် condenser water အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။ ထိုနောက် condenser water သည် cooling tower သို့ ရောက်ရှိပြီး အပူများကို လေထုထဲသို့ စွန့်ထုတ်(reject)လိုက်သောကြောင့် cooled water basin သို့ ရောက်သည့်အခါ condenser water ၏ အပူချိန် နိမ့်ကျသွားသည်။ တစ်ဖန် condenser water သည် chiller အတွင်းမှ အပူများကို စုပ်ယူရန် ပြန်လည် ဝင်ရောက်သွားသည်။ Chiller ၊ condenser water pump နှင့် cooling tower တို့ အတွင်း၌ condenser water အဆက်မပြတ် လည်ပတ်နေသည်။

Cooling tower တစ်လုံးသည် အပူများကို

(၁) Heat transfer နည်း၊

(၂) Mass transfer နည်း နှင့်

(၃) Combination of heat and mass transfer နည်းတို့ဖြင့် အပူများကို စွန့်ထုတ်(reject)သည်။

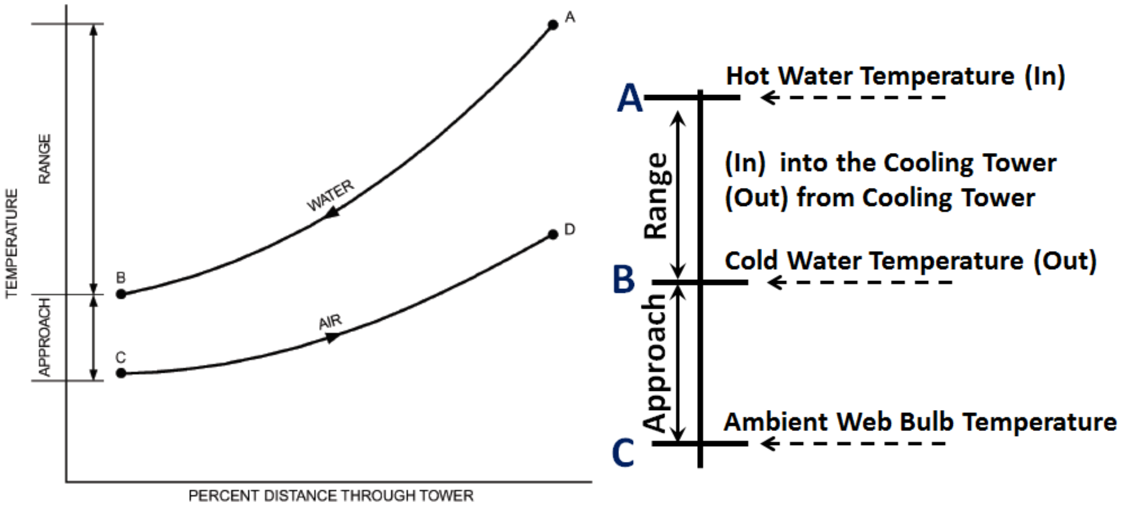
ဖိအားပြောင်းလဲမှု မရှိသည့်(constant pressure)အခြေအနေတွင် အရည်(liquid)အဖြစ်မှ အငွေ့(vapor) အဖြစ်သို့ အသွင်ပြောင်းခြင်း(phase change)ကို "**Vaporization**" ဟုခေါ်သည်။ ထို vaporization ဖြစ်သည့် အချိန်တွင် စုပ်ယူသည့် အပူကို "**Latent Heat of Vaporization**" ဟုခေါ်သည်။ လေထုဖိအား(atmospheric pressure)တွင် ဖြစ်ပေါ်လျှင် "Latent Heat of Vaporization" at atmospheric pressure ဟုခေါ်သည်။ Cooling tower သည် condenser water မှ အပူအချို့ကို လေထုအတွင်းသို့ "**Evaporative Cooling**"နည်းဖြင့် စွန့်ထုတ်(reject) လုပ်သည်။ ထို့ကြောင့် ရေဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုဆုံးရှုံးသွားသည့် ရေကို "**Evaporation Loss**" ဟုခေါ်သည်။ အောက်ပါ ပုံ(၄-၂၅)သည် counter flow cooling tower တစ်လုံး ၏ ရေ(condenser water)နှင့် လေအပူချိန်ဆက်စပ်မှု(temperature relationship)ကို ဖော်ပြထားသည်။

Condenser water အပူချိန် သည် A မှ B သို့ curve တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း နိမ့်ဆင်းသွားပြီး လေထု၏ Wet Bulb အပူချိန်သည် C မှ D သို့မြင့်တက်လာသည်။ Condenser water တွင် အပူဆုံးရှုံးခြင်း(heat loss)ဖြစ်ပြီး အနီးရှိလေထုတွင် အပူတိုးခြင်း(heat gain) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Condenser water အပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature difference)သည် condenser water entering အပူချိန်(cooling tower အတွင်းသို့) မှ condenser water leaving အပူချိန်(cooling tower မှ အထွက်)ကို နှုတ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ A အနှုတ် B ဖြစ်သည်။

ထိုအပူချိန် ကွာခြားချက်(temperature difference)ကို "Range" ဟု ခေါ်သည်။ Steady-state အခြေအနေသို့ ရောက်ပြီးချိန်တွင် range သည် condenser water ၏ နိမ့်ဆင်း သွားသော အပူချိန်ပင် ဖြစ်သည်။

Air Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute (AHRI)မှ စံ(standard)အဖြစ် သတ်မှတ်ထားသော chiller မှ ထွက်လာသည့်(leaving from chiller) condenser water အပူချိန်သည် 35°C(95°F) ဖြစ်ပြီး chiller အတွင်းသို့ဝင်သည့်(entering into chiller) condenser water အပူချိန်သည် 29.4°C(85°F)ဖြစ်သည်။ ထိုအချက်ကို မူတည်၍ cooling tower များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ကြသည်။

အသုံးပြုပုံ(application)နှင့် cooling tower ရွေးချယ်ပုံ(selection)ပေါ် မူတည်၍ ကွဲပြားမှုများ ရှိနိုင်သည်။



ပုံ ၄-၂၅ Range နှင့် Approch Temperature တို့ကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားပုံ

Leaving condenser water ၏ အပူချိန်(point B)နှင့် အဝင်လေ၏(entering) အပူချိန်(point C) တို့၏ ခြားနားချက်သည် cooling tower ၏ "**Approach**" ပင်ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်သို့ ရောက်အောင် ချဉ်းကပ်နေသောကြောင့် "Approach" ခေါ်ဆိုခြင်းဖြစ်သည်။ Approach သည် cooling tower တစ်လုံး၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(capability) ဖြစ်သည်။

အလွန်ကြီးမားသော(လိုအပ်သည်ထက် ပိုကြီးအောင် ပြုလုပ်ထားသော) cooling tower များသည် အလွန်ငယ်သော approach (colder leaving water)ကို ပေးနိုင်သည်။ (သတ်မှတ်ထားသော heat load ၊ flow rate နှင့် entering air condition များအတွက် သာဖြစ်သည်။) လေထု(atmosphere) အတွင်းသို့ စွန့်ထုတ်လိုက်သော အပူပမာဏ(amount of heat transferred)သည် heat load imposed on the tower နှင့်အမြဲ တူညီသည်။

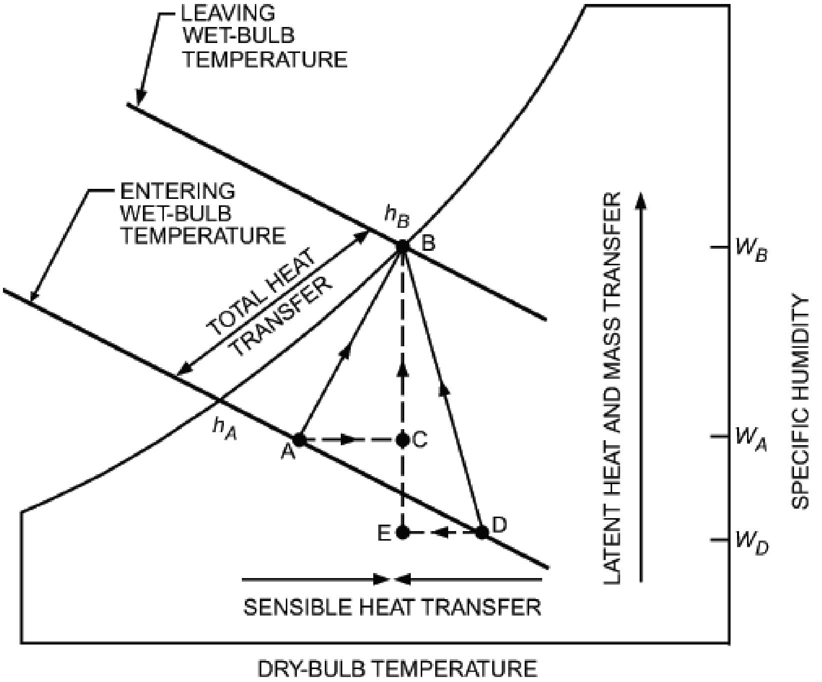
Cooling tower တစ်လုံး၏ ကူးပြောင်းနိုင်သည့် အပူပမာဏ(amount of heat transfer)သည် ထို cooling tower ၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(thermal capability) နှင့် ဝင်လာသည့်လေ၏ အပူချိန် (entering air Wet Bulb temperature)တို့ ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် cooling tower တစ်လုံး၏လုပ်ဆောင်နိုင်စွမ်း(thermal capability)ကောင်းလေ အပူများများ စွန့်ထုတ်ပစ်နိုင်လေ ဖြစ်သည်။ ဝင်လာသည့် လေ၏ အပူချိန်(entering air Wet Bulb temperature) နိမ့်လေ အပူစွန့်ထုတ်နိုင်စွမ်း များလေ ဖြစ်သည်။

ဝင်လေ(entering air)၏ Wet Bulb အပူချိန်သည် cooling tower တည်ရှိရာ ဒေသ၏ ရာသီဥတု ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Cooling tower တစ်လုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(thermal performance)သည် ဝင်လာသည့် လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်ပေါ်တွင် အများဆုံး မူတည်သည်။ ဝင်လာသည့်လေ၏ Dry Bulb အပူချိန် နှင့် relative humidity သည် mechanical draft cooling tower ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(thermal performance) အတွက် အနည်းငယ်သာ အကျိုးသက်ရောက်မှု(insignificant effect) ရှိသည်။ Cooling tower တစ်လုံး၏ ရေဆုံးရှုံးမှု နည်းခြင်း၊ များခြင်း (evaporation loss)ဖြစ်မှု အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Cooling tower တစ်လုံး အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားသော လေ၏ psychrometric analysis ကို ပုံ(၄-၂၅) နှင့် ပုံ(၄-၂၆)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ လေထု (ambient condition) (point A)တွင် cooling tower

တစ်လုံးအတွင်း ဝင်ရောက်သွားပြီးနောက် condenser water မှ heat နှင့် mass(moisture)ကို စုပ်ယူသွားသည်။ ထို့နောက် point B မှ တစ်ဆင့် ထွက်သွားသည်။ ထို point B အခြေအနေသည် saturated condition ဖြစ်သည်။ သို့သော် သတ်မှတ်ထားသည့် အပူစွန့်ထုတ်ပစ်မှု ပမာဏထက်နည်းသည့်အခါ(very light loads)မျိုးတွင် ထွက်သွားသည့် လေ(discharge air)သည် fully saturated ဖြစ်ချင်မှ ဖြစ်ပေလိမ့်မည်။



ပုံ ၄-၂၆ Cooling Tower တစ်လုံး၏ performance ကို psychrometric chart ပေါ်တွင် ဖော်ပြထားပုံ

Condenser water မှ လေသို့ ကူးပြောင်းသွားသည့်အပူ(heat transfer)ပမာဏသည် cooling tower အတွင်းသို့ ဝင်သွားသည့်လေ၏ enthalpy (enthalpy of entering air)နှင့် ထွက်သွားသည့် လေ၏ enthalpy (enthalpy of leaving air)ကွာခြားချက် ဖြစ်သည်။ (hB – hA)ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် enthalpy လိုင်းများသည် Wet Bulb အပူချိန် လိုင်းများနှင့် အလွန် နီးကပ်စွာ ရှိနေသောကြောင့်ဖြစ်သည်။ လေ၏ enthalpy ပြောင်းလဲမှု(change in enthalpy of the air)သည် လေ၏ Wet Bulb အပူချိန် ပြောင်းလဲမှု ပင်ဖြစ်သည်။

ပုံ(၄-၂၆)မှ Vector AB သည် လေထု(ambient air)၏ total heat gain ဖြစ်သည်။ Vector AB ကို component AC နှင့် component CB အဖြစ် ခွဲနိုင်သည်။ Component AC သည် sensible heat portion ဖြစ်သည်။ Component CB သည် latent heat အပိုင်း ဖြစ်သည်။ ဝင်လာသည့်လေသည် point D သို့ ပြောင်းသွားခဲ့လျှင် Wet Bulb အပူချိန် တူညီသည်။ သို့သော် Dry Bulb အပူချိန် ပိုမြင့်သည့်အခါ total heat transfer(vector DB)သည် တူညီလိမ့်မည်သာ ဖြစ်သည်။ Sensible အပိုင်း(components)နှင့် latent အပိုင်း(component)တို့သည် များစွာ ပြောင်းလဲသွားသည်။

DE သည် လေ၏ sensible cooling အပိုင်းဖြစ်သည်။ Condenser water သည် အပူ(heat)နှင့် ရေ(mass)အချို့ကို လေအတွင်းသို့ စွန့်ထုတ်မှုကြောင့် EB သည် latent heat ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် တူညီသည့် water cooling load အတွက် latent နှင့် sensible heat တို့ စွန့်ထုတ်ပစ်သည့် ပမာဏအချိုးသည် များစွာ ပြောင်းလဲနိုင်သည်။ Latent heat နှင့် sensible heat တို့ စွန့်ထုတ်သည့် ပမာဏ အချိုးသည် cooling tower တစ်လုံး ၏ ရေသုံးစွဲမှု သို့မဟုတ် ရေဆုံးရှုံးမှုကို တွက်ချက်ရန် အလွန်အရေးပါသည်။

Evaporation cooling နည်းဖြင့် အပူများကို ဖယ်ထုတ်သည့်အခါ ရေများ ဆုံးရှုံးသွားသောကြောင့် "Mass Transfer" နည်းဖြင့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ "Mass Transfer" နည်း သို့မဟုတ် Evaporation cooling နည်းသည် latent heat အပိုင်းနှင့်သာ သက်ဆိုင်ပြီး specific humidity ပြောင်းလဲမှုနှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည်။

အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ဝင်လာသည့် Dry Bulb အပူချိန် သို့မဟုတ် relative humidity သည် latent to sensible heat transfer ၏ အချိုးပေါ်တွင် မူတည်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Latent to sensible heat transfer ၏ အချိုး(ratio)သည် ရေငွေ့ပျံနှုန်း(rate of evaporation)အပေါ်တွင်လည်း အကျိုးသက်ရောက်မှု ရှိသည်။

ပုံ(၄-၂၆)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း case AB(WB – WA)၏ ရေငွေ့ပျံနှုန်း(evaporation rate) သည် case DB(WB – WD)၏ ရေငွေ့ပျံနှုန်း(rate of evaporation)ထက်နည်းသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် latent heat transfer(mass transfer)သည် total heat transfer ၏ သေးငယ်သော ပမာဏဖြစ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

Cooling tower တစ်လုံး၏ ဒီဇိုင်း အခြေနေတွင် ဖြစ်နိုင်သော ယေဘုယျ ရေငွေ့ပျံနှုန်း(evaporation rate) သည် ရေစီးနှုန်း(water flow)၏ ၁% ဖြစ်သည်။ 7 K of water temperature range ဖြစ်သည်။ ပျမ်းမျှရေငွေ့ပျံနှုန်း(evaporation rate)သည် ဒီဇိုင်းတွက်စဉ်က ရေငွေ့ပျံနှုန်း(design rate) ထက် နည်းသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ညဘက် သို့မဟုတ် အေးသည့်ရာသီတွင် ဝင်လာသော လေ၏ အပူချိန် ကျဆင်းလာသည်နှင့်အမျှ sensible component ပိုများလာပြီး latent heat transfer (mass transfer) နည်းကာ ရေငွေ့ပျံနှုန်း(evaporation rate) နည်းခြင်းကြောင့် ဖြစ်သည်။

ရေငွေ့ပျံခြင်း (evaporation)ကြောင့် ရေဆုံးရှုံးမှု(water loss) ဖြစ်သည့်အပြင် ပန်ကာကြောင့် ရေစက်များ လွင့်စင်ခြင်း(liquid carries over) နှင့် ရေဖောက်ထုတ်ခြင်း(blow down)စသည် တို့ကြောင့်လည်း ရေဆုံးရှုံးမှု (water loss)များ ဖြစ်ပေါ်သည်။ ပန်ကာကြောင့် ရေစက်များ လွင့်စင်ခြင်း(liquid carry over) နှင့် ရေဖောက်ထုတ်ခြင်း(blow down) တို့အကြောင်းကို နောက်ပိုင်းတွင် ဖော်ပြထားသည်။

၄.၉ ဒီဇိုင်းအခြေအနေများ (Design Conditions)

Cooling tower တစ်လုံး၏ လုပ်ဆောင်နိုင်စွမ်း(thermal capability)ကို အောက်ပါ အချက် (parameter) များဖြင့် သတ်မှတ်သည်။

(က) Cooling tower အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် condenser water ၏ အပူချိန်နှင့် ထွက်သွားသည့် အပူချိန် (entering and leaving water temperatures)

(ခ) ဝင်လေ ၏ Wet Bulb နှင့် Dry Bulb အပူချိန် နှင့်

(ဂ) Condenser water ၏ ရေစီးနှုန်း(flow rate)တို့ ဖြစ်သည်။

များသောအားဖြင့် condenser water velocity အနည်းဆုံး 1.5 m/s မှ အများဆုံး 3.6 m/s အခြေခံ၍ condenser pipe အရွယ်အစားကို ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။

Evaporative cooling tower တိုင်း၌ ရေငွေ့ပျံခြင်း(evaporation)ဖြစ်သည့် ရေပမာဏသည် ဝင်လာသည့် လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်နှင့် သက်ဆိုင်သည်။ Air conditioning တွင် သုံးသည့် cooling tower တစ်လုံး၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(thermal capability)ကို nominal capacity ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။

လျှပ်စစ်ဓာတ်အားဖြင့် မောင်းသည့်(electric) chiller ၏ evaporator မှ ၁ ကီလိုဝပ်(1kW) အအေးဓာတ်(cooling)ရရှိရန် အတွက် cooling tower သည် ခန့်မှန်းခြေ ၁.၂၅ ကီလိုဝပ်(1.25 kW) ပမာဏ အပူကို ဖယ်ထုတ်(heat rejection)ပေးရန် လိုအပ်သည်။

ရေစီးနှုန်း(flow rate) 54 mLiter/sec ရှိသည့် condenser water ၏ အပူချိန် 35°C(95°F)မှ 29.4°C(85°F)ရောက်အောင် လုပ်နိုင်လျှင် တစ်ကီလိုဝပ်(1kW) အပူစွန့်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)ဖြစ်သည်။ ထိုအချိန်တွင် cooling tower အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသော လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်သည် 25.6°C ပေါ်တွင် အခြေခံသည်။ ထိုအခြေနေတွင် တစ်ကီလိုဝပ်(1kW) evaporator cooling ရရှိရန် ခန့်မှန်းခြေ (၁.၂၅)ကီလိုဝပ် (1.25 kW) ပမာဏရှိသော အပူကို cooling tower မှ စွန့်ထုတ်(reject) ပေးရမည်။

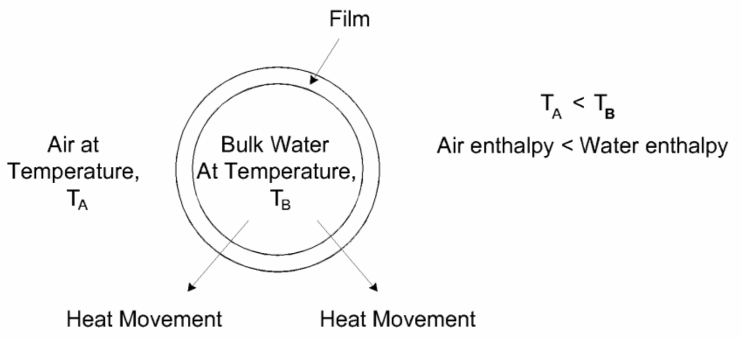
လျှပ်စစ်မော်တာဖြင့် မောင်းသည့်(electric) chiller မှ တစ်ကီလိုဝပ်(1kW) cooling capacity ထုတ်ပေးတိုင်း cooling tower သည် chiller မှ တစ်ကီလိုဝပ်(1kW)အပြင် 0.25 kW of compressor heat ကိုပါ ဖယ်ထုတ်(reject) ပေးရသည်။ 0.25 kW of compressor heat ကို "**Heat of Compression**" ဟုလည်းခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် 0.6 kW/RT efficiency ရှိသည့် 500RT chiller မှ 500RT cooling capacity ကို ထုတ်ပေးနေချိန်တွင် cooling tower သည် 500RT cooling capacity အပြင် compressor မှထွက်သည့် "Heat of Compression" (500RT x 0.6 kW/RT = 300kW = 85RT) 85RT ကိုပါ စွန့်ထုတ်(reject) ပေးရသည်။ ထို့ကြောင့် cooling tower မှ 500RT+85RT= 585RT စွန့်ထုတ်(reject) ပေးရသည်။ Condenser water pump မှ heat ကို ထည့်မတွက် ထားပါ။ အချို့သော အခြေအနေများအတွက် nominal capacity rating အတိုင်း အသုံးပြုလေ့ မရှိသည်ကို တွေ့ရသည်။

အချုပ်အားဖြင့် cooling tower တစ်လုံး၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)ကို operating parameter များ ဖြစ်ကြသော ရေအဝင်အပူချိန်(entering water temperature)၊ ရေအထွက်အပူချိန်(leaving water temperature) ၊ condenser water စီးနှုန်း(flow rate)၊ ဝင်လေ၏ (entering air) Wet Bulb အပူချိန် နှင့် လေစီးနှုန်း(air flow rate) တို့ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

၄.၁၁ Cooling Tower Heat Transfer

$$\frac{K_aV}{L} = \int_{T2}^{T1} \frac{C_dT}{h_w - h_a}$$

$$KaV/L = \int_{CWT}^{HWT} \frac{dT}{h_W - h_A}$$



ပုံ ၄-၂၇

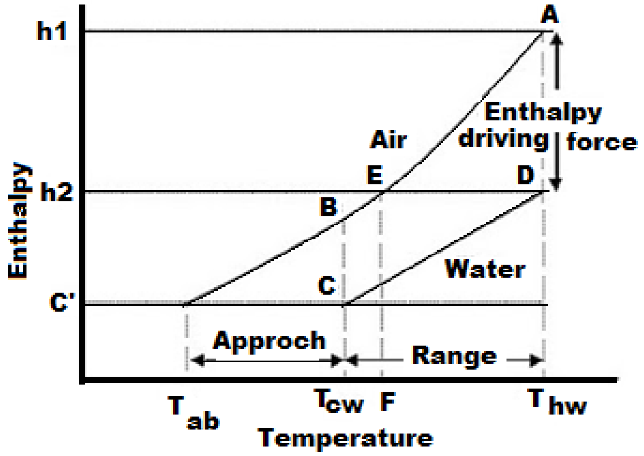
ပုံ(၄-၂၇)တွင် ဖော်ပြထားသည့် condenser water ရေစက်ငယ်မှ အပူကို အနီးရှိလေ(surrounding air)ထဲသို့ sensible heat transfer process နှင့် latent heat transfer process နည်းနှစ်မျိုးလုံးဖြင့် စွန့်ထုတ်ပစ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို အပူကူးပြောင်းခြင်းဖြစ်စဉ်(heat transfer process)ကို "**Merkel Equation**" ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

> Condenser water မှ ထွက်သွားသည့် အပူ(heat)ပမာဏသည် အနီးရှိလေ(surrounding air)မှ စုပ်ယူလိုက်သည့် ပမာဏနှင့် ညီမျှသည်။

ပုံ(၄-၂၈)တွင် cooling tower characteristic ကို ဂရပ်ပုံစံဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ Cooling tower characteristic ကို အောက်ပါအတိုင်း ဂရပ်ပုံစံဖြင့် ဖော်ပြသည့်နည်း(graphical representation)ဖြင့်လည်း လေ့လာနိုင်သည်။

Law of conservation of energy အရ (cooling tower တစ်ခုလုံးကို control volume အဖြစ် ယူဆလျှင်)

$$\boldsymbol{Amount\ of\ heat\ loss\ form\ Condenser\ water = Amount\ heat\ gain\ by\ Ambient\ Air}$$



ပုံ ၄-၂၈ Cooling tower တစ်လုံး၏ Enthalpy driving force ဖြင့် ဖော်ပြထားပုံ

C' သည် ဝင်လာသည့်လေ၏ enthalpy ဖြစ်သည်။

BC သည် initial enthalpy driving force ဖြစ်သည်။

CD သည် air operating line with slope L/G ဖြစ်သည်။

DEF သည် projecting the exiting air point onto the water operating line and then onto the temperature axis shows the outlet air Wet-Bulb temperature ဖြစ်သည်။

L/G သည် liquid to gas mass flow ratio (lb/lb or kg/kg) ဖြစ်သည်။

Condenser water မှ အပူဆုံးရှုံးမှုပမာဏ(heat loss)သည် အနီးရှိလေထု(ambient air) မှ စုပ်ယူလိုက်သည့်အပူ(heat gain)ပမာဏ နှင့် တူညီသည်။ Condenser water ၏ အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss) ပမာဏသည် $\mathbf{Q_{water} = m\,.\,Cp\,.\,\Delta t}$ ဖြစ်သည်။

Condenser water ၌ အပူချိန်ပြောင်းလဲမှု(temperature change)ဖြစ်သောကြောင့် sensible heat change သာ ဖြစ်ပေါ်သည်။ သို့သော် အနီးရှိလေထု(Ambient air)တွင် sensible heat နှင့် latent heat gain နှစ်မျိုးကြောင့် အပူတိုးလာခြင်း(heat gain) ဖြစ်ပေါ်သည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် condenser water ကို sensible cooling နှင့် ရေငွေ့ပျံစေခြင်းဖြင့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း (evaporative cooling)နည်း နှစ်မျိုးဖြင့် အေးစေသည်။

$$Q_{air} = m_{air}(h_2 - h_1) \qquad\qquad Q_{water} = m_{water}\ x\ 4.19\,\frac{kJ}{kg}\,(t_2 - t_1)$$

$$Q_{water} = Q_{air}$$

$$m_{water}\ x\ 4.19\,\frac{kJ}{kg}\,(t_2 - t_1) = m_{air}\ (h_2 - h_1)$$

t_2 = Entering temperature of condenser water

t_1 = Leaving temperature of condenser water

h_2 = Enthalpy of leaving air

h_1 = Enthalpy of entering air

$\frac{Mass\ of\ water}{Mass\ of\ air}$ ကို water to air mass ratio သို့မဟုတ် liquid to gas mass flow ratio ဟုခေါ်သည်။ ယူနစ်သည် lb of water/lb of air သို့မဟုတ် kg of water/kg of air ဖြစ်သည်။

လေထု(ambient air)အပူချိန် 78°F(25.5°C)DB နှင့် 50% RH သည် cooling tower အတွင်းသို့ ရောက်သည့်အခါ ရေငွေ့ပျံစေပြီး အပူကိုဖယ်ထုတ်ခြင်း(evaporative cooling)နည်းဖြင့် condenser water ကို အေးစေသည်။ လေ၏ enthalpy သည် 30.1 Btu/lb မှ 45.1 Btu/lb အထိ မြင့်တက်သွားသည်။ 15 Btu/lb of dry air မြင့်တက်သွားသည်။ ထို 15 Btu/lb သည် condenser water အလေးချိန် တစ်ပေါင်ကို 15°F အပူအချိန် ကျဆင်းသွား စေနိုင်သည်။

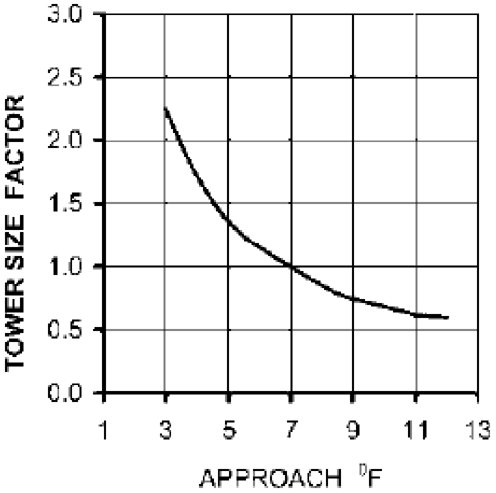
ဝင်လာသည့်လေ(ambient air)၏ စိုထိုင်းဆ(humidity ratio)သည် 0.0103 lb of water vapor/lb of dry air ဖြစ်ပြီး ထွက်သွားသည့် လေ၏ စိုထိုင်းဆ(humidity ratio)မှ 0.0233 lb of water vapor/lb or dry air ဖြစ်သည်။ ထို(0.0233lb - 0.0103=) 0.013 lb သည် ရေငွေ့ပျံ(evaporate)သွားသည့် condenser water ဖြစ်သည်။

85°F ၌ ရှိသော latent heat vaporization တန်ဖိုးသည် 1,045 Btu/lb(2260 KJ/kg) ဖြစ်သည်။ 0.031lb x 1045 Btu/lb =13.6 Btu ဖြစ်သည်။ 15 Btu ၏ ၉၀% သည် ရေငွေ့ပျံစေခြင်းဖြင့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(evaporative cooling)နည်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည်။ ကျန်သည့် ၉% ခန့်သည် sensible cooling ကြောင့်ဖြစ်သည်။ Condenser water အပူချိန်သည် 15°F ကျဆင်းပြီး လေ၏ အပူချိန် 3.3°F မြင့်တက်လာသည်။ လေ၏ အပူချိန်သည် 78°F မှ 81.3°F သို့ မြင့်တက်သည်။

၄.၁၁ Cooling Tower Performance Factor

Cooling tower တစ်လုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)သည် အောက်ပါ အချက်(factor or parameter) များပေါ်တွင် မူတည်သည်။

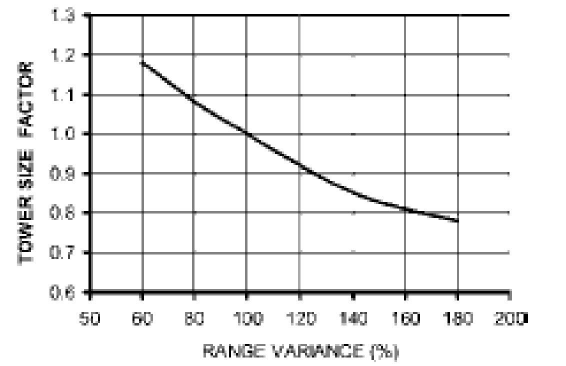
(၁) Range
(၂) Approach
(၃) Effectiveness
(၄) Cooling capacity
(၅) Evaporation loss
(၆) Cycles of concentration
(၇) Blow down losses နှင့်
(၈) Liquid/ Gas ratio တို့ ဖြစ်သည်။



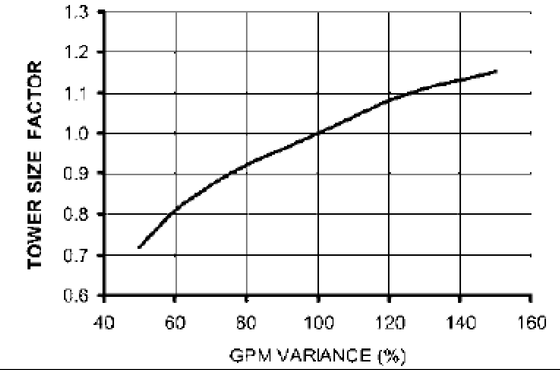
ပုံ ၄-၂၉ Condenser water range ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့်cooling tower အရွယ်အစား ပြောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

လေ၏ Wet Bulb အပူချိန် မြင့်တက်လာခြင်းကြောင့် cooling tower ၏ စွမ်းဆောင်ရည် (performance) ကျဆင်းသွားသည်။ လေ၏ Wet Bulb အပူချိန် ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် Approach တန်ဖိုး ပြောင်းလဲသည်။ Range ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် Approach တန်းဖိုး ပြောင်းလဲသည်။

Condenser water စီးနှုန်း(flow rate)များခြင်း သို့မဟုတ် range များခြင်းကြောင့် အပူ ဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) များလာသည်။



ပုံ ၄-၃၀ Variation in tower size factor with range.



ပုံ ၄-၃၁ Variation in tower size factor with condenser water flow rate.

အထက်ပါ ပုံ(၄-၃၁)တွင် condenser water စီးနှုန်း(flow rate) ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် cooling tower အရွယ်အစား ပြောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ အထက်ပါ ပုံ(၄-၃၀) သည် condenser water range ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် cooling tower အရွယ်အစား ပြောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားသည်။(Approach မပြောင်းပါ။)

၄.၁၂ Condenser Water Flow Rate

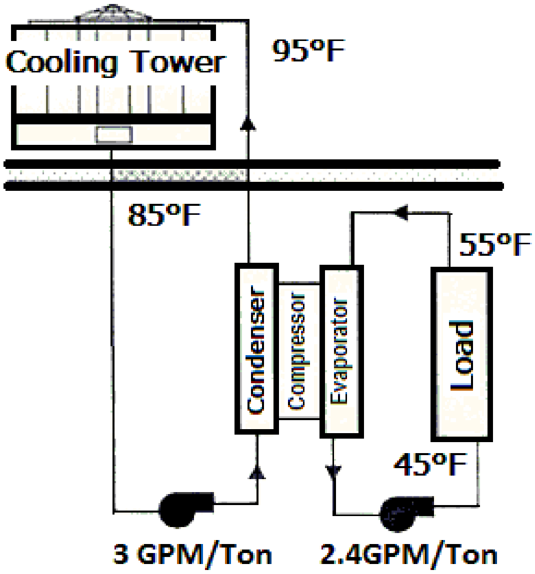
Condenser water system တွင် စီးနှုန်း(flow rate)သည် အလွန် အရေးကြီးသည်။ Condenser water မှ အပူ(heat)များ လေထု(ambient air)ထဲသို့ အပူစွန့်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) ဖြစ်စေရန် လုံလောက်သော condenser water စီးဝင်လည်ပတ်မှု ရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးရန် လိုအပ်သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် "Range" ကို 5.6°C (95°F - 85°F = 10°F)တန်ဖိုးတွင် အခြေခံ၍ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ကြသည်။

Cooling capacity 1 RT လျှင် condenser water ရေလည်ပတ်နှုန်းသည် 0.19 Liter/Sec (3GPM) ဖြစ်ပြီး Chilled water ရေလည်ပတ်နှုန်းသည် 2.4 GPM ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် condenser water ရေလည်ပတ်နှုန်း(flow rate)သည် chilled water ရေလည်ပတ်နှုန်း(flow rate)၏ (၁.၂၅)ဆ(1.25 times) ဖြစ်သည်။ ၂၅% ပိုများသည်။ Chilled water စီးနှုန်း(flow rate)သည် 0.15 Liter/Sec per RT သို့မဟုတ် 2.4 GPM per RT ဖြစ်သည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် electric chiller များတွင် heat of compression သည် chiller cooling load ၏ 25% နီးပါးနှင့် ညီမျှသောကြောင့်ဖြစ်သည်။

အကယ်၍ condenser water စီးနှုန်း(flow rate)သည် လိုအပ်သည်ထက် နည်းလျှင် condenser water return temperature မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ Chiller အတွင်းသို့ အပူချိန်မြင့်သည့် condenser water ဝင်ရောက်လာလျှင် refrigerant ၏ condensing pressure မြင့်တက်လာပြီး compressor ၏ စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု(power consumption) ပိုများ လာလိမ့်မည်။

လုံလောက်သော ရေစီးနှုန်း(water flow rate) ကို chiller အတွင်းသို့ လည်ပတ်စေခြင်းကြောင့် condenser water return temperature ကျဆင်းလာကာ chiller efficiency ပိုကောင်း လာလိမ့်မည်။



ပုံ ၄-၃၂ Condenser and chilled water circuit

Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute (AHRI) သတ်မှတ်ချက်အရ ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(design condition) တွင် cooling capacity 1 RT ရရန် condenser water ရေလည်ပတ်နှုန်း(flow rate)သည် 0.19 Liter/Sec per RT သို့မဟုတ် 3 GPM per RT ဖြစ်သည်။

Lower part load အခြေအနေမျိုးတွင်လည်း condenser water စီးနှုန်း(flow rate)ကို ဒီဇိုင်း စီးနှုန်း (design flow rate)ထက် အနည်းငယ် လျော့နည်းအောင် လျှော့ချနိုင်သည်။

Actual condenser water စီးနှုန်း(flow rate) သည် design condenser water စီးနှုန်း(flow rate) ထက် ပိုမများရန် လိုအပ်သည်။ Condenser water စီးနှုန်း(flow rate) လိုအပ်သည်ထက် ပိုများခြင်းကြောင့် ပန့်အတွက် လိုအပ်သောစွမ်းအင်(pumping power)ကို ဖြုန်းတီးရာ ရောက်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် over pumping ဖြစ်စေသည်။

Cooling tower စွမ်းဆောင်ရည် (performance) ညံ့ဖျင်းနေလျှင် condenser water စီးနှုန်း(flow rate)များခြင်း ကြောင့်လည်း condenser water supply temperature မြင့်တက်လာနိုင်သည်။ Cooling tower တစ်ခုချင်းစီ၌ တူညီသောရေပမာဏ စီးဝင်ခြင်း(flow)မရှိသည့်အခါ (unbalance water flow ဖြစ်ခြင်းကြောင့်) အချို့ cooling towerသည် ဒီဇိုင်းစီးနှုန်း(design flow rate)ထက်ပိုများသည့် condenser စီးနှုန်း(flow rate)ကို ရရှိကာ အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature) ပိုမြင့်မားလာသည်။ အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature) မြင့်သောကြောင့် chiller efficiency ကျဆင်းလိမ့်မည်။

၄.၁၃ စုပ်ယူသည့်အပူနှင့် စွန့်ထုတ်သည့် အပူပမာဏ တူညီခြင်း (Heat Balancing)

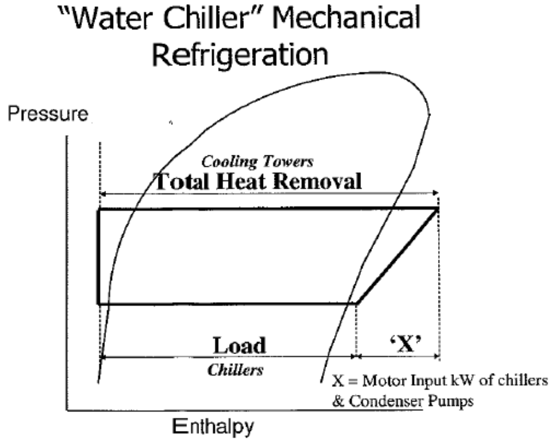
Vapor compression cycle များတွင် evaporator က အပူ(heat)ကိုစုပ်ယူသည့် အလုပ်လုပ်ကြပြီး condenser များက ထိုစုပ်ယူထားသော အပူကိုပြန်စွန့်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)လုပ်ကြသည်။ Compressor အတွင်းမှ အပူချိန်မြင့်ပြီး ဖိအားမြင့်သည့်(hot and high pressure) refrigerant gas များသည် condenser အတွင်းသို့ ရောက်ရှိလာပြီး နည်း နှစ်မျိုးဖြင့် အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)လုပ်ကြသည်။

ထို refrigerant gas သည် superheat အပူချိန်၌ အငွေ့(vapor) အခြေအနေဖြင့် sensible heat ကို စွန့်ထုတ်(reject)သည်။ ထို့နောက် saturated အပူချိန်၌ latent heat ကို စွန့်ထုတ်(reject)ကာ refrigerant အငွေ့ (vapor)မှ အရည်(liquid)အဖြစ်သို့ ပြောင်းသွားသည်။

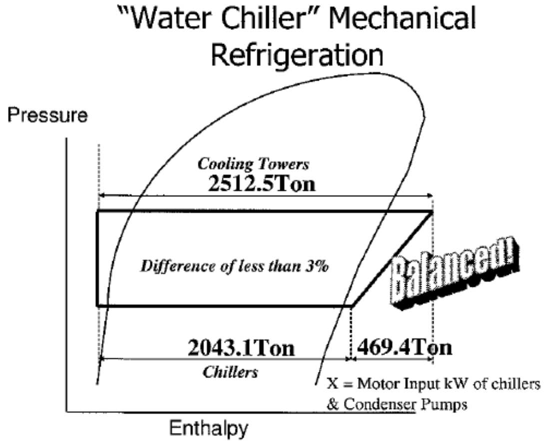
Condenser load သည် ဖယ်ထုတ်သည့်အပူပမာဏ(amount of heat rejection) ဖြစ်သည်။ Air cooled condenser မှ အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)ကြောင့် လေ၏အပူချိန် ခြားနားချက် 9°C မှ 12°C ခန့် မြင့်တက် လာအောင် ဒီဇိုင်းလုပ်လေ့ ရှိသည်။ အကယ်၍ အပူချိန်မြင့်တက်မှု(temperature raise) 10.5°C

ကို အခြေခံ၍ တွက်လျှင် 1kW အပူပမာဏကို စွန့်ထုတ်(reject)ရန်အတွက် လေစီးနှုန်း 0.093 kg (mass flow rate 0.093 kg/kW)လိုအပ်သည်။ [1/(10.5x1.02)= 0.093 kg/kW]

ဥပမာအားဖြင့် ရုံးခန်းတစ်ခု၏ air con unit သည် 350kW cooling capacity ရှိပြီး 430kW အပူပမာဏ ဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)ဖြစ်ရန် လေစီးနှုန်း(flow rate) 40.85 kg/s သို့မဟုတ် 36 m^3/s ရှိသည့် air-cooled condenser ကို အသုံးပြုရမည်။ လေဖြင့် အပူစွန့်ထုတ်သည့်အခါ ရေထက် volume flow rate သို့မဟုတ် mass flow rate ပိုများသောကြောင့် နေရာကျယ်ကျယ် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၄-၃၃ Heat Balance



ပုံ ၄-၃၄ Heat Balance

$$Condenser\ Load\ =\ Evaporator\ Load\ +\ Compressor\ input\ power$$

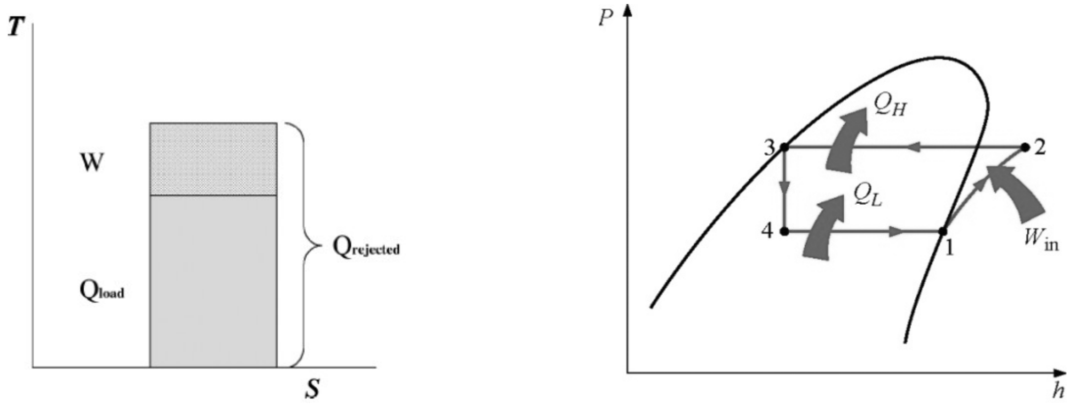
$$Heat\ rejected\ from\ cooling\ tower = Heat\ gain\ by\ chiller\ +\ Heat\ of\ compression$$

ဥပမာ condenser တစ်ခုသည် အပူ(heat)ပမာဏ 12kW ကို ဖယ်ထုတ်(reject)ရန်အတွက် အပူချိန် 35°C ရှိသော ပြင်ပလေ(outdoor air) သည် အပူချိန် 50°C အထိ မြင့်တက်သွားသည်။ ထို condenser သည် 8 kW အပူပမာဏကို ဖယ်ထုတ်(reject)ရန် လိုအပ်ပြီး ပြင်ပလေ(outdoor air)သည် 15°C ဖြစ်လျှင် အပူချိန်မည်မျှ အထိတက် သွားမည်နည်း။

Temperature difference = 50˚C – 35˚C = 15˚C

$$Condenser\ rating\ =\ \frac{Load}{Temperature\ Difference}$$

= 12 kW/15°C = 0.8 kW/˚C



ပုံ ၄-၃၅ Carnot cycle for refrigeration

ထို condenser သည် 1°C အပူချိန်ကွာခြားတိုင်း(temperature difference) အပူပမာဏ 0.8 kW ကို ဖယ်ထုတ်(reject) နိုင်စွမ်းရှိသည်။

၄.၁၄ ရွေးချယ်ရာတွင် စဉ်းစားရမည့် အချက်များ (Selection Consideration)

မိမိ၏ လုပ်ငန်း(application)နှင့် သင့်လျော်မှန်ကန်သော cooling tower ကို ရွေးချယ်အတွက် အောက်ပါ အချက်အလက်များကို ထည့်သွင်းစဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။

(က) Cooling duty (လိုအပ်သော အပူဖယ်ထုတ်နှုန်း(capacity) ၊ မောင်းနှင်မည့် duty အမျိုးအစား)

(ခ) Economics [စီးပွားရေးတွက်ချေကိုက်မှု၊ တပ်ဆင်ရန်ကုန်ကျစရိတ်(installation cost) ၊ မောင်းနှင့်လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ် (operation cost)]

(ဂ) Required services (လိုအပ်သည့် ဆားဗစ်အမျိုးအစားများ)

(ဃ) Environmental conditions (ပတ်ဝန်းကျင်ကို ထိခိုက်မှုရှိ မရှိ၊ ကျောင်း၊ ဆေးရုံ သို့မဟုတ် လူအများစုနှင့် နီးသည့်နေရာတွင် cooling tower ကို တပ်ဆင်ရန် မသင့်လျော်ပေ။ Legionella ပိုးမွှား (pathogenic gram)အန္တရာယ်ကြောင့် ဖြစ်သည်။) Legionella အကြောင်း အသေးစိတ် သိလိုပါက http://www.nea.gov.sg/cms/qed/cop_legionella.pdf တွင် လေ့လာနိုင်သည်။

(င) Maintenance requirements (ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းရန် လိုအပ်ချက်များ) နှင့်

(စ) Aesthetics- အမြင်လှပမှု ရှိ၊ မရှိ တို့ဖြစ်သည်။ (လူမြင်ကွင်းတွင် တပ်ဆင်ထားသော cooling tower များအား ကြည့်ကောင်းအောင် ပြုလုပ်ထားရန် သို့မဟုတ် ကာရံထားရန် လိုအပ်သည်။)

အထက်ပါ အချက်အလက်များသည် တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အပြန်အလှန်ဆက်စပ်မှု ရှိကြသည်။ တစ်ခုချင်းစီကို ဆန်းစစ်ရွေးချယ် ရမည်။

အထက်ပါ အချက်များအပြင် cooling tower ရွေးချယ်ခြင်းနှင့် သက်ဆိုင်သော အချက်အလက်များမှာ

(၁) Safety features ၊ safety codes နှင့် သက်ဆိုင်သော ဘေးရန်ကင်းရှင်းရေး စည်းမျည်း စည်းကမ်းများကို လိုက်နာရမည်။

(၂) အဆောက်အဦ အမျိုးအစားကို လိုက်၍ ချမှတ်ထားသည့် code များကို လိုက်နာရမည်။ (Conformity to building codes)

(၃) General design and rigidity of structures (တည်ဆောက်မည့် structure ဒီဇိုင်း နှင့် အမျိုးအစား)

(၄) Relative effects of corrosion, scale, or deterioration on service life (သံချေးတက်ခြင်း၊ ရေညှိတက်ခြင်း၊ စွမ်းရည်ကျဆင်းခြင်း နှင့် အသုံးပြုနိုင်သည့် သက်တမ်းတိုခြင်း စသည်တို့နှင့် သက်ဆိုင်သော အချက်များ)

(၅) Availability of spare parts (အပိုပစ္စည်းများ အလွယ်တကူ ရရှိနိုင်မှု)

(၆) Experience and reliability of manufacturers (ထုတ်လုပ်သူ၏ လုပ်ငန်းအတွေ့အကြုံနှင့် စိတ်ချနိုင်မှုရှိ ၊ မရှိ)

(၇) Independent certification of thermal ratings (ဖော်ပြထားသော စွမ်းဆောင်ရည်နှုန်း(rating)များကို ထုတ်လုပ်သူမဟုတ်သည့် တခြားသောအဖွဲ့ တစ်ခုခုမှ ထောက်ခံပေးမှု)

(၈) Operating flexibility for economical operation at varying loads or during seasonal changes. (နွေ၊မိုး၊ဆောင်း ရာသီဥတုအားလုံး၌ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် load များ အားလုံး နှင့် ကိုက်ညီအောင် မောင်းနိုင်မှု)တို့ ဖြစ်သည်။

ထိုအချက်အလက်များအပြင် တုန်ခါမှု(equipment vibration)၊ ဆူညံသံ(sound levels) ၊ ဆူညံသံလျော့နည်းအောင် ဆောင်ရွက်ခြင်း(acoustical attenuation)၊ ဗိသုကာဒီဇိုင်း(architectural design) နှင့် လိုက်လျော ညီထွေဖြစ်မှု တို့ကိုလည်း အဓိကထား စဉ်းစားရမည် ဖြစ်သည်။

Cooling duty နှင့်သက်ဆိုင်သော အချက်အလက်များသည် အမြင့်(height)၊ အရှည်(length)၊ အထု (width)၊ လေလည်ပတ်နှုန်း(volume of airflow)၊ fan နှင့် pump တို့၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှုန်း(energy consumption)၊ တည်ဆောက်ထားသည့် ပစ္စည်းအမျိုးအစား(materials of construction)၊ ရေအရည်အသွေး (water quality) နှင့် ဈေးကွက်တွင် ရရှိနိုင်မှု(availability)တို့ ဖြစ်သည်။

မိမိအဆောက်အဦ သို့မဟုတ် မိမိ system အတွက် အကောင်းဆုံးနှင့် အသင့်လျော်ဆုံးသော cooling tower အမျိုးအစားနှင့် အရွယ်အစားကို economic evaluation လုပ်ပြီးမှသာ ရရှိနိုင်သည်။ နည်းပညာအရ (technically) အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်ရန် လိုအပ်သလို စီးပွားရေးအရ(economically)လည်း အကျိုးအမြတ် များရန် လိုအပ်သည်။

2007 ASHRAE Handbook စာအုပ်မှ Chapter 36 ၌ ပါရှိသော HVAC Applications အပိုင်းတွင် အသုံးများသည့် စီးပွားရေးအရ တွက်ခြေကိုက်မှု ရှိ/မရှိ ဆန်းစစ်နည်း(economic evaluation) နှစ်မျိုးကို ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Life Cycle Costing (equipment တစ်ခု စဝယ်သည့်နေ့မှ သုံးမရ၍ ဖျက်ပစ်သည့်နေ့အထိ ကုန်ကျစရိတ် စုစုပေါင်းကို တွက်သည့်နည်း)နှင့်

(၂) Payback analysis (ဝယ်ပြီး တပ်ဆင်ရန် ကုန်ကျစရိတ်များကို ပြန်လည်ရရှိရန် နှစ်မည်မျှကြာသည်ကို တွက်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။)

အထက်ပါ နည်းနှစ်နည်း အနက်မှ ကြိုက်နှစ်သက်ရာ နည်းကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

အစပိုင်းကုန်ကျစရိတ်များ (initial cost) အတွက် အောက်ပါ အချက်အလက်တို့ကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားသင့်သည်။

- Erected cost of equipment (ငြမ်း၊ ကရိန်း စသည့်တို့အတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- Costs of interface with other subsystems (သက်ဆိုင်သည့် တခြားသော subsystem များနှင့် interface လုပ်ရန် ကုန်ကျစရိတ်)
- Pumps and prime movers (ပန့် စသည့် တို့အတွက်ကုန်ကျစရိတ်)
- Electrical wiring to pump and fan motors (ပန့် ၊ မော်တာ နှင့် fan မော်တာ တို့၏ လျှပ်စစ်ဝါယာနှင့် သက်ဆိုင်သော ကုန်ကျစရိတ်)
- Electrical controls and switchgear (လျှပ်စစ် panel များ နှင့် control များ၊ switchgear တို့ အတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- Piping to and from the tower (ပိုက်များ တပ်ဆင်ရန်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- Tower basin ၊ sump screens ၊ overflow piping and makeup lines ၊ if not furnished by the manufacturer (တခြားသော အစိတ်အပိုင်းများ အတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- Shutoff and control valves (ဘားများအတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- Walkways ၊ ladders ၊ etc., providing access to the tower ၊ if not furnished by the manufacturer (လျှောက်လမ်း၊ လှေကားတို့အတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- Fire protection sprinkler system (မီးဘေးကာကွယ်ရေး အစီအမံများအတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- ပိုင်ဆိုင်မှုအတွက် ကုန်ကျစရိတ်(ownership cost)နှင့် ထိန်းသိမ်းပြုပြင်မှု ကုန်ကျစရိတ်(maintenance costs) တို့အတွက် အောက်ပါ အချက်အလက်တို့ကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားသင့်သည်။

- System energy costs (fans, pumps, etc.) (တစ်နာရီမောင်းရန်အတွက် လိုအပ်သည့် စွမ်းအင်အတွက် ကုန်ကျစရိတ်)
- Energy demand charges (လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခ ကုန်ကျစရိတ်)
- Expected equipment life (အမြော်လင့်နိုင်ဆုံးသော အသုံးပြုနိုင်မည့် သက်တမ်း)
- Maintenance and repair costs (ထိန်းသိမ်းစရိတ် နှင့် ပြုပြင်စရိတ်)
- Money costs (အတိုးတွက်၊ ငွေကြေးဖောင်းပွမှု စသည့်တို့အတွက် ထည့်ဆောင်းရမည့် စရိတ်)

၄.၁၅ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း (Cooling Tower Sizing)

Cooling tower များသည် central air conditioning system မှ စွန့်ထုတ်သည့် အပူ(heat) များကို သာမက chiller ၏ compressor မှ အပူ(heat)များကိုလည်း အတူတကွ စွန့်ထုတ်ပေးရသည်။ Chiller မှ အပူ (heat of compression)ပမာဏသည် chiller ၏ efficiency ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အကြမ်းအားဖြင့် လျှပ်စစ်မော်တာဖြင့် မောင်းသော(electric) chiller များအတွက် cooling load ၏ ၂၅% ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် cooling tower ၏ အရွယ်အစား(size)သည် chiller cooling capacity ၏ ၁၂၅% ဖြစ်သည်။ (၁.၂၅ ဆခန့် ဖြစ်သည်)။ လျှပ်စစ်မော်တာဖြင့် မောင်းသည့် chiller အတွက်သာ ဖြစ်သည်။

Chiller efficiency သည် cooling tower ၏ အရွယ်အစား(size)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Cooling tower ၏ အရွယ်အစားသည် လိုအပ်သည်ထက် သေးငယ်နေလျှင် အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) မလုံလောက်သောကြောင့် ထွက်ရေအပူချိန်(condenser supply water(leaving)temperature) မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် chiller efficiency ကျဆင်းသွားနိုင်သည်။ Cooling tower မှ ထွက်ရေအပူချိန် (condenser supply water temperature) နိမ့်လျှင် chiller ၏ efficiency ပိုကောင်းလာသည်။

Cooling tower သည် သီအိုရီအရ ထွက်ရေအပူချိန်(leaving condenser temperature)ကို လေ၏ Wet Bulb အပူချိန် သို့ရောက်အောင် နိမ့်ချပေး နိုင်သည်။ ထိုသို့ နိမ့်ချရန်အတွက် မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area)ကျယ်ကျယ်နှင့် လေစီးနှုန်း (air flow)များများ လိုအပ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသော cooling tower များသည် chiller efficiency ကို ပိုမို ကောင်းမွန်စေသော်လည်း cooling tower တန်ဖိုး သို့မဟုတ် တပ်ဆင်ခ နှင့် လည်ပတ်ရန်ကုန်ကျစရိတ်(operating cost) စသည်တို့ အဆမတန် များလာလိမ့်မည်။ လိုအပ်သည်ထက် ပိုများသည့် cooling tower အရေအတွက်ကို တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်လိမ့်မည်။

> Cooling tower ၏ မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area)နည်းခြင်း၊ များခြင်းသည် capital cost(cooling tower တန်ဖိုး)နှင့်သာ သက်ဆိုင်သည်။ Cooling tower ၏ လေစီးနှုန်း(air flow)နည်းခြင်း၊ များခြင်း သည် လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ်(operating cost) နှင့်သာ သက်ဆိုင်သည်။
>
> ထို့ကြောင့် တူညီသော cooling capacity ရှိသည့် cooling tower နှစ်လုံးတွင် မျက်နှာပြင်ဧရိယာ (surface area)များပြီး လေစီးနှုန်း(air flow)နည်းသည့် cooling tower သည် capital cost များပြီး လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ်(operating cost) နည်းလိမ့်မည်။ မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area)နည်းပြီး လေစီးနှုန်း(air flow) များသည့် cooling tower သည် capital cost နည်းပြီး လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ် (operating cost)များလိမ့်မည်။

ထို့ကြောင့် cooling tower အရွယ်အစားကို အစပိုင်းကုန်ကျစရိတ်(initial capital cost) နှင့် chiller cooling tower ၏ လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ် (operating cost)တို့ အကြားတွင် အကောင်းဆုံး(optiminum) ဖြစ်အောင် ချိန်ဆ၍ ရွေးချယ်ရခြင်း ဖြစ်သည်။

Cooling tower ကို chiller ၏ ထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature)၊ ဝင်ရေအပူချိန်(return temperature)လိုအပ်ချက် နှင့် cooling tower ရှိသည့်နေရာ၏ လေထု(outdoor air) Wet Bulb အပူချိန်ပေါ်တွင် အခြေခံ၍ ရွေးချယ်ရမည်။ Chiller မှထွက်ပြီး cooling tower ထဲသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် condenser water အပူချိန်(return temperature)သည် 35°C (95°F) ဖြစ်ပြီး condenser supply temperature သည် 29.4°C(85°F) ဖြစ်သည်။ လေထုအပူချိန်သည် Wet Bulb အပူချိန်သည် cooling tower တည်ရှိရာဒေသ နှင့် ရာသီဥတုပေါ်တွင် မူတည်သည်။

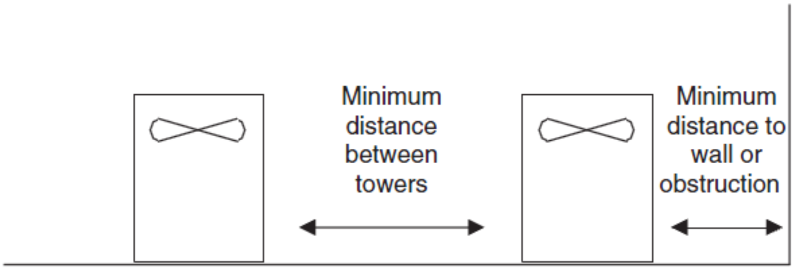
Cooling tower ထုတ်လုပ်သူများသည် cooling tower ၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း (heat rejection capacity)ကို အမျိုးမျိုးသော operating conditioning များတွင် သတ်မှတ်ကြသည်။

> Cooling tower ၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)သည် operating condition အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ မောင်းနေသည့် အချိန်၌ လေ၏ Wet Bulb အပူချိန်သည် ဒီဇိုင်းလုပ်သည့် Wet Bulb အပူချိန်ထက် ပိုမြင့်နေပါက ထို cooling tower သည် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း (heat rejection capacity)ကို ရရှိလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)ထက် နည်းသည့် capacity ကိုသာ ပေးနိုင်သည်။

ထိုကဲ့သို့ အခြေအနေမျိုးတွင် Wet Bulb အပူချိန်မြင့်သောကြောင့် cooling capacity ကို သတ်မှတ်ထားသည့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(rated capacity)မှ အချိုးကျ လျော့နည်းသွားမည့် capacity ကို ခန့်မှန်းယူနိုင်သည်။ Rule of thumb အရ cooling tower ၏ nominal capacity ကို chiller rated capacity ၏ တစ်ဆခွဲ (1.5 times) အဖြစ် သတ်မှတ်ကြသည်။

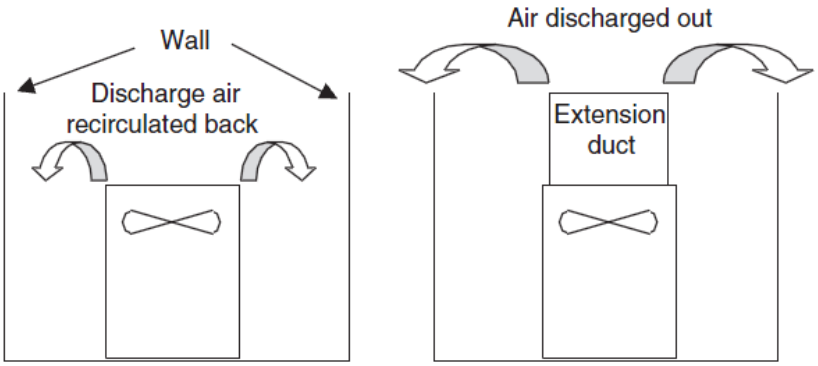
၄.၁၆ တပ်ဆင်ခြင်း (Installation of Cooling Tower)

Cooling tower ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)သည် လေစီးနှုန်း(air flow) ပေါ်တွင် မူတည်သောကြောင့် cooling tower ကို လေဝင်လေထွက် ကောင်းသည့် နေရာတွင် ထားရှိသင့်သည်။ ပုံ(၄-၃၆)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း cooling tower တပ်ဆင်ထားမည့်နေရာ အကျယ်လုံလောက်အောင် ထားပေးသင့်ပုံကို ဖော်ထားပြသည်။ Cooling tower ၏ လေဝင်ပေါက်(air intake)သည် နံရံနှင့် အလွန်နီးကပ်စွာ မရှိသင့်။ ထားရှိရမည့် အကွာအဝေးကို cooling tower ထုတ်လုပ်သူများထံမှ ရယူနိုင်သည်။ Cooling tower တစ်ခု နှင့် ကပ်လျက်ရှိ တခြား cooling tower တစ်ခုသည်လည်း လုံလောက်သည့် အကွာအဝေးတွင် တည်ရှိသင့်သည်။



ပုံ ၄-၃၆ Cooling tower နှစ်ခုအကြားအကွာဝေး နှင့် cooling tower နှင့် နံရံ အကြားအကွာအဝေး

Cooling tower တစ်ခုမှ မှုတ်ထုတ်လိုက်သည့် လေပူများ(warm and moist air)သည် တခြား cooling tower ၏ လေဝင်ပေါက်(air intake)အဝသို့ မရောက်ရှိစေရန် သတိပြုရမည်။ အချို့သော အခြေအနေများတွင် extension duct ကို cooling tower ၏ အထွက်(discharge) နေရာတွင် တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြင့် လေပူ(hot air)များကို cooling tower မှ ဝေးရာသို့ ရောက်အောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။



ပုံ ၄-၃၇ Extension duct အသုံးပြု၍ recirculation မဖြစ်အောင် ကာကွယ်ထားသည်။

၄.၁၇ Capacity Control

များသောအားဖြင့် chiller နှင့် cooling tower တို့ကို interlock ပြုလုပ်ထားကြသည်။ Chiller မမောင်းခင် cooling tower နှင့် condenser water pump ကို အရင် စမောင်း ရသည်။ Cooling tower မမောင်းဘဲ chiller မောင်း၍ မရအောင် လုပ်ထားခြင်း ကို "**Interlock**" လုပ်သည် ဟုခေါ်သည်။

Cooling tower အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(capacity)သည် လေစီးနှုန်း(air flow) နှင့် မျက်နှာပြင် ဧရိယာ(surface area) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ သို့သော် cooling tower ၏ မျက်နှာပြင် ဧရိယာ(surface area)သည် capacity control နှင့် မသက်ဆိုင်ပေ။ လေစီးနှုန်း(air flow)သာ capacity control နှင့် သက်ဆိုင်သည်။

Chiller သည် ဝန်အနည်းငယ်ဖြင့် မောင်းနေချိန်(part load condition)တွင် cooling tower မှ ဖယ်ထုတ်ရမည့် အပူ(rejected heat)ပမာဏ နည်းသည်။ ထိုကဲ့သို့ အခြေအနေမျိုးတွင် cooling tower အား မြန်နှုန်းအပြည့် (full speed) သို့မဟုတ် full capacity ဖြင့် မောင်းရန် မလိုအပ်ပေ။

Cooling tower ၏ လေစီးနှုန်း(air flow)ကိုလျှော့ချခြင်းဖြင့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) ကို လျှော့ချနိုင်သည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) ကိုလည်း လျှော့နည်းစေသည်။

Cooling tower ၏ လေစီးနှုန်း(air flow)ကို နည်းနှစ်မျိုးဖြင့် လျှော့ချနိုင်သည်။

(၁) ပထမနည်း Fan အားလုံးကို အတူတကွ switch on/off လုပ်ခြင်း။(cooling tower fan cycling)

(၂) ဒုတိယနည်း Fan များကို Variable Speed Drive(VSD) ဖြင့် မောင်းခြင်း။

ပထမနည်းတွင် လိုအပ်သည့် ရေအပူချိန်(condenser water temperature)သို့ ရောက်အောင် cooling tower fan များကို မောင်းခြင်း၊ရပ်နားခြင်း(switch on/off)ဖြင့် control လုပ်နိုင်သည်။ Condenser water အပူချိန်သည် မြင့်တက်ခြင်း(fan မမောင်းသည့်အချိန်တွင်)၊ ကျဆင်းခြင်း(fan မောင်းနေသည့် အခိုက်တွင်) ဖြစ်ကာ chiller operation ကို မတည်မငြိမ်(unstable) ဖြစ်စေသည်။ Fan များကို မကြာခဏ မောင်းလိုက်၊ ရပ်လိုက် လုပ်ခြင်းကြောင့် သက်တမ်းမတိုင်မီ ပျက်စီးသွားနိုင်သည်။

ဒုတိယနည်းသည် အကောင်းဆုံးနည်းဖြစ်သည်။ Fan များ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို လိုအပ်သလို မောင်းနိုင်ရန် Variable Speed Drive(VSD) တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ သတ်မှတ်ထားသည့် ရေအပူချိန် (condenser water temperature)ရရန်အတွက် VSD က tower fan မြန်နှုန်း(speed)ကို လိုအပ်သလို အတိုး၊ အလျှော့ (modulate) ပြုလုပ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

အလွယ်ကူဆုံးနည်းလမ်း(control strategy)သည် condenser supply temperature ကို ဒီဇိုင်းတန်ဖိုး(design value)တွင် ထိန်းထားခြင်းဖြစ်သည်။ Condenser water temperature 29.4°C (85 °F) ကို set point အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး condenser water temperature သည် set point ထက် ပိုမြင့်ပါက VSD မှ fan မြန်နှုန်း(speed)ကို မြှင့်ပေးခြင်းဖြင့် (လေစီးနှုန်း(air flow) ပိုများအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Set point ထက် ပိုနိမ့်နေပါက VSD မှ fan မြန်နှုန်း(speed)ကို လျှော့ချပေးခြင်းဖြင့် လေစီးနှုန်း(air flow)ကို လျှော့နည်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Fan ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption)သည် fan မြန်နှုန်း(speed)၏ သုံးထပ်ကိန်း (cube)နှင့် ညီမျှသည်။ Fan ၏ မြန်နှုန်း(speed) ကို ၂၀% လျှော့ချလိုက်လျှင်[မြန်နှုန်း(speed)ကို ၁၀၀% မှ ၈၀% သို့ လျှော့ချလိုက်လျှင်] fan ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption)သည် ၅၀% ခန့် လျှော့ကျသွားသည်။(0.8^3 =0.51)။ Part load condition တွင် control လုပ်နည်း(strategy) နှင့် VSD ကို သုံး၍ fan မှ စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving) ဖြစ်စေနိုင်သည်။

ဥပမာ 500RT အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) ရှိသော cooling tower တစ်လုံးသည် အဝင်ရေအပူချိန် 35°C မှ 30°C သို့ရောက်အောင် အေးစေနိုင်သည်။ မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed)ဖြင့် မောင်းသော fan ၏ မော်တာ၏ စွမ်းအားသည် 15kW ဖြစ်သည်။ လက်ရှိမောင်းနေချိန်တွင် cooling tower အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့်ရေပူ(warm water entering to cooling tower) သည် 32°C ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် cooling tower ၏ load သည် rated capacity ၏ 40% သာ ဖြစ်သည်။

(Rated condition = 35°C – 30°C =5°C) Actual condition = 32°C – 30°C = 2°C

ထို့ကြောင့် 2°C ကို 5°C ဖြင့်စားလျှင်(2/5 =40%) rated capacity ၏ ၄၀%ဖြစ်သည်။)

VSD တပ်ဆင်ပြီး fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို လျှော့ချကာ စွမ်းအင်ချွေတာခြင်း(energy saving) ပြုလုပ်နိုင်သည်။ အထွက်ရေအပူချိန်(condenser leaving water temperature)ကို 30°C အဖြစ် set point ထားကာ fan ကို မောင်းနိုင်သည်။

Theoretical fan power consumption $=(0.4)^3 \times 15 = 1$kW

Saving in Power consumption =(15-1)= 14 kW

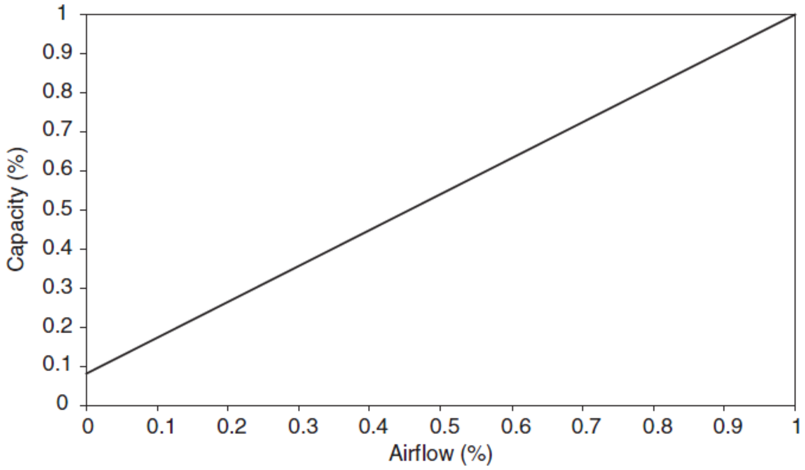
အချို့သော အဆောက်အဦများတွင် နေ့အချိန်တွင် မောင်းမည့် အမြင့်ဆုံး(peak) cooling load ကို အခြေခံ၍ cooling tower များကို ရွေးချယ်တပ်ဆင် ထားကြသည်။ ညနေဘက် နှင့် ညဘက် off-peak cooling load သည် အလွန်နည်းသောကြောင့် အချို့သော cooling tower များကိုသာ မောင်းရန် လိုအပ်သည်။ ထိုအချိန်တွင် cooling tower fan များအားလုံးကို ပိတ်ထားသော်လည်း လိုအပ်သည့် အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)ကို ရရှိနိုင်သည်။ Condenser water ကိုသာ လည်ပတ်(circulate)စေပြီး fan များကို ပိတ်ထားခြင်းဖြင့် ဒီဇိုင်း အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(design heat rejection capacity) ၏ ၅% ရရှိနိုင်သည်။

Cooling tower တစ်လုံးရှိ fan များကို ပိတ်၍(ရပ်ထားပြီး) condenser water ကိုသာ လည်ပတ် (circulate)စေလျှင် ထို cooling tower ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(design heat rejection capacity)၏ 5% ရရှိနိုင်သည်။

ဥပမာ 500RT အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) ရှိသော cooling tower (၅)လုံး တပ်ဆင်ထားသည့် system တွင် cooling tower fan များအားလုံးကို ရပ်နားထား(switch off)ပြီး condenser water ကိုသာ လည်ပတ်စေခြင်းဖြင့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း 125 RT ရရှိနိုင်သည်။

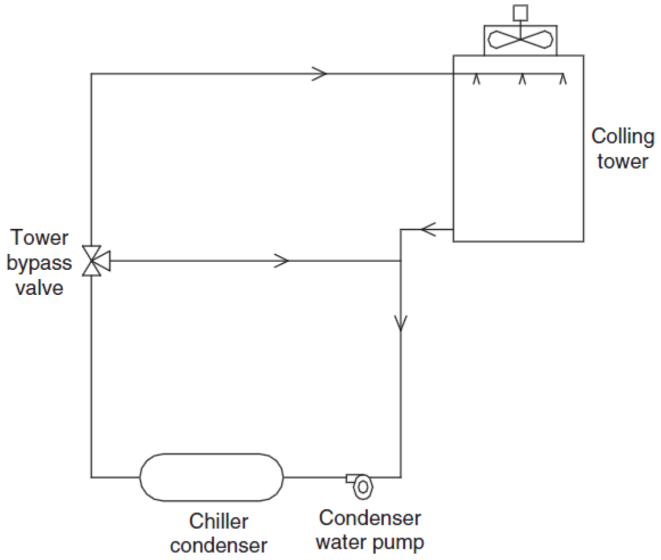
5 nos: of cooling tower x 500 RT x 0.05 = 125 RT

အနှစ်ချုပ်အားဖြင့် cooling tower အတွက် စွမ်းအင်(energy)များစွာ မလိုအပ်သော်လည်း cooling tower ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)သည် chiller ၏ operating efficiency အပေါ်တွင် သက်ရောက်မှုများစွာရှိသည်။



ပုံ ၄-၃၈ လေစီးနှုန်း(air flow) နှင့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)တို့ ဆက်စပ်မှု

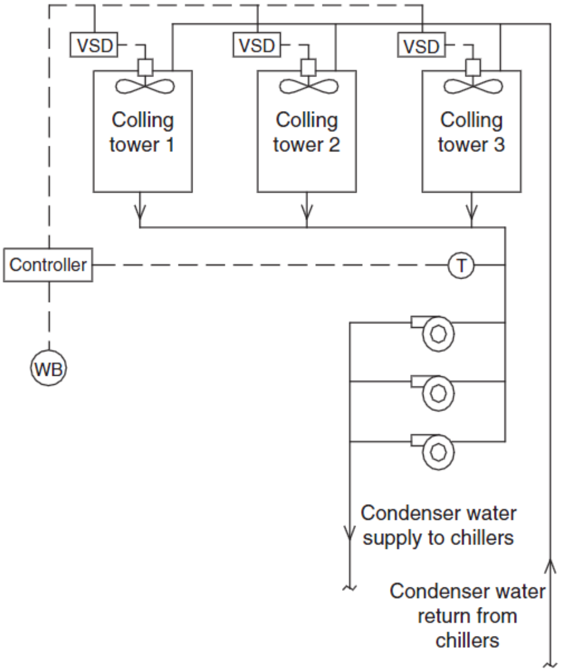
Cooling tower ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)သည် အနီးရှိလေ၏ Wet Bulb အပူချိန် ပေါ်တွင်မူတည်သည်။ ညဘက်နှင့် အေးသည့် ဆောင်းရာသီတွင် Wet Bulb အပူချိန် သည် design value ထက် ပိုနိမ့်သည်။ ထိုအခါမျိုးတွင် cooling tower သည် ပိုနိမ့်သည့် ရေအပူချိန်(lower condenser temperature)ကို ပေးနိုင်သည်။ (cooling tower ၏ approach temperature သည် ပြောင်းလဲခြင်းမရှိပေ)။ Chiller efficiency သည် အထွက်ရေ အပူချိန်(supply condenser water temperature)တွင် မူတည်သောကြောင့် ညဘက် နှင့် အေးသည့်ရာသီများတွင် အပူချိန်နိမ့်သည့် condenser water ရသောကြောင့်chiller efficiency ပိုကောင်းလာသည်။



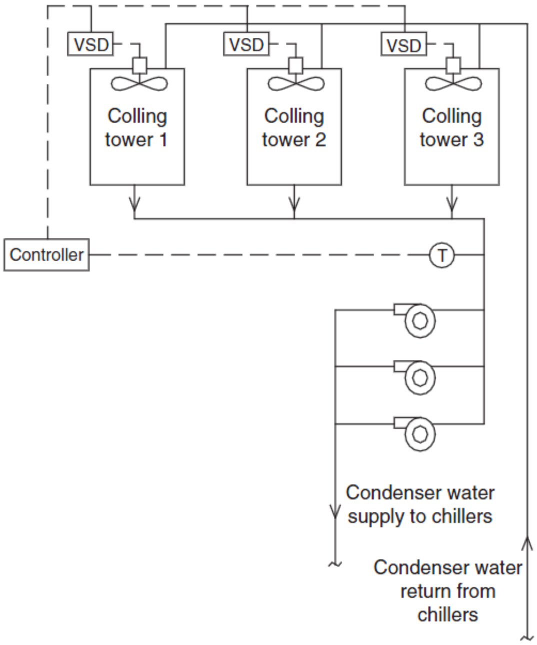
ပုံ ၄-၃၉ Condenser water circuit with bypass valve

Approach temperature သည် အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature) မှ လေထု Wet Bulb အပူချိန်ကိုနှုတ်၍ ရသည့်တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။ VSD control strategy ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည့်နည်း တစ်ခုသည် set point ကို ပုံသေ(fixed)မထားဘဲ ပြောင်းလဲပေးခြင်းဖြစ်သည်။ 29.4°C

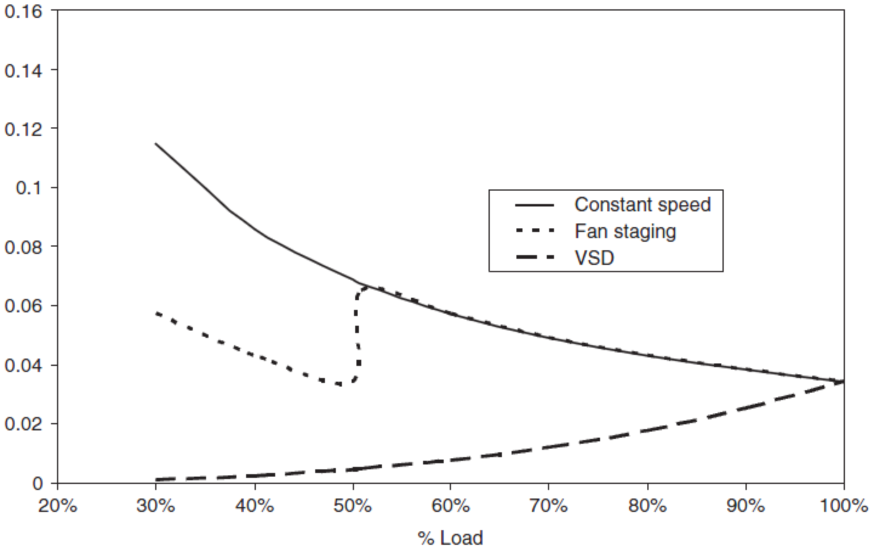
(85°F)ကို ပုံသေ set point အဖြစ် မသတ်မှတ်ဘဲ လေထု Wet Bulb အပူချိန် နှင့် approach temperature(5°F) တို့ နှစ်ခုပေါင်း တန်ဖိုးကို အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature) set point အဖြစ် သတ်မှတ်ခြင်းဖြင့် cooling tower နှင့် chiller ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption)ကို ပိုနည်းအောင် လုပ်နိုင်သည်။



ပုံ ၄-၄၀(က) Cooling tower fan control to optimize condenser water temperature.



ပုံ ၄-၄၀(ခ) Cooling towers with variable speed fans.



ပုံ ၄-၄၁ Cooling tower efficiency for different operating strategies.

ပုံ(၄-၄၁)သည် cooling tower ကို မောင်းနိုင်သည့် operating strategy သုံးမျိုးကို ဖော်ပြထားသည်။ X ဝင်ရိုး သည် cooling tower ၏ % of loading ဖြစ်သည်။ Y ဝင်ရိုးသည် cooling tower ၏ efficiency (kW/RT) ဖြစ်သည်။ kW/RT သည် fan power (kW)ကို အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) ပမာဏ(RT)ဖြင့်

စားထားခြင်းဖြစ်သည်။ အထက်ပါ ဥပမာတွင် fan မော်တာ၏ စွမ်းအား(power)သည် 15kW ဖြစ်ပြီး အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) ပမာဏသည် 500 RT ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ထို cooling tower ၏ efficiency သည် 15/500 = 0.03 kW/RT ဖြစ်သည်။

Cooling tower ၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)သည် လေစီးနှုန်း(air flow) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အားလုံး တူညီသည့် identical cooling tower နှစ်လုံးမှ ပထမအလုံးသည် မြန်နှုန်းအပြည့်(full speed) ဖြင့် မောင်းလျှင် rated capacity ကို ပေးနိုင်သည်။ ဒုတိယအလုံးသည် မြန်နှုန်းတစ်ဝက်(half speed)ဖြင့် မောင်းလျှင် rated capacity ၏ တစ်ဝက်ကိုသာ ပေးနိုင်သည်။

Fan ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption)သည် မြန်နှုန်း(speed)၏ သုံးထပ်ကိန်း(cube)နှင့် ညီမျှသောကြောင့် ဒုတိယ cooling tower၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုသည် (0.5^3 = 0.125) 12.5% of rated power သာဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် cooling tower တစ်လုံးတည်းကို မြန်နှုန်းအပြည့်(full speed) ဖြင့်မောင်းခြင်းထက် ပုံစံတူ(identical) cooling tower နှစ်လုံးကို မြန်နှုန်းတစ်ဝက်(half speed)နှင့် မောင်းခြင်းဖြင့် စွမ်းအင်(energy) 50% (12.5% x 2 cooling tower = 50%) ချွေတာ(save) နိုင်သည်။ တူညီသော အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)ကိုလည်း ရရှိသည်။ ရရှိသည့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) တူညီသော်လည်း ထည့်ပေးရသည့် စွမ်းအင်(energy) ပမာဏသည့် ၅၀% ခန့် လျော့နည်းသည်။

ထို့ကြောင့် cooling tower အရေအတွက်များများကို ပြိုင်တူမောင်းခြင်းဖြင့် လိုအပ်သည့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(capacity)ကို ရရှိသည့်အပြင် fan ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကိုလည်း များစွာ လျှော့ချနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် fan စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုနှုန်း(power consumption)ကိုလည်း များစွာ လျှော့ချနိုင်သည်။ Cooling tower အရေအတွက် များများ မောင်းခြင်းကြောင့် ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss) လည်းနည်းကာ ပန့်အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအား(pumping power)ကိုလည်း လျှော့ချနိုင်သည်။ Cooling tower တိုင်းတွင် ရေစီးနှုန်းနည်း(lower water flow)သောကြောင့် ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure losses across the cooling tower) နည်းခြင်းဖြစ်သည်။

အဆောက်အဦတိုင်းလိုလိုတွင် တစ်လုံး သို့မဟုတ် တစ်လုံးထက် ပိုသော cooling tower များကို အရန်(standby unit)အဖြစ် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိကြသည်။ ထို အရန်(standby unit)များကို duty unit များ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းနေစဉ် အသုံးပြုရန်အတွက် သော်လည်းကောင်း၊ မောင်းနေသည် cooling tower များ စက်ချို့ယွင်း(break down)သည့်အခါတွင် အသုံးပြုရန်အတွက် သော်လည်းကောင်း တပ်ဆင်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ Duty cooling tower များ သာမက အရန်(standby unit)များကို မောင်းခြင်းဖြင့် တူညီသော အပူ ဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) ပမာဏကို ရရှိနိုင်ပြီး fan မြန်နှုန်း(speed) ကို လျှော့ချနိုင်သည်။ Fan မော်တာ မြန်နှုန်း(speed) ကို လျှော့ချပေးနိုင်လျှင် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) လျော့နည်း လာလိမ့်မည်။

၄.၁၈ Condenser Water Temperature Reset

Condenser water supply temperature ကို 0.6°C(1°F)ကျဆင်းအောင်လုပ်ခြင်းဖြင့် chiller efficiency 1% မှ 2% ပိုကောင်းလာ နိုင်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် condenser water supply temperature နိမ့်သောကြောင့် chiller ၏ condensing pressure လည်း နိမ့်လာသည်။ Condensing pressure နိမ့်သောကြောင့် differential pressure across the compressor သည်လည်း နည်းလာသည်။ ထို့ကြောင့် chiller ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(power consumption)လည်း နည်းလာသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် efficiency ပိုကောင်းလာသည်။

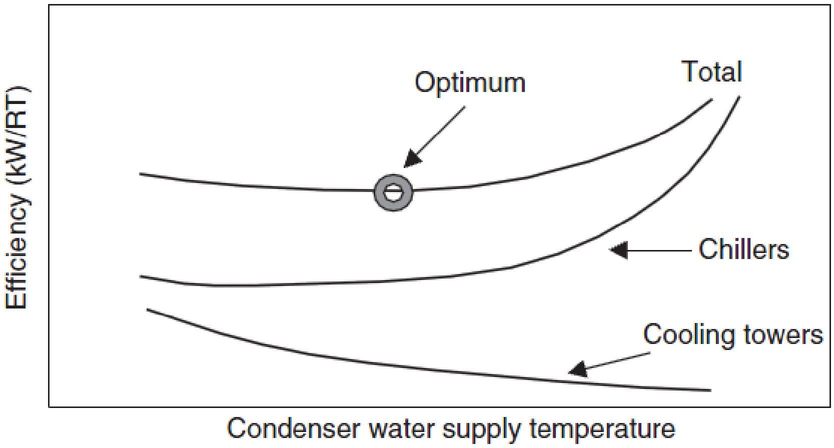
$$Set\ Point\ Temperature\ =\ Ambient\ wet\ bulb\ Temperature\ +\ Approch\ Temperature$$

Approach temperature တန်ဖိုး 2.8°C(5°F)ကို အခြေခံ၍ Cooling tower များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ကြသည်။ သာမန်အားဖြင့် အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature)သည် လေထု

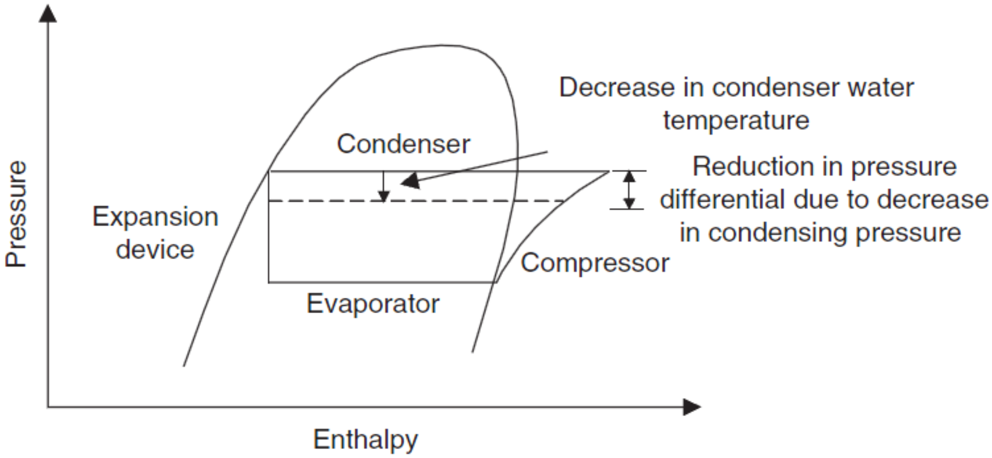
(ambient air)၏ Wet Bulb အပူချိန်ထက် 2.8°C(5°F) ပိုမြင့်လေ့ ရှိသည်။ Part load condition တွင် approach temperature သည် 2.8°C(5°F)ထက် နည်းသည်။

Condenser water supply temperature ကို ထိန်းထား(control)သည့် cooling tower များတွင် အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature)သည် ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(condition) မှ များစွာ နိမ့်သည့်အပူချိန်(temperature)အထိ ကျဆင်းသွားသည်။ ထိုသို့ off design condition အထိ ကျဆင်းမှု ကြောင့် chiller ၏ efficiency သည် ပိုမို ကောင်းမွန်လာသော်လည်း cooling tower ၏ efficiency သည် အလွန်ဆိုးဝါး နေလိမ့်မည်။

အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature) မြင့်လျှင် chiller ၏ efficiency ညံ့ပြီး cooling tower ၏ efficiency အလွန်ကောင်း နိုင်သည်။ အထွက်ရေ အပူချိန်(condenser water supply temperature) နိမ့်လျှင် chiller ၏ efficiency ကောင်းလာနိုင်သော်လည်း cooling tower ၏ efficiency ညံ့ဖျင်း လိမ့်မည်။ Optimum point သည် chiller efficiency နှင့် cooling tower efficiency နှစ်ခုပေါင်း၏ အကောင်းဆုံး efficiency ကို ပေးနိုင်သော နေရာ(point) ဖြစ်သည်။



ပုံ ၄-၄၂ Condenser water supply temperature ကို မူတည်၍ chiller နှင့် cooling tower တို့၏ efficiency ပြောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၄-၄၃ Condenser water temperature နိမ့်အောင် ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် chiller efficiency ကောင်းလာပုံ

ထို့ကြောင့် overall optimum operating point သည် condenser water ၏ အနိမ့်ဆုံး အပူချိန် (temperature) မဟုတ်ပေ။ တစ်နည်းအားဖြင့် အထွက်ရေအပူချိန်(condenser water supply temperature) နိမ့်လာလေ chiller efficiency ကောင်းလာလေ ဖြစ်သော်လည်း system efficiency (chiller ၊ pump နှင့် cooling tower နစ်ခုပေါင်း) ပိုကောင်းလာလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

Optimum operating point သည် chiller plant room တစ်ခု နှင့်တစ်ခု မတူညီနိုင်။ System design၊ equipment တစ်ခုချင်းစီ၏ efficiency နှင့် configuration တို့ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ထို optimum point ကို အလွယ်တကူ ရရှိရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

၄.၁၉ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခြင်း(Maintenance)

Cooling tower တစ်ခု၏ အခြေအနေ(condition)သည် water spray system ၊ fill packing နှင့် fan တို့၏ အခြေအနေ ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ပုံမှန် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

Spray system အလုပ်ကောင်းကောင်း မလုပ်သည့်အခါ ရေများသည် fill packing ပေါ်သို့ အညီအမျှ မကျရောက်ဘဲ ဘားများ(discharge bar)ပေါ်သို့ ရေများ တိုက်ရိုက်ရောက်ရှိသွားသည်။ Infill သို့မဟုတ် fill packing များ ပျက်စီးနေပါက ကောင်းစွာ အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer) ဖြစ်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

Cooling tower fan များသည် ပန်ကာကြိုးဖြင့်မောင်းသည့်(belt driven) fan များ ဖြစ်ကြသည်။ ပန်ကာကြိုးတင်းအား(belt tension)မမှန်ခြင်း၊ alignment မမှန်ခြင်း၊ slip ဖြစ်မှုများခြင်း တို့ကြောင့် လိုအပ်သည့် လေစီးနှုန်း(air flow)ကို မရရှိနိုင်ပေ။ Spray များကောင်းစွာ အလုပ်မလုပ်ခြင်း ၊ fill များ ပျက်စီးနေခြင်း နှင့် fan မြန်နှုန်း(speed) နှေးခြင်း တို့ကြောင့် cooling tower ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကျဆင်းခြင်း ဖြစ်သည်။

Condenser water system သည် open system ဖြစ်သောကြောင့် condenser water များ ရေငွေ့ပျံခြင်း (evaporation)ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် ပြန်ဖြည့်ရန်ရေ(makeup water)လိုအပ်သည်။ Chiller efficiency သည် condenser water အရည်အသွေးပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Chemical သို့မဟုတ် Non chemical water treatment ကို သုံးခြင်းဖြင့် condenser water ၏ အရည်အသွေး(quality)ကို လက်ခံနိုင်သည့် အဆင့်တွင် ထိန်းထားနိုင်သည်။ သံချေး၊ ကြေးချေး တက်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်၊ ရေညှိဖြစ်ခြင်းမှ တားဆီးရန်(prevent scaling) နှင့် chiller ၏ condenser tube များ ချေးတက်ခြင်း(fouling)မှ ကာကွယ်ရန် အတွက် water treatment system လိုအပ်သည်။

၄.၂၀ Make Up Water

Cooling tower မှ ရေဆုံးရှုံးမှု(water loss)ဖြစ်ပေါ်ရသည့်အကြောင်းများမှာ

(၁) Evaporation loss

(၂) Drift loss နှင့်

(၃) Blown down loss သို့မဟုတ် bleed off loss တို့ကြောင့် ဖြစ်သည်။

ထိုအချက် သုံးချက်လုံးကို သေချာစွာတွက်ချက်နိုင်မှသာ make up water system ကိုသေချာစွာ ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်နိုင်မည်ဖြစ်သည်။

(က) **Evaporation loss:** ရေ၏ heat of vaporization သည် 1045 Btu/lb at 85°F(29.4°C) ဖြစ်သည်။ Condenser water သည် စုပ်ယူထားသော အပူများသည် cooling tower သို့ရောက်သည့်အခါ စွန့်ထုတ်ပစ်ပြီး ရေများကို ရေငွေ့(vapor)အဖြစ်သို့ ပြောင်းစေသည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် Condenser water temperature သည် 35°C မှ 29.4°C အတွင်းဖြစ်သည်။ 85°F(29.4°C) အပူချိန်တွင် ရေတစ်ပေါင်သည် 1045 Btu အပူပမာဏကို သယ်ဆောင်ပြီး ရေငွေ့(water vapor)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားကာ လေထဲသို့ ရေငွေ့ပျံသွားသည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် condenser ရေစီးနှုန်း(water flow rate) 1 GPM (Gallon per Minute)အတွက် 1°F range ကျဆင်းရန် အောက်ပါအတိုင်း တွက်ချက်နိုင်သည်။

Flow: 1GPM (equivalent to 500 lb/hr)

Range: 1°F

$$Q = \frac{1gal}{min}\ x\ 8.34\ \frac{lb}{gal}\ x\ \frac{60min}{hr}\ x\frac{1btu}{lb\ °F}\ x\ 1°F\ =\ 500\frac{Btu}{hr}$$

Heat of vaporization = Q1 = 1045 Btu/lb

Evaporation rate = B = 500 Btu/hr ÷ 1045 Btu/lb = 0.478 lb/hr

Evaporation rate 0.478 lb/hr သည် 0.1% of condenser water flow rate per °F range ဖြစ်သည်။ Range 10°F ကို အခြေခံလျှင် ရေစီးနှုန်း(condenser water flow rate)၏ 1% ပမာဏခန့် ရေဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။ HVAC application များတွင် ယေဘုယျအားဖြင့် အသုံးပြုလေ့ ရှိသည်။

(ခ) **Drift loss:** Drift loss ပမာဏကို cooling tower ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)များမှ ပေးလေ့ရှိသည်။ HVAC cooling tower များ၏ drift loss သည် 0.1% မှ 0.2% အတွင်း ဖြစ်သည်။

(ဂ) **Blown down loss:** water treatment program များ၌ ရှိသင့်ရှိထိုက်သော cycle of concentration ကို သတ်မှတ်လေ့ ရှိသည်။

Cycle of concentration ဆိုသည်မှာ condenser water အတွင်း၌ ပျော်ဝင်နေသည့် အရာဝတ္ထုများ (dissolved solid) များ၏ ပမာဏကို ပြန်ဖြည့်ရန်ရေ(make up water)၏ ပမာဏနှင့် စားထားခြင်း ဖြစ်သည်။

$$Cycle\ of\ concentration\ = \frac{the\ amount\ of\ dissolved\ solids\ in\ the\ condenser\ water}{The\ amount\ of\ make\ up\ water}$$

Blown down လုပ်ရန် လိုအပ်သော ပမာဏမှာ

$$Blown\ Down = \frac{Evaporation\ Rate}{Cycle - 1}$$

BD = Blown down flow   Cycles = cycle of concentration

Cycle of concentration သည် အများအားဖြင့် (၅) မှ (၁၀) အတွင်း ဖြစ်သည်။

ဥပမာ - Cooling tower တစ်လုံး၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)သည် 870kW ဖြစ်သည်။ Water treatment အတွက် 1200 ppm hardness အထိ လက်ခံနိုင်သည်။ အခုလက်ရှိ condenser water ၏ အခြေအနေ သည် 560 ppm ဖြစ်သည်။ ရေမည်မျှကို ဖောက်ထုတ် ရမည်နည်း။ Make up water ပမာဏ မည်မျှ လိုအပ်မည်နည်း။

Cooling tower heat rejection capacity = 870 kW

Latent heat of water vapor = 2420 kJ/kg

Rate of evaporation = 870/2420 = 0.36 kg/s

Rate of make up = 0.36[$\frac{0.0012}{0.0012-0.0056}$] = 0.68 kg/s

Rate of bleed off = 0.68 - 0.36 = 0.32 kg/s

Mass of solid entering = mass of solid leaving

$$Cm\ x\ Wm\ =\ Cb\ x\ (Wm\ -\ We)$$

$$Wm\ =\ We\ [\frac{Cb}{Cb-Cm}]$$

လေ၏ specific heat capacity(1.02 kJ/kg °K)သည် ရေ၏ specific heat capacity ထက် နည်းသောကြောင့် တူညီသော အပူပမာဏကို ဖယ်ထုတ်ရန် ထုထည်များများ လိုအပ်သည်။ လေ၏ specific volume များသောကြောင့် air cooled condenser များတွင် လေစီးနှုန်း(air volume flow rate) များများ လိုအပ်သည်။ ရေ၏ specific heat capacity သည် လေထက် ပိုများသောကြောင့် water cooled condenser များအတွက် ရေစီးနှုန်း(water volume flow rate) နည်းနည်းသာ လိုအပ်သည်။

8 kW အပူပမာဏကို ဖယ်ထုတ်ပစ်ရန်အတွက် အပူချိန်ခြားနားချက်(temperature difference) 10°C ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် ပြင်ပလေအပူချိန်(outdoor air tempeature)သည် 15°C မှ 25°C (15+10) အပူချိန်ထိရောက်အောင် မြင့်တက်သွား လိမ့်မည်။

အမြင့်ဆုံးလေ၏ အပူချိန်(maximum outdoor air temperature)ကို အခြေခံ၍ condenser များ၏ design load ကို တွက်ချက် ကြသည်။

ပထမ ဥပမာ မှ 350 kW cooling capacity နှင့် 450 kW အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection)အတွက် water cooled condenser ကိုသာ အသုံးပြုလျှင် 9.8 Liter/sec သာ လိုအပ်သည်။
ဥပမာ - 930 kW အပူပမာဏကို ဖယ်ထုတ်(reject)ရန်အတွက် condenser တစ်ခု၏ အပူချိန်ခြားနားချက် (temperature difference) သည် 5.2°C ဖြစ်လျှင် ရေစီးနှုန်း(water flow rate) မည်မျှ လိုအပ်မည်နည်း။

$$Q = m.Cp.\Delta T$$

ΔT= 5.2 Cp for water = 4.19 kJ/kgK

m = 930 ÷ (5.2 x 4.19)= 43 kg/s

Cooling tower များသည် ထုထည်ကြီးမားသော ရေမှ အပူများကို ရေငွေ့ပျံစေခြင်းဖြင့် အပူကို ဖယ်ထုတ်ခြင်း(evaporative cooling)နည်းဖြင့် စွန့်ထုတ်(reject)သည်။ Evaporative cooling ကြောင့် ရေဆုံးရှုံးမှု(water loss)ဖြစ်ပေါ်သည်။ Cooling tower မှ leaving condenser temperature သည် outdoor air Wet Bulb အပူချိန် ထက် 3°C မှ 8°C မြင့်သည့် အပူချိန် ဖြစ်သည်။

အပူပမာဏ 1kW ကို စွန့်ထုတ်(reject)ရန် အတွက် ရေဆုံးရှုံးမှု(water loss)ပမာဏသည် 0.00041 kg ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ရေ 1kg ဆုံးရှုံးလျှင် 2430 kJ ပမာဏ အပူဖယ်ထုတ်ခြင်း(heat rejection) ဖြစ်ပေါ်သည်။

ဥပမာ Condenser load သည် 400 kW ဖြစ်လျှင် 0.16 kg/s နှုန်းဖြင့် ရေဆုံးရှုံးမည်။

Cooling tower အရွယ်အစား ကြီးလေ၊ အပူကူးပြောင်းနိုင်သည့်(heat transfer) ဧရိယာများလေ၊ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) များလေ ဖြစ်ပြီး ရေဆုံးရှုံးမှုလည်း များလိမ့်မည်။

ထို့ကြောင့် condenser water system အတွင်း၌ ရေပမာဏလျော့နည်းလာသည့်အတွက် ရေထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ရေထပ်ဖြည့်ပေးသည့် ပိုက်ကို make up water pipe ဟုခေါ်ပြီး ထည့်ဖြည့် ပေးရသည့် ရေကို make up water ဟုခေါ်သည်။

မည်သည့်ရေမျိုးဖြစ်ပါစေ ရေတိုင်းတွင် ပျော်ဝင်နေသည့် ဓာတ်သတ္တုများ(dissolved salts)ပါဝင်သည်။ ရေများ ရေငွေ့ပျံ(evaporate)သွားသည့်အခါ ပျော်ဝင်နေသည့် ဓာတ်သတ္တုများ(dissolved salts)ရေထဲ တွင် ဆက်လက် ကျန်ရှိနေဆဲ ဖြစ်သည်။ ထပ်ဖြည့်သည့်ရေ(make up water)နှင့်အတူ dissolved salt များထပ်မံ ရောက်ရှိလာသဖြင့် ရေထဲတွင် dissolved salt များ အချိန်နှင့်အမျှ များပြားလာသည်။ ထိုကဲ့သို့ များပြားလာခြင်းကို ဓာတ်သတ္တုများ ပါဝင်နေမှုပြင်းအား(dissolved salt concentration) မြင့်လာသည်ဟု ပြောလေ့ရှိသည်။

Concentration မြင့်သည့် condenser water များကို ဖောက်ထုတ်ပြီး ရေအသစ်ကို ထပ်ဖြည့်ခြင်းဖြင့် ပုံမှန် ရှိသင့်သော concentration level သို့ရောက်အောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ထိုသို့ဖောက်ထုတ်ခြင်း ကို "**Bleed Off**" လုပ်သည်ဟု ခေါ်သည်။ ဖောက်ထုတ်သည့်ရေကို "**bleed off water**" ဟု ခေါ်သည်။

ပျော်ဝင်နေသည့် ဓာတ်သတ္တုများ ပါဝင်မှုများခြင်း(high concentration)ကို ရေစေးခြင်း(hardness) ဖြစ်သည် ဟုလည်း ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ ရေစေးခြင်း(hardness)ကို တိုင်းသည့် ယူနစ်(unit)သည် ppm ဖြစ်သည်။ PPM သည် Parts Per Million ၏ အတိုကောက် ဖြစ်သည်။

၄.၂၁ ဖြည့်ရေကန် အရွယ်အစား တွက်ခြင်း (Makeup Water Tank Size)

Cooling tower မောင်းနေစဉ် condenser water များသည် အချိန်နှင့်အမျှ တဖြည်းဖြည်း လျော့နည်းလေ့ရှိသည်။ အောက်ပါအဓိက အကြောင်းသုံးခုကြောင့် condenser water လျော့နည်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။

(၁) Condenser water များ ရေငွေ့ပျံသွားခြင်း (evaporation loss)

(၂) ပန်ကာ မှုတ်အား သို့မဟုတ် စုပ်အားကြောင့် ရေစက်များ cooling tower အပြင်ဘက်သို့ လွင့်စဉ် ထွက်သွားခြင်း(drift loss)နှင့်

(၃) ရေများကို ဖောက်ချခြင်း၊ "Blow Down"လုပ်ခြင်း သို့မဟုတ် "Drain" လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ (blow down loss)

(၁) ရေငွေ့ပျံခြင်းကြောင့်ဖြစ်သော ရေဆုံးရှုံးမှု (Evaporation Loss)တွက်နည်း

အောက်ပါ ပုံသေနည်းကို အသုံးပြု၍တွက်သည်။

$$We = \frac{Q}{600} = \frac{(T_1 - T_2)\ x\ W_c}{600}$$

We = Evaporation loss (Kg/ hour)

Q = Heat load (k Cal/ hour)

600 = Water evaporation heat(k Cal/ hour)

T_1 = Inlet water temperature(°C)

T_2 = Outlet water temperature(°C)

W_c = Circulating water flow(Kg/ hour)

လိုအပ်သည့်အချက်အလက်များ

T_1 = 35.0°C (Entering condenser water temperature)

T_2 = 29.5°C (Leaving condenser water temperature)

L = 45.86 Liter/Sec (condenser water flow rate)= 165,096 Liter/hour

= 165,096 Kg/hr. (Specific Gravity of water = 1.0)

တွက်နည်း

$$Evaporation\ Loss\ (We) = \frac{(35 - 29.5)\ x\ 165,096\ \text{Kg/hr}}{600}$$

We =1,513 Kg/ hour

(၂)Carry Over သို့မဟုတ် Drift Loss ကြောင့်ဖြစ်သော ရေဆုံးရှုံးမှု(Water Loss) တွက်နည်း

Carry-over ဖြစ်ခြင်းကြောင့် ရေများ ဆုံးရှုံးရခြင်းသည် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ထားသည့် cooling tower အပူ ဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)နှင့် လေအလျင်(velocity) အစရှိသည်တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် carry over loss သို့မဟုတ် drift loss သည် ၀.၂% မှ ၀.၃% အတွင်း ဖြစ်နိုင်သည်။

၀.၂% ဖြစ်သည့်ဟု ယူဆလျှင်

Wco = 0.20% x 165,096

Wco = 330 kg/hr

(၃) Blow Down လုပ်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်သော ရေဆုံးရှုံးမှု(Water Loss) တွက်နည်း

ပုံမှန် blow-down ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် ရေများ လျော့နည်းသွားသည်။ Blow down loss သည် လည်ပတ်နေသော ရေပမာဏ၏ ၃% ဖြစ်သည်။

$$\boldsymbol{Wb = 0.3\%\, x\, Wc = 0.003\, x\, 165{,}096 \;\; Wb = 495\, kg/hour}$$

(၄) ပြန်ဖြည့်ရမည့် ရေပမာဏကို တွက်ချက်ခြင်း (Make-up Water Requirement)

စုစုပေါင်း make-up water circulating flow rate သည်

$$\boldsymbol{Makeup\, Water(Mw) = We + Wco + Wb}$$

= 1,513 + 330 + 495

= 2,041 kg/hr per cooling tower

အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) 242RT ရှိသော cooling tower တစ်လုံးသည် တစ်နာရီမောင်းတိုင်း ရေ(၂၀၄၁)ကီလိုဂရမ်(2,041 kg) ဆုံးရှုံးလိမ့်မည်။ ရေ၏ သိပ်သည်းဆသည် 1000kg/m^3 ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် အထက်ပါ cooling tower တစ်လုံးကို ဝန်အပြည့်(full load)ဖြင့် မောင်းလျှင် တစ်နာရီလျှင် ရေထုထည် နှစ်ကုဗမီတာ(2 m^3) ဆုံးရှုံးသည်။

Cooling towers သုံးလုံး ရှိသည့်အနက် cooling towers နှစ်လုံးသည် တစ်ပြိုင်နက်မောင်းနေပြီး ကျန်တစ်လုံးသည် အရန်အနေအထား(standby) ဖြစ်နေပေလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် ပြန်ဖြည့်ရမည့် ရေပမာဏကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

လိုအပ်သော make-up water ပမာဏမှာ

M_w = 2,041 kg/hour x 2

= 4,082 kg/hour (တစ်နာရီလျှင် ရေ 4,082 kg လိုအပ်သည်။)

(၅) ဖြည့်ရေကန် ပမာဏ တွက်ချက်ခြင်း (Make-up Water Storage tank)

ရေလှောင်ကန်(water storage tank)အရွယ်အစားကို ရနိုင်သည့်နေရာ(space available)ကို လိုက်၍ သင့်လျော်သည့် အရွယ်အစား ရွေးချယ်နိုင်သည်။ သို့သော် (၇၂)ကုဗမီတာထက် မနည်းရန် လိုသည်။

Total water requirement = 4,082 kg/hr x 18 hours

=73,476 kg ((၁၈) နာရီမောင်းလျှင် ရေအလေးချိန် (၇၃ ၄၇၆)ကီလိုဂရမ် လိုအပ်သည်။)

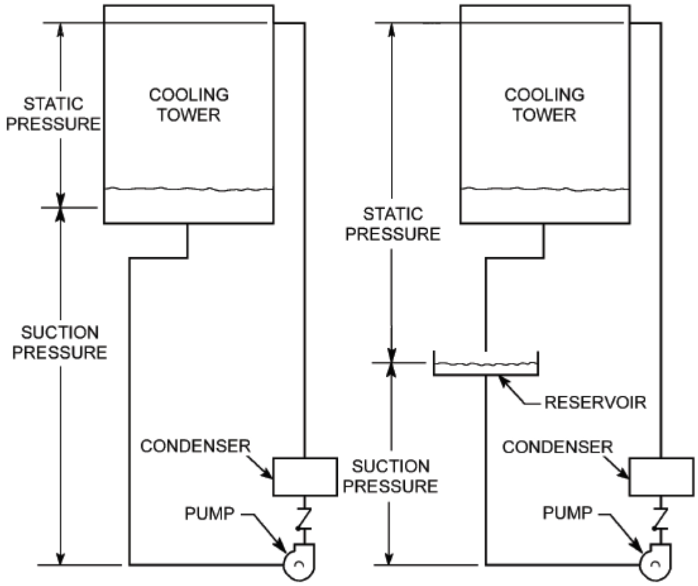
ရေလှောင်ကန်(water storage tank)အရွယ်အစား မှာ

3m(W) x 8m(L) x 3m(H) = 72 m^3 ဖြစ်သည်။

Make-up Water ကို သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားရမည့် ရေလှောင်ကန်(storage tank)၏ အရွယ်အစားသည် cooling tower နှစ်လုံးမောင်းသည့်အခါ ကုန်ဆုံးသွားမည့် ရေပမာဏကို (၁၈)နာရီကြာအောင် ပေးနိုင်စွမ်း ရှိရမည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် စည်ပင်မှရေ သို့မဟုတ် ပြင်ပမှရေ လုံးဝမရရှိဘဲ ရေလှောင်ကန်(storage tank)မှ ရေဖြင့် cooling tower နှစ်လုံးသည် (၁၈)နာရီကြာအောင် ပုံမှန်မောင်းနှင် လည်ပတ်နေနိုင်ရမည်။

၄.၂၂ Cooling Tower Piping



ပုံ ၄-၄၄ Schematic piping layout showing static and suction pressure

၄.၂၃ လေ့ကျင့်ရန် မေးခွန်း နှင့် အဖြေများ

Question -1 Cooling tower တစ်လုံးကို condenser water 50 Liter/Sec နှုန်းဖြင့် အပူချိန် 35°C မှ 30°C သို့ ရောက်အောင် ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ထားသည်။ လေထု၏ Wet Bulb အပူချိန် သည် 28.5°C ဖြစ်သည်။

သို့သော် cooling tower အမှန်တကယ် မောင်းနေ(operating)သည့်အချိန်တွင် အဝင်ရေအပူချိန် (temperature of leaving water)သည် 32°C ဖြစ်သည်။ ဤကဲ့သို့ actual leaving water temperature သည် ဒီဇိုင်းအပူချိန်(design temperature)ထက် မြင့်ရသည့် အကြောင်းကို ရှာပါ။ ဖြစ်နိုင်ခြေ အကြောင်း (possible reason)များကို ရှာပါ။ မည်ကဲ့သို့ ပြုပြင်ရမည်ကို ဖော်ပြပါ။

Actual operating condition များမှာ

Water flow rate = 48 Liter/Sec

Entering water temperature = 34°C

Wet-Bulb temperature of air entering the CT = 28°C

Question-2 Cooling tower တစ်လုံးသည် ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသည့် ရေစီးနှုန်း(water flow rate)၊ entering condenser water temperature နှင့် ambient Wet Bulb တို့တွင် မောင်းနေသော်လည်း သတ်မှတ်ထားသော အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(rated heat rejection capacity)ကို မရရှိပေ။ Cooling tower အတွင်းသို့ ဝင်လာသည့် entering air ၏ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb တို့၏ အပူချိန်သည် ambient ၏ Dry Bulb နှင့် Wet Bulb ထက်ပို၍ မြင့်မားနေသည်ကို တွေ့ရသည်။ အဘယ်ကြောင့် cooling tower သည် သတ်မှတ်ထားသော အပူဖယ်ထုတ် နိုင်စွမ်း(rated capacity)ကို မပေးနိုင်ပါသနည်း။

Question-3 Cooling tower သည် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) 250 RT ရှိပြီး 15kW Fan မော်တာကို မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed)ဖြင့် မောင်းသည်။ Cooling tower ၏ actual operating conditioning သည် rated capacity ၏ 60% ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ VSD တပ်ဆင်၍ ထို cooling tower ကို သတ်မှတ်ထားသော အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(rated capacity)၏ ၆၀% ဖြင့် မောင်းလျှင် စွမ်းအင်(energy) မည်မျှ ချွေတာ(save) နိုင်မည်နည်း။

Question-4 Cooling tower အကြီးနှစ်လုံးသည် တစ်လုံးမောင်းနေသည့် အချိန်တွင် တခြားတစ်လုံးမှ အရန်(stand by unit)အဖြစ် မမောင်းဘဲ ရှိနေသည်။ ထို cooling tower အသေးနှစ်လုံးတွင် 15 kW Fan မော်တာ တပ်ဆင်ထားသည်။ ထို cooling tower နှစ်လုံးလုံးတွင် VSD တပ်ဆင်ပြီး နှစ်လုံးလုံးကို တစ်ပြိုင်နက် 50% load ဖြင့်မောင်းလျှင် fan power မည်မျှ ချွေတာ(save)နိုင် မည်နည်း။ Cooling tower နှစ်လုံး ၅၀% ဖြင့် မောင်းခြင်းသည် cooling tower တစ်လုံးတည်း ၁၀၀% မောင်းသည့် တူညီသည့် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity) ကိုရသည်။

Question-5 Cooling tower သုံးလုံး၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)သည် 500 RT ဖြစ်ပြီး တခြားတစ်လုံးသည် 250 RT ဖြစ်သည်။ ထို cooling tower အားလုံးသည် fan ကို switch off လုပ်လိုက်သည့်အခါ သတ်မှတ်ထားသော အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(rated capacity)၏ ၅%ကို ပေးနိုင်သည်။ ထို cooling tower လေးလုံး၏ fan များကို ပိတ်ပြီး မောင်းလျှင် အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း စုစုပေါင်း(total heat rejection capacity) မည်မျှ ရရှိနိုင် မည်နည်း။

(500RT x 3 no of cooling tower x 0.05) + (250RT x 1 no of CT x 0.05) = 87.5 RT

Multiple Choice Question (MCQ)

1. The type of Cooling Towers with maximum heat transfer between air to water is ___.

   (a) Natural draft (b) Mechanical draft (c) Both a & b (d) Neither a nor b

2. Natural draft Cooling Towers are mainly used in ____.

   (a) Steel industry (b) Alumina industry (c) Fertilizer industry (d) Power

3. In counter flow induced draft cooling towers water and air both enter the top and exist at the top of the Cooling Tower.

   State whether True or False?

4. The range of the cooling tower is determined by the connected heat load –

   True or False?

5. Match the following cooling tower parameters

(a) Range	(i) Close to Wet Bulb temperature
(b) Approach	(ii) Related to ambient conditions
(c) Out let water temperature	(iii) Higher temperature difference

6. Better indicator for cooling tower performance is ____.

   (a) Wet Bulb temperature (b) Dry Bulb temperature (c) Range (d) Approach

7. Cooling tower effectiveness is the ratio of____.

   (a)Range/(range + approach) (b)Approach/(range + approach)
   (c)Range/ approach (d)Approach/Range

8. Cooling tower reduces circulation water temperature close to____.

   (a) Dry Bulb temperature (b) Ambient Wet Bulb Temperature (WBT)

(c) Dew point temperature (d) None of the above

9. The ratio of dissolved solids in circulating water to the dissolved solids in make up water is termed as ____.

(a) Liquid gas ratio (b) Cycles of concentration

(c) Cooling tower effectiveness (d) None of the above

10. Which one of the following has maximum effect on cooling tower performance:

(a) Fill media (b) Drift (c) Louvers (d) Casing

11. Which one of the following is true to estimate the range of Cooling Tower?

(a) Range = Cooling water inlet temperature – Wet Bulb temperature

(b) Range = Cooling water outlet temperature – Wet Bulb temperature

(c) $\text{Range} = \frac{\text{Water Load in kcal per hr}}{\text{Water Circulation liter per hr}}$

(d) None of the above

12. A cooling tower is said to be performing well when:

(a) approach is closer to zero (b) range is closer to zero

(c) approach is larger than design (d) range is larger than design

13. Heat release rate to the cooling tower in vapor compression refrigeration system is equal to:

(a) 63 kcal/min/ton (b) 500 kcal/min/ton

(c) 127 kcal/min/ton (d) 220 kcal/min/ton

14. The operating temperature level in the plant or process connected with a cooling tower is determined by:

(a) Dry Bulb temperature (b) Wet Bulb temperature

(c) Hot water temperature from the process (d) Cold water temperature into the process

15. Which one of the following fill material is more energy efficient for cooling tower :

(a) Splash fill (b) Film-fill

(c) Low clog film fill (d) None of the above

16. Which one from the following types of Cooling Towers consumes less power?

(a) Cross-flow splash fill Cooling Tower (b) Counter flow splash fill cooling tower

(c) Counter flow film fill Cooling Tower (d) None of the above

17. L / G ratio in cooling tower is the ratio of ___.

(a) Length and girth (b)Length and Temperature gradient

(c) Water flow rate and air mass flow rate (d)Air mass flow rate and water flow rate

18. Normally the guaranteed best approach a cooling tower can achieve is ___.

(a) 5 °C (b) 12 °C

(c) 8 °C (d) 2.8 °C

19. The temperature selection normally chosen for designing of cooling tower is ___.

(a) Average maximum Wet Bulb for summer months

(b) Average maximum Wet Bulb for rainy months

(c) Average maximum Wet Bulb for winter months

(d) Average minimum Wet Bulb for summer months

20. Select the statement which is true for a FRP fan.

(a) It needs low starting torque (b) Increases life of gear box

(c) Easy handling and maintenance (d) All the above

မေးခွန်းတိုများ နှင့် အဖြေများ (Short Questions and Answers)

1. Mechanical draft cooling tower တစ်လုံး၏ လေစီးဆင်းမှု ပုံစံ(air flow arrangements) အမျိုးမျိုးကို ဖော်ပြပါ။

Mechanical draft cooling tower တစ်လုံးတွင် ပြုလုပ်ထားရှိနိုင်သည့် လေစီးဆင်းမှု ပုံစံ(air flow arrangements) အမျိုးမျိုးမှာ

(a) Counter flow induced draft
(b) Counter flow forced draft နှင့်
(c) Cross flow forced draft တို့ ဖြစ်သည်။

2. Cooling tower fan ၏ ဒလက်(blade)အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်သည့် ပစ္စည်း(material) အမျိုးအစားများကို ဖော်ပြပါ။

Cooling tower fan ၏ blade အဖြစ်အသုံးပြုနိုင်သည့် material အမျိုးအစားများမှာ

(1) Aluminum blades(metallic)

(2) Glass Reinforced Plastic(GRP) နှင့်

(3) Fiber Reinforced Plastic(FRP)တို့ ဖြစ်သည်။

3. Evaporative cooling tower တစ်လုံးတွင် ပါရှိရမည့် အခြေခံအစိတ်အပိုင်း(basic component) များကို ဖော်ပြပါ။

Evaporative cooling tower တစ်လုံးတွင် ပါရှိရမည့် အခြေခံအစိတ်အပိုင်း(basic component) များမှာ

Frame and casing ၊ fill ၊ cold water basin ၊ drift eliminators ၊ air inlet ၊ louvers ၊ nozzles နှင့် fans တို့ ဖြစ်သည်။

4. အောက်တွင်ပါရှိသော အချက်အလက်များကို အသုံးပြု၍ cooling tower တစ်လုံး၏ အပူဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(heat rejection capacity)ကို ခန့်မှန်းပါ။ RT ဖြင့် ဖော်ပြပါ။

Estimate the cooling tower capacity(TR)with the following parameters

Water flow rate through CT	=	120 m^3/h
SP. heat of water	=	1 k.Cal/kg °C
Inlet water temperature	=	37 °C
Outlet water temperature	=	32 °C
Ambient WBT	=	29 °C

$$\boldsymbol{Cooling\ tower\ capacity(TR) = (flow\ rate\ x\ density\ x\ sp.heat\ x\ diff.temp)/3024}$$

= 120 x 1000 x 1 x (37-32)/3024 = 198.4TR

5. Cooling tower ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturer)အသုံးပြုလေ့ရှိသည့် design approach value ကို ဖော်ပြပါ။

Generally a 2.8 °C approach to the design Wet Bulb is the coldest water temperature that cooling tower manufactures will guarantee.

6. How a continuously monitored ambient DB and RH data can be utilised for the cooling tower design?

From the monitored DB(°C)and RH%, Wet Bulb temperature(WBT)can be arrived using psychometric chart and same is used for designing Cooling Tower. In the design of CT Wet Bulb temperature selected is not exceeded over 5 percent of the time in that area.

7. How size of cooling tower and Wet Bulb temperature are related?

Wet Bulb temperature is a factor in cooling tower selection. The higher the Wet Bulb temperature, the smaller the cooling tower required to give a specified approach to the Wet Bulbat a constant range and flow rate.

8. FRP ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည် ဒလက်များ(blades) တပ်ဆင်ထားသည့် cooling tower fan တစ်လုံး၏ feature များကို ဖော်ပြပါ။

FRP blades are normally hand mould. These blades are aerodynamic in profile to meet specific duty conditions more efficiently. Due to light weight FRP fans need low starting torque resulting in use of lower HP motors.

9. မည်သည့်အခြေအနေ(circumstances)မျိုးတွင် cooling tower ၏ မော်တာသည် ဝန်ပိုခြင်း(over load) ဖြစ်နိုင်ပါသနည်း။

Reasons for excessive electrical load on CT fan motors are:

(၁) Voltage reduction

(၂) Incorrect angle of axial fan blades

(၃) Loose belts on centrifugal fans

(၄) Over loading owing to excessive air flow-fill has minimum water loading per m3 of tower

(၅) Low ambient air temperature

10. Cooling plant တစ်ခုသည် 100 RT refrigeration ရရန် ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ထားသည်။ ထို 100 RT refrigeration အတွက် compression type chiller ဖြင့် မောင်းလျှင် တပ်ဆင်ရမည့် cooling tower ၏ အရွယ်အစား(size)ကို တွက်ပါ။ ထို 100 RT refrigeration အတွက် absorption type chiller များဖြင့် မောင်းလျှင် တပ်ဆင်ရမည့် cooling tower ၏ အရွယ်အစား(size)ကို တွက်ပါ။
100 RT refrigeration အတွက် absorption type chiller ဖြင့် မောင်းလျှင် တပ်ဆင်ရမည့် cooling tower ၏ အရွယ်အစား(size)သည် compression type chiller ဖြင့်မောင်းလျှင် တပ်ဆင်ရမည့် Cooling Tower(size)ထက် နှစ်ဆခန့် ပိုများလိမ့်မည်။

11. Air conditioning တွင် သုံးသည့် compressor operation ၌ cooling water ၏ အပူချိန် (temperature)သည် မည့်သို့ကဲ့သို့ အကျိုး သက်ရောက်မှု ရှိစေသနည်း။
Effect of cooling tower outlet water temperature on A/C compressors, 1 °C cooling water temperature rise may increase A/C compressor power consumption (kW) by 2.7%.
Cooling water ၏ အပူချိန်(temperature) 1°C ပိုမြင့်တက်လျှင် A/C compressor power consumption (kW)သည် ၂.၇% ခန့် ပို၍ များလိမ့်မည်။

12. Cooling tower တစ်လုံး၏ "Range နှင့် Approach" ကိုဖော်ပြပါ။ "Range" နှင့် "Approach" ၏ အဓိပ္ပာယ်ကို ရှင်းပြပါ။
(1) "Range" is the difference between the condenser water inlet and outlet temperature.
"Range" ဆိုသည်မှာ condenser water ၏ အဝင်အပူချိန်နှင့် အထွက်အပူချိန် ခြားနားချက်ဖြစ်သည်။
(2) "Approach" is the difference between the cooling tower outlet cold water temperature and ambient Wet Bulb temperature. Though both parameters should be monitored, the "Approach" is a better indicator of cooling tower performance.

"Approach" သည် cooling tower အထွက်(outlet) cold water temperature နှင့် ambient Wet Bulb temperature တို့၏ အပူချိန်ကွာခြားချက်ဖြစ်သည်။ ထိုအပူချိန်နှစ်ခုလုံးကို monitor လုပ်သင့်သည်။ "Approach" သည် cooling tower စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို စစ်ဆေးရန်အတွက် အကောင်းဆုံးသော indicator ဖြစ်သည်။

13. Cooling tower တစ်လုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို အကျိုးသက်ရောက်စေသည့် factor များကို ဖော်ပြပါ။

(၁) Capacity and range
(၂) Heat load
(၃) Wet Bulb temperature
(၄) Approach and water flow
(၅) Filling media

14. Cooling tower တစ်လုံး၏ effectiveness သည် ဘာကိုဆိုလိုသနည်း။

Cooling tower effectiveness in percentage is the ratio of range, to the ideal range, i.e., difference between cooling water inlet temperature and ambient Wet Bulb temperature or in other words it is = Range /(Range + Approach).

15. Cooling tower တစ်လုံး၏ evaporation loss ကို မည်သို့ တွက်ယူသနည်း။

Evaporation loss is the water quantity evaporated for cooling duty. An empirical relation used often is:

$$\text{CMH evaporation loss} = \frac{\text{Circulation Rate (CMH) x Temp Difference in C}}{675}$$

16. Cooling tower fan များတွင် အသုံးပြုသော FRP blade များ၏ အားသာချက်များ (conventional blade များနှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင်) များကို ဖော်ပြပါ။

FRP blade များသည် အကောင်းဆုံးသော(optimum) aerodynamic profile ကို ရရှိနိုင်သောကြောင့် ၂၀% မှ ၃၀% အထိ စွမ်းအင်ချွေတာမှု(energy saving) ရရှိနိုင်သည်။ အလေးချိန် ပေါ့ပါးသောကြောင့် စမောင်းသည့် အချိန်တွင် အနည်းငယ်မျှသော(low starting torque) လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် capacity ငယ်သော မော်တာသာ တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။

အလေးချိန် ပေါ့ပါးသောကြောင့် gearbox ၊ motor နှင့် bearing တို့၏ သက်တမ်း ပိုရှည်သည်။ အချိန်ကြာမြင့်စွာ အသုံးပြုနိုင်သည်။ ပြုပြင်ရန်အတွက် လွယ်ကူစွာ ဖြုတ်နိုင်၊ တပ်နိုင်သည်။

17. Cooling tower ၏ blowdown quantity ကို တွက်ယူရန် ပုံသေနည်းကို ဖော်ပြပါ။

Blow Down = Evaporation Loss /(C.O.C. – 1)

C.O.C = Cycle of concentration

18. What will be the effect of cooling water temperature in heat rate in thermal power plants?

Cooling water ၏ အပူချိန်(temperature)အနိမ့်အမြင့်သည် thermal power plant တစ်ခုအား မည်ကဲ့သို့ အကျိုးသက်ရောက် စေနိုင်သနည်း။

Effect of Cooling tower outlet water temperature on thermal power plant:

1°C temperature drop in cooling water will lead to heat rate saving of 5 kcal/kWh in thermal power plant.

Cooling water သို့မဟုတ် condenser water ၏ အပူချိန်(temperature) 1°C ကျဆင်းသောကြောင့် thermal power plant တွင် rate saving of 5 kcal/kWh ကို ရရှိစေနိုင်သည်။

19. Cooling tower များတွင် မည့်သည့် media အမျိုးအစားဖြင့် ပြုလုပ်ထာသော fill များကို အများဆုံး အသုံးပြုကြသနည်း။ Fill media နှစ်မျိုး ရှိသည်။

(၁) Splash fill media နှင့်

(၂) Film fill media တို့ ဖြစ်သည်။

20. Cooling tower များတွင် သုံးပြုသော fill များအနက် မည့်သည့် media အမျိုးအစားဖြင့် ပြုလုပ်ထားသော fill များသည့် ပို၍ "energy efficient" ဖြစ်သနည်း။

PVC သို့မဟုတ် polypropylene သို့မဟုတ် တခြားသော polymer တစ်မျိုးမျိုးဖြင့် ပြုလုပ်ထားသော filll များသည် ပို၍ "energy efficient" ဖြစ်ကြသည်။

End