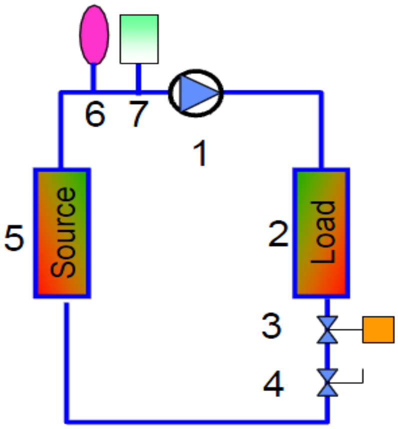
Chapter 10- Hydronic Piping Systems

Heating system နှင့် cooling system များတွင် ရေ(water)ကို heat transfer လုပ်ရန်အတွက် အသုံးပြုကြသောကြောင့် "Hydornic" ဟု ခေါ်ဆိုသတ်မှတ်ကြခြင်း ဖြစ်သည်။ အထပ်ပေါင်းများစွာ မြင့်မားသည့် မိုးထိတိုက်ကြီးများနှင့် အဆောက်အဦများစွာ ပါဝင်သည့် campus facilities တို့ကဲ့သို့ အလွန်ကြီးမားသည့် အဆောက်အဦများ(large-scale commercial buildings)များတွင် အသုံးပြုကြသည့် chilled water system(cooling အတွက်) နှင့် steam သို့မဟုတ် hot-water system(heating အတွက်) များ အားလုံးသည် hydornic system များ ဖြစ်ကြသည်။

၁၀.၁ Components in a Hydronic System



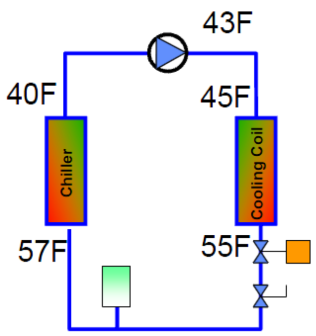
Hydronic system တစ်ခုတွင်ပါဝင်သော components များမှာ

(၁) Pump
(၂) Load
(၃) Control valve
(၄) Balancing valve
(၅) Source
(၆) Air removal system နှင့်
(၇) Expansion unit တို့ဖြစ်သည်။

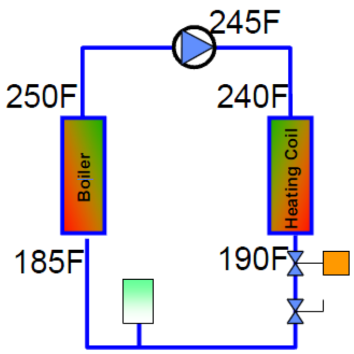
ပုံ ၁၀-၁ Hydronic system တစ်ခု

၁၀.၂ Hydronic Piping System အမျိုးအစားများ

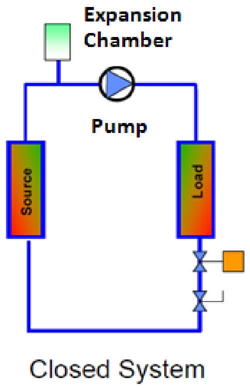
Hydronic system များကို အဓိကအားဖြင့် steam သို့မဟုတ် hot water နှင့် chilled water (၂)မျိုး ခွဲခြားထားသည်။ ပြင်ပလေ(atmosphere)နှင့် ထိတွေ့မှု ရှိမရှိကို အခြေခံ၍ closed system နှင့် open system ဟု၍လည်း ခွဲခြား နိုင်သည်။



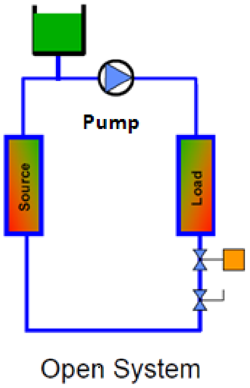
ပုံ ၁၀-၂ Cooling hydronic system



ပုံ ၁၀-၃ Heating hydronic system



ပုံ ၁၀-၄ Closed system



ပုံ ၁၀-၅ Open system

Closed water system များကို ဖိအား(pressure)နှင့် အပူချိန်(temperature)တို့ကို အခြေခံ၍ အမျိုးအစား ခွဲခြားထားသည်။

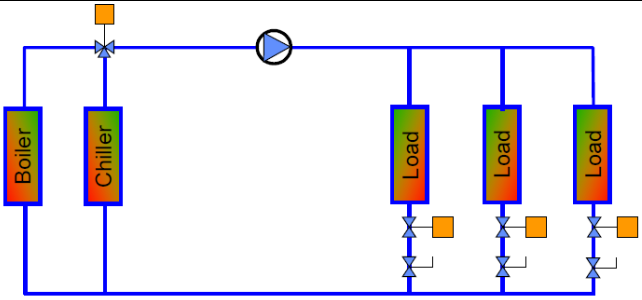
Closed Water Systems အမျိုးအစား	ဖိအား(Pressure)	အပူချိန်(Temperature)
Low Temperature Water(LTW)	အမြင့်ဆုံး ဖိအား 160 psi	အမြင့်ဆုံး အပူချိန် 250°F
Medium Temperature Water(MTW)	အမြင့်ဆုံး ဖိအား 160 psi	250°F မှ 350°F အတွင်း
High Temperature Water(HTW)	အမြင့်ဆုံး ဖိအား 300 psi	အမြင့်ဆုံး အပူချိန် 350°F
Chilled Water Systems(CWS)	အမြင့်ဆုံး ဖိအား 120 psi	40°F မှ 55°F(44°F မှ 45°F)

Hydronic piping system များကို ပိုက်အရေအတွက်အပေါ်တွင် မူတည်၍လည်း အမျိုးအစား ခွဲခြားထားသည်။

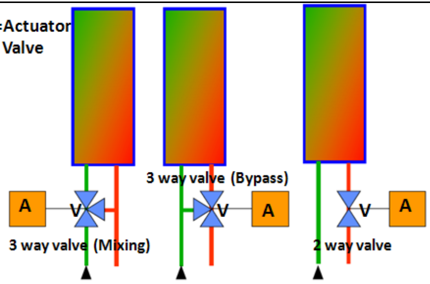
(၁) Two pipe system
(၂) Three pipe system
(၃) Four pipe system

Direct return system နှင့် Reverse return system ဟူ၍လည်း return လိုင်းကို အခြေခံ၍ အမျိုးအစား ခွဲခြားလေ့ရှိသည်။ Primary နှင့် secondary system ဟူ၍လည်း ပန့်ကို အခြေခံ၍ အမျိုးအစား ခွဲခြားလေ့ရှိသည်။

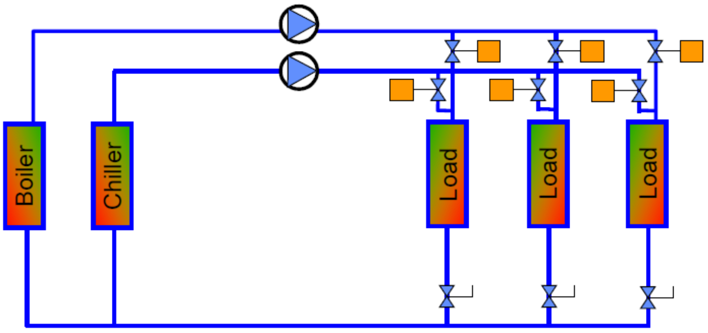
Two pipe system တွင် ပိုက်(၂)ချောင်းသာ ပါရှိသည်။ ပိုက်(၁)ချောင်းသည် supply ပိုက် ဖြစ်ပြီး ကျန် ပိုက်တစ်ချောင်းသည် return ပိုက်ဖြစ်သည်။ Heating နှင့် cooling ကို တစ်ပြိုင်နက် အသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။



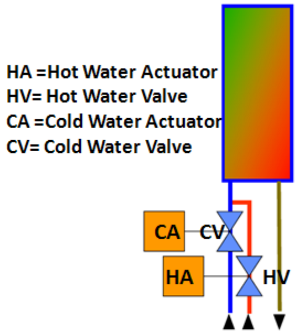
ပုံ ၁၀-၆ Two pipe system



ပုံ ၁၀-၇ Two pipe system တွင်သုံးသော valve များ



ပုံ ၁၀-၈ Three pipe system



ပုံ ၁၀-၉ Three pipe system တွင်သုံးသော valve များ

၁၀.၃ Four Pipe System ၏ အားသာချက်များ

တစ်နှစ်ပတ်လုံး heating နှင့် cooling နှစ်မျိုးစလုံးအတွက် ဇုန်တစ်ခုချင်းစီ၏အပူချိန် (individual zone temperature)ကို control လုပ်နိုင်သည်။

(က) Spring and Fall season များ ၌ chilled water နှင့် hot water တို့ကို တစ်ပြိုင်နက် ပေးနိုင်သည်။

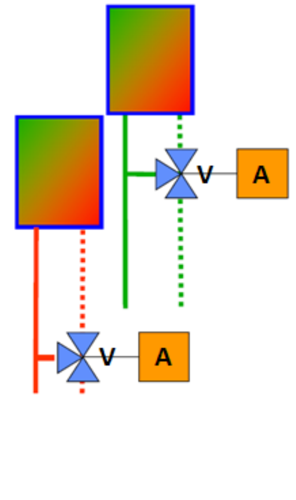
(ခ) ဇုန်များပြုလုပ်ရသည့် ကုန်ကျစရိတ်ကို သက်သာစေနိုင်သည်။ ဆောင်းအကုန်နွေအကူး ကာလများတွင် heating လုပ်မည် သို့မဟုတ် cooling လုပ်မည် စသည့်တို့ စဉ်းစားရန်မလို။

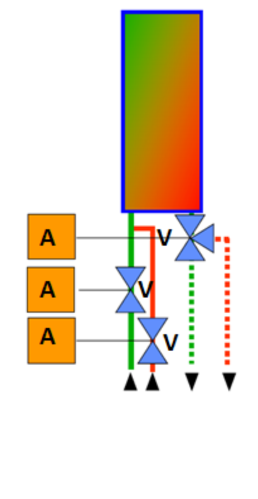
(ဂ) Fan speed ကို အနေးဆုံးဖြင့် မောင်းနိုင်သောကြောင့် ဆူညံသံမဖြစ်ပေါ်ပေ။

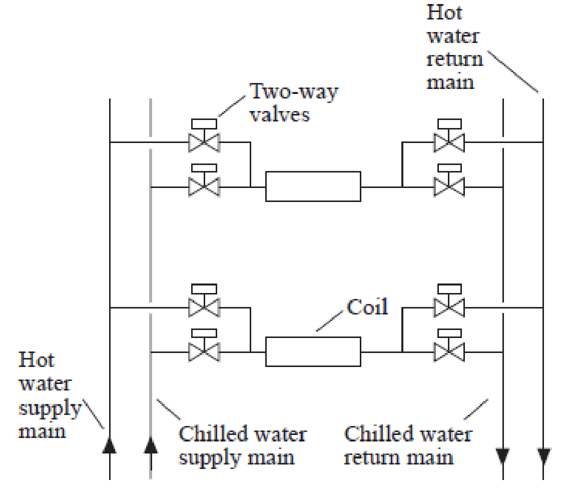
ရေ(water) အလွယ်တကူ ရနိုင်ခြင်း၊ ဈေးပေါခြင်း(cheap) ၊ အဆိပ် ဘေးအန္တရယ် မရှိခြင်း(nontoxic) နှင့် မီးလောင်မလွယ်ခြင်း(non-flammable) ဖြစ်ခြင်း တို့ကြောင့် ဖြစ်သည်။ ရေသည် ရေခဲ(solid)၊ အရည်(liquid) နှင့် ရေခိုးရေငွေ့(gaseous) အနေဖြင့် တည်ရှိနိုင်သည်။

ရေခဲ(ice) ကို cooling system များတွင် cooling effect ကို သိုလှောင် သိမ်းဆည်းထား (storage)ရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ ရေခဲ(၁)ပေါင် သည် 144 Btu(335 kJ/kg) cooling effect ကို သိုလှောင်ထားနိုင်စွမ်း ရှိသည်။ ရေခဲ(၁)ပေါင်ကို မပြောင်းလဲသည့်အပူချိန် (constant temperature) တစ်မျိုးတွင် အရည်ပျော်(melting) စေသည့်အခါ 144 Btu ပမာဏ ရှိသော အပူစွမ်းအင်(Heat energy) ကို စုပ်ယူသွားသည်။

Saturated steam ကို heating operating သို့မဟုတ် heating system များတွင် အသုံးပြုသည်။ Steam ၏ latent heat of vaporization သည် steam ၏ ဖိအား(pressure) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အလေးချိန် (၁) ပေါင် (1 lb) ရှိသော steam ကို လေထုဖိအား(atmospheric)အောက်တွင် condense(အအေးခံ) လိုက်ပါက 970 Btu ရရှိနိုင်သည်။(2256 kJ/kg of steam) ရေကို အရည်(liquid)အခြေအနေတွင် heat transfer medium အဖြစ် အသုံးပြုခြင်းသည် စီးပွားရေးအရ တွက်ခြေကိုက်သည်။ ရေထက်သာလွန်သည့် တခြားအရည် တမျိုးရှိနိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ System တစ်ခု ၏ ပိုက်ထဲတွင် ရေကို heating operation အတွက်သာမက cooling operation အတွက်ပါ တစ်ပြိုင်နက် အသုံးပြုနိုင်သည်။





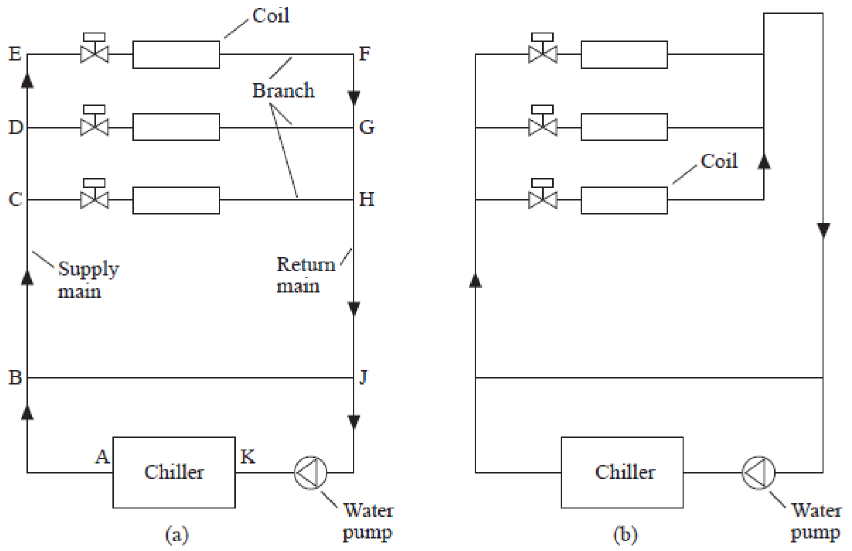


ပုံ ၁၀-၁၀ Pipe c/w two coil 4 Pipe c/w one coil ပုံ ၁၀-၁၁ Four pipe system

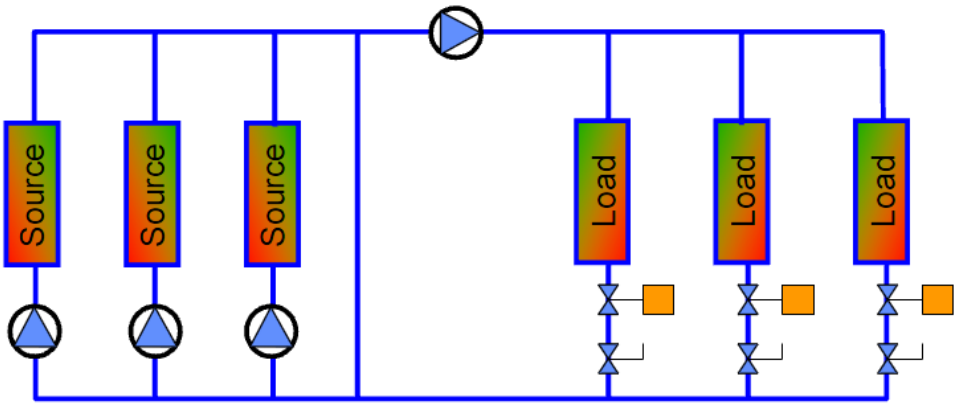
ရေကို system တစ်ခု အတွင်း၌ heat carrier အဖြစ် အသုံးပြုခြင်းကြောင့် ရေသည် ဂုဏ်သတ္တိများ မပြောင်းလဲသွားပေ။(သန့်စင်နေသမျှ ကာလပတ်လုံး ရေ၏ ဂုဏ်သတ္တိများ မပြောင်းလဲပေ။)

Hydronic system များသည် heat transfer system များ ဖြစ်ကြသည်။ အပူချိန် မြင့်နေရာ(high temperature)နေရာမှ အပူ(heat) တို့ကို စုပ်ယူ သယ်ဆောင်သွားပြီး အပူချိန်နိမ့် သည့်နေရာ(low temperature)သို့ ရောက်ရှိချိန်တွင် အပူ(heat) များကို စွန့်ထုတ်သည့် system များကို "hydronic system" ဟုခေါ်သည်။ ဥပမာအားဖြင့် chilled water system ၊ hot water system စသည်တို့ဖြစ်သည်။

Hydronic system များကို စနစ်တကျ လေ့လာရာတွင် အဆင့်သုံးဆင့်ရှိသည်။ ပထမအဆင့် အနေဖြင့် ရေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ (properties of water) ဖိအားများ(pressure distribution)နှင့် flow များတို့ ဖြစ်သည်။ ဒုတိယ အဆင့် အနေဖြင့် hydronic system များ၏ properties များကို နားလည်ရန်လိုသည်။ တတိယ အဆင့် အနေဖြင့် အမျိုးမျိုးသော hydronic system များ၏ ဒီဇိုင်း ပုံစံ ထုတ်ခြင်း တို့ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၀- ၁၂(က) Two-pipe direct return system (ခ) Two-pipe reverse system



ပုံ ၁၀-၁၃ Primary –Secondary System Source

၁၀.၄ Properties of Water (ရေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ)

ရေကို အပူပေးလျှင် ရေသည် ကျယ်ပြန့်(expend)လာသည်။ ရေ၏ကျယ်ပြန့်(expend)နှုန်းကို သုတေသီများ(researchers) က " Steam Table" ဖြင့် စနစ်တကျ လေ့လာ မှတ်တမ်းတင်ထားသည်။ ရေသည် အပူချိန် 39.2°F(4°C) သို့ရောက်သည့် အခါ ရေ၏သိပ်သည်းဆ(density)သည် အမြင့်ဆုံး ဖြစ်သည်။

Hydronic system များတွင် ရှိသည့် စီးနှုန်း(flow) ကို volume flow ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ Gallons Per Minute(GPM) တစ်မိနစ်လျှင် ဂါလံ မည်မျှ စီးဆင်းသည်၊ လည်ပတ်သည်။ သို့မဟုတ် liter per second(L/s) တစ်စက္ကန့်လျှင် လီတာ မည်မျှ စီးဆင်းနေသည်၊ လည်ပတ်နေသည် ဟု ဖော်ပြသည်။

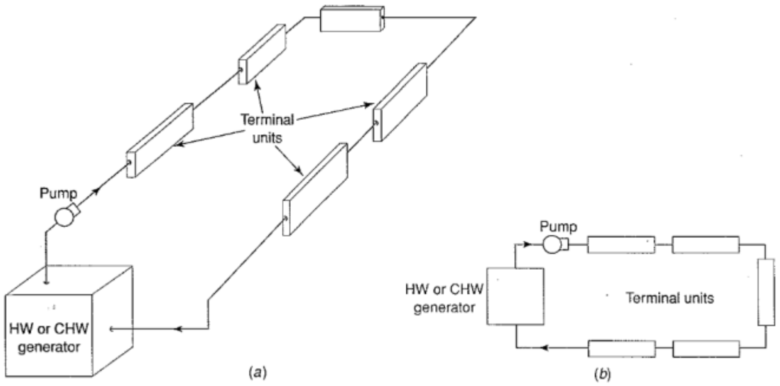
ရေသည် compressible fluid တစ်မျိုးဖြစ်သောကြောင့် အပူချိန် အတက်အကျ ဖြစ်လျှင် expansion နှင့် contraction ဖြစ်သည်။ Closed system အတွင်းတွင် ရှိသော ရေများ အတွက် expansion နှင့် contraction ဖြစ်ခြင်းတို့ အတွက် သင့်လျော်သည့် စီမံမှုများ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

Pipe arrangement များကို အောက်ပါအတိုင်း(၄)မျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

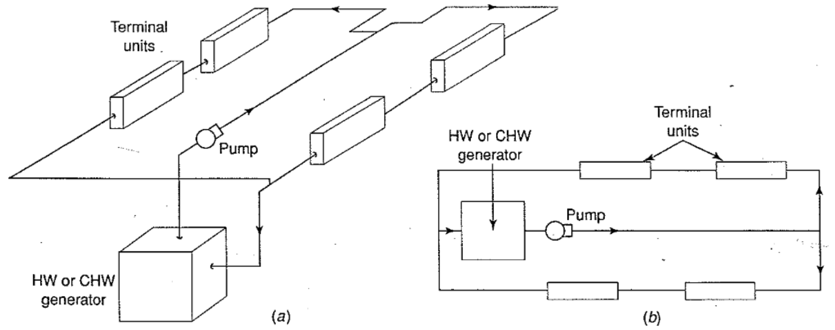
(၁) Single loop
(၂) One-pipe main
(၃) Two pipe direct return နှင့်
(၄) Two pipe reverse return တို့ဖြစ်သည်။

(က) Single Loop

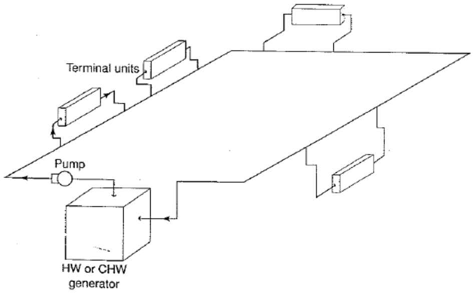
Terminal unit များအားလုံးကို အတန်းလိုက်(serie) ပုံစံမျိုး ချိတ်ဆက်ထားသောကြောင့် "series loop" ဟုခေါ် ဆိုခြင်းဖြစ်သည်။



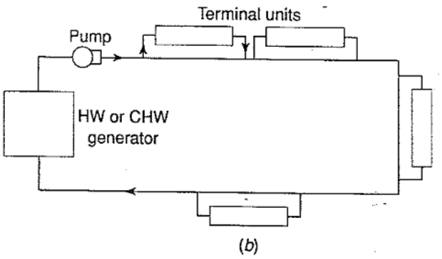
ပုံ ၁၀-၁၄ အထက်ပါပုံသည် series loop piping system အမျိုးအစားကို(a)Isometric Drawing နှင့်(b) Schematic ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။



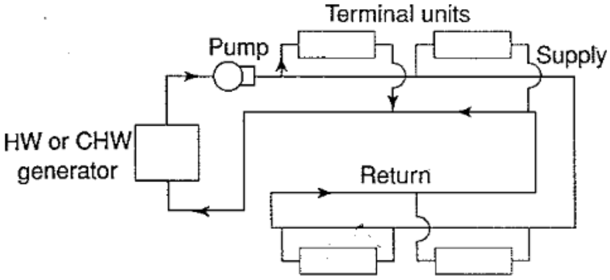
ပုံ ၁၀-၁၅ Split series loop piping system (a) Isometric (b) Schematic



ပုံ ၁၀-၁၆

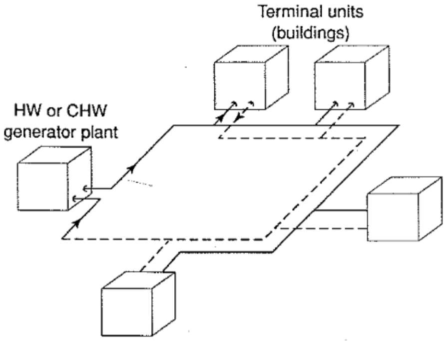


ပုံ ၁၀-၁၇

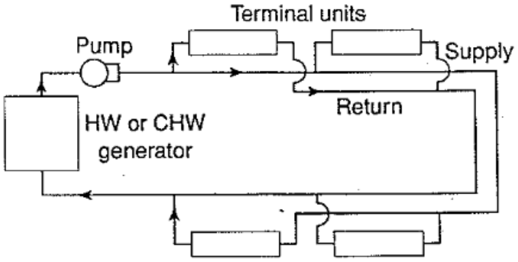


ပုံ ၁၀-၁၈

Two direct return system

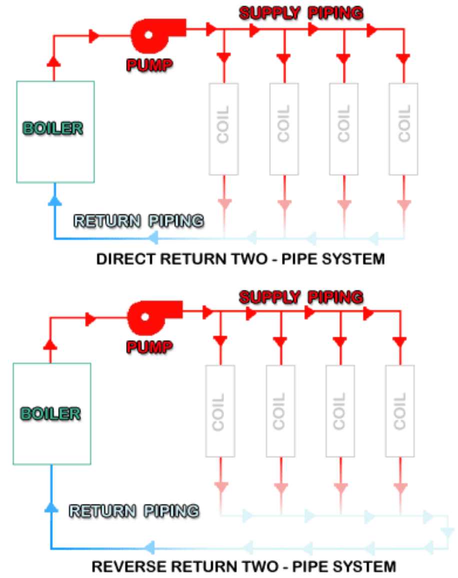


ပုံ ၁၀-၁၉

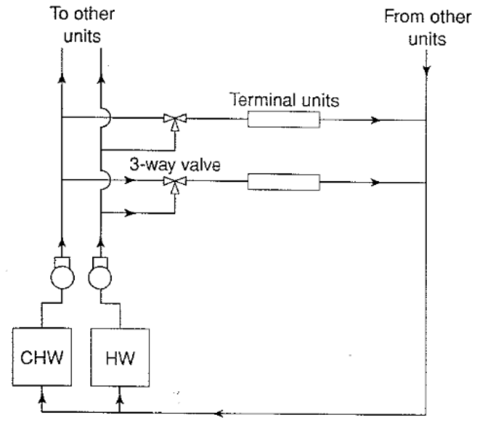


ပုံ ၁၀-၂၀

Two-pipe reverse return system(a)Isometric- two pipe reverse return to a number of building(B) Schematic



ပုံ ၁၀-၂၁



ပုံ ၁၀-၂၂ Three pipe system

၁၀.၅ Water Hammer ဖြစ်ခြင်း

အလွန်ရှည်လျားသော ပိုက်တစ်ခုတွင် ရှိသော valve ကို ပိတ်လိုက်သည့် အခါမျိုးတွင် water hamm ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ ပိုက်ထဲတွင် စီးနေသည့် fluid တစ်မျိုး၏ velocity သည် valve ပိတ်လိုက်ခြင်းကြောင့် velocity head မှ pressure head အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားကာ ပိုက်အတွင်းတွင် pressure wave တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို pressure wave သည် အသံ၏လျှင်မြန်နှုန်း sonic speed 4860 ft/s(1480m/s) ဖြင့် valve ၏ တခြားတစ်ဘက် ရောက်သွားပြီး valve ထံသို့ ပြန်ရောက်လာသည်။ ထိုအချိန်တွင် valve သည် လုံးဝပိတ်ပြီး နေပါက pressure wave သည် တခြားဘက်သို့ ပြေးဆောင့်လိုက် valve ဆီပြန်လာလိုက် နှင့် ရှိသမျှ စွမ်းအင် အားလုံး ကုန်ဆုံးသွားသည်(dissipated ဖြစ်သည်)အထိ ဖြစ်နေလိမ့်မည်။

အကယ်၍ ပိုက်သည် တိုလွန်းသောကြောင့် pressure wave က valve ဆီပြန်ရောက်သည့် အချိန်တွင် water hammer မဖြစ်ပေါ် နိုင်ပေ။ အလွန်ဆူညံသံ ဖြစ်ပေါ်သည်။ ပြင်းထန်သည့် ထိခိုက်ပျက်စီးမှု serious damage ဖြစ်နိုင်သည်။

၁၀.၆ Stratification ဖြစ်ခြင်း

ရေသည် အပူလျှော့ကူးမှုမကောင်းသည့်ဒြပ် (poor inductor) တစ်မျိုးဖြစ်သည်။ အေးသော ရေသည် ပူသည့် ရေထက် ပို၍ လေးသည်။ အေးသည့် ရေကို ပူသည့် ရေကန်ထဲသို့ (hot water layer) ထည့်လိုက်ပါက ပူသည့် ရေ၏ buoyancy force ကြောင့် အေးသည့် ရေ၏အလေးချိန်ကြောင့် ရေနှစ်မျိုး ရောနှောကာ တူညီသည့် ရေ၏ အပူချိန် သို့ ရောက်သွားလိမ့်မည်။ သို့သော် ပူသည့် ရေ(hot water)ကို အေးသည့်

ရေအလွှာ(cold water layer)ပေါ်သို့ ထည့်လိုက်လျှင် ရေပူသည် buoyancy force ကြောင့် အပေါ်ယံ တွင်သာ ရှိနေပြီး အေးသည့် ရေ၏ အလေးချိန်ကြောင့် အောက်တွင်သာ ရှိနေလိမ့်မည်။ ထိုရေနှစ်မျိုးကို တစ်စုံတစ်ရာ မပြုလုပ်ပါက သူ့အလိုလို ရောနှောသွား လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ထိုကဲ့သို့ အပူချိန် မတူညီသည့် ရေနှစ်မျိုးသည် အလွှာလိုက် သီးခြား အတူတကွ ရှိနေခြင်းကို "**Stratification**" ဟုခေါ်သည်။

မှားယွင်းစွာ နားလည် ယူဆမှုများ

Hydronic system များကို ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရာတွင် အခြေခံသဘောတရားများကို စနစ်တကျ နားလည် သဘောမပေါက်ခြင်း သို့မဟုတ် လွဲမှားစွာ နားလည် ယူဆထားခြင်း တို့ကြောင့် မှားယွင်းသည့် တွက်ချက်မှုများ ပြုလုပ်တတ် ကြသည်။

Condenser water pump ကို လိုအပ်သည်ထက် ပိုကြီးသည့် အရွယ်အစားကို ရွေးချယ်မိခြင်း(oversize)အမှား

အဆောက်အဦ အများစုတွင် chiller plant room သည် မြေအောက်ထပ်(Basement) တွင် တည်ရှိပြီး cooling tower သည် အပေါ်ဆုံးထပ် (roof top) တွင် တည်ရှိသည်။ Cooling tower မှ condenser water(CW)သည် ကမ္ဘာမြေဆွဲအား(gravity) ကြောင့် အမြင့် မှ Basement ရှိ pump ၏ suction ပိုက်အတွင်းသို့ စီးဆင်းလာသည်။ ထို့ကြောင့် ထိုပိုက် အပိုင်းကို ထည့်တွက်ရန် မလိုဟု ယူဆကြသည်။ Pump ၏ head သည် ရေကို roof top ရှိ cooling tower သို့ ရောက်အောင် တွန်းပို့ရသည်။ ထို့အပြင်ပိုက်၏ friction losses များ အတွက်ကိုလည်း ထည့်တွက် ပေးရမည် ဟု ယူဆကြသည်။ ထို့ကြောင့် over size pump ကို မှားယွင်းစွာ တွက်ချက် ရွေးချယ် ကြသည်။ Chilled water pump ကို လိုအပ်သည့် အရွယ်အစားထက် သေးငယ်သည့် pump ကိုရွေးချယ်မိခြင်း၊

အဆောက်အဦ၏ ထိပ်မှစ၍ chilled water pip friction ကို စတင် တွက်ချက်သည့် အခါ chilled water သည် basement ရှိ chilled water pump အတွင်းသို့ ကမ္ဘာမြေဆွဲအား (gravity) ကြောင့် စီးဆင်းသွားသည်။ ထို့ကြောင့် ထို ပိုက်အပိုင်းကို ထည့်တွက်ရန် မလိုဟု မှားယွင်းစွာ ယူဆကြသည်။ Chilled water circuit သည် closed loop ဖြစ်သော ကြောင့် friction losses ကိုသာ တွက်ရန်လိုသည်ဟု ယူဆကြခြင်းကြောင့် chiller water pump သည် လိုအပ်သည်ထက် ပိုသေးငယ်သည့် pump အရွယ်အစားကို ရွေးချယ်မိတတ်ကြသည်။

၁၀.၇ ဆူညံသံများ(Noise) ဖြစ်ပေါ်ခြင်း

ရေထဲတွင် လေ နှင့် vapour bubble မရှိသည့် အခါမျိုးတွင် ပိုက်ထဲ၌ ရေစီးဆင်းခြင်းကြောင့် မည်သည့် အသံကိုမျှ မဖြစ်ပေါ်စေပါ ။ Air con system များတွင် အသုံးပြုသော အမြင့်ဆုံး velocity limit သည် 8 ft/s(2.4 m/s)ဖြစ်သည်။ သို့သော် velocity မြင့်သောကြောင့် ဆူညံသံများ ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။ ဆူညံသံ(noise) ဖြစ်ပေါ်ခြင်းနှင့် အတူ တိုက်စားခြင်း(erosion)လည်း လိုက်၍ ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဆူညံသံ(noise) မရှိခြင်းကြောင့် erosion လည်း မဖြစ်နိုင်ပေ။ ဆူညံသံ(noise) များစွာ ဖြစ်ပေါ်ခြင်းကြောင့် pump ၏ impeller များတွင် cavitation ဖြစ်ပေါ် လာသည်။ စက်ပစ္စည်းများ လျှင်မြန်စွာ ပျက်စီးလေ့ ရှိသည်။

Hydronic system များကို ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ရာတွင် အရေးအကြီးဆုံးအလုပ်မှာ စီးဆင်းခြင်း ခုခံအားသည်(flow resistance) ကို တတ်နိုင်သမျှ အမှန်ကန်ဆုံးဖြစ်အောင် တွက်ချက်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ခုခံအား (resistance)ကို

ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ဟုလည်း ခေါ်သည်။ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို အရည်၏ အမြင့်(height of liquid column)ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ Head loss ဟုလည်း ပြောဆိုလေ့ ရှိသည်။

Head loss calculation ပြုလုပ်ခြင်း၏ အဓိက ရည်ရွယ်ချက်မှာ

(က) တပ်ဆင်မည့် pump ၏ လိုအပ်သော pump head ကို သတ်မှတ်ရန် ၊ ယေဘုယျ အားဖြင့် pump head ကို အဝေးဆုံး ပိုက်နေရာ သို့မဟုတ် Head loss အများဆုံး ရှိသည့် point ကို ရွေးချယ်၍ တွက်ယူကြသည်။

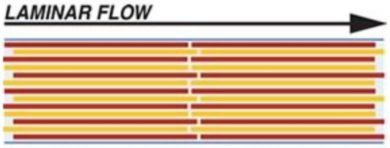
(ခ) System တစ်ခုလုံးသည် ဒီဇိုင်း flow condition တွင် balance ဖြစ်နေစေရန် ၊ တစ်နည်းအားဖြင့် သတ်မှတ်ထားသော နေရာတွင် ရှိရမည့် စီးနှုန်း (flow rate) အညီအမျှ ရရှိရန်.

(ဂ) Automatic control valve များ အတွက် လိုအပ်သည့် အချက်အလက်(information) များဖြစ်သော minimum pressure drop at design flow rate၊ control valve ၏ CV တန်ဘိုး၊ low load condition တွင် ဖြစ်ပေါ်လာမည့် ဖိအားကွာခြားချက် (differential pressure) တို့ ရရှိရန်.

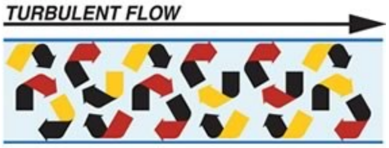
Pipe system တစ်ခုတွင် pipe friction နှင့် fitting loss ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရှိသည်။ Head loss ကို height of fluid column ဖြင့် ဖော်ပြသည်။ ထို အချိန်တွင် ရှိသော fluid ၏ temperature

၁၀.၈ Flow အမျိုးအစားများ

Fluid တစ်မျိုးမျိုး ပိုက် ထဲတွင် စီးသည့် အခါ laminar flow (low velocity) သို့မဟုတ် turbulent (high velocity) flow ဖြစ်ပေါ်သည်။

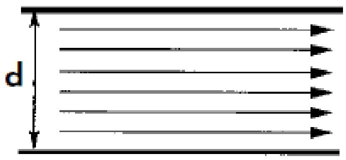


Limner flow ဆိုသည်မှာ fluid အတွင်းမှ particle လေးများသည် တစ်ညီတစ်ညာတည်း သူတို့၏ လမ်းကြောင်း အတိုင်း အနီးရှိ particle လေးများနှင့် အပြိုင် ရွေ့လျားသွားသည်။ တစ်ခုကို တစ်ခု ကျော်တက်ခြင်း ရောထွေးခြင်း မရှိပေ။

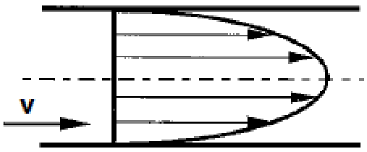


Turbulent flow ဆိုသည်မှာ particle များသည် လျှင်မြန်သော အရှိန်ဖြင့် ဗရမ်းဗတာ ရွေလျားနေခြင်း ဖြစ်သည်။ တစ်ခု နှင့် တစ်ခု ရောနှော ရှုပ်ထွေးစွာ ရွေလျားနေကြသည်။

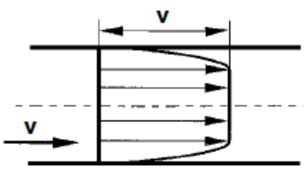
Low velocity(limner flow) ဟူ၍လည်း သတ်မှတ်၍ မရ၊ high velocity(turbulent flow) ဟူ၍လည်း သတ်မှတ်၍ မရသည့် နှစ်ခုကြား၌ velocity of transition ဆိုသည့် critical zone တစ်မျိုးရှိသည်။ ထို critical zone(velocity of transition)ထက်နိမ့်သည့် velocity အားလုံးသည် low velocity(laminar flow)ဖြစ်ပြီး critical zone(velocity of transition)ထက်မြင့် သည့် velocity များအားလုံးသည် High velocity(turbulence flow)များ ဖြစ်သည်။



Laminar Flow(Re < 2000)

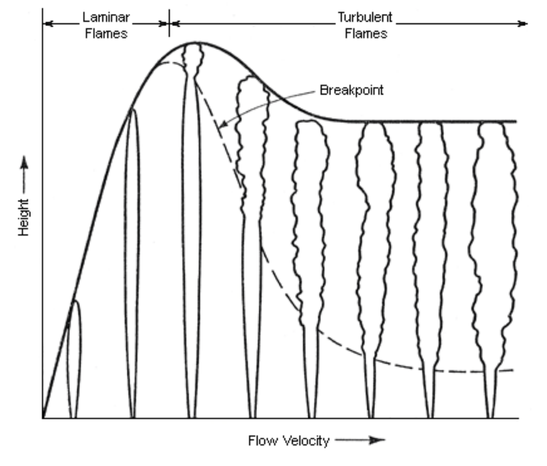


Disturbed Turbulent Flow
(Re >2000 and Re <4000)



Disturbed Turbulent Flow
(Re>4000)

Flow အမျိုးအစားများကိုလိုက်၍ velocity profile များကွဲပြားပုံကို အထက်ပါပုံတွင် ဖော်ပြထားသည်။



ထို့ကြောင့် laminar flow သို့မဟုတ် turbulence ဟုခွဲခြား သတ်မှတ်ရန် အတွက် ပထမဦးစွာ critical zone(velocity of transition)ကို သတ်မှတ်ရန် လိုအပ်သည်။

Critical velocity သည် ပိုက်၏ internal diameter နှင့် fluid ၏ viscosity ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Reynolds numbers(Re)၏ တန်ဖိုး ဖြင့် flow အမျိုးအစားကို ခွဲခြားခြင်းသည် ပိုမို ရှင်းလင်းစွာ နားလည် သဘောပေါက်စေသည်။

Reynolds number(Re) 2100 ထက်နည်းလျှင် laminar flow ဖြစ်သည်။
Reynolds number(Re) 4000 ထက်များလျှင် turbulent flow ဖြစ်သည်။
Reynolds number(Re) 2100 နှင့် 5000 ကြားတွင် transition flow ဖြစ်သည်။

Reynolds number ဆိုသည်မှာ

$$\boldsymbol{Re = \frac{V.D.w}{\mu}}$$

where V = Velocity ft/s(m/s)
D = Internal pipe diameter, ft(m)
μ = Dynamic viscosity lb/ft.s(Pu.S)

ရေ(water) အတွက် ဆိုလျှင် Re မှာ

(IP unit) (SI unit)

$$\boldsymbol{Re = 7742\frac{V.D.w}{\mu}} \qquad \boldsymbol{Re = 1000\frac{V.D.w}{\mu}}$$

ဥပမာ - ဘောလုံးသမား တစ်ယောက် ကန်လိုက်သည့် ဘောလုံး၏အချင်းသည် 220 mm(diameter) ရှိပြီး ခြေထောက် မှ ထွက်သွားသည့် velocity သည် 100 km/h ဖြစ်သည်။ Air properties table ကို အသုံးပြု၍ Re ကို တွက်လျှင် Re= 420,000 ဖြစ်သည်။ Re= 420,000 သည် အလွန်ကြီးမားသောကြောင့် လေ၏ ခုခံအား သည်လည်း အလွန်များသည်။

၁၀.၉ Laminar flow

Low velocity ကြောင့် laminar flow ဖြစ်ပေါ်လာခြင်း ဖြစ်သည်။ Laminar flow ကြောင့် ခုခံအားနည်း(low resistance) သည်။ Horizational pipe များအတွင်း၌ laminar flow(low velocity) ဖြင့် စီးပါက stratification နှင့် temperature gradient ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ဥပမာ-ပူသည့် ရေသည် ပိုက်၏ အပေါ်ဘက်တွင်(lower friction ကြောင့်)မြန်သည့် နှုန်းဖြင့် စီးဆင်းနေပြီး အနည်းငယ် ပိုအေးသည့် ရေသည် ပိုက်၏ အောက်ဘက်တွင် အနည်းငယ် နှေးသည့် နှုန်းဖြင့် အလွှာတစ်ခု အဖြစ် တည်ရှိကာ စီးဆင်းနေလိမ့်မည်။ ဤကဲ့သို့ ပိုက်တစ်ခု အတွင်းတွင် laminar flow ကြောင့် stratification နှင့် temperature gradient ဖြစ်ပေါ်ခြင်းသည် hydronic system တွင် မလိုလားအပ်သော အရာဖြစ်သည်။

Head loss calculation တွက်ချက်မှုမှားခြင်းကြောင့် laminar flow ဖြစ်ပေါ်နေသော system များကို တွေ့မြင်နိုင်သည်။ Oversize pipe များ၊ equipment များကြောင့် laminar flow ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Future

expansion(နောင်တချိန်တွင် လိုအပ်မည့် capacity)အတွက် oversize လုပ်ထားခြင်း ကြောင့်လည်း laminar flow ဖြစ်ပေါ်သည်။

ထို့ကြောင့် hydronic system တစ်ခု ကို full load condition အတွက်သာမက minimum load condition အတွက်လည်း laminar flow ၏ ဆိုးကျိုးများ မဖြစ်ပေါ်အောင် ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်သင့်သည်။

၁၀.၁၀ Turbulence Flow

မြို့ပြရေပေးဝေသည့် စနစ်(city water distribution)တွင် ရေသည် တစ်ကြိမ်သာ ပိုက်အတွင်းမှ ဖြတ်စီးပြီး အသုံးပြုမည့်သူထံသို့ ရောက်ရှိသည်။ ထိုကဲ့သို့ once-through cold water distribution network များအတွက် Hazen-William formula ကို အသုံးပြုနိုင်သော်လည်း Hazen-William formula သည် hydronic circuit များ အတွက် မသင့်လျော်ပေ။ အားလုံးလက်ခံသည့် resistance head loss ကို တွက်ချက်သည့် formula မှာ "Darcy Weisbach equation" ဖြစ်သည်။ Darcy Weisbach equation သည် uniform diameter ရှိသည့် ပိုက်အပိုင်းကိုသာ တွက်၍ ရသည်။ ထို့ကြောင့် ပိုက်အရွယ်အစားတူရာ(uniform pipe diameter)နေရာ တစ်ခုချင်းစီ၏ Head loss တို့ကို တွက်၍ ပေါင်းယူရသည်။ ပိုက်အရွယ်အစား(pipe size)တူရာ အပိုင်းတွင် ပိုက်အဖြောင့်(straight pip)ပိုက် အရှည်လည်း ပါသည်။ Valve သို့မဟုတ် elbow စသည့် pipe fitting များလည်း ရှိနိုင်သည်။

Darcy-Weisbach equation တွင် အပိုင်းနှစ်ခု ပါဝင်သည်။ ပထမပိုင်းမှာ straight pipe friction loss ဖြစ်ပြီး ဒုတိယပိုင်းမှာ valve နှင့် fitting များ၏ friction losses ဖြစ်သည်။

H = Straight pipe ၏ friction loss + valve fitting များ၏ friction loss

$$friction\ loss\ for\ Straight\ pipe = f\,\frac{L}{D}\cdot\frac{V^2}{2g}$$

$$friction\ loss\ for\ \text{Valv, pipefitting} = K\,\frac{V^2}{2g}$$

$$f\,\frac{L}{D}\cdot\frac{V^2}{2g} + K\,\frac{V^2}{2g}$$

F= friction factor given by the Colebrook equation

L= length of pipe run, ft(m)

D = internal pipe diameter, ft(m)

K = sum of the resistance coefficient(k)for the valve and fitting installed in the pipe run

(၁) Friction factor ကို ရရန်အတွက် Colebrook ၏ equitation ကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

(၂) $f\,\frac{L}{D}\cdot\frac{V^2}{2g}$၏ တန်ဘိုး ရရန် အတွက် calculator ကိုအသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

ထို အချက်(၂)ချက်ကြောင့် straight pipe friction ကိုရရှိရန် အတွက် chart မှ ဖတ်ယူခြင်းသည် လုပ်ခန်းခွင်တွင် လူကြိုက်များသော နည်းဖြစ်သည်။ Straight pipe friction ကို လုပ်ငန်းခွင်တွင် အသုံးများသည့် အခေါ်အဝေါ် တစ်ခုမှာ ft per 100 ft သို့မဟုတ် millimeter per meter ဖြစ်သည်။ အဓိပ္ပာယ်မှာ - မိမိတွက်လို ပိုက်၏ အရှည် 200 ft ရှိသည် ဆိုလျှင် pipe friction(ft) မည်မျှရှိသည်ကို ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။

ဥပမာ -pipe size(6") နှင့် flow rate(350 GPM) ကို သိလျှင် chart မှ ဖတ်ယူလျှင် ပိုက်အတွင်းရှိ velocity 4 ft/s နှင့် straight pipe friction loss 0.9 ft per 100 ft ကို ရသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပေ(၁၀၀) ရှည်ပိုက် အတွက် 0.9 ft pipe friction ရှိသည်။ အကယ်၍ မိမိ အသုံးပြုသည့် ပိုက်မှာ ပေ(၅၀) ရှိလျှင် 0.45 ft ဖြစ်သည်။ ဖတ်ရမည့် chart မှာ closed system၊ schedule 40 steel pipe chart ဖြစ်သည်။

Straight pipe friction loss သည် အပူချိန်(temperature)နှင့် ရေအမျိုးအစား ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ glycol-water mixture အတွက် same chart ကို အသုံးပြုနိုင်သော်လည်း အမှား(error) အနည်းငယ် ရှိသည်။ Chart

၏ temperature range မှာ 40 မှ 400°F(4 to 204°C)အတွင်းသာ ဖြစ်သည်။ အပူချိန် 400°F ကျော်ပါက - glycol-water mixture ဖြစ်လျှင် Dorcy-Weibach equation ကို အသုံးပြု၍ တွက်ချက်ခြင်းဖြင့် အမှန်ကန်ဆုံးသော အဖြေကို ရနိုင်သည်။

Valve နှင့် fitting friction loss သည် fluid ၏ properties နှင့် pipe ၏ properties တို့နှင့် မသက်ဆိုင်ပေ။ Fluid သည် ပူသည်ဖြစ်စေ၊ အေးသည်ဖြစ်စေ၊ ပိုက်၏ internal surface သည် ကြမ်းသည်ဖြစ်စေ၊ ချောသည် ဖြစ်စေ valve and fitting friction loss ၏ တန်ဖိုးမှာ မပြောင်းလဲပေ။ Valve နှင့် fitting ၏ geometry နှင့် fluid velocity ပေါ်တွင်သာ မူတည်သည်။ ထို့ကြောင့် အရွယ်တူသည့် ပိုက် size နှင့် geometry ပုံစံ တူလျှင် friction coefficient(k)သည် လည်း တူညီကြသည်။ "k factor" ဟုလည်းခေါ်သည်။

K factor ကို pipe friction manual များမှ လည်းကောင်း၊ valve နှင့် fitting ထုတ်လုပ်သူ (manufacturer) များထံမှ လည်းကောင်း ရရှိနိုင်သည်။

$$\boldsymbol{H\ valve\ or\ pipe\ fitting = K\frac{V^2}{2g}}$$

H နှင့် V ကို သိလျှင် k ၏ တန်ဘိုးကို ပြန်တွက်ယူနိုင်သည်

$$\boldsymbol{K = H\frac{V^2}{2g}}$$

လုပ်ငန်းခွင်များတွင် အထက်ပါ ပုံသေနည်းဖြင့် မတွက်ဘဲ valve များ ၊ fitting များကို equivalent length ဖြင့် ဖော်ပြ၍ straight pipe friction loss နှင့် ပေါင်းပြီး chart မှ ဖတ်ယူ ကြသည်။

ဥပမာ - (၁၂) လက်မရှိသည့် globe valve သည် စီးနှုန်း(flow rate) (GPM 4000 or 252 L/s)ရှိသည့် ရေအတွက် အသုံးပြုလျှင် k-factor မှာ 5 ဖြစ်သည်။ Equivalent pipe length 336 ft(102 m)နှင့် ညီမျှသည်။ k-factor = 5 ကိုသုံး၍

$$\boldsymbol{H_{Valve} = K\frac{V^2}{2g}}$$

တွင် တွက်ယူနိုင်သလို equivalent pipe length 336 ft(102 m) ၊ pipe dize 12" နှင့် flow 4000GPM(252 L/s)ကို အသုံးပြု၍ closed system & schedule 40 pipe chart မှ ဖတ်ယူနိုင်သည်။

၁၀.၁၁ ပိုက်အရွယ်အစားရွေးချယ်ရန် အခြေခံအချက်များ(Basic of Pipe Sizing)

သတ်မှတ်ထားသော flow rate တစ်ခုအတွက် Pipe ၏ internal diameter ကြီးလာလျှင် fluid velocity နည်းသွားပြီး friction loss လည်း နည်းလာသည်။ ပိုက်ကြီးလာလေ ပွတ်တိုက်မှုကြောင့်ဖြစ်သော ဆုံးရှုံးမှု(friction loss) နည်းလာလေ ဖြစ်သည်။

အကြောင်းမှာ ကြီးမားသည့်ပိုက် (larger pipe)များတွင် currying capacity များသောကြောင့် ၊ cross sectional ပိုကြီးသောကြောင့် နှင့် အလျင်မြန်မြန်(high velocity)ကို လက်ခံနိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Fitting loss လည်း အချိုးကျ လိုက်နည်းလာသည်။

Distribution system များတွင် straight pipe loss မှာ total head loss ၏ 80% မှ 90% ဖြစ်သည်။ Valve နှင့် fitting loss မှာ 20% မှ 10% အတွင်း ဖြစ်သည်။ Pipe system များကို uniform pipe friction coefficient ဖြစ်အောင် အရွယ်အစား(pipe size) များကို ရွေးချယ်လေ့ ရှိသည်။

Hydronic system များ၏ ပိုက် အရွယ်အစား ရွေးချယ်ရာတွင် 0.5 to 3 ft per 100 ft သို့မဟုတ်(5 mm to 30 mm per m)ကို စံထား၍ ရွေးချယ်လေ့ ရှိသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ နေရာ အခက်အခဲ ရှိပါက friction loss ကို 5 ft per 100 ft အထိ တိုးကာ ပိုက်အရွယ်အစား ကို ရွေးချယ် နိုင်သည်။

1997 ASHRAE Handbook-Fundamentals အရ ပိုက်အရွယ်အစားရွေးချယ်ရန်(pipe sizing) အတွက်

- Max. 4 ft/sec velocity in pipe 2"
- Suggested 4 ft/sec velocity in pipes larger than 2" သတ်မှတ်ပေးထားသည်။

Central plant room ထဲတွင် valve များ၊ bend များ၊ fitting များစွာကို တွေ့မြင်နိုင်သည်။ Central plant room ထဲတွင် ပိုက်အဖြောင့် (straight pipe) မှာ မရှိသလောက် နည်းပါးသည်။

Hydronic pipe system များကို ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ရာတွင် အဆင့် (၂) ဆင့် ဖြင့် ပြုလုပ်လေ့ ရှိသည်။ ပထမ အဆင့် မှာ preliminary sizing ဖြစ်ပြီး ၊ ဒုတိယ အဆင့် မှာ detail head loss calculation နှင့် size revision ပြုလုပ်ခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

၁၀.၁၂ ပိုက် တွင်ဖြစ်ပေါ်သော Friction Loss များ

Friction losses သည် fluid viscosity နှင့် မတူညီသော အလျင် (velocity) ဖြင့်သွားနေသည့် မော်လီကျူးလေးများ တစ်ခုနှင့် တစ်ခုအကြားတွင် momentum များအပြန်အလှန်လက်ဆင့်ကမ်းမှုများကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ Friction losses သည် pipe သို့မဟုတ် duct အရှည်တစ်လျှောက်လုံးတွင် ဖြစ်ပေါ်သည်။

Pressure drop equation

Fully developed ဖြစ်ပြီးသား flow ၏ friction ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) ကို Darcy-Weisbach equiation ကို အသုံးပြု၍တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\Delta p = f\left(\frac{L}{D}\right).\left(\frac{\rho V^2}{2}\right)$$

IP ယူနစ်	SI ယူနစ်
Δp = pressure drop(ft) f= friction factor – dimensionless(from Moody Chart) L=Length of pipe(ft) D = Internal diameter of pipe(in) ρ = fluid density at mean temperature V =average velocity ft/s	Δp = pressure drop(Pa) f= friction factor – dimensionless(from Moody Chart) L= Length of pipe(m) D = Internal diameter of pipe(m) ρ = fluid density at mean temperature kg/m3 V =average velocity m/s

အထက်ပါ ညီမျှခြင်း (equation) ကို စွမ်းအင်ပုံစံ (energy form) ဖြင့် အောက်ပါအတိုင်း ပြောင်းလဲဖော်ပြနိုင်သည်။

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho g} = f\left(\frac{L}{D}\right).\left(\frac{\rho V^2}{2}\right)$$

Δh=energy loss(m)

g = acceleration of gravity , m/s2

Darcy-Weisbach Equiation သည် အရည် (fluid) များ ပိုက် သို့မဟုတ် duct အတွင်း၌ ဖြတ်သန်းစီးဆင်းသွားသည့်အခါ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု (pressure drop) ပမာဏကို တွက်ချက်သည့် အခါ တွင်ကျယ်စွာ အသုံးပြုသည်။ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure drop)သည် အရည်(fluid)များ၏ ပွတ်တိုက်မှုများ(friction)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ Darcy-Weisbach equitation ကို fully developed flow များအတွက်သာ အသုံးပြုနိုင်သည်။

ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure drop) ကိုရရန်အတွက် friction factor၊ pipe ၏ အရှည်၊ ပိုက်၏ အတွင်း အချင်း (diameter)၊ စီးဆင်းသွားသည့် fluid ၏ သိပ်သည်းဆ(density) နှင့် ပိုက်အတွင်းရှိ fluid ၏စီးသွားနှုန်း(velocity) တို့ကို သိရန်လိုအပ်သည်။ Friction factor ၏ တန်ဖိုးသည် ရရန် အခက်ခဲဆုံးသော ဂဏန်းတန်ဖိုးဖြစ်သည်။

The friction factor f is a function of pipe roughness ε, inside diameter D, and parameter Re, the Reynolds number:

$$\mathrm{Re} = DV\rho/\mu \qquad (3)$$

where

Re = Reynolds number, dimensionless
ε = absolute roughness of pipe wall, m
μ = dynamic viscosity of fluid, Pa·s

The friction factor is frequently presented on a Moody chart (Figure 13 in Chapter 2) giving f as a function of Re with ε/D as a parameter.

A useful fit of smooth and rough pipe data for the usual turbulent flow regime is the **Colebrook equation**:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.74 - 2\log\left(\frac{2\varepsilon}{D} + \frac{18.7}{\mathrm{Re}\sqrt{f}}\right) \qquad (4)$$

Another form of Equation (4) appears in Chapter 2, but the two are equivalent. Equation (4) is more useful in showing behavior at limiting cases—as ε/D approaches 0 (smooth limit), the $18.7/\mathrm{Re}\sqrt{f}$ term dominates; at high ε/D and Re (fully rough limit), the $2\varepsilon/D$ term dominates.

Equation (4) is implicit in f; that is, f appears on both sides, so a value for f is usually obtained iteratively.

Friction factor ၏ တန်ဖိုးသည် ပိုက်အတွင်းနံရံ ၏ ကြမ်းမှုချောမှု၊ pipe ၏ အတွင်း အချင်း(diameter)၊ Reynolds Number(ရေးနော့ နံပါတ်) နှင့် friction ၏ dynamic viscosity တို့ပေါ်တွင်မူတည်သည်။ ထိုအချက်အလက်များ ကို ထည့်သွင်းပြီး ဂဏန်းတွက်စက်ဖြင့် တွက်ချက်ခြင်း အလွန်အလုပ်ရှုပ်သော ကိစ္စဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ဂရပ်မှ ဖတ်ယူခြင်းသည် ပို၍လွယ်ကူသည်။

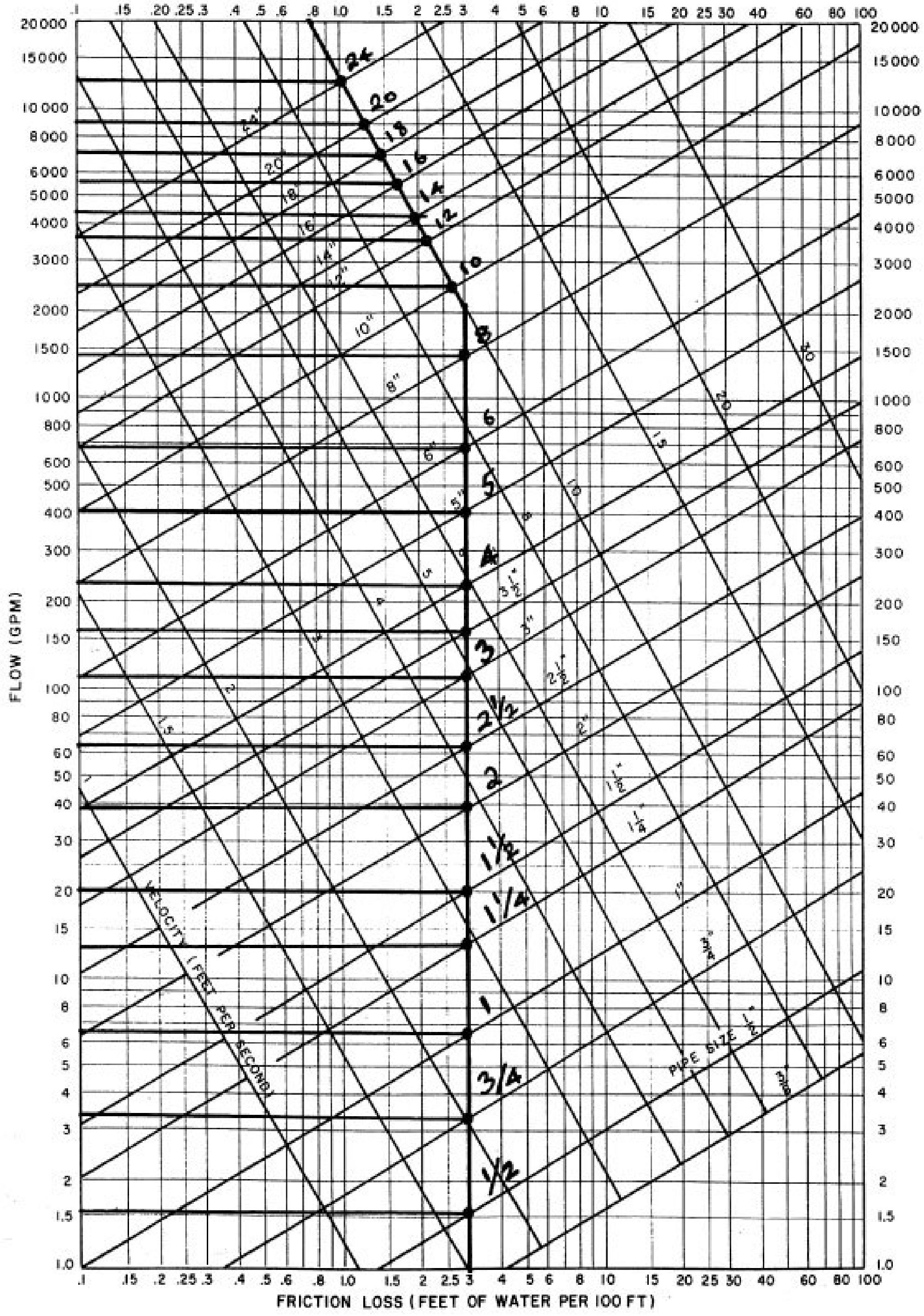
Air conditioning system အတွက် အသုံးများသော ပိုက်(၂) မျိုးရှိသည်။ Schedule 40 pipe နှင့် Galvanized Iron Class C (Class C GI pipe) တို့ ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် chilled water အတွက် schedule 40 pipe ဂရပ်မှ တန်ဖိုးများကို ဖတ်ယူခြင်းဖြင့် ပိုက်အတွင်းနံရံ ၏ ကြမ်းမှုချောမှု၊ ပိုက်အတွင်း အချင်း(diameter)၊ Reynolds Number(ရေးနော့ နံပါတ်)နှင့် friction ၏ dynamic viscosity အားလုံးကိုထည့်သွင်း တွက်ချက်ပြီးသား ဖြစ်သွားသည်။

အောက်တွင် ဖော်ပြထားသောပုံသည် closed system အတွက် ဖြစ်သည်။ Closed system သည် chiller water circuit သို့မဟုတ် chilled water ပိုက်များအတွက် ဖြစ်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။ ပိုက်အမျိုးအစားမှာ schedule 40

pipe ဖြစ်သည်။ Design criteria အဖြစ် ပေ(၁၀၀)ရှည်သည့်ပိုက်အတွက် friction loss 3 ft ကိုသာ လက်ခံမည် ဖြစ်သည်။ Fluid၏စီးသွားနှုန်း(velocity) သည် 10 ft/sec ထက် မကျော်လွန်ရန် ဖြစ်သည်။

အောက်ပါ ဂရပ်အရ အချင်း(diameter) (၁)လက်မရှိသော ပိုက်သည် စီးနှုန်း(flow rate) 7 GMP ကို လက်ခံနိုင်ပြီး ပိုက်အတွင်း စီးဆင်းသွားသည့် အလျှင်သည် 2.4 ft/sec ဖြစ်သည်။ အချင်း(diameter) (၂)လက်မ ရှိသောပိုက်သည် စီးနှုန်း(flow rate) 40 GMP ကို လက်ခံနိုင်ပြီး ပိုက်အတွင်းစီးဆင်း သွားသည့် အလျှင် (velocity) သည် 3.8 ft/Sec ဖြစ်သည်။

CLOSED SYSTEMS



Design Criteria:	**3' Frictional Pressure Drop per 100' Pipe Length with a Maximum Velocity of 10 ft/sec**
Figure - 1	Friction Loss for CLOSED Piping Systems: Schedule 40 Steel *Source: Carrier Systems Design*

အောက်ပါဇယားသည် schedule 40 steel pipe အတွင်း chilled water သို့မဟုတ် condenser water

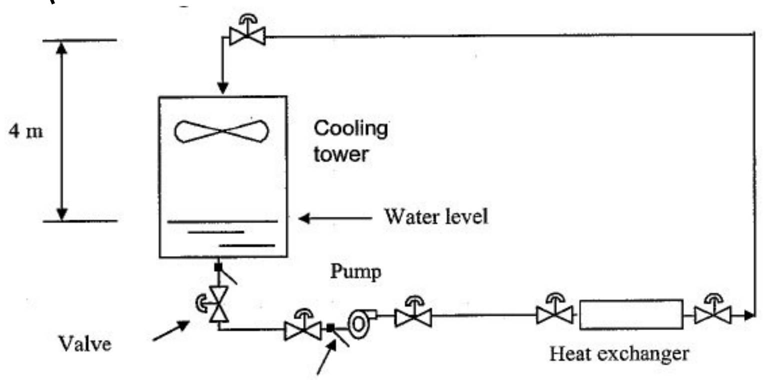
စီဆင်းမှုကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော velocity နှင့် pressure drop ၏ ဆက်စပ်မှုကိုဖော်ပြသည်။ Design colum သည် consultant များ၊ M&E engineer များ သုံးပြုလေ့ရှိသော recommended value ဖြစ်သော 3 ft of water pressuer drop per every 100ft of pipe run ကို အခြေခံ၍တွက်ချက်ထားသော colum ဖြစ်သည်။ သို့သော် Velocity in side the pipe သည် 10 ft/sec(3 m/sec) ထက်မပိုရပေ။

Pipe Sizing Criteria   Schedule 40 Steel   S-40 Steel

Design: 3'/100' PD , 10 fps max vel   High: 5'/100' PD , 12 fps max vel Maxim: 7'/100' PD , 15 fps max vel

Nominl	Outside	Wall	Inside		Design			High			Maxim	
Pipe	Diamete	hicknes	Diamete	P.D. per	Velocity	Flow	P.D. per	Velocity	Flow	P.D. per	Velocity	Flow
Size	(in)	(in)	(in)	100 ft	(ft/sec)	(gpm)	100 ft	(ft/sec)	(gpm)	100 ft	(ft/sec)	(gpm)
0.38	0.675	0.091	0.493	3.0	0.9	**0.5**	5.0	1.7	**1**	7.0	2.5	**1.5**
0.50	0.840	0.109	0.622	3.0	1.6	**1.5**	5.0	2.1	**2**	7.0	2.6	**2.5**
0.75	1.050	0.113	0.824	3.0	2.1	**3.5**	5.0	2.7	**4.5**	7.0	3.3	**5.5**
1.00	1.315	0.133	1.049	3.0	2.4	**6.5**	5.0	3.2	**8.5**	7.0	3.7	**10**
1.25	1.660	0.140	1.380	3.0	2.6	**12**	5.0	3.7	**17**	7.0	4.5	**21**
1.50	1.900	0.145	1.610	3.0	3.2	**20**	5.0	4.3	**27**	7.0	5.1	**32**
2.00	2.375	0.154	2.067	3.0	3.8	**40**	5.0	4.8	**50**	7.0	5.7	**60**
2.50	2.875	0.203	2.469	3.0	4.3	**65**	5.0	5.7	**85**	7.0	6.5	**97**
3.00	3.500	0.216	3.068	3.0	4.8	**110**	5.0	6.3	**145**	7.0	7.6	**175**
3.50	4.000	0.226	3.548	3.0	5.3	**160**	5.0	7.0	**200**	7.0	8.5	**250**
4.00	4.500	0.237	4.026	3.0	5.8	**230**	5.0	7.6	**300**	7.0	8.8	**350**
5.00	5.563	0.258	5.047	3.0	6.4	**400**	5.0	8.3	**520**	7.0	10.3	**640**
6.00	6.625	0.280	6.065	3.0	7.7	**690**	5.0	10.0	**900**	7.0	12.2	**1,100**
8.00	8.625	0.322	7.891	3.0	9.0	**1,400**	5.0	12.0	**1,900**	7.0	14.1	**2,200**
10.00	10.75	0.365	10.02	2.7	10.0	**2,500**	3.8	12.0	**3,000**	5.8	15.0	**3,700**
12.00	12.75	0.406	11.94	2.1	10.0	**3,500**	3.0	12.0	**4,200**	4.6	15.0	**5,200**
14.00	14.00	0.437	13.13	1.9	10.0	**4,200**	2.7	12.0	**5,100**	4.1	15.0	**6,300**
16.00	16.00	0.500	15.00	1.7	10.0	**5,500**	2.3	12.0	**6,600**	3.6	15.0	**8,300**
18.00	18.00	0.562	16.88	1.5	10.0	**7,000**	2.0	12.0	**8,400**	3.0	15.0	**10500**
20.00	20.00	0.593	18.81	1.3	10.0	**8,900**	1.8	12.0	**10400**	2.6	15.0	**13000**
22.00	22.00	1.250	20.75	1.1	10.0	**10500**	1.6	12.0	**12600**	2.4	15.0	**15700**
24.00	24.00	1.360	22.64	1.0	10.0	**12500**	1.4	12.0	**15000**	2.2	15.0	**18700**
26.00	26.00	0.750	25.25	0.9	10.0	**15500**	1.3	12.0	**18600**	2.1	15.0	**23300**
28.00	28.00	0.750	27.25	0.8	10.0	**18100**	1.2	12.0	**21700**	2.0	15.0	**27100**
30.00	30.00	0.750	29.25	0.7	10.0	**20800**	1.1	12.0	**25000**	1.9	15.0	**31300**
32.00	32.00	0.750	31.25	0.6	10.0	**23800**	1.0	12.0	**28500**	1.8	15.0	**35700**
34.00	34.00	0.750	33.25	0.5	10.0	**26900**	0.9	12.0	**32300**	1.7	15.0	**40400**
36.00	36.00	0.750	35.25	0.4	10.0	**30300**	0.8	12.0	**36300**	1.6	15.0	**45400**

၁၀.၁၃ Pump Sizing Example (Open System)



ပုံ ၁၀-

ဥပမာ- အထက်ပါပုံတွင်ဖော်ပြထားသော condenser water circuit အတွက် လိုအပ်သော pump head ကို တွက်ပါ။

Water flow rate =	450 CMH
Pipe diameter =	300mm
Pipe length =	100m
Number of Valves =	6(Gate Valves, fully open)
Number of Strainers =	2 take pressure loss to be the same as for the fully open globe valve
Number of pipe bends =	15(90 Deg Standard)
Pressure Drop across Heat Exchanger	5 m

ဤဥပမာတွင် pump head ကို တွက်ရန်အတွက် **Friction Losses** နှင့် **Dynamic losses** တစ်မျိုးချင်းစီကို တွက်ယူပြီး ပေါင်းရန်ဖြစ်သည်။

Friction Losses သည် pipe size(flow velocity)၊ pipe length နှင့် pipe material တို့ပေါ်တွင်မူတည်သည်။

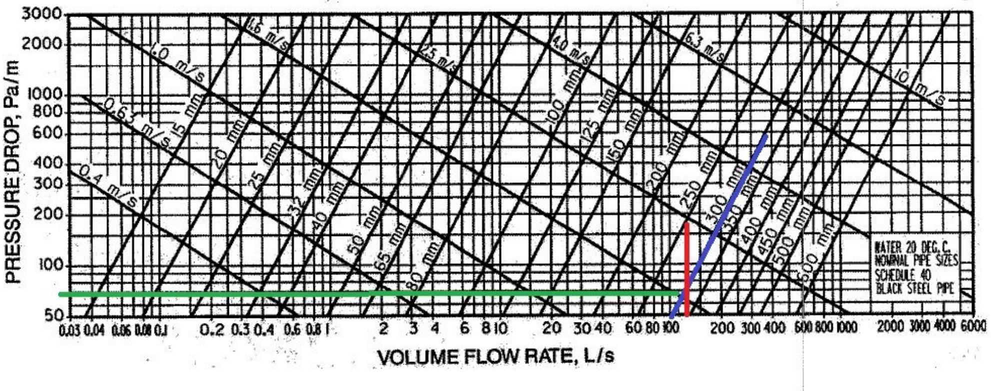
Dynamic losses သည် changes in flow area(Velocity)၊ chages in flow direction နှင့် obstructions တို့အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Friction losses ကို ASHRAE Handbook - Fundamental ၏ friction loss for water in commercial steel pipe chart မှ ဖတ်ယူသည့်နည်းဖြင့် တွက်ယူရန်ဖြစ်သည်။ Formula နှင့်လည်းတွက်ယူနိုင်သည်။

(က) Pipe diameter လိုင်းသည် ညာဘက်သို့စောင်းနေသော ကန့်လန့်ဖြတ်လိုင်းများဖြစ်သည်။ Pipe Diameter 300mm လိုင်းသည် အပြာလိုင်း ဖြစ်သည်။

(ခ) Water Flow rate = 450 CMH = 125 L/s - Volume Flow Rate(L/s) လိုင်းသည် ဒေါင်လိုက်လိုင်းများဖြစ်သည်။ Water Flow rate = 450 CMH = 125 L/s လိုင်းသည် အနီရောင်လိုင်း ဖြစ်သည်။

ထိုလိုင်းနှစ်လိုင်းဖြတ်မှတ်မှ အမှတ်(point) တစ်ခုကိုရသည်။ ထို point မှ pressure drop (အလျားလိုက် အစိမ်းရောင်လိုင်းမှ) 70Pa/m Pressure Drop ကို ရသည်။ Pipe Length = 100m x 70Pa/m = 7,000Pa သည် **Friction Losses.** ထို 300m ပိုက်ထဲတွင် 125 L/s - volume flow rate သွားလျှင် velocity မှာ 1.7m/sec ဖြစ်သည်။ Chart ပေါ်မှ ဘယ်ဘက်သို့ စောင်း စောင်းနေသော ကန့်လန့်ဖြတ်လိုင်း(Velocity လိုင်းမှ)ဖတ်ယူနိုင်သည်။



Ref. ASHRAE Handbook – Fundamentals (friction loss for water in commercial steel pipes)

Normal pipe design is for 150 Pa/m (1.5 ft wg / 100 ft)

Dynamic losses

Number of Valve = 6(Gate Valve, fully open)

Number of Stariner = 2(take pressuer loss to be the same as for fully open globe valve)

Number of pipe bends = 15(90 Degree Standard elbow)

$$\Delta P = K\,\rho\,\frac{V^2}{2}$$

ΔP = pressure loss in Pa

K = loss coefficient

V = Velocity (m/s)

ρ = density (kg/m³)

Nominal Pipe Dia., mm	90° Ell Reg.	90° Ell Long	45° Ell Long	Return Bend Standard	Return Bend Long-Radius	Tee-Line	Tee-Branch	Glove Valve	Gate Valve	Angle Valve	Swing Check Valve
25	0.43	0.41	0.22	0.43	0.43	0.26	1.0	13	—	4.8	2.0
32	0.41	0.37	0.22	0.41	0.38	0.25	0.95	12	—	3.7	2.0
40	0.40	0.35	0.21	0.40	0.35	0.23	0.90	10	—	3.0	2.0
50	0.38	0.30	0.20	0.38	0.30	0.20	0.84	9	0.34	2.5	2.0
65	0.35	0.28	0.19	0.35	0.27	0.18	0.79	8	0.27	2.3	2.0
80	0.34	0.25	0.18	0.34	0.25	0.17	0.76	7	0.22	2.2	2.0
100	0.31	0.22	0.18	0.31	0.22	0.15	0.70	6.5	0.16	2.1	2.0
150	0.29	0.18	0.17	0.29	0.18	0.12	0.62	6	0.10	2.1	2.0
200	0.27	0.16	0.17	0.27	0.15	0.10	0.58	5.7	0.08	2.1	2.0
250	0.25	0.14	0.16	0.25	0.14	0.09	0.53	5.7	0.06	2.1	2.0
300	0.24	0.13	0.16	0.24	0.13	0.08	0.50	5.7	0.05	2.1	2.0

(က) Fully Open Gate Valve (၆) ခု၏ ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) တွက်ပါ။

Number of Valve = 6(Gate Valve, fully open)

Fully opened gate valve ၏ K တန်ဖိုး မှာ အထက်ပါ ဇယားမှာ 300mm ပိုက် ကြည့်လျှင် **0.05**ဖြစ်သည်။

$$\boldsymbol{Pressure\ drop\ for\ fully\ opened\ Gate\ valve\ =\ K\ x\ density\ of\ water\ x\ \frac{(Velocity)^2}{2}}$$

Pressure drop for fully opened gate valve = 0.05 x 1000 kg/ cu m x 1.7 m/s x 1.7 m/s/ 2

= 72.25Pa/Gate Valve

Fully opened gate valve တစ်ခု၏ ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) မှာ 72.25Pa ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့် 6 Valves x 72.25Pa/Gate Valve = 433.50Pa for 6 no. of fully opened gate valve

(ခ) Strainer (၂) ခု၏ ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) တွက်ပါ။

(Strainer၏ pressure drop သည် fully opened globe valve ၏ pressure drop နှင့် တူညီသည်ဟု ယူဆ၍ တွက်သည်။)

Number of Strainer = 2

fully opened globe valve ၏ K တန်ဘိုး မှာ အထက်ပါ ဇယားမှာ 300mm ပိုက် ကြည့်လျှင် **0.24**ဖြစ်သည်။

$$\textbf{Pressure drop for fully opened globe valve} = \textbf{K x density of water x} \frac{(\textbf{Velocity})^2}{\textbf{2}}$$

Pressure drop for fully opened globe valve = 0.24 x 1000 kg/ cu m x 1.7 m/s x 1.7 m/s/ 2

= 8236.5Pa/ globe valve

fully opened globe valve သို့မဟုတ် Strainer တစ်ခု၏ pressure drop မှာ 346.8 Pa ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့် 2 Strainer x 8236.5Pa = 16473.00 Pa for 2 no. of Strainer

(ဂ) 90° Elbow(Standard သို့ မဟုတ် Regular) (၁၅) ခု၏ ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) တွက်ပါ။

Number of pipe bends = 15(90 Degree Standard elbow)

Pressure drop for Regular(std) 90° Elbow ၏ K တန်ဖိုး မှာ အထက်ပါ ဇယားမှာ 300mm ပိုက် ကြည့်လျှင် 5.7 ဖြစ်သည်။

$$\textbf{Pressure drop for } \mathbf{90^\circ} \textbf{ Stadard Elbow} = \textbf{K x density of water x} \frac{(\textbf{Velocity})^2}{\textbf{2}}$$

Pressure drop for standard 90° elbow = 5.7 x 1000 kg/ cu m x 1.7 m/s x 1.7 m/s/ 2

= 346.8 Pa/ elbow

Standard 90° elbow တစ်ခု၏ ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) မှာ 346.8 Pa ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့် 15 elbow x 346.8 Pa/ elbow = 5202 Pa for 15 no. of standard 90° elbow

Pipe Dia 300mm		K Value	Density	Velocity Square/ 2 = (1.7*1.7)/2	Dynamic Loss (Pa) per fitting	No of Fitting	Dynamic Loss (Pa)
	Fully Opend Gate Valve	0.05	1000	1.445	72.25	6	433.50
	Fully Opend Gate Valve	5.7	1000	1.445	8236.5	2	16,473.00
Dynami Loss	90 Deg Std Elbow	0.24	1000	1.445	346.8	15	5,202.00
					Total Dynamic Losses		**22,108.50**

Pressure losses across heat exchanger= High of Water(H) x Density of Water x G

= 5m x 1000 x 9.8m = 49,000 Pa

Cooling tower static head = High of water(H) x density of water x G

= 4m x 1000 x 9.8m = 39,200 Pa

Type of Pressuer Loss	Pressure Loss (Pa)
Friction Losses 70Pa/m x 100m= 7000Pa	7,000.00
Dynamic Loss	22,108.00
Pressuer losses across heat exchanger= 5m x 1000 x 9.8m	49,000.00
Cooling Tower static Head	39,200.00
Total Pressure Loss for Pump	117,308.00
Pump Head in meter of water	11.97

ပုံစွာတွင် pipe diameter မပေးထားခဲ့လျှင်

(က) Chart မှဖတ်ယူသည့်နည်းဖြင့်တွက်ယူရန် ဒီဇိုင်းဖိအားကျဆင်းမှု (Design Pressure Drop) (သို့မဟုတ် Friction loss) ကို ပိုက်(၁) မီတာလျှင် 150Pa(150Pa/m) ကို အခြေခံ၍တွက်ချက်မည်ဖြစ်သည်။ 150Pa/m design pressure drop သည်(1.5ft/100ft) တပ်ဆင်ထားသည် ပိုက်100ပေလျှင် 1.5ft of water pressure drop နှင့်တူညီသည်။

(ခ) Water Flow rate = 450 CMH = 125 L/s

(ဂ) Pressure drop လိုင်းသည် အလျားလိုက်လိုင်းများဖြစ်သည်။ Volume flow rate(L/s) လိုင်းသည် ဒေါင်လိုက်လိုင်းများဖြစ်သည်။ 150Pa/mကို အလျားလိုက်လိုင်းမှ 125 L/s ကိုဒေါင်လိုက်လိုင်းမှ chart ပေါ်မှာဖတ်လျှင် pipe diameter ကိုရရှိနိုင်သည်။

-End-

Contents

၁၀.၁ Components in a Hydronic System 1

၁၀.၂ Hydronic Piping System အမျိုးအစားများ 1

၁၀.၃ Four Pipe System ၏ အားသာချက်များ 3

၁၀.၄ Properties of Water (ရေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ) 5

၁၀.၅ Water Hammer ဖြစ်ခြင်း 7

၁၀.၆ Stratification ဖြစ်ခြင်း 8

၁၀.၇ ဆူညံသံများ(Noise) ဖြစ်ပေါ်ခြင်း 8

၁၀.၈ Flow အမျိုးအစားများ 9

၁၀.၉ Laminar flow 10

၁၀.၁၀ Turbulence Flow 11

၁၀.၁၁ ပိုက်အရွယ်အစားရွေးချယ်ရန် အခြေခံအချက်များ(Basic of Pipe Sizing) 12

၁၀.၁၂ ပိုက် တွင်ဖြစ်ပေါ်သော Friction Loss များ 13

၁၀.၁၃ Pump Sizing Example (Open System) 18