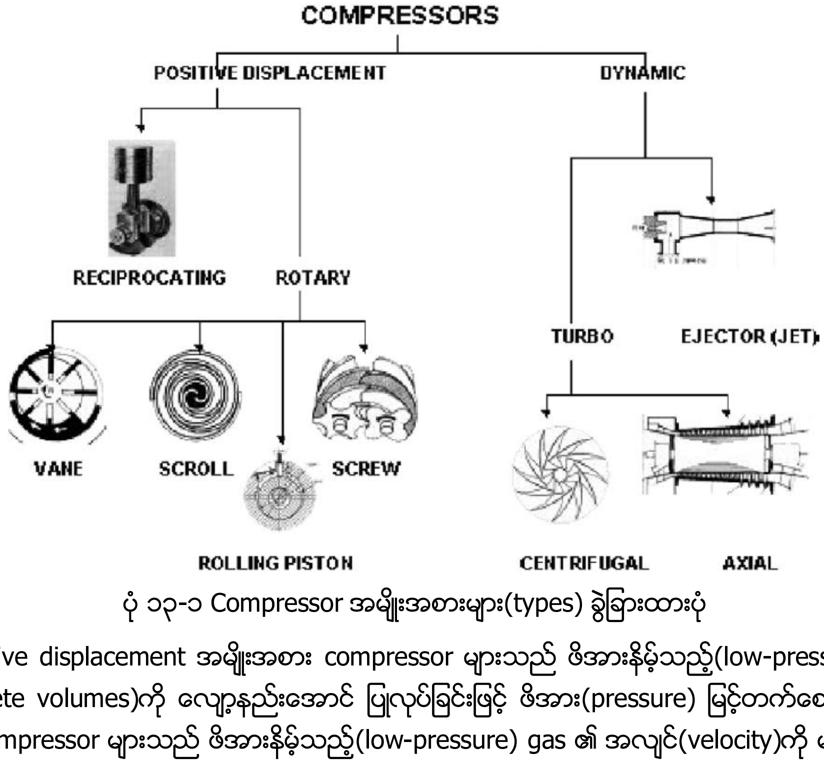
Chapter-13 Reciprocating Compressors and Chillers

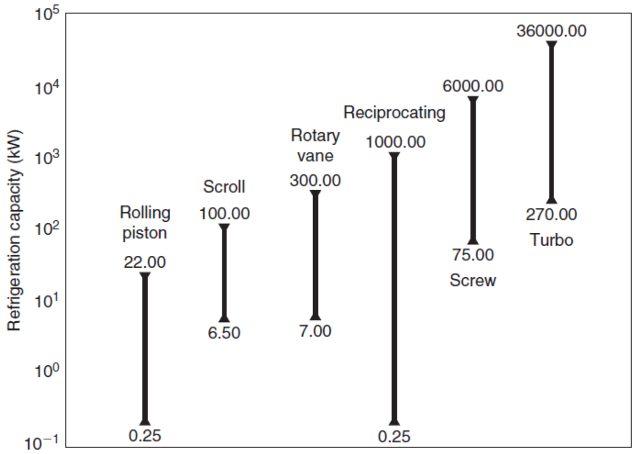
၁၃.၁ Introduction

Vapor compression cycle များတွင် ပါဝင်သည့် compressor များသည် evaporator မှ ထွက်လာသော ဖိအားနိမ့်သည့်(low-pressure) refrigerant အငွေ့(vapor)များကို ဖိအား မြင့်တက်အောင် ဖိသိပ်(compress) ပေးသည်။ ပုံ(၁၃-၁)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း compressor များကို positive displacement နှင့် dynamic ဟူ၍ နှစ်မျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။



ပုံ ၁၃-၁ Compressor အမျိုးအစားများ(types) ခွဲခြားထားပုံ

Positive displacement အမျိုးအစား compressor များသည် ဖိအားနိမ့်သည့်(low-pressure) gas များ၏ ထုထည်(discrete volumes)ကို လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် ဖိအား(pressure) မြင့်တက်စေသည်။ Dynamic အမျိုးအစား compressor များသည် ဖိအားနိမ့်သည့်(low-pressure) gas ၏ အလျင်(velocity)ကို များအောင် ပြုလုပ်ပြီးနောက် လျော့ချခြင်းဖြင့် ဖိအား(pressure)ကို မြင့်တက်စေသည်။



ပုံ ၁၃-၂ Approximate range of capacity covered by various compressor types

ပုံ(၁၃-၂)တွင် compressor အမျိုးမျိုးတို့မှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် refrigeration capacity များကို ဖော်ပြထားသည်။ Reciprocating compressor သို့မဟုတ် piston compressor များသည် နားလည်ရန် အလွယ်ကူဆုံး အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ ၁၉ရာစုနှစ် အလယ်ပိုင်း(middle of the 19th century)လောက်မှ စတင်၍ ပထမဦးဆုံး refrigeration piston compressor ကို စတင် တီထွင်ခဲ့ကြသည်။ ထိုအချိန်က compressor များသည် double acting အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။ ဓာတ်ငွေ့(gas)လုံအောင် မပြုလုပ်နိုင်သောကြောင့် single-acting အမျိုးအစားများကို တီထွင်ခဲ့ကြသည်။

ပုံ ၁၃-၃ Semi-hermetic compressor pack

Reciprocating compressor ဒီဇိုင်းသည် လုံးဝဖွံ့ဖြိုးတိုးတက်ပြီး ဖြစ်သည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။ အသေးစား (small) နှင့် အလတ်စား(medium size) refrigeration system များတွင် reciprocating compressor များကို တွင်ကျယ်စွာ အသုံးပြုကြသည်။ သို့သော် ယနေ့ခေတ်တွင် reciprocating compressor များနေရာတွင် rotary ၊ scroll နှင့် screw compressor များဖြင့် တစ်စတစ်စ အစားထိုး လဲလှယ်မှုများ ပြုလုပ်လာကြသည်။

၁၃.၂ တည်ဆောက်ပုံ(၃)မျိုး

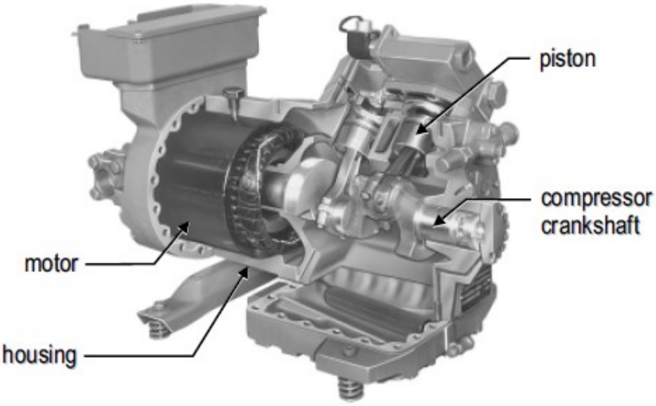
တည်ဆောက်မှု အပေါ်မူတည်၍ သုံးမျိုး ထပ်မံ ခွဲခြားသည်။ (က) hermetic type (ခ) semi-hermetic type နှင့် (ဂ) open type တို့ ဖြစ်သည်။

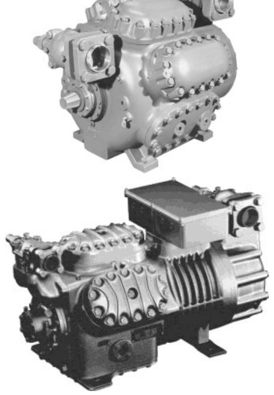
Semi-hermetic reciprocating compressor များကို ပုံ(၁၃-၄)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Compressor အခွံ (enclosure)အတွင်း၌ cylinder ၊ pistons ၊ crankshaff ၊ main bearing ၊ oil sump ၊ crank case နှင့် hermetic motor တို့ ရှိနေသည်။ Crankcase သည် reciprocating compressor ၏ အိမ်(housing) ၏ အောက်ခြေတွင် တည်ရှိသည်။ Crankshaft ထားရှိရာ နေရာ၏ အောက်ဘက်ဖြစ်သည်။

ပုံ ၁၃-၄ Semi-hermetic piston compressor

၁၃.၂.၁ Enclosed Motor သို့မဟုတ် Hermetic Compressors

Open-drive compressor ရှိ shaft gland နေရာမှ refrigerant များ ယိုစိမ့်ခြင်း(leakage) မဖြစ်စေရန် အတွက် compressor နှင့် မော်တာ အများစုကို လုံအောင်ပိတ်(enclosed) ထားလေ့ရှိသည်။ Working fluid နှင့် အဆင်ပြေ သင့်လျော်သည့်ပစ္စည်းများဖြင့် လျှပ်စစ်မော်တာကို တည်ဆောက်ထားသည်။ အားကောင်းသည့်(dielectric strength) ပစ္စည်းဖြင့် လျှပ်စစ် မော်တာကို တည်ဆောက်ထားသည်။





ပုံ ၁၃-၅(က) Semi-hermetic piston compressor အတွင်းပိုင်းပုံ   (ခ) Semi-hermetic piston compressors

ပုံ(၁၃-၅)တွင် semi-hermetic သို့မဟုတ် accessible-hermetic compressor ကို ဖော်ပြထားသည်။ Hermetic ၏ အဓိပ္ပာယ်သည် compressor နှင့် မော်တာ တို့ကို အလုံပိတ်ထားသည့် enclosure အတွင်း ထည့်သွင်း တပ်ဆင်ထားသည်ဟု ဆိုလိုသည်။ Semi သို့မဟုတ် accessible ၏ အဓိပ္ပာယ်မှာ အလိုရှိသည့်အခါ ဖွင့်၍ ရအောင် ပြုလုပ်ထားသည်ဟု ဆိုလိုသည်။ သို့သော် ခက်ခဲသည်။ Semi-hermetic compressor များကို accessible hermetic compressor များဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ လျှပ်စစ်ဝါယာကြိုးများသည် ceramic သို့မဟုတ် glass seal များကို ဖြတ်၍ မော်တာ အတွင်းပိုင်းသို့ ဝင်ရောက်ရသည်။ ဈေးကွက်တွင် အရွယ်အစား အမျိုးမျိုးကို ဝယ်ယူ ရရှိနိုင်သည်။ Refrigerant မှ အအေးဓာတ်ဖြင့် မော်တာကို အေးစေသောကြောင့် အရွယ်အစား ပိုသေးငယ်အောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Starting switch များကို crankcase အပြင်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် starting switch များမှ မီးပွင့်(spark)များ ဖြစ်ပေါ်ခဲ့လျှင် refrigerant များ နှင့် ထိတွေ့ကာ ဓာတ်ပြိုကွဲခြင်း(decom-position) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

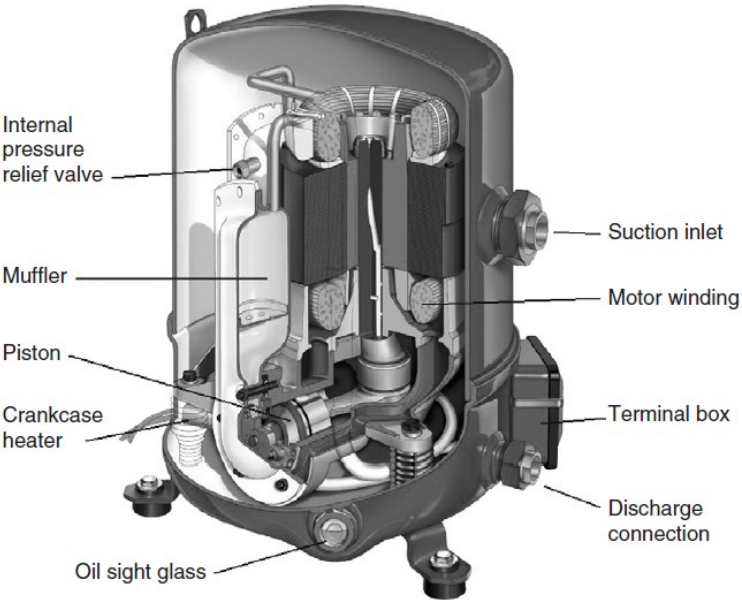
Hermetic အမျိုးအစား(type)တွင် မော်တာနှင့် compressor ကို ဖွင့်၍မရအောင် ပြုလုပ်ထားသည့် အခွံ (enclosure)အတွင်း၌ ထည့်သွင်း တည်ဆောက်ထားသည်။ မော်တာ၏ rotor နှင့် compressor ၏ crankshaft ကို ဖိအားသုံးပြီး ဆက်သည့်နည်း(press fit)ဖြင့် တပ်ဆင်ထားသည်။ တချို့ပုံစံများတွင် မော်တာကို အပေါ်ဘက်တွင် ထား၍ တချို့တွင် compressor ၏ အောက်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။

Compressor body အတွင်း စပရိန်များ ခံ၍ တပ်ဆင်ထားသဖြင့် တုန်ခါမှုကို လျော့နည်းစေသည်။ Exhaust နှင့် suction line များကို compressor body အတွင်း လှုပ်ရှားမှုဒဏ် ခံနိုင်စေရန် ပြုလုပ်၍ တပ်ဆင်ထားသည်။ လျှပ်စစ်ဝါယာကြိုးအဆက်(connection)နေရာများကို မယိုစိမ့်နိုင်သည့်(leakproof) seal များခံ၍ အခွံ(enclosure)

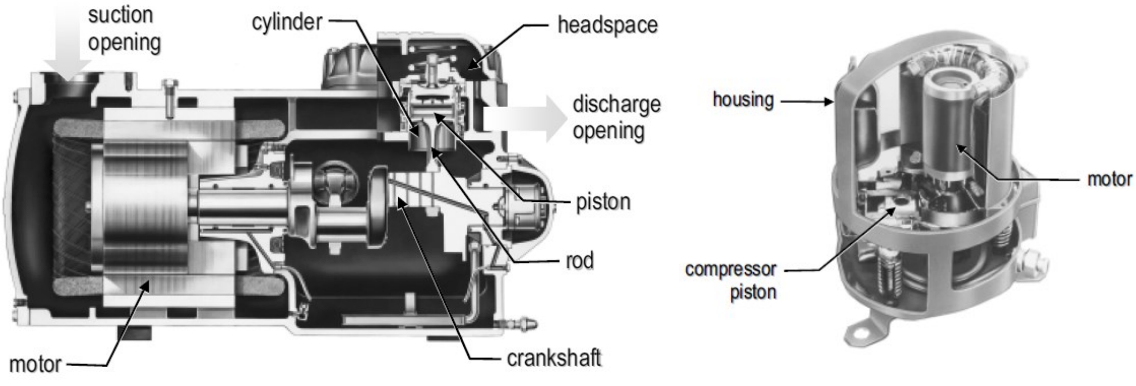
အပြင်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ အခွံ(enclosure)အတွင်း ချောဆီ (oil)များ ထည့်သွင်းထားပြီး crankshaft မှတစ်ဆင့် connecting rod နှင့် piston ဆီသို့ ချောဆီများ ပို့ပေးသည်။

Hermetic အမျိုးအစား(type)ကို သေးငယ်သော အိမ်သုံး air conditioning နှင့် refrigerator များတွင် အသုံးများသည်။ ထုတ်လုပ်မှု စရိတ် နည်းပါးခြင်း၊ အရွယ်အစား သေးငယ်ကျစ်လျစ်ခြင်း၊ တပ်ဆင်ရန် လွယ်ကူခြင်း၊ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance) ပြုလုပ်ရန် မလိုအပ်ခြင်း၊ ပျက်စီးလျှင် ပြုပြင်ရန် မလိုဘဲ အစားထိုး လဲလှယ်ရန် လွယ်ကူခြင်း စသည့် အားသာချက်များနှင့် ပြည့်စုံသည်။

Hermetic compressor ကို အသုံးပြုမည်ဆိုပါက မော်တာအပြင်ဘက်တွင် မော်တာစမောင်းရန် ရီလေး (electrical relay starting mechanism)တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ တချို့ compressor ၏ မော်တာသည် မြန်နှုန်း(speed) နှစ်မျိုးဖြင့် မောင်းနိုင်သည်။ Heat load ပြောင်းလဲမှုများသည့် လုပ်ငန်းများအတွက် မြန်နှုန်း(speed) နှစ်မျိုးဖြင့် မောင်းရန် သင့်လျော်သည်။



ပုံ ၁၃-၆ Hermetic piston compressor



ပုံ ၁၃-၇ Hermetic reciprocating compressor

အရွယ်အစား သေးငယ်သည့် compressor များကို hermetic compressor များအဖြစ် ထုတ်လုပ်ကြသည်။ ပုံ(၁၃-၇)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း hermetic compressor များတွင် မော်တာ နှင့်အတူ အလုပ်လုပ်နေသည့် အစိတ်အပိုင်းများ အားလုံးကို စတီးအခွံ(steel shell) အတွင်း၌ ထည့်သွင်း၍ ပြုလုပ်ထားသည်။ ထို steel shell ကို ဖွင့်၍ ပြုပြင်ခြင်း(repair) နှင့် ထိန်းသိမ်းခြင်း(maintenance) ပြုလုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

Cooling capacity 10kW(2.8RT)အထိ ကြီးမားသည့် အိမ်သုံး ရေခဲသေတ္တာ(refrigerator)များနှင့် freezer များတွင် hermetic compressor များကိုသာ တပ်ဆင်ကြသည်။ Hermetic compressor များသည် semi-hermetic များထက် ပို၍ အရွယ်အစား သေးငယ်ပြီး၊ ပို၍ ပေါ့ပါးသည်။ Two-pole synchronous မော်တာ(motor) များကို အသုံးပြုထားသည်။ Semi-hermetic compressor များတွင် single-phase ၊ four-pole မော်တာများကို အသုံးပြုထားသည်။

Hermetic compressor တွင် မော်တာကို အတွင်း၌ ထည့်ထားသောကြောင့် မော်တာပျက်သည့်အခါ refrigerant များ ဓာတ်ပြိုကွဲခြင်း၊ system အတွင်း၌ အညစ်အကြေးများ(contamination) ဆိုးဝါးစွာပျံ့နှံ့ခြင်းစသည်တို့ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ မော်တာမပျက်စီးခင် အချိန်မီ ကြိုတင်ကာကွယ်နိုင်ရန်အတွက် ကိရိယာ(motor protection device)များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

၁၃.၂.၂ Semi-Hermetic Compressors

Compressor နှင့် မော်တာကို တစ်ဆက်တည်းဖြစ်အောင် တည်ဆောက်၍ လေလုံအောင် ပြုလုပ်ထားသော်လည်း လိုအပ်လျှင် ဖြုတ်၍၊ တပ်၍ ရနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ Open type compressor သည် ဖြုတ်တပ်ရန် လွယ်ကူသော်လည်း crankshaft seal မလုံပါက ဓာတ်ငွေ့ယိုစိမ့်မှုများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ထို့အတူ hermetic type များကို ဖွင့်၍ ပြုပြင်ရန် မလွယ်ကူပေ။ Semi-hermetic အမျိုးအစားများမှာ ထိုအားနည်းချက်များ မရှိဘဲ 1/4 H.P မှ 100 H.P အထိ အသုံးပြုနိုင်သည်။

Compressor များ အေးစေရန်အတွက် compressor နှင့် မော်တာ တို့တွင် cooling fin များ တပ်ဆင်ထားသည်။ ထို့ပြင် compressor အတွင်း ချောဆီ၏ အမြင့်(level)ကို မြင်နိုင်ရန် sight glass ထားရှိပြီး ဆီထည့်ရန်အတွက် oil filling plug တပ်ဆင်ထားသည်။

System များ ရပ်ထားချိန်တွင် တစ်ခါတစ်ရံ evaporator အတွင်းမှ refrigerant အရည်များသည် crankcase အတွင်းသို့ ရောက်ရှိသွားကာ ချောဆီများနှင့် ရောနှောနေတတ်သည်။ ထိုအချိန်၌ ချောဆီ ကျဲနေသဖြင့် compressor မလည်ပတ်မီ refrigerant အရည်များ ပြန်လည် ခွဲထွက်သွားအောင် ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် ချောဆီနှင့် ရောနေသည့် refrigerant ဖယ်ရှားရန်အတွက် အငွေ့ပျံသွားစေရန် အပူပေးမည့် crankcase heater ကို တပ်ဆင်ထားသည်။

၁၃.၂.၃ Open Compressors

Open compressor သည် external drive များဖြင့် မောင်းသည့် compressor ဖြစ်ပြီး ဝင်ရိုး(shaft)သည် crankcase အတွင်းမှ ထွက်လာသည့်နေရာတွင် refrigenat ယိုစိမ့်မှု မဖြစ်စေရန်အတွက် gland သို့မဟုတ် seal များ ပါရှိရန် လိုအပ်သည်။

Air-cooled မော်တာကို prime mover အဖြစ် အသုံးပြု၍ compressor ကို မောင်းခြင်း ဖြစ်သည်။ အမိုးနီးယား(Ammonia)ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုလျှင် open-drive compressor ကိုသာ မဖြစ်မနေ အသုံးပြုရသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် လျှပ်စစ်မော်တာ(electric motor)အတွင်းရှိ ကြေးသတ္တု(copper)သည် အမိုးနီးယား(Ammonia)နှင့် ဓာတ်ပြုနိုင်သောကြောင့် hermetic compressor ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

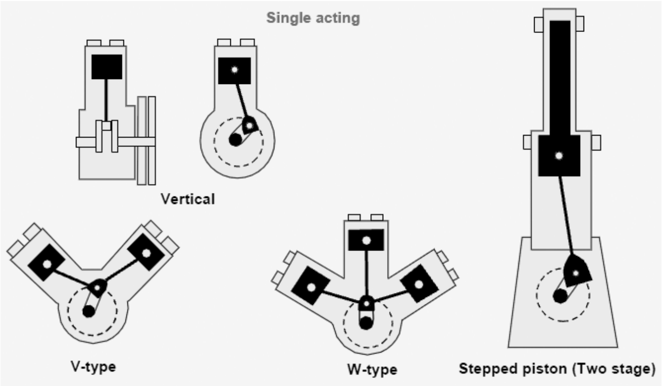
လျှပ်စစ်မော်တာ(electric motor) နှင့် compressor ကို တိုက်ရိုက်ဆက်သွယ်မောင်း(direct coupling) နိုင်သည် သို့မဟုတ် ဘဲလ်ကြိုးဖြင့်မောင်း(belt driven) နိုင်သည်။ Open-drive compressor များတွင် ပါရှိရမည့် shaft seal ကို လည်နေသည့် carbon ring နှင့် လုံးဝ ပြောင်ချောနေအောင် စက်ဖြင့် ချောထားသည့် သတ္တုကွင်း (highly polished metal facing ring) တို့ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ ထိုနှစ်ခုအကြားကို ချောဆီဖြင့် ကောင်းစွာ ချောမွတ်စေရမည်။ Crankcase အတွင်းရှိ ဖိအား(pressure)ကို ခံနိုင်ရည်ရှိရန် နှင့် ဝင်ရိုး(shaft)၏ အနည်းငယ် ရွေ့လျားနိုင်ရန်အတွက် carbon ring ကို စပရိန်(spring)ဖြင့် ထောက်ကန်ထားပေးသည်။

Open type တွင် compressor ကို သီးခြား တည်ဆောက်၍ အင်ဂျင် သို့မဟုတ် မော်တာ စသော ပြင်ပမှ စွမ်းအားဖြင့် မောင်းပေးသည်။ Compressor ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို လိုအပ်သလို ပြောင်းလဲနိုင်သဖြင့် အရွယ်အစား ကြီးမားသော plant များတွင် အသုံးပြုကြသည်။ Compressor ကို သီးခြား တည်ဆောက်ထားသောကြောင့် ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းရန် လွယ်ကူသည်။ သို့သော် crankshaft seal မလုံပါက အတွင်းမှ ဓာတ်ငွေ့များအပြင်သို့ စိမ့်ထွက်ပြီး refrigerant ဆုံးရှုံးမှုများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

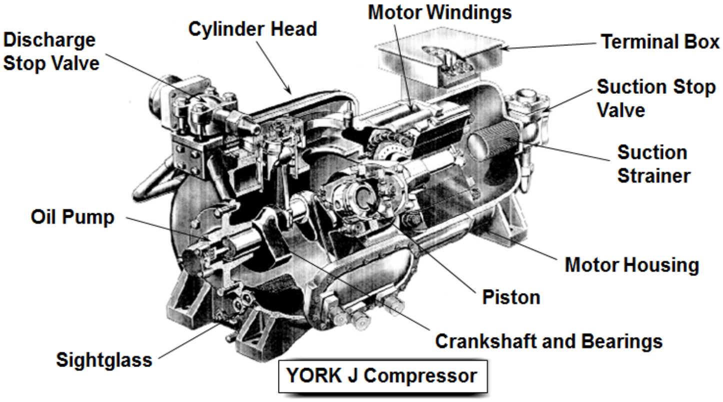
၁၃.၃ Reciprocating Refrigeration System Components and Accessories

၁၃.၃.၁ Cylinder and Cylinder Arrangement

Compressor များတွင် အသုံးပြုသော ဆလင်ဒါများကို အများအားဖြင့် cast iron ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ တချို့ဆလင်ဒါများကို သံရည်ကျိုစဉ်က နီကယ်(nickel) အနည်းငယ်ထည့်၍ သွန်းလောင်းကြသည်။ သေးငယ်သော compressor များတွင် ဆလင်ဒါပတ်လည်၌ fin များ တပ်ထားပြီး လေဖြင့် အေးစေသည်။ ကြီးမားသော compressor များတွင် ဆလင်ဒါပတ်ပတ်လည်၌ water jacket များ ပြုလုပ်၍ compressor ကို ရေဖြင့် အေးစေသည်။ တချို့ compressor များတွင် လိုင်နာ(liner) သို့မဟုတ် sleeve များ တပ်ဆင်ထားသဖြင့် ပွန်းစားမှု ဖြစ်ပေါ်ပါက ဖြုတ်၍ လဲလှယ် နိုင်သည်။



ပုံ ၁၃-၈ Single acting reciprocating air compressors



ပုံ ၁၃-၁၀ Reciprocating compressor (York J compressor)

Crankcase သည် ဆလင်ဒါနှင့်အတူ ပုံသွန်းလောင်းထားသည့် အစိတ်အပိုင်းဖြစ်သည်။ ဆက်ထားသည့် နေရာတွင် ဓာတ်ငွေ့ ယိုစိမ့်နိုင်သည်။ Crankshaft main bearing နှင့် ဆလင်ဒါ တို့မှာ alignment တည့်ရန် လိုသည်။ Main bearing များသည် ball type များဖြစ်ကြသည်။

Hermetic compressor များတွင် cast iron ဆလင်ဒါများကို အလျူမီနီယံ သို့မဟုတ် တခြားသတ္တုများနှင့် ရောနှော၍ ပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။ Bolted type hermetic compressor ဖြစ်ပါက ပြုပြင်ရန်အတွက် အလွယ်တကူ ဖြုတ်နိုင်၊ တပ်နိုင်သည်။

၁၃.၃.၂ Arrangement

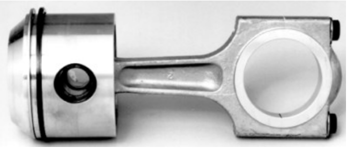
Compressor အများစုကို တစ်လုံးထက် ပိုများသည့် ဆလင်ဒါများဖြင့် တည်ဆောက်ထားကြသည်။ ထို့ကြောင့် crankshaft နှင့် ဆလင်ဒါများကို ကျစ်လျစ်(compact)အောင် စီမံ တည်ဆောက်ထားသည်။

၁၃.၃.၃ Piston and Piston Ring

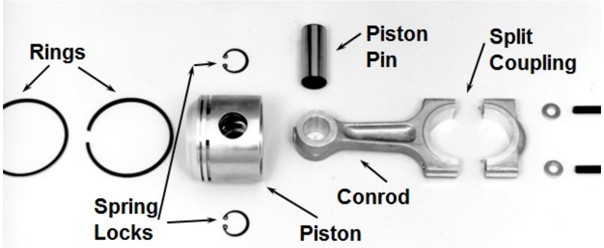
ပြင်ပမှ မော်တာ သို့မဟုတ် အင်ဂျင်ဖြင့် မောင်းသည့်(external drive) compressor များတွင် အသုံးပြုသော ပင်စတင်များကို cast iron ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ သေးငယ်ပြီး မြန်နှုန်းမြင့်မားသော hermetic compressor များကို Die-Cast aluminum ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ သေးငယ်သော ပင်စတင်များတွင် piston ring များ မပါရှိပေ။

မောင်းနေချိန်တွင် ပင်စတင်၏ အပူချိန်သည် 250°F(121°C)ခန့် ဖြစ်နိုင်သည်။ ထိုအပူချိန်၌ ပင်စတင် သို့မဟုတ် ဆလင်ဒါသည် ကျယ်ပြန့်ခြင်း မဖြစ်နိုင်ပေ။ သို့သော် ဆလင်ဒါအချင်း တစ်လက်မ(1") ရှိတိုင်း ဆလင်ဒါနှင့် ပင်စတင်အကြား လွတ်နေသည့်နေရာ(clearance) အကျယ်သည် 0.0002 inch(0.0051 mm)ခန့် ဖြစ်သည်။

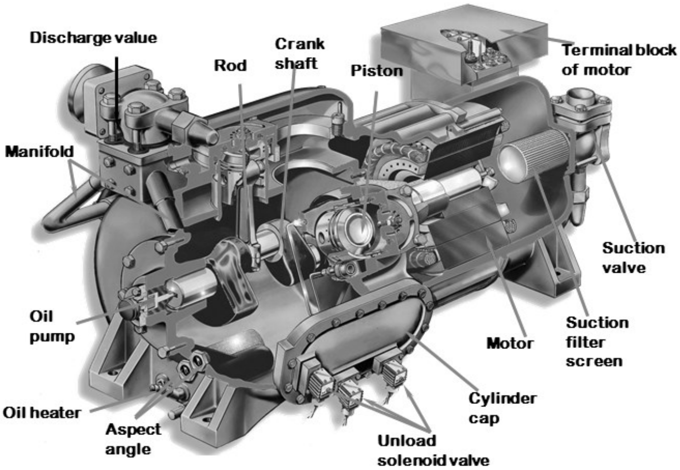
ပုံ ၁၃-၁၁ Connecting rod



ပုံ ၁၃-၁၂ Connecting rod and piston



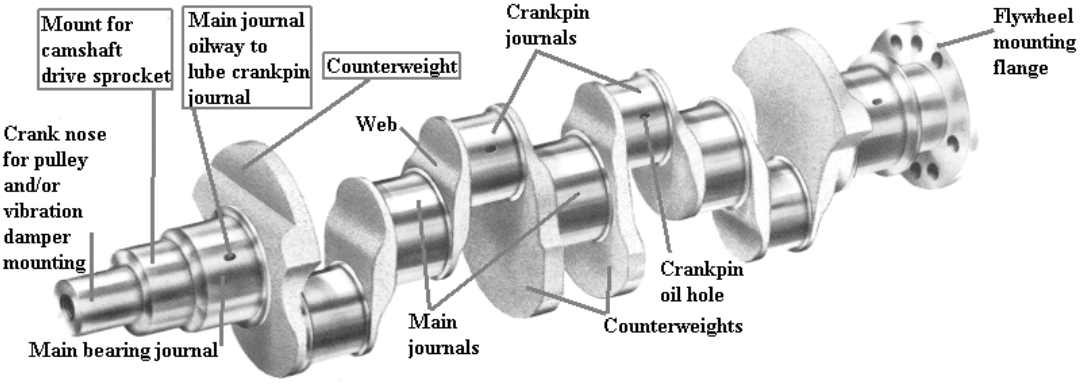
ပုံ ၁၃-၁၃ Connecting rod and piston assembly



ပုံ ၁၃-၁၄ Reciprocating compressor

ပင်စတင်အသေးများတွင် ချောဆီများ လည်ပတ်ရန် ဆီလိုင်းများ ထွင်းထားသည်။ လုပ်ငန်းသုံး(commercial) ပင်စတင်များတွင် ပင်စတင်ကွင်း(piston ring)များ တပ်ဆင်ထားသည်။ Piston ring နှစ်မျိုး ရှိသည်။ အပေါ်ဘက်ရှိ ကွင်း(ring)သည် "**compression ring**" ဖြစ်ပြီး အောက်ဘက်ရှိကွင်း(ring)သည် ချောဆီများကို ခြစ်ချသော "**oil ring**" ဖြစ်သည်။ Piston ring များကို cast iron ဖြင့် ပြုလုပ်ပြီး တချို့တွင် ကြေး(bronze)ကို အသုံးပြုသည်။ ပင်စတင်ကွင်း (piston ring)များကို မြောင်းများ အတွင်း အံဝင်ခွင်ကျ ထည့်ထားပြီး ပင်စတင်အချင်း တစ်လက်မ ရှိတိုင်း ring gap သည် 0.001 inch (0.0254 mm) ရှိရမည်။

Piston pin သည် ခေါင်းပွ ကာဗွန်စတီး(carbon steel) ဖြစ်သည်။ Connecting bushing နှင့် piston bushing ကြားတွင် လွတ်လပ်စွာ လှုပ်ရှားနိုင်သည်။



ပုံ ၁၃-၁၅ Crankshaft

ပင်စတင် ဒီဇိုင်းသည် ဆလင်ဒါ အပေါ်ဘက် (head) နှင့် ထိတွေ့ရန် မလိုဘဲ stroke ထိပ်ဆုံးတွင် 0.01 inch မှ 0.020 inch (0.254 mmမှ 0.508 mm အတွင်း) ခန့်အကြား လွတ်နေသည့်နေရာ ရှိသည်။ ထိုနေရာကို "**clearance space**" သို့မဟုတ် "**clearance volume**" ဟု ခေါ်သည်။

ဆလင်ဒါအပေါ်ဘက်(head)တွင် valve plate တပ်ဆင်ထားသည်။ Plate တွင် intake နှင့် exhaust valve နှစ်ခုစလုံးကို bolt များဖြင့် တပ်ဆင် ထားသည်။

ပုံ ၁၃-၁၆ Crankshaft ၊ connecting rod ၊ cylinder ၊ piston နှင့် piston pin

၁၃.၃.၄ Cylinder Block and Piston

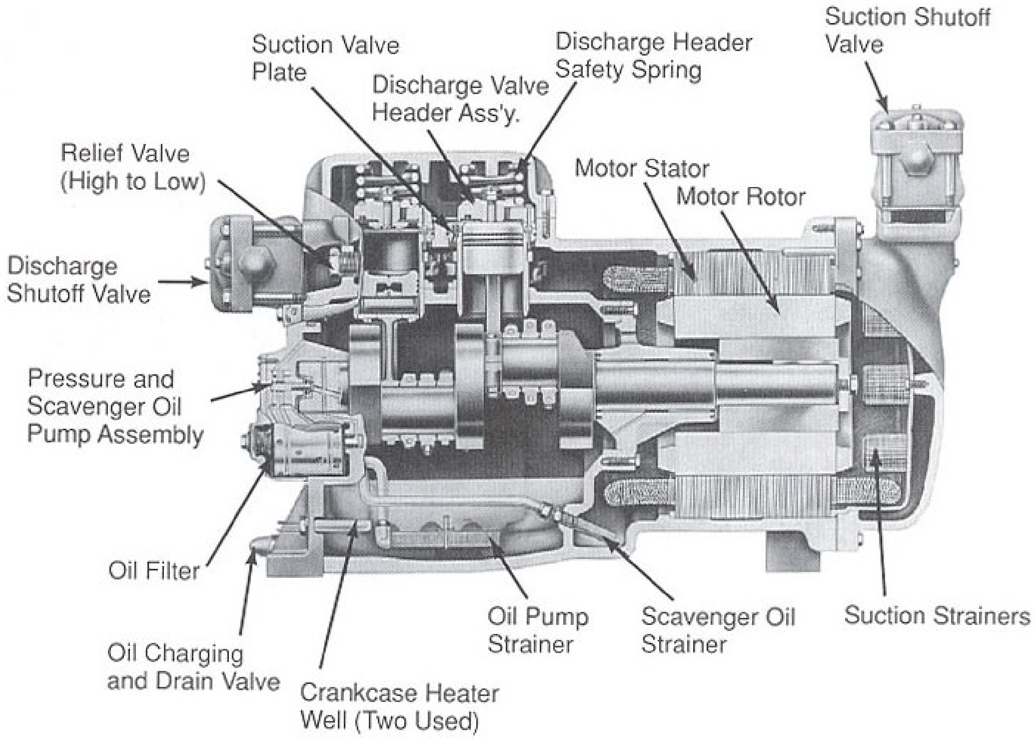
Compressor အများစုတွင် cylinder block ကို crankcase နှင့်တွဲလျက် တစ်ခုတည်းဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ကြသည်။ Crankcase နှင့် cylinder block ကို အဆင့်မြင့်(high grade) cast iron ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ အလတ်စား (medium) နှင့် အကြီးစား reciprocating compressor များ၏ crankcase အတွင်း၌ cylinder liner သို့မဟုတ် sleeve များ ထည့်၍ ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် ပွန်းပဲ့သွားသည့်အခါ အသစ်လဲလှယ်နိုင်သည်။ Cylinder liner သို့မဟုတ် sleeve ကို လဲလှယ်သည့် ကုန်ကျစရိတ်သည် cylinder block တစ်ခုလုံး လဲလှယ်သည့် စရိတ်ထက် နည်းသည်။

ပင်စင်တင်(piston)များကို aluminum ၊ aluminum alloy သို့မဟုတ် cast iron တို့ဖြင့် ပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။ Aluminum piston များတွင် ဆလင်ဒါအတွင်းမှ refrigerant vapor များ ယိုစိမ့်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်နှင့် ချောဆီများ (lubricating oil) ဆလင်ဒါ အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်အတွက် piston ring ပါရှိရန် လိုအပ်သည်။ Cast iron piston များ၏ running clearance သည် 0.0004 in/in (cm/cm) ဖြစ်လျှင် oil ring မလိုအပ်ဘဲ ကောင်းစွာ seal ဖြစ်နိုင်သည်။

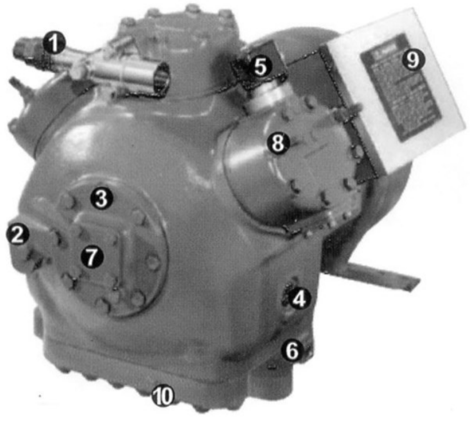
၁၃.၃.၅ Connection Rods

ပုံ(၁၃-၁၅)တွင် ဖော်ပြထားသည့် အတိုင်း connecting rod သည် piston နှင့် crankshaft ကို ဆက်သွယ်ထားသည်။ စတီး(steel)ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ Crankshaft journal တွင် connecting rod ကို တပ်ဆင်

ထားသည်။ Bearing clearance သည် 0.001 inch (0.0254 mm)ခန့် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် connecting bolt များ တင်းကျပ်မှု မှန်ကန်ရန် အရေးကြီးသည်။ Eccentric အမျိုးအစား connecting rod များ၏ ဘယ်ရင်မျက်နှာပြင် (bearing surface)သည် cast iron ဖြစ်သည်။ Piston နှင့် connecting rod ကို ကြိုးမားသော piston pin နှင့် ချုပ်ထားသည်။ Pin ကို မထွက်သွားစေရန် spring နှင့် locking pin ကို အသုံးပြုထားသည်။



ပုံ ၁၃-၁၇ စီးပွားရေးလုပ်ငန်းသုံး(commercial) hermetic reciprocating compressor တစ်လုံး၏အစိတ်အပိုင်းများ



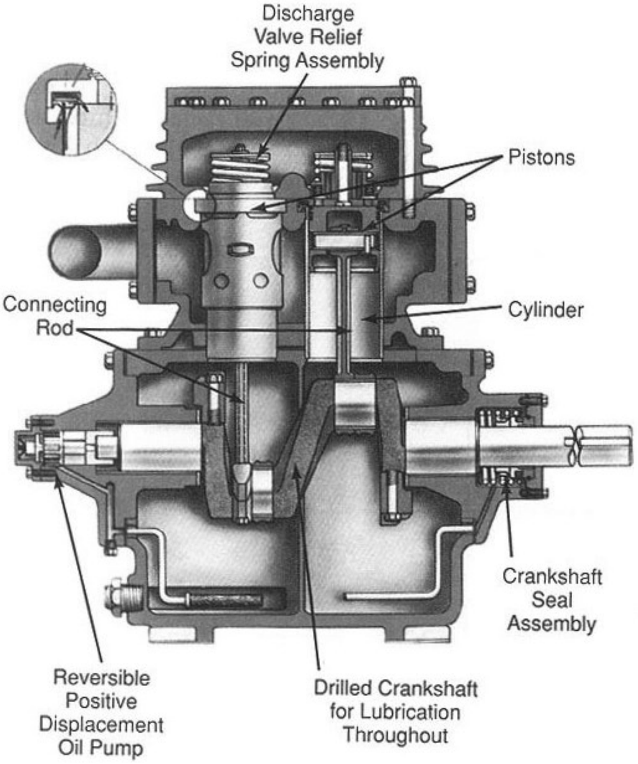
1. Valve for displacement
2. 1/4"NPT refueling 210/low pressure switch connection with adding oil connection
3. 1/4 "NPT 1/4 "NPT connection to oil pressure switch side
4. The oil glass
5. Energy-regulating coil
6. The crankcase heater inserts
7. High flow pump
8. The cooling fan with fixed screw
9. Electrical junction box
10. Displacement oil

ပုံ ၁၃-၁၈ Semi-hermetic reciprocating compressor

Open drive နှင့် hermetic compressor နှစ်ခုစလုံး၏ head များကို cast iron ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ Head တွင် plate ပြား တပ်ဆင်ရန် နေရာ ပါရှိသည်။ Vapor အဝင်၊ အထွက် လမ်းကြောင်းများ ပါရှိသည်။ ဖိအား300 psi(2170 Kpa)အထိ ရောက်အောင် ဖိသိပ်(compression) နိုင်သည်။ ဓာတ်ငွေ့ ယိုစိမ့်မှုများ မဖြစ်ပေါ်စေရန် valve plate ၏ တစ်ဘက် တစ်ချက်တွင် gasket များ တပ်ဆင် ထားသည်။

ဆလင်ဒါဟက်(cylinder head)ကို ဆလင်ဒါ ပေါ်တွင် cap screw များဖြင့် ဖိတွဲထားသည်။ Commercial multi-cylinder reciprocating hermetic compressor ဖြတ်ပိုင်းပုံ တစ်ခုကို ပုံ(၁၃-၁၇)နှင့် (၁၃-၁၄)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

၁၃.၃.၆ Valves and Valve Plates



Valve assembly တွင် valve ၊ intake valve ၊ exhaust valve နှင့် valve retainer များ ပါဝင်သည်။ Valve plate ကို တစ်ခါတစ်ရံ cast-iron ဖြင့် ပြုလုပ်သည်။ Valve seat များ ကို high carbon alloy steel ဖြင့် ပြုလုပ်သည်။ Inlet valve ကို compressor head နှင့် valve-plate ကြားတွင် သေးငယ်သော pin များဖြင့် ချုပ်ဖမ်း ထားသည်။

Valve အပြား၏ မျက်နှာပြင်သည် လုံးဝ ညီနေရမည်။ 0001 inch (0.00254mm)ခန့် ကောက်နေပါက valve မလုံဘဲ ယိုစိမ့်မှုများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Valve နှစ်ခုအနက် intake valve ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် ပြဿနာ နည်းသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အေးသော refrigerant အငွေ့များသည် ချောဆီများနှင့်အတူ လည့်ပတ်နေကာ အမြဲတမ်း ချောဆီ ရရှိသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထို့အပြင် နိမ့်သည့် အပူချိန်တွင် အလုပ် လုပ်သော ကြောင့်လည်း ဖြစ်သည်။

ပုံ ၁၃-၁၉ ဆလင်ဒါ နှစ်လုံး ပါသည့် open type reciprocating compressor တစ်လုံးကို ဖြတ်ထားသည့်ပုံ ဖြစ်သည်။ ပြင်ပမှ မော်တာ သို့မဟုတ် အင်ဂျင်ဖြင့် မောင်းသည်။

၁၃.၃.၇ Crankshaft

Reciprocating compressor များသည် မော်တာ၏ လည်ပတ်မှုကြောင့် ဆလင်ဒါ အတွင်း၌ ပင်စတင်သည် ရှေ့တိုး နောက်ဆုတ် လှုပ်ရှားမှု ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ Crankshaft များသည် forged သို့မဟုတ် cast steel များ ဖြစ်ကြသည်။ ဖြစ်ပေါ် လာမည့် တုန်ခါမှုများကို connecting rod cap များနှင့် bolt များဖြင့် လျော့နည်းသွားစေသည်။

Crankshaft main bearing များသည် crankshaft ကို ပင့်ထားသည်။ Crankshaft နှင့် connecting bearing များကို တိကျစွာ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ ထိုနှစ်ခုအကြား လွတ်နေသည့်နေရာသည် 0.001 inch (0.0254 mm)ခန့် ဖြစ်သည်။ External drive compressor များတွင် တပ်ဆင်ထားသော ပူလီများကို taper ပြုလုပ်၍ လည်းကောင်း၊ key ဖြင့် လည်းကောင်း၊ nut-lock washer ဖြင့် လည်းကောင်း တပ်ဆင်ထားသည်။

၁၃.၃.၈ Crankshaft Seal

Open type compressor များကို ပြင်ပမှ မော်တာ သို့မဟုတ် အင်ဂျင်ဖြင့် မောင်းနှင်သည်။ ထိုအခါ compressor crankcase မှ crankshaft သည် အပြင်သို့ ထွက်နေသဖြင့် ထိုနေရာမှ refrigerant များ မယိုစိမ့်အောင် (leak proof ဖြစ်အောင်) ပြုလုပ်ထားရန် လိုအပ်သည်။ သို့မှသာ crankcase အတွင်း အမှန်တကယ် လိုအပ်သော ဖိအား ရရှိနိုင်လိမ့်မည်။

Shaft seal ကို လည်ပတ်နေသည့် ဝင်ရိုး(shaft)ပေါ်တွင် တပ်ဆင်ထားရသောကြောင့် အထူးသတိပြုရန် လိုအပ်သည်။ Seal အားလုံးတွင် ပွတ်တိုက်နေသည့် မျက်နှာပြင်(rubbing surface) နှစ်ခု ပါရှိသည်။ မျက်နှာပြင် (surface) တစ်ခုမှာ synthetic material ဖြင့် ပြုလုပ်သော 'O' ring ဖြစ်သည်။ လည်ပတ်နေသော crankshaft မျက်နှာပြင်နှင့် ထိတွေ့နေသည်။ တခြား မျက်နှာပြင်(surface)တစ်ခုမှာ တည်ငြိမ်နေပြီး leak proof gasket ခံကာ housing ပေါ်တွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ မျက်နှာပြင်နှစ်ခုကို တွဲ၍ ပြုလုပ်ထားသည်။ မာကြောသည့် မျက်နှာပြင်ကို steel ၊ bronze ၊ ceramics သို့မဟုတ် carbon တို့ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။

၁၃.၃.၉ Suction and Discharge Valves

Evaporator မှ ထွက်လာပြီး compressor အဝင်အထိ ဆက်သွယ်ထားသည့် ပိုက်ကို "**suction line**" ဟုခေါ်သည်။ Reciprocating compressor မှ ထွက်လာပြီး condenser အဝင်အထိ ဆက်သွယ်ထားသည့် ပိုက်ကို "**discharge line**" သို့မဟုတ် "**hot-gas line**" ဟုခေါ်သည်။

Refrigerant vapor များ ဆလင်ဒါအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာအောင် suction valve က control လုပ်သည်။ Refrigerant vapor များ ဆလင်ဒါအတွင်းမှ ထွက်သွားအောင် discharge valve control လုပ်သည်။ Suction valve နှင့် discharge valve များကို high carbon-alloy steel သို့မဟုတ် stainless steel ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။

လွတ်လပ်စွာ လှုပ်ရှားနေသည့်(free floating) reed valve များ သို့မဟုတ် ထိပ်တစ်ဘက်တွင် clamp လုပ်ထားသည့် reed valve များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Discharge pressure ဖြင့် reed valve ကို ပိတ်စေသည်။ သေးငယ်သည့် valve port များဖြင့်သာ reed valve များကို သုံးနိုင်သည်။ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(pressure loss) လျော့နည်းစေရန် အတွက် လုံလောက်အောင် ကျယ်သည့် ဧရိယာရှိရန် လိုအပ်သည်။ Suction နှင့် discharge ဖြစ်ချိန်တွင် valve သည် 0.01" (0.25 mm) ဖွင့်နိုင်သည်။ HCFC-22 ကို အသုံးပြုထားလျှင် valve ကို ဖြတ်သွားနေစဉ် gas အလျင် (velocity)သည် အမြင့်ဆုံး 150 ft/s (45 m/s)အထိ ဖြစ်နိုင်သည်။

၁၃.၃.၁၀ Crankcase Heater

Reciprocating compressor များကို အဆောက်အဦ ပြင်ပတွင် တပ်ဆင်ထားလျှင် ရပ်နားထားသည့်အခါ အဆောက်အဦ အတွင်းရှိ evaporator မှ refrigerant များသည် compressor ဆီသို့ ရောက်သွားလိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အဆောက်အဦအတွင်းရှိ evaporator မှ refrigerant ၏ ဖိအားသည် အဆောက်အဦ ပြင်ပ၌ ရှိသော compressor အတွင်းရှိ ဖိအားထက် ပိုမြင့်နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် crankcase အတွင်းရှိ ချောဆီ(oil)၏ စေးပျစ်မှု ကျဆင်းသွားသည်။ ထိုအချိန်၌ compressor ကို စတင်မောင်းလိုက်လျှင် crankcase အတွင်း၌ ချောဆီ မလုံလောက်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ချောဆီကျဲနေသောကြောင့် ချောမွတ်မှု မလုံလောက်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

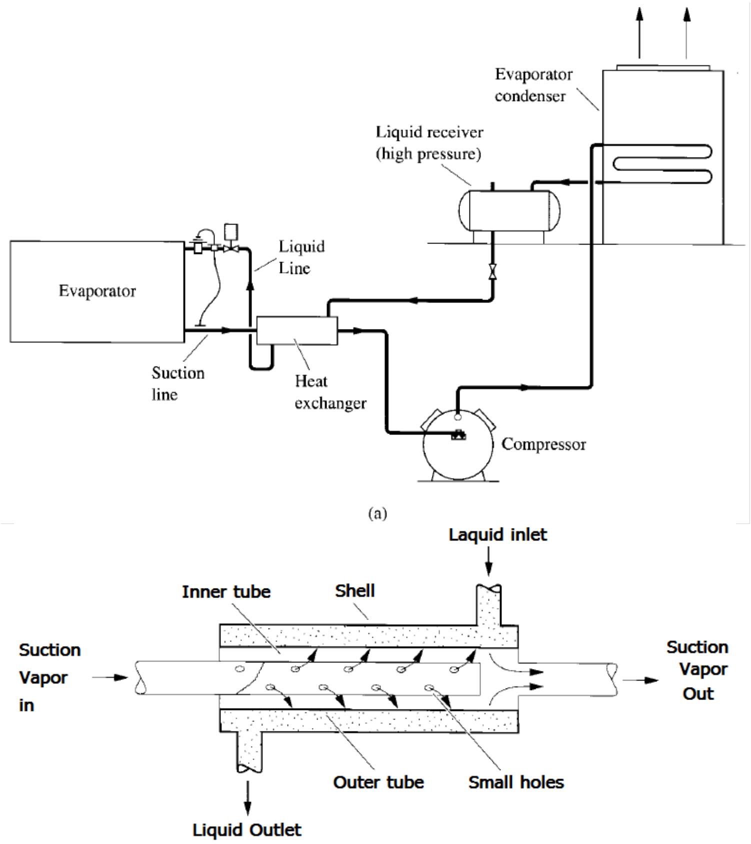
အလတ်စားနှင့် အကြီးစား reciprocating compressor များတွင် ချောဆီ(oil) အပူချိန်ကို 15°F (8.3°C) မှ 25°F(13.9°C)အတွင်း၌ ထိန်းထားရန်အတွက် crankcase heater ကို crankcase အတွင်း၌ တပ်ဆင်ထားသည်။

၁၃.၃.၁၁ Liquid Receiver

ရပ်နား(shutdown)ထားစဉ် refrigerant များ အားလုံးကို condenser အတွင်း၌ သိမ်းဆည်းထားရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် refrigerant များကို သိုလှောင် သိမ်းဆည်းထားရန်အတွက် ဖိအားမြင့်သည့်ဘက်(high pressure side)တွင် liquid receiver တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ သို့သော် shell and tube အမျိုးအစား condenser များတွင် shell အတွင်း၌ refrigerant များကို သိမ်းဆည်းထားနိုင်သောကြောင့် liquid receiver မလိုအပ်ပေ။ Evaporative condenser ကို အသုံးပြုလျှင် အသေးစား liquid receiver တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။

Through-type receiver နှင့် surge-type receiver ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ Through receiver များတွင် receiver အတွင်းရှိ ဖိအား(pressure)သည် condenser outlet ထက် ပိုနိမ့်သောကြောင့် condenser မှ liquid refrigerant များသည် receiver ဆီသို့ စီးဝင်သည်။ Surge type receiver များတွင် condenser မှ liquid

refrigerant များသည် expansion valve ဆီသို့ တိုက်ရိုက် စီးဝင်သည်။ ထိုအချိန်၌ subcooled အပူချိန် (temperature) ဖြစ်နေသည်။ ASHRAE Handbook 1998 တွင် အသေးစိတ် လေ့လာနိုင်သည်။



ပုံ ၁၃-၂၀ Liquid suction heat exchanger (a) schematic diagram (b) heat exchanger

Liquid receiver များသည် steel ပြားဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် ဆလင်ဒါပုံသဏ္ဍာန် သိုလှောင်ကန်(cylindrical tank) များ ဖြစ်သည်။ Receiver ၏ အပေါ်ဘက်တွင် condener ၏ liquid line နှင့် ဆက်ထားသည်။ Vent pipe ကို fusible plug နှင့်တွဲ၍ တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် အပူချိန်မြင့်မားသည့်အခါ receiver ပေါက်ကွဲခြင်းမှ ကာကွယ်နိုင်သည်။

> ရပ်နား(shutdown)ထားစဉ် receiver အတွင်း၌ ၈၀% ပြည့်သည့်ထိအောင် refrigerant များကို charge လုပ်လေ့ ရှိသည်။ ကျန်သည့် ၂၀% ကို ကျယ်ပြန့်ခြင်း(expension) ဖြစ်ရန်အတွက် နေရာချန်ထားပေး ရသည်။

Through type receiver များကို refrigerant များ သိုလှောင်သိမ်းဆည်းရန်နှင့် ကျယ်ပြန့်ခြင်း (expension) ဖြစ်ရန်အတွက် ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် အတွင်း၌ saturation pressure ဖြစ်ပေါ်သည်။ Through type liquid receiver များတွင် subcooling မဖြစ်ပေါ်ပေ။ Subcool temperature ရရှိလိုလျှင် subcooling coil သို့မဟုတ် surge-type receiver ကို အသုံးပြုရမည်။ Surge-type receiver တွင် subcooling liquid သည် refrigerant vapor နှင့် မထိသောကြောင့် liquid refrigerant သည် စီးဆင်းသွားသည့်တိုင်အောင် subcooling အဖြစ်သာ ရှိနေမြဲဖြစ်သည်။

၁၃.၃.၁၂ Liquid Suction Heat Exchanger (LSHE)

Liquid Suction Heat Exchanger(LSHE) ကို suction လိုင်း နှင့် liquid လိုင်းနှစ်ခု အကြားတွင် ခွ၍ တပ်ဆင်ထားသည်။ HFC-134a ကို အသုံးပြုလျှင် compressor မှ ထွက်လာသည့် refrigerant အငွေ့၏ အပူချိန် အလွန်မြင့်သောကြောင့် HFC-134a ၊ ချောဆီ(lubricating oil) နှင့် discharge valve တို့ကို ထိခိုက်ပျက်စီးမှု မဖြစ်ရန်

အတွက် LSHE ကို တပ်ဆင်ရခြင်း ဖြစ်သည်။ အမိုးနီးယား(Ammonia) နှင့် HCFC-22 တို့ကို အသုံးပြုလျှင် LSHE တပ်ဆင်ထားရန် မလိုအပ်ပေ။

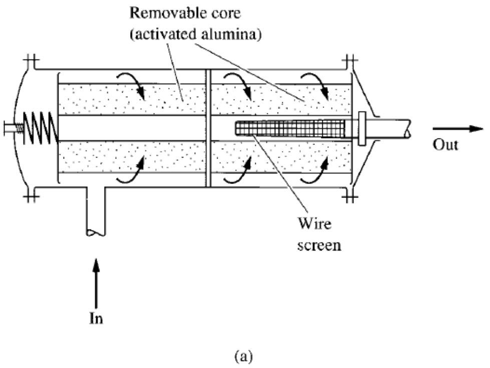
LSHE တပ်ဆင်ရသည့် ရည်ရွယ်ချက်များမှာ-

(က) Liquid refrigerant ကို subcool temparature ထက်နိမ့်အောင် ပြုလုပ်ပေးခြင်းဖြင့် refrigeration effect ပိုများစေရန်

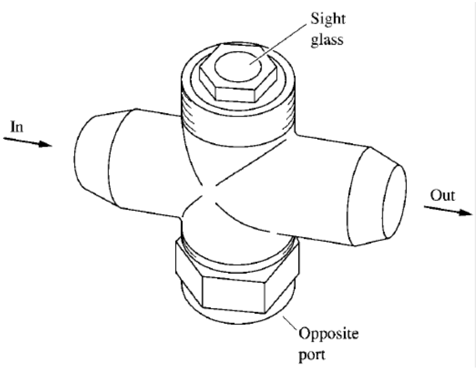
(ခ) Suction line တွင် refrigerant အရည် ဆူပွက်(boil) စေရန်၊ reciprocating compressor အတွင်းသို့ refrigerant များ အရည်အနေဖြင့် ဝင်ရောက်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်

(ဂ) Liquid line တွင် flash gas များ လျော့နည်းစေရန် နှင့် capacity အများဆုံး ရရှိရန် တို့ဖြစ်သည်။

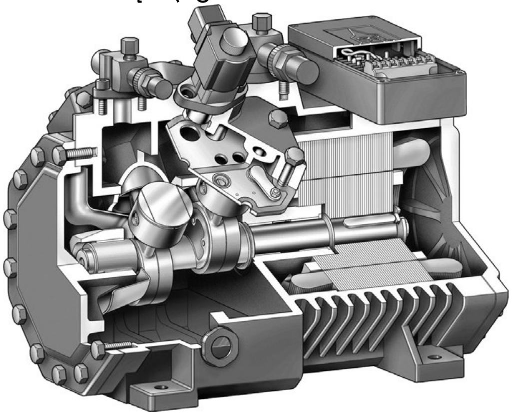
LSHE များကို shell and coil ၊ shell and tube နှင့် tube in tube အမျိုးအစား heat exchanger များဖြင့် တည်ဆောက်နိုင်သည်။ ပုံ(၁၃-၂၀)တွင် shell and tube heat exchanger ကို ဖော်ပြထားသည်။ Hot liquid များသည် shell အတွင်းမှ ဖြတ်၍ စီးဆင်းသည်။ အေးနေသည့် suction vapor များသည် tube များအတွင်း၌ high velocity ဖြင့် စီးဆင်းသွားသည်။ Liquid refrigerant ၏ subcooled အပူချိန်သည် 7°F(3.9°C)မှ 15°F(8.3°C) အတွင်းဖြစ်သည်။ Cold vapor မှ အပူ(heat)များကို စုပ်ယူသွားသည်။ Heat exchanger ကို ဖြတ်၍ စီးဆင်း သောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော suction vapor ၏ ဖိအား ကျဆင်းမှုသည် 2 psi ထက် မပိုသင့်ပေ။



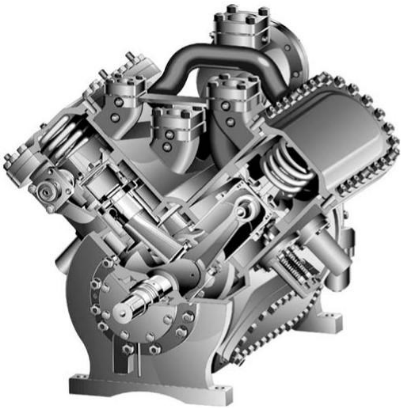
ပုံ ၁၃-၂၁ (a) Filter dryer



ပုံ ၁၃-၂၁ (b) Sight glass



ပုံ ၁၃-၂၂ Cut away view of small commercial four-cylinder compressor

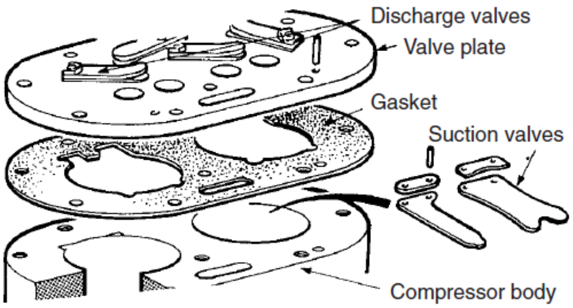


ပုံ ၁၃-၂၃ An internal view of V-type six-cylinder reciprocating compressor

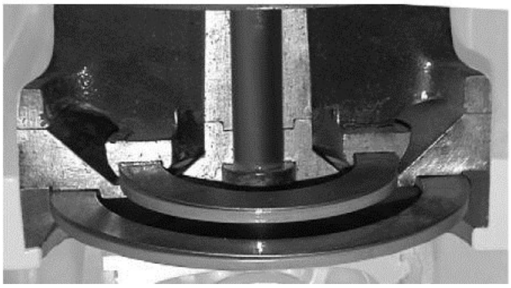
၁၃.၃.၁၃ Filter Dryer and Strainer

Refrigerant အတွင်း၌ ရေငွေ့(moisture)များ ပါရှိခဲ့သော် expension valve အတွင်း၌ ရေခဲ(freeze) သွားလိမ့်မည်။ Low temperature system များတွင် ပို၍ ဆိုးဝါးစွာ ဖြစ်နိုင်သည်။ Expension valve ကောင်းစွာ

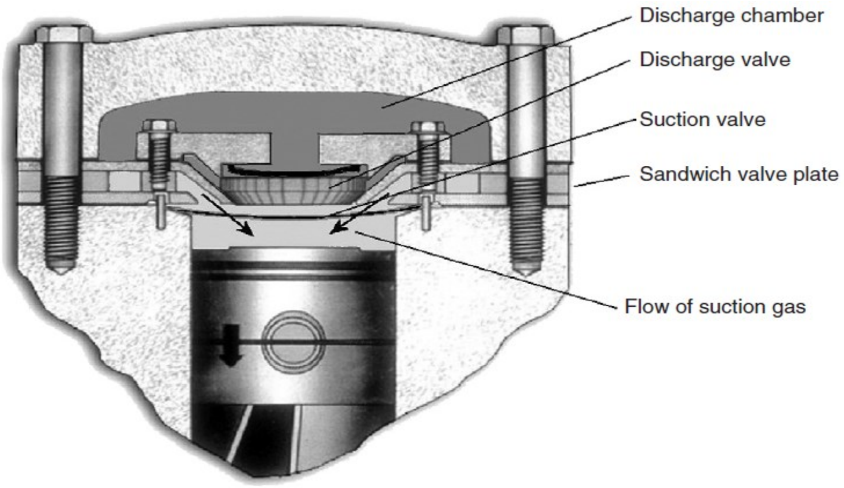
အလုပ် လုပ်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ပြင်ပမှ အမှုန်များ(foregin matter)ကြောင့်လည်း refrigeration system ၏ expersion valve ၊ control valve နှင့် compressor တို့ ပျက်စီးနိုင်သည်။ Refrigeration system အတွင်းမှ ရေငွေ့(moisture) နှင့် အမှုန်များ(foregin matter)များကို filter dryer နှင့် strainer တို့ဖြင့် သန့်စင်ဖယ်ရှားပစ်ရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၁၃-၂၄ Reed valve plate



ပုံ ၁၃-၂၅ Ring plate valves



ပုံ ၁၃-၂၆ Conical discharge valve and sandwich type valve plate

၁၃.၃.၁၄ Reed Valve Plate

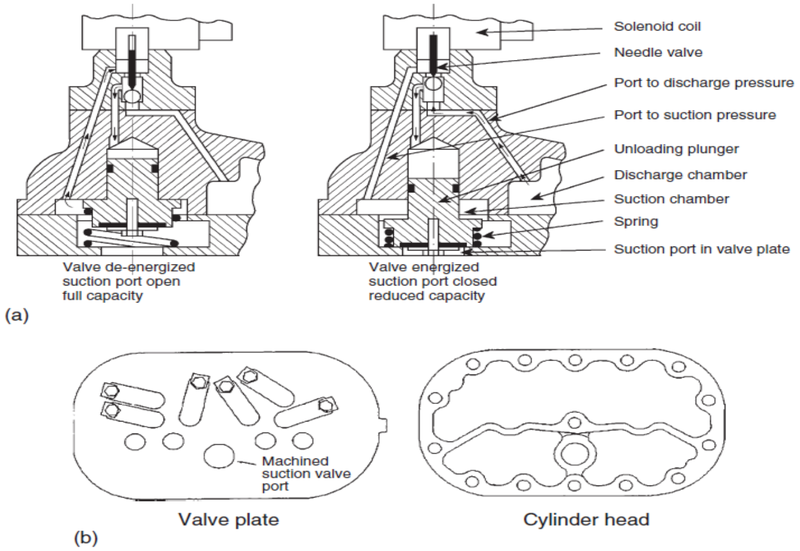
ဘားအမျိုးအစား(type of valve)ပေါ်တွင် မူတည်၍ compressor များကို အဆင့်အတန်း သတ်မှတ်ကြသည်။ သေးငယ်သည့် swept volume သာ လိုအပ်လျှင် သေးငယ်သည့် inlet နှင့် outlet gas port များ ဖြင့် compressor များကို တည်ဆောက်ကြသည်။

ပုံ(၁၃-၂၄)တွင် reed valve plate တည်ဆောက်ထားပုံကို ပြထားသည်။ Outlet valve သို့မဟုတ် discharge valve သည် cylinder head ၏ အဓိက အစိတ်အပိုင်း ဖြစ်သည်။ Discharge valve များသည် အဝိုင်းပုံသဏ္ဍာန် gas ထွက်သည့် အပေါက်များ(ports)ကို ဖုံးအုပ်ထားသည်။ Ring plate valve ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ ပုံ(၁၃-၂၅)တွင် ring plate valve များကို ဖော်ပြထားသည်။ Steel သို့မဟုတ် titanium ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။

Refrigeration compressor များသည် ခြောက်သွေ့သည့် refrigerant vapor(dry gas)ကိုသာ ဖိသိပ်(compress)ရန်အတွက် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသော်လည်း တစ်ခါတစ်ရံ ဆလင်ဒါ(cylinder) အတွင်းသို့ အစက်ငယ်များ(droplets of liquid refrigerant)နှင့် ချောဆီ(oil)များ ဝင်ရောက်လာနိုင်သည်။

Annular valve များ ပါရှိသည့် ကြီးမားသည့် compressor များတွင် စပရိန်ဖြင့် ထိန်းထားသည့်(spring-loaded) head များ ပါရှိသည်။ ဆလင်ဒါအတွင်း၌ ဖိအား အလွန်မြင့်မားလာလျှင် စပရိန်အားကို ကျော်လွန်သွားပြီး ပိုနေသည့် ဖိအားကို လျော့ချပေးနိုင်သည်။

Valve နှင့် cylinder head ကို ဒီဇိုင်းကောင်းအောင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် clearance volume အနည်းဆုံး ရရှိနိုင်သည်။ ပုံ(၁၃-၂၆)တွင် သေးငယ်သည့် clearance volume ရရှိနိုင်သည့် cylinder head အလယ်တွင် conical discharge valve design နှင့် ပင်စတင်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၃-၂၇ (a) Blocked suction capacity control mechanism and (b) valve plate showing machined suction port for blocked suction

၁၃.၃.၁၅ Service Valves

Solenoid valve ၊ manual shutoff valve ၊ pressure relief valve နှင့် refrigerant charge valve များကို service valve ဟုခေါ်သည်။

(က) Solenoid Valves

Component များ ပြုပြင်ခြင်း၊ လဲလှယ်ခြင်း စသည်တို့ ပြုလုပ်ရန်အတွက် suction လိုင်း၊ discharge လိုင်း နှင့် liquid လိုင်း တို့တွင် solenoid valve များ တပ်ဆင်ထားသည်။ Electromagnetic သို့မဟုတ် solenoid coil သည် energize ဖြစ်သည့်အခါ plunger က valve pin ကို မ,တင်၍ valve ကို ပွင့်စေသည်။ Valve သည် ကမ္ဘာမြေ ဆွဲအား သို့မဟုတ် စပရိန်တွန်းကန်အားကြောင့် ပိတ်သည်။ ပုံ(၁၃-၂၈-a) သည် solenoid valve တစ်ခု၏ပုံ ဖြစ်သည်။

(ခ) Manual Shutoff Valves

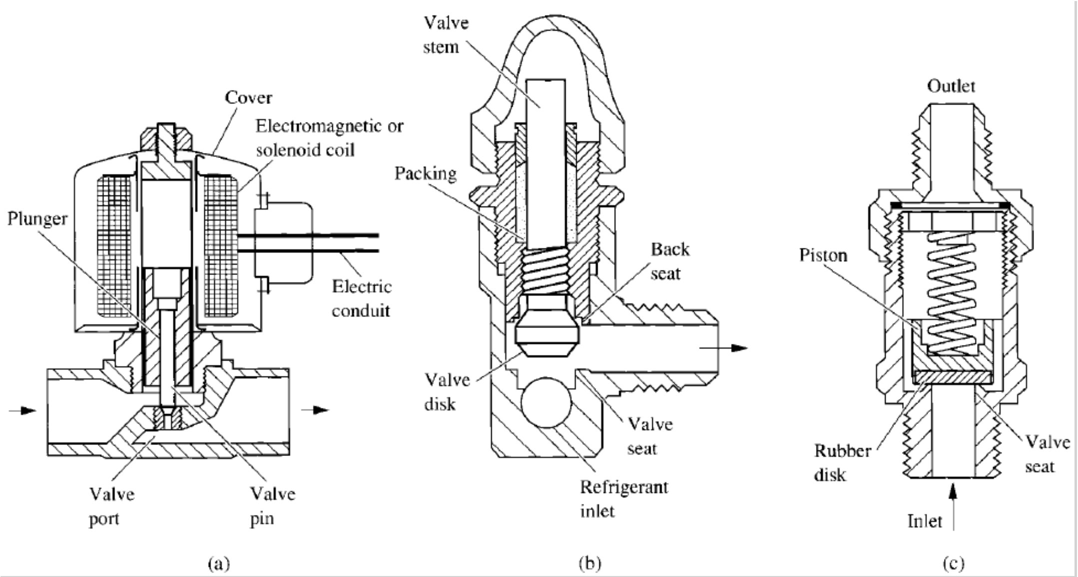
ပုံ(၁၃-၁၉-b)တွင် manual shutoff angle valve တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။ လိုအပ်သည့်အခါ ပြုပြင်သူ သို့မဟုတ် စစ်ဆေးသူက refrigerant flow ကို ပိတ်နိုင်ရန်တွက် တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

(ဂ) Pressure Relief Valves

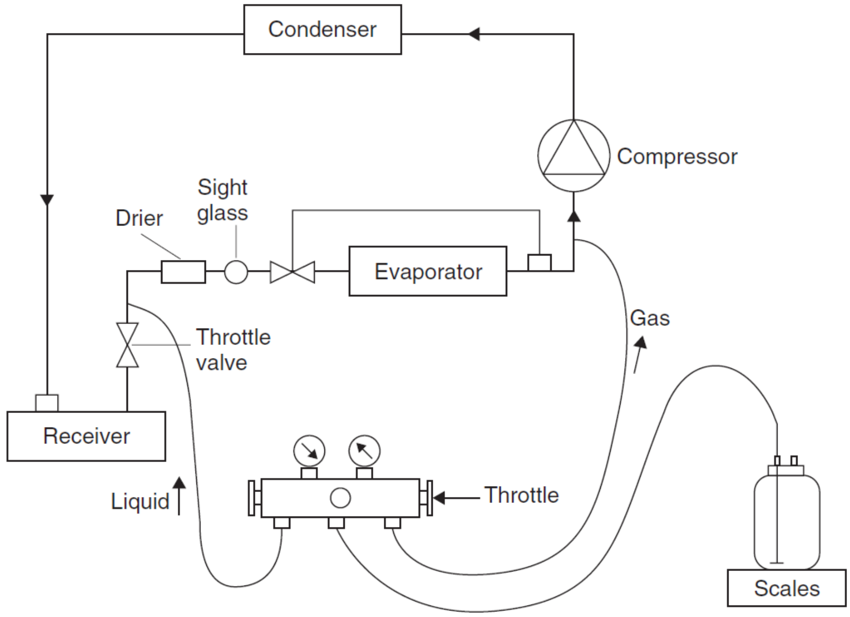
Refrigeration system တစ်ခုတွင် refrigerant ဖိအား(pressure) အလွန်မြင့်တက်လာခြင်းကြောင့် ပျက်စီးနိုင်သည်။ သတ်မှတ်ထားသည့် ဖိအားသို့ ရောက်သည့်အခါ ဘေးအန္တရာယ် မကျရောက်စေရန် အတွက် pressure relief valve ကို ဖွင့်ပေးသည်။ ပုံ(၁၃-၂၈)သည် sping-loaded pressure relief valve တစ်ခု၏ပုံ ဖြစ်သည်။ Liquid line သို့မဟုတ် liquid receiver အနားတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Relief valve ပွင့်ရမည့် ဖိအားကို စပရိန်(spring)ဖြင့် ချိန်နိုင်သည်။

(ဃ) Refrigerant Charge Valves

System ထဲသို့ refrigerant များ ထည့်ရန် သို့မဟုတ် ထုတ်ယူရန် အတွက် refrigerant charge valve ကို တပ်ဆင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Condenser မှ အထွက် liquid line သို့မဟုတ် receiver ၏ အပြင်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။



ပုံ ၁၃-၂၈ (a) solenoid valve (b) manual shutoff valve (angle type) (c) pressure relief valve

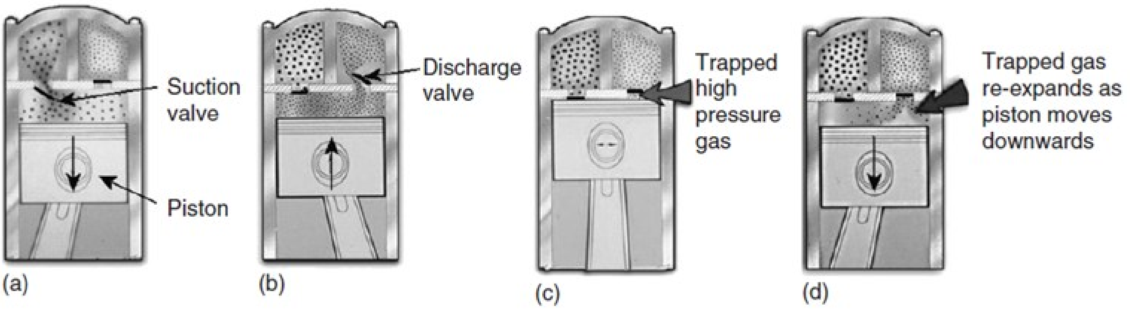


ပုံ ၁၃-၂၉ Charging connection

၁၃.၄ အလုပ်လုပ်ပုံ (Compression Process)

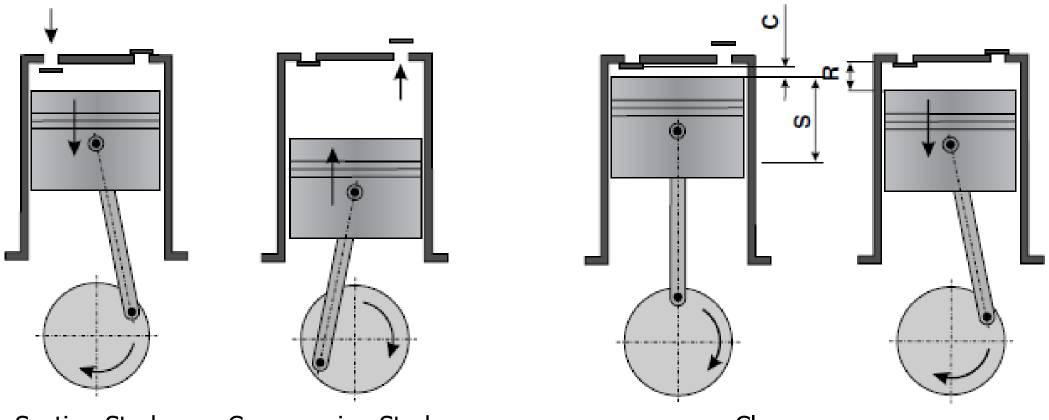
Reciprocating compressor များကို ဖိအားကွားခြားချက်(pressure difference)များသည့် ဓာတ်ငွေ့များကို ဖိသိပ်(compress)ရန် အတွက် အသုံးပြုသည်။ ဆလင်ဒါ(cylinder)အတွင်းရှိ refrigerant အငွေ့ကို ပင်စတင်(piston)က တွန်းပေးခြင်းဖြင့် ဖိအား(pressure)များအောင် ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ အရွယ်အစား(size)၊ ဆလင်ဒါအရေအတွက်(number of cylinders)၊ မြန်နှုန်း(speed)နှင့် မောင်းသည့်နည်း(method of drive) စသည်တို့ အပေါ်မူတည်၍ reciprocating compressor များ အမျိုးမျိုးကွဲပြားသည်။ ပုံ(၁၃-၃၀)တွင် two-stroke cycle အလုပ်လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Intake valve ကို suction valve ဟုလည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။ Reciprocating compressor များသည် reciprocating နည်းဖြင့် မောင်းသည့် positive displacement machine များ ဖြစ်ကြသည်။ Reciprocating compressor များကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထားသောကြောင့် reciprocating chiller ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

ပုံ(၁၃-၃၀)တွင် reciprocating compressor တစ်လုံး၏ အလုပ်လုပ်ပုံ သဘောတရားကို ဖော်ပြထားသည်။ ပင်စတင်သည် စလင်ဒါအတွင်း အောက်သို့ ဆင်းလာသောအခါ suction line မှ refrigerant အငွေ့များ ဝင်ပေါက်(intake)ကို ဖြတ်၍ စလင်ဒါအတွင်းသို့ စုပ်ယူခြင်း ခံရသည်။ ပင်စတင်အပေါ်သို့ တက်လာသည့်အခါ refrigerant အငွေ့များကို ထိပ်ဆုံးနေရာ(top dead)အထိ ရောက်အောင် ဖိသိပ်ပြီး အထွက်ဘား(discharge valve)များကို ဖြတ်ကျော်စေပြီး condenser အတွင်းသို့ တွန်းပို့သည်။



ပုံ ၁၃-၃၀ Reciprocating compressor- (a) suction stroke (b) discharge stroke (c) piston at top of discharge stroke and (d) re-expansion during first part of suction stroke

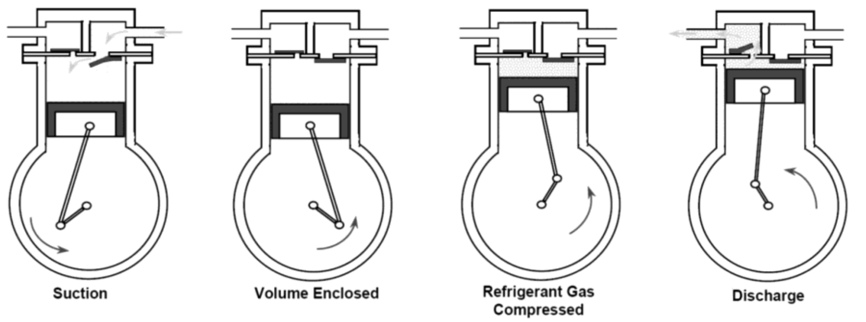
ပုံ(၁၃-၃၀)တွင် suction valve နှင့် discharge valve တို့ အလိုလျောက် အလုပ်လုပ်ပုံကို ဖော်ပြ ထားသည်။ Suction stroke တွင် piston သည် အောက်သို့ နိမ့်ဆင်းလာသည်။ ထိုအခါ suction valve ပွင့်သွားပြီး evaporator မှ refrigerant vapor များ ဆလင်ဒါအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည်။ ပင်စတင်(piston)သည် အနိမ့်ဆုံးသို့ရောက်ရှိသွားပြီးနောက် suction valve ပိတ်သွားသည်။ Compression stroke ကို စတင်သည်။ Cylinder အတွင်းရှိ refrigerant vapor ဖိအားသည် discharge pipe အတွင်းရှိ ဖိအားထက် ပိုမြင့်သည့်အခါ discharge valve ပွင့်သွားပြီး refrigerant vapor များ condenser ထဲသို့ ရောက်ရှိသွားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဆလင်ဒါအတွင်းရှိ gas များ ကျယ်ပြန့်ခြင်းကြောင့် ဖိသိပ်နိုင်သည့် ထုထည်လျော့နည်းသွားသည်။ Cylinder pressure သည် suction pressure ထက် နည်းနေသမျှ ကာလပတ်လုံး suction valve ပွင့်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။



Suction Stroke   Compression Stroke   Clearance area

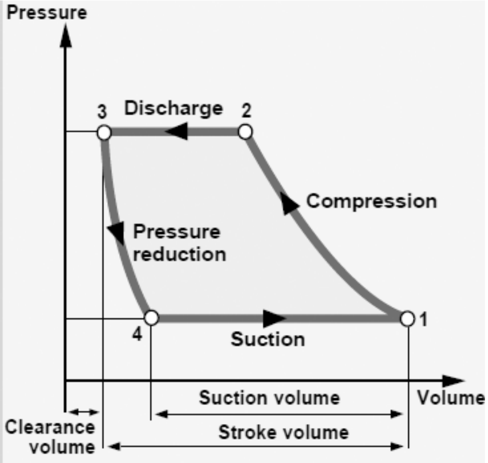
ပုံ ၁၃-၃၁ C = Clearance area ; S = Stroke ; R = Re-expansion

ပုံ(၁၃-၃၀-d)clearance area နေရာတွင် ရှိသည့် gas များသည် နောက်ထပ် cycle တစ်ခု မစတင်မီ ပြန်၍ ကျယ်ပြန့်ခြင်း(re-expansion)ဖြစ်သည်။ Re-expansion ဖြစ်ခြင်းကြောင့် volumetric efficiency လျော့နည်းသည်။ Re-expansion ဖြစ်ခြင်း သို့မဟုတ် clearance volume ကျယ်ပြန့်လာခြင်း ဖြစ်ရန်အတွက် piston သည် အောက်သို့ နိမ့်ဆင်းပေးရန် လိုအပ်သည်။ ထိုအခါ ဆလင်ဒါအတွင်းရှိ ဖိအားသည် suction pressure ထက် ပိုနည်းလာလိမ့်မည်။ Valve မပွင့်ဘဲ piston ပိုနိမ့်ဆင်းလာလေ ထို compressor တွင် ဆုံးရှုံးမှု(loss) များလေဖြစ်သည်။

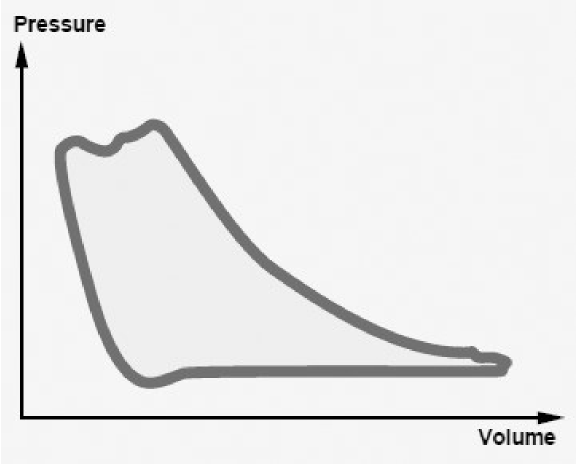


ပုံ ၁၃-၃၂ ပင်စတင် တစ်လုံးထိုး reciprocating compressor တစ်လုံး အဆင့်လေးဆင့်ဖြင့် အလုပ်လုပ်နေပုံ

Intake valve ၏ အပေါ်ဘက်တွင်ရှိသည့် ဖိအားသည် အောက်ဘက်တွင် ရှိသည့် ဖိအားထက် ပိုများသောကြောင့် intake valve ပွင့်သွားကာ refrigerant vapor များ ဆလင်ဒါအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည်။ ပင်စတင် (piston)သည် အနိမ့်ဆုံးနေရာသို့ရောက်ပြီး အပေါ်သို့ ပြန်တက်လာသည်။ ထိုအခါ intake valve ပိတ်သွားသောကြောင့် refrigerant များ ဆလင်ဒါအတွင်း၌ ပိတ်မိနေသည်။ ပင်စတင်သည် အထက်သို့ ဆက်၍ တက်လာသောကြောင့် refrigerant များကို ဖိသိပ်သည်။ ဖိအားတဖြည်းဖြည်း မြင့်တက်လာပြီး တစ်ချိန်တွင်discharge valve ကို တွန်းဖွင့်နိုင်လောက်သည့် ဖိအား အထိ ရောက်အောင် မြင့်တက်လာသည်။ Discharge valve ပွင့်သွားပြီး ဖိအားမြင့်သည့်(high pressure) refrigerant များ ဆလင်ဒါအတွင်းမှ ထွက်သွားသည်။ ဆလင်ဒါသည် ထိပ်ဆုံးသို့ရောက်ပြီး အောက်သို့ ပြန်ဆင်း လာသည်။ ဤနည်းဖြင့် refrigeration cycle ကို ထပ်ခါထပ်ခါ ပြုလုပ်ပေးသည်။



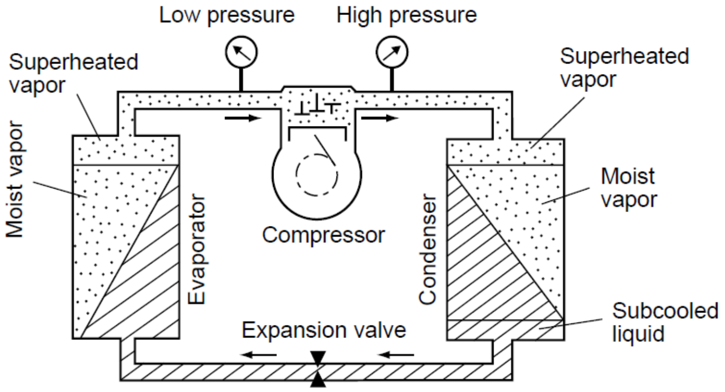
ပုံ ၁၃-၃၃ Theoretical process



ပုံ ၁၃-၃၄ Actual pressure/volume diagram

ပုံ(၁၃-၃၈)တွင် single acting reciprocating compressor တစ်လုံးပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ ဆလင်ဒါအတွင်းရှိ ပင်စတင်ကို crankshaft ဖြင့် connecting rod မှတစ်ဆင့် မောင်းသည်။ ဆလင်ဒါ၏ ထိပ်ဘက်တွင် section valve နှင့် discharge valve ရှိသည်။ ဈေးကွက်တွင် ဆလင်ဒါ(၂)လုံး၊ (၃)လုံး၊ (၄)လုံး သို့မဟုတ် (၆)လုံး ပါရှိသည့် reciprocating compressor များ ရရှိနိုင်သည်။

ပင်စတင်သည် ဆလင်ဒါ၏အောက်ဘက်သို့ ဆင်းသွားချိန်တွင် ဆလင်ဒါအတွင်း၌ လေဟာနယ် ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် refrigerant vapor များကို suction valve နေရာမှ စုပ်ယူသည်။ ထို့နောက် ပင်စတင်ကို crankshaft မှ အပေါ်သို့ရောက်အောင် တွန်းလိုက်သည့်အခါတွင် refrigerant vapor များကို ဖိသိပ်(compress) သည်။ Refrigerant ၏ ဖိအားသည် discharge pressure ထက် အနည်းငယ် ပိုများသောကြောင့် discharge valve ဖွင့်သွားကာ hot gas များ cylinder အတွင်းမှ ထွက်သွားသည်။ ဆလင်ဒါအတွင်း၌ ပင်စတင်သည် reciprocating motion ဖြင့် ရွေ့လျားနေသည်။ Compression chamber ၏ ထုထည်(internal volume)ကို လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် refrigerant vapor များကို ဖိသိပ်ခြင်း(compress) ဖြစ်သည်။

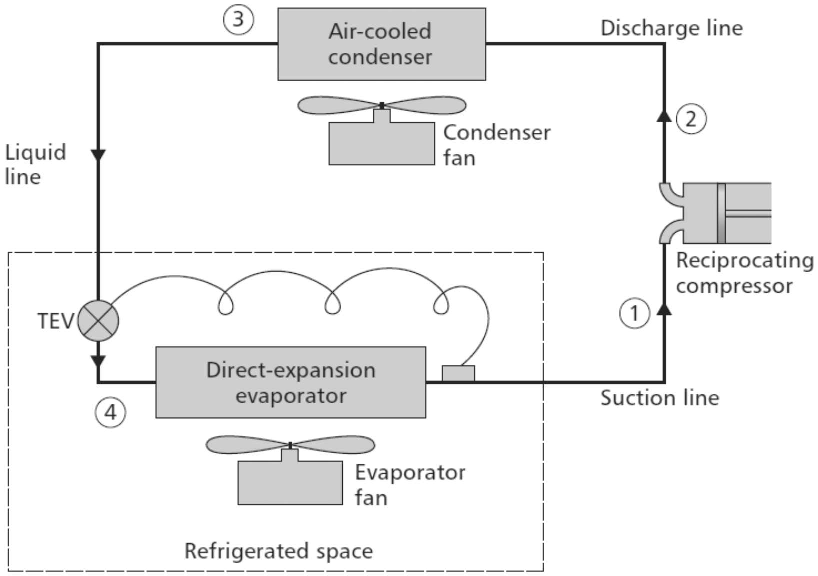


ပုံ ၁၃-၃၅ Reciprocating compressor ဖြင့်မောင်းသည့် vapor compression cycle

၁၃.၄.၁ Clearance Area

Clearance area သည် ပင်စတင်(piston) ၏ ထိပ်၌ရှိသော top dead center နှင့် bottom edge အကြား၌ ရှိနေသော နေရာလွတ် ဖြစ်သည်။

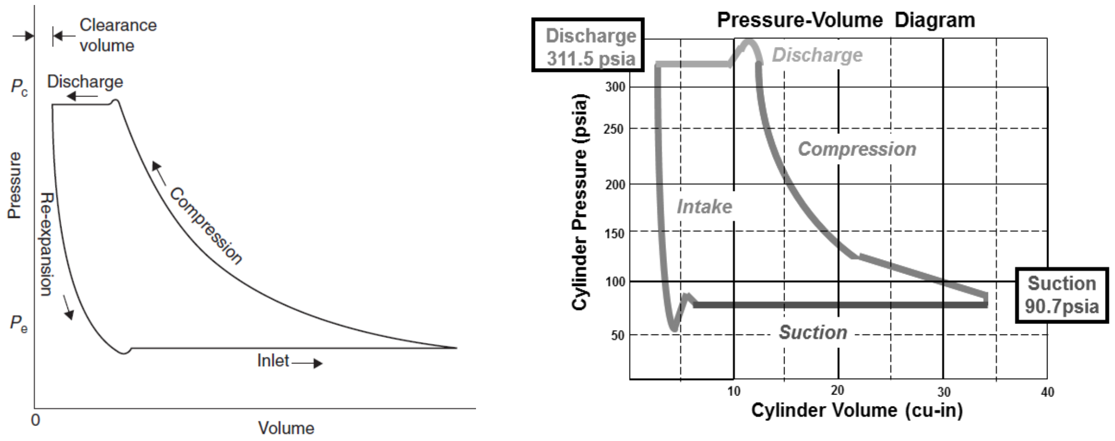
ပုံ(၁၃-၃၇)တွင် compression process ကို pressure–volume diagram ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ ဧရိယာ (area of the diagram)သည် ဖိသိပ်(compress)ရန်အတွက် လိုအပ်သည့်အလုပ်(work) သို့မဟုတ် စွမ်းအင် (energy) ဖြစ်သည်။



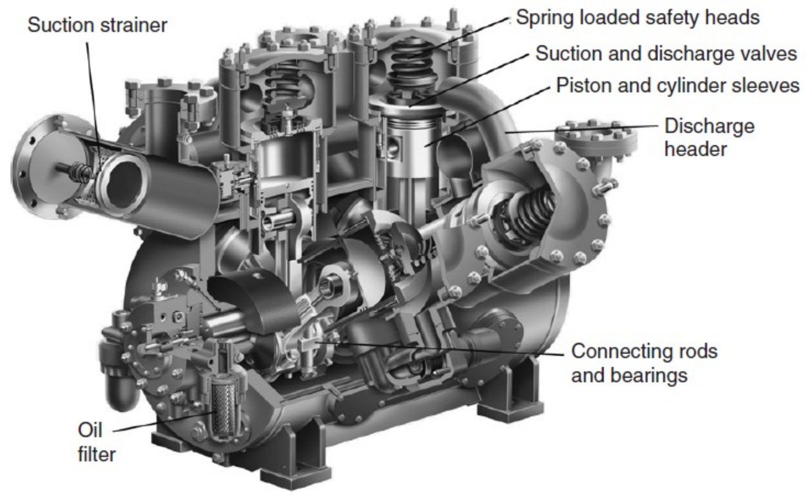
ပုံ ၁၃-၃၆ Reciprocating compressor တစ်လုံး၏ အလုပ်လုပ်ပုံ

၁၃.၄.၂ Multi- Cylinder Compressors

Reciprocating compressor စတင် ပေါ်ပေါက်ခါစ အချိန်၌ စွမ်းဆောင်ရည်(capacity) များများရရှိရန် အတွက် ကြီးမားသည့် compressor များကို တည်ဆောက်ခဲ့ကြသည်။ အချင်း 375 mm ရှိသည့် ပင်စတင်များကို မြန်နှုန်း 400 rev/min ဖြင့် မောင်းနိုင်သည့် reciprocating compressor များကို တည်ဆောက်ခဲ့ကြသည်။ အလွန် လေးလံပြီး ထုတ်လုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။ ယခုအခါ အချင်း 175 mm ပင်စတင်များကို အလွန်မြန်သည့်နှုန်းဖြင့် မောင်းနိုင်သည့် reciprocating compressor များကို ထုတ်လုပ် ရောင်းချကြသည်။ ဆလင်ဒါ(၄)လုံး၊ (၆)လုံး သို့မဟုတ် (၈)လုံး ပါဝင်သည့် compressor များကို အများဆုံး တွေ့ရလေ့ရှိသည်။



ပုံ ၁၃-၃၇ Reciprocating compressor cycle (R134a)



ပုံ ၁၃-၃၈ စက်မှုလုပ်ငန်းသုံး multi-cylinder compressor တစ်လုံး၏ ဖြတ်ပိုင်းပုံ

ပုံ(၁၃-၃၈)သည် welded steel crankcase ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် reciprocating compressor ၏ ပုံ ဖြစ်သည်။ Refrigeration capacity 1000 kW(284 RT) အထိ ကြီးမားသည့် reciprocating compressor များကို ဈေးကွက်တွင် ရရှိနိုင်သည်။

ဆလင်ဒါ(cylinder)များကို အတန်းလိုက်ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားလေ့ရှိသည်။ Compressor body ကို တပ်ဆင် ထားသည့် နေရာမှ ဖြုတ်ပစ်ရန်မလိုဘဲ ပျက်စီးသွားသည့် ဆလင်ဒါ(cylinder)၊ ပင်စတင်(pistons)၊ connecting rod စသည်တို့ကို လဲလှယ် တပ်ဆင်နိုင်သည်။ သေးငယ်ပြီး ဆလင်ဒါ အရေအတွက် အနည်းငယ်သာ ပါရှိသည့် compressor များသည် ရိုးရှင်းသောကြောင့် လူကြိုက်များသည်။

၁၃.၄.၃ Cooling and Protection

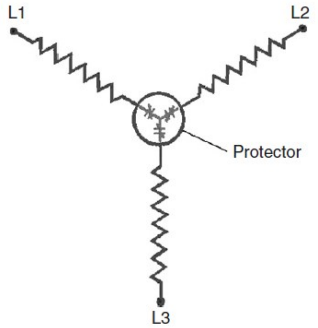
ဖိသိပ်နေစဉ်အတွင်း(compression process) ပွတ်တိုက်မှုကြောင့် အပူများ ထွက်လာသည်။ ထိုအပူများ ကြောင့် discharge temperature ပိုများလာနိုင်သည်။ Discharge temperature အလွန်များပါက ချောဆီ(oil) သို့မဟုတ် refrigerant မှ ဓာတ်ပြိုကွဲမှု(decomposition)များ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။ Refrigerant gas များသည် အေးနေ(အပူချိန်နိမ့်)သောကြောင့် လည်းကောင်း၊ compressor မှ အပူများသည် လေထဲသို့ ရောက်သွား သောကြောင့် လည်းကောင်း သေးငယ်သည့် reciprocating compressor များ ကို အေးအောင် ပြုလုပ် ပေးသကဲ့သို့ ဖြစ်စေသည်။ တချို့သော အခြေအနေများတွင် ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturer)က compressor များ အေးစေရန် အတွက် fan တပ်ဆင်ရန် ညွှန်ကြားလေ့ရှိသည်။

> အမိုးနီးယား(Ammonia) ဓာတ်ငွေ့ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုလျှင် အမိုးနီးယား(ammonia)၏ discharge temperature အလွန်မြင့်မားသောကြောင့် cylinder head များကို ရေဖြင့်အေးအောင် ပြုလုပ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အမိုးနီးယား(Ammonia)ဓာတ်ငွေ့ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုလျှင် water-cooled cylinder head များ ကို မဖြစ်မနေ အသုံးပြုရမည်။

ရေဖြင့် အေးသည်(water-cooled)ဖြစ်စေ၊ လေဖြင့် အေးသည်(air-cooled)ဖြစ်စေ ၊ refrigerant ဖြင့် အေးသည်(cooled) ဖြစ်စေ တချို့စက်များတွင် oil cooler ပါရှိရန် လိုအပ်သည်။ Part load ဖြင့် မောင်းနေသည့် အချိန်မျိုးတွင် discharge temperature ပို၍ မြင့်မားလာနိုင်သည်။ Mass flow rate အလွန်နည်းသွားလျှင် compressor ၌ အပူလွန်ခြင်း(overheating) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ဥပမာ- low suction pressure ကြောင့် mass flow rate အလွန်နည်းသွားကာ compressor အပူလွန်ခြင်း(overheating) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Mass flow rate အလွန်နည်းသွားသောကြောင့် system အတွင်း၌ ချောဆီ(oil) မလုံလောက်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ လုံလောက်သည့် ပမာဏ ရှိသည့် ချောဆီများ ပြန်ရောက်လာအောင်(adequate oil return) ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ တစ်စုံတစ်ခု ချို့ယွင်းမှုကြောင့် liquid refrigerant များ compressor အတွင်းသို့ ရောက်ရှိလာသည့်အခါတွင် ချောဆီ(lubricant)၏ စေးပျစ်မှု(viscosity)ကျဆင်းနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ဆိုးဝါးသည့် ပျက်စီးမှုများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Compressor ၏ သက်တမ်း(life) တိုတောင်းလိမ့်မည်။ Compressor များ မပျက်စီးအောင် ကာကွယ်ခြင်း(fault protection) ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

Compressor ၏ အပူချိန် အလွန်မြင့်မား လာသည့်အခါ သော်လည်းကောင်း ၊ ချောဆီဖိအား မလုံလောက်(insufficient oil pressure)လျှင်သော်လည်းကောင်း compressor အား ရပ်တန့်သွားအောင် ပြုလုပ်ရမည်။ ထိုသို့ ပြုလုပ်ခြင်းကို temperature protection နှင့် oil protection ဟုခေါ်သည်။ Hermetic နှင့် semi hermetic motor အမျိုးအစား(type)များတွင် temperature sensor များကို မော်တာ ကွိုင်(winding)တွင် ထည့်သွင်းထား၍ မော်တာများကို ကာကွယ်ခြင်း(motor protection)သည် ထုံးစံဖြစ်သည်။ Temperature နှင့် electric current နှစ်မျိုးစလုံးကို တိုင်းနိုင်သည့် internal line break protector ပါဝင်သည့် သေးငယ်သည့် compressor ကို ပုံ(၁၃-၃၉)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

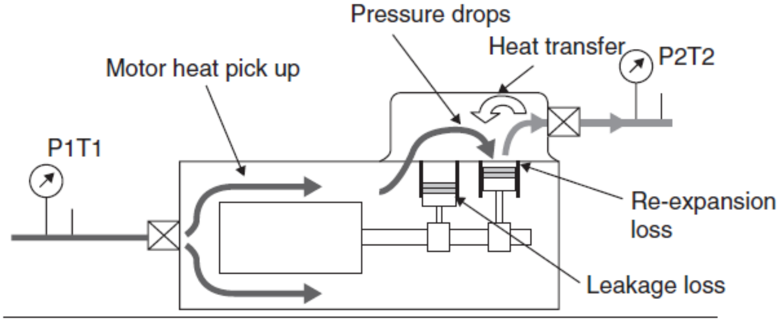


တချို့သောလုပ်ငန်းများ(applications) တွင် compressor အတွင်းသို့ refrigerant အရည်များ(liquid) ပြန်လည် ဝင်ရောက်လာခြင်း(liquid return) ဖြစ်နိုင်သောကြောင့် compressor သည် ထိုသို့ ဖြစ်ခြင်းကို ခံနိုင်ရည်ရှိရန် လိုအပ်သည်။ သို့သော် သေးငယ်သည့် air conditioner များ တွင် defrost cycle ၌ liquid return ဖြစ်ခြင်းကို ကာကွယ်ရန် အတွက် preventative system control တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။

ပုံ ၁၃-၃၉ Line break protector located at the meeting point of the motor windings

Refrigeration system ကို စမောင်းလျှင်မောင်းခြင်း suction temperature နှင့် suction pressure တို့သည် ပုံမှန် မောင်းနေသည့် အခြေအနေ(operating condition)ထက် ပိုမြင့် နေလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် discharge pressure ပိုမြင့်မားကာ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု ပိုများလိမ့်မည်။ ထို့အပြင် compressor အရှိန်ရရန်အတွက် မော်တာသည် လုံလောက်သည့် torque ကို ထုတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ စီးပွားရေးလုပ်ငန်းသုံး(commercial)နှင့် စက်မှုလုပ်ငန်းများ (industrial application) တွင် unloaded start bypass ၊ suction pressure regulation စသည့် starting device များကို အသုံးပြုကြသည်။ စတင် မောင်းချိန်(start up)တွင် electrical surge ဖြစ်ပေါ်ခြင်း လျော့နည်းစေရန် ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသင့်သည်။ Open compressor များတွက် pulldown power နှင့် allowance 25% အပိုဆောင်းထားပြီး မော်တာ အရွယ်အစား ရွေးချယ်သင့်သည်။

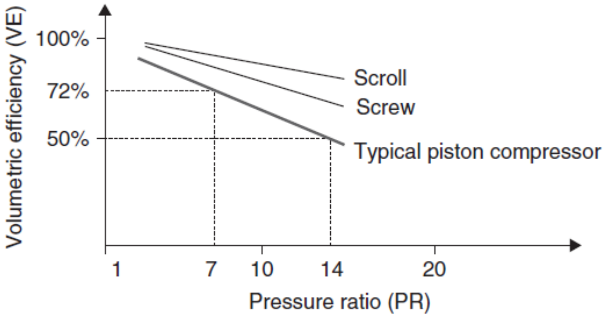
Open compressor များနှင့် တွဲ၍ မောင်းမည့် မော်တာကို ၂၅% ခန့် အပိုဆောင်း၍ အရွယ်အစား ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် မော်တာသည် သက်တမ်း တစ်လျှောက်လုံးနီးပါး rated output ၏ ၈၀% ခန့်ဖြင့်သာ မောင်းနေသောကြောင့် efficiency ကျဆင်းသည်။ Running current နည်းပြီး power factor ညံ့ဖျင်းသည်။



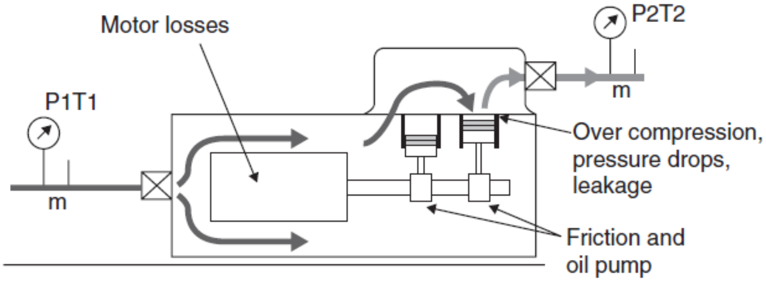
ပုံ ၁၃-၄၀ Volumetric losses

၁၃.၅ Compressor Efficiency

လက်တွေ့တွင် compressorမှ ဖိသိပ်(compress)လိုက်သည့် gas ထုထည်ပမာဏသည် ဆလင်ဒါအတွင်းရှိ ပင်စတင် ၏ displacement volume ထက် ပိုနည်းလေ့ရှိသည်။ Re-expansion loss ကြောင့် ဖြစ်သည်။ ပုံ(၁၃-၄၀)တွင် တခြားသော ဆုံးရှုံးမှုများ(other losses)ကို ဖော်ပြထားသည်။ Volumetric efficiency(VE)တွက်ရာတွင် compressor ၏ စီးနှုန်း(flow rate)ကို လျော့နည်းစေနိုင်သည့် အချက်များ အားလုံးကို ထည့်သွင်းရမည်။



ပုံ ၁၃-၄၁ Compressor အမျိုးမျိုးတို့၏ Volumetric Efficiency(VE) characteristics ကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၃-၄၂ Compressor ၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် စွမ်းအင်ဆုံးရှုံးမှုများ (power losses)

အဝင်(inlet or suction)အခြေအနေ(pressure P1 နှင့် temperature T1)ကို reference point အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Enclosed အမျိုးအစားများတွင် motor loss များကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် အပူများကိုပါ ထည့်သွင်းစဉ်းစားရမည်။

ပုံ(၁၃-၄၁)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း လက်တွေ့ အခြေအနေတွင် Volumetric Efficiency(VE) သည် ဖိအားအချိုး(pressure ratio)နှင့် တိုက်ရိုက် ဆက်သွယ်နေသည်။ Reciprocating compressor များတွင် re-expansion ဖြစ်ခြင်းသည် အဓိကကျသည့် volumetric loss ဖြစ်သည်။

Compression ၏ energy efficiency သည် ideal adiabatic compression process ကို အခြေခံ၍ တွက်ယူသည်။ Isentropic power input သည် mass flow rate (m) ကို ဖိအား P1 နှင့် T1 အခြေအနေမှ P2 သို့ ရောက်စေရန်အတွက် ထည့်ပေးရမည့် အနည်းဆုံး စွမ်းအင်ပမာဏ ဖြစ်သည်။ ပုံ(၁၃-၄၂)တွင် ပြထားသည့် ဆုံးရှုံးမှုများ(losses)ကြောင့် လက်တွေ့တွင် သုံးစွဲလိုက်သည့် စွမ်းအင်ပမာဏသည် isentropic power input ထက် ပိုများသည်။

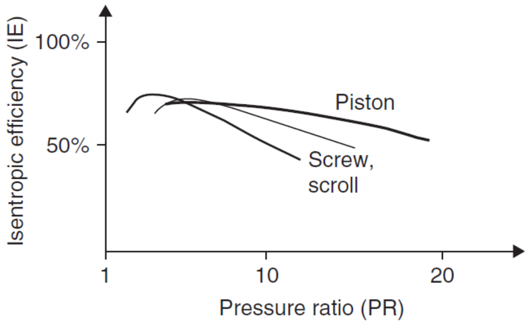
ဆုံးရှုံးသွားသည့် စွမ်းအင် ပမာဏသည် compressor အမျိုးအစားပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ခန့်မှန်းခြေအားဖြင့် လက်ခံနိုင်သည့် စွမ်းအင်မှုဆုံးရှုံးမှုများမှာ အောက်ပါအတိုင်းဖြစ်သည်။

(၁) 10% motor loss (မော်တာ efficiency သည် 90% ခန့် ဖြစ်သောကြောင့် motor loss သည် 10% ဖြစ်သည်။)
(၂) 10% friction losses နှင့်
(၃) 10% flow and heat transfer losses တို့ ဖြစ်သည်။

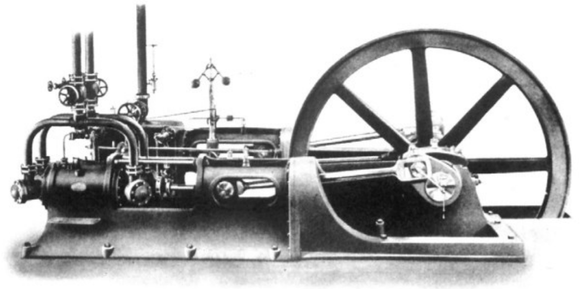
လက်တွေ့တွင် 70%ထက်ကျော်သည့် Isentropic Efficiency(IE)ရလျှင် အလွန်ကောင်းသည့် compressor ဟု ဆိုနိုင်သည်။ ပုံ(၁၃-၄၂)တွင် ယေဘုယျ Isentropic Efficiency(IE)များကို ဖော်ပြထားသည်။

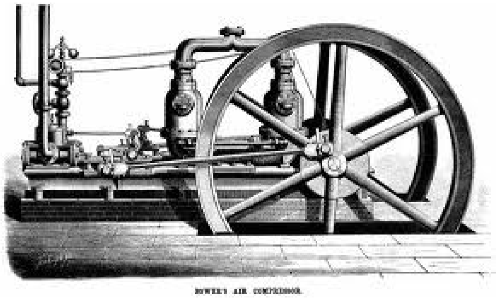
$$\textbf{Volumetric efficiency (VE)} = \frac{\textbf{Actual volume flow at suction}}{\textbf{Compressor displacement}}$$

$$\textbf{Isentropic efficiency (IE)} = \frac{\textbf{Isentropic power input}}{\textbf{Actual power input}}$$



ပုံ ၁၃-၄၃ Compressor အမျိုးမျိုးတို့၏ Isentropic Efficiency(IE) characteristics ကို ဖော်ပြထားသည်။





ပုံ ၁၃-၄၄ Double acting ammonia compressor and steam engine (၁၈၇၇ ခုနှစ်)

၁၃.၆ Reciprocating Chiller

Compressor များကို configuration သုံးမျိုးဖြင့် ရရှိနိုင်သည်။

(၁) Hermetic
(၂) Semi-hermetic နှင့်
(၃) Direct drive သို့မဟုတ် open drive တို့ ဖြစ်သည်။

Hermetic compressor တွင် motor နှင့် compressor ကို အခွံ(enclosure) တစ်ခုအတွင်း၌ အတူ တပ်ဆင်ထားပြီး seal လုပ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် compressor နှင့် မော်တာ တို့၏ အစိတ်အပိုင်းများ ပျက်စီးသည့်အခါတွင် အလွယ်တကူ ပြုပြင်၊ ပြင်ဆင်ရန် မဖြစ်နိုင်သောကြောင့် အသစ်တစ်လုံးဖြင့် အစားထိုး လဲလှယ်ရသည်။ Hermetic compressor များသည် capacity သေးငယ်သည့် compressor များ ဖြစ်ကြသည်။

Semi hermetic compressor များတွင် မော်တာ နှင့် compressor ကို အတူတကွ အခွံ(enclosure) အတွင်း၌ တပ်ဆင်ထားသော်လည်း seal မလုပ်ထားပေ။ Seal မလုပ်ထားသောကြောင့် အစိတ်အပိုင်းများ ပျက်စီးသည့်အခါ ပြုပြင် ပြင်ဆင်၍ ပြန်လည်အသုံးပြုနိုင်သည်။

Reciprocating compressor များ၏ အားသာချက်များမှာ ဈေးနှုန်း ချိုသာခြင်း၊ capacity သေးငယ်သည့် စက်များတွင် efficiency ကောင်းခြင်းတို့ ဖြစ်သည်။ Cooling capacity များများ လိုအပ်သည့်အခါ reciprocating compressor များကို အတွဲလိုက် တပ်ဆင်၍ မောင်းနိုင်သည်။ Control လုပ်ရန် လွယ်ကူသည်။ Air cooled နှင့် water cooled configuration နှစ်မျိုးလုံး ရရှိနိုင်သည်။

Table 13-1 reciprocating compressor များ၏ အားသာချက်များ နှင့် အားနည်းချက်များ

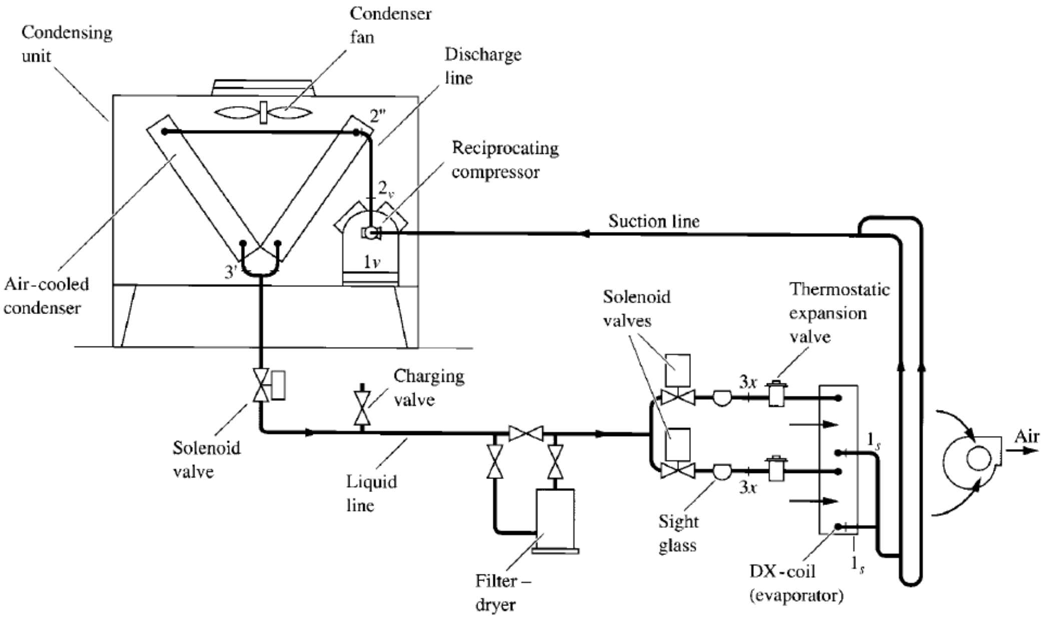
	Advantages	Disadvantages
Open type	(1) Dismantling and inspection are possible.	(1) Dimensions of units are larger than that of other compressors having the same horsepower.
	(2)Revolving speed is variable.	(2) Shaft seal is necessary and there is possibility of gas leakage.
	(3)Engine drive is possible.	
Semi-hermetic type	(1) Dismantling and inspection are possible.	(1) Revolving speed is fixed
	(2) No gas leaks from shaft seal.	(2) Motor is free from any moisture or dust.
	(3) Moving parts are not exposed.	
	(4) Running noise is smaller than that of the open type.	
Hermetic type	(1) Compact and light.	(1) Dismantling is impossible when damaged. A whole compressor should be replaced.
	(2) No gas leaks.	(2) Motor is free from moisture or dust.
	(3) Moving parts are not exposed.	
	(4) Running noise is low.	
	Low Cost ၊ Simple Maintenance	Frequent maintenance ၊ high maintenance cost
	Compact	Limited capacity/size Many moving parts ၊ Limited pressure differential
	Efficient unloading	Discrete unloading

အားနည်းချက်မှာ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများစွာ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ တခြားသော compressor အမျိုးအစားများ နှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် reciprocating compressor တွင် လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်း(moving part) များစွာ ပါဝင်သောကြောင့် ပွန်းတီးတိုက်စားမှု ပိုများသည်။ Reciprocating chiller များမောင်းသည့်အခါ အသံအလွန် ဆူညံသည်။ တုန်ခါမှုများသည်။ တုန်ခါမှုနှင့် ဆူညံသံများ မပျံ့နှံ့သွားစေရန်အတွက် ကာကွယ်တားဆီးမှုများပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Cooling load 200 RT ထက် ပိုများလျှင်reciprocating chiller များကို အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။

ကြီးမားသည့် reciprocating chiller များ ပြုလုပ်လျှင် တပ်ဆင်ရန် နေရာကျယ်ကျယ် လိုအပ်ပြီး၊ အစဦး ကုန်ကျစရိတ် (first cost) အလွန်များသည်။ တခြားသော chiller များထက် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုလည်း ပိုများသည်။

Reciprocating compressor များ၏ cooling capacity range သည် 1RT မှ 200 RT (3.5 kW မှ 700 kW) အတွင်း ဖြစ်သည်။ Refrigerant HCFC-22 ၊ HFC-134A ၊ HFC-404A ၊ HFC-407A နှင့် HFC-407C တို့ကို comfort နှင့် process air conditioning များအတွက် အသုံးပြုသည်။ R-717(ammonia)ကို စက်မှုလုပ်ငန်း(industrial application) များတွင် အသုံးပြုသည်။

Single stage reciprocating compressor များမှ အမြင့်ဆုံးရရှိနိုင်သည့် compression ratio သည် 7 ဖြစ်သည်။ Reciprocating compressor များ၏ compression ratio 1 မှ 6 အထိ မြင့်တက်လာရန်အတွက် volumetric efficiency သည် 0.92 မှ 0.65 kW/RT အထိ ကျဆင်းသွားသည်။ Compression ratio 4 မှ 6 အထိ မြင့်တက် လာရန်အတွက် isentropic efficiency သို့မဟုတ် compressor efficiency သည် 0.83 မှ 0.75 kW/RT အထိ ကျဆင်း သွားသည်။



ပုံ ၁၃-၄၅ Air-cooled reciprocating DX cooler တစ်လုံး

၁၃.၆.၁ Types of Reciprocating Refrigeration Systems

Reciprocating vapor compression ၊ refrigeration system များကို အောက်ပါအတိုင်း ခွဲခြားနိုင်သည်။

Air-Cooled Reciprocating DX Cooler

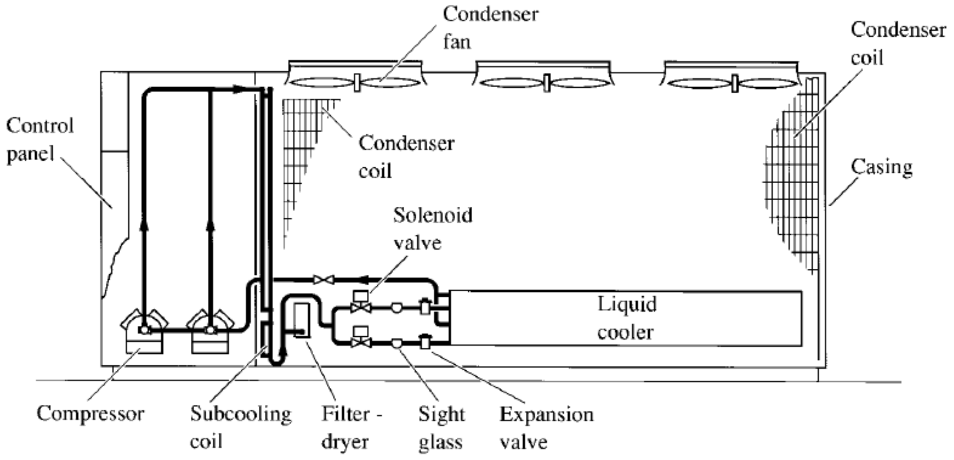
ပုံ(၁၃-၄၅)တွင် air-cooled ၊ reciprocating DX cooler တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။ DX system တွင် direct-expansion coil သည် evaporator ဖြစ်သည်။ HCFC-22 နှင့် HFC-134a ကို အဓိက(primary) refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုသည်။ Air-cooled condenser နှင့် reciprocating compressor(s) နှစ်ခုပေါင်း၍ condensing unit ဟု ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ Condensing unit များကို အဆောက်အဦ အပြင်ဘက်တွင် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။

Supermarket နှင့် စက်မှုလုပ်ငန်းများ(industrial applications)တွင် DX coil များကို ကုန်ပစ္စည်းများ ပြသရန်(refrigerated display cases)၊ အစားသောက်ကုန်များ ထုတ်လုပ်ရန် နှင့် သိမ်းဆည်းရန် (food processing and food storage facilities)အတွက် အသုံးပြုကြသည်။ Heat transfer ပိုကောင်းစေရန် DX coil အတွင်းသို့ လေကို fan ဖြင့် မောင်းထည့်ပေးသည်။ DX system များတွင် reciprocating

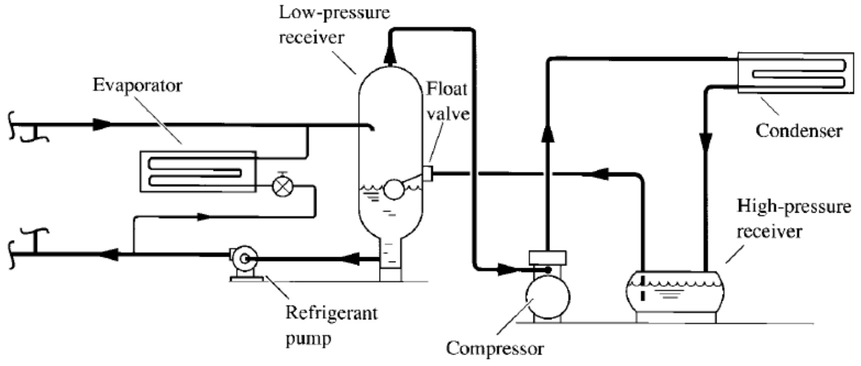
compressor သို့မဟုတ် scroll compressor များကို အသုံးပြုကြသည်။

Air-Cooled Reciprocating Chiller

Air-cooled reciprocating chiller များတွင် evaporator အဖြစ် direct-expansion shell-and-tube liquid cooler ၊ air-cooled condenser ၊ reciprocating compressor(s) ၊ တခြားသော component များနှင့် control တို့ ပါဝင်သည်။ တစ်စုံလုံးကို air-cooled reciprocating chiller ဟုခေါ်သည်။ ပုံ(၁၃-၄၆) တွင် ဖော်ပြထားသည်။ HCFC-22 နှင့် HFC-134a တို့သည် အများဆုံးအသုံးပြုသည် refrigerant များဖြစ်ကြသည်။ Shell-and-tube liquid cooler အတွင်းရှိ သတ္တုtube များအတွင်း၌ refrigerant များ အပူကို စုပ်ယူပြီး အငွေ့ပျံ(evaporates)သည်။ Chiller တစ်ခုလုံးကို စတီးပြားများ(steel sheets)များဖြင့် ဖုံးအုပ်ထားပြီး သံချေးမတက်သည့်ဆေး(corrosion-resistant paint)သုတ်ထားသည်။



ပုံ ၁၃-၄၆ Air-cooled reciprocating chiller



ပုံ ၁၃-၄၇ Liquid overfeed reciprocating refrigeration system

ကြီးမားသည့် air-cooled reciprocating chiller များတွင် air-cooled condenser coil များကို ဘေးနှစ်ဘက်စလုံးတွင် တပ်ဆင်ထားသည်။ Subcooling coil သည် အောက်ဘက်တွင် တည်ရှိပြီး condensing coil ကို liquid accumulator မှ တစ်ဆင့် ဆက်သွယ်ထားသည်။ Air-cooled reciprocating chiller များ ကို အဆောက်အဦများ၏ ခေါင်မိုး(rooftop) သို့မဟုတ် အပေါ်ဆုံးထပ်တွင် တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။

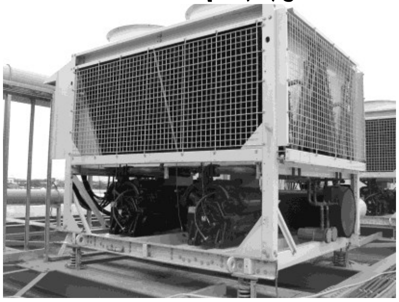
AHRI Standard 550/590-2011 အရ air-cooled reciprocating chiller များ နှင့် centrifugal chiller များတို့၏ rating သတ်မှတ်ပုံ တူညီကြသည်။ ရေရရှိရန် ခက်ခဲသည့်နေရာများ နှင့် ရေအတွက် ကုန်ကျစရိတ်များသည့် နေရာများတွင် air cooled reciprocating chiller များကို အသုံးပြုကြသည်။ Air conditioning system များနှင့် 250 tons(879 kW) နည်းသည့် စက်မှုလုပ်ငန်းများတွင် air cooled reciprocating chiller များကို တပ်ဆင် အသုံးပြုနိုင်သည်။

YAEP--- Reciprocating Chiller

- R22 & R407C are available
- York Reciprocating compressor
- DX evaporator
- Cooling Capacity: 60-450 TR
- COP: 2.8 – 3.2

ပုံ ၁၃-၄၈ Air-cooled reciprocating chiller

ပုံ ၁၃-၄၉ Semi hermetic reciprocating compressor



ပုံ ၁၃-၅၀ Air cooled reciprocating chiller

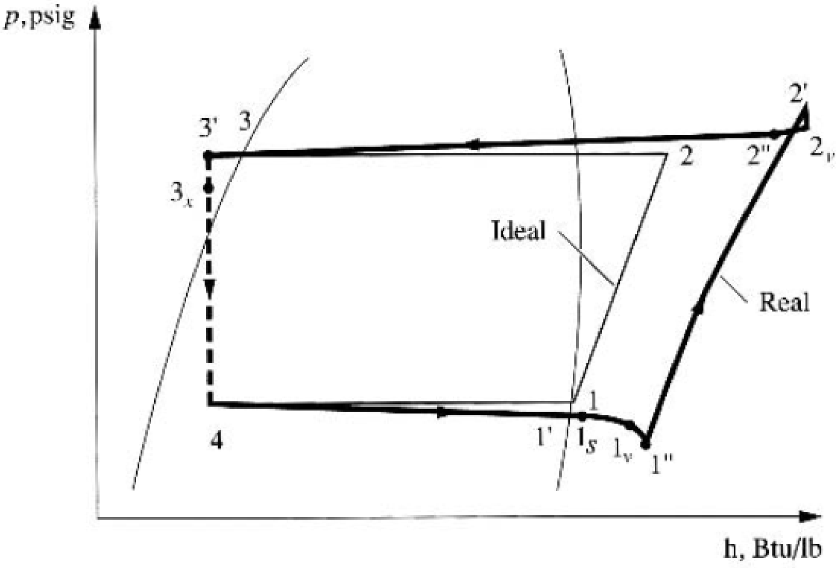
ပုံ ၁၃-၅၁ Electrical panel

၁၃.၆.၂ Liquid Overfeed Reciprocating Refrigeration Systems

Liquid overfeed reciprocating refrigeration system များတွင် liquid overfeed cooler များကို evaporator အဖြစ် အသုံးပြုသည်။ ပုံ(၁၃-၄၇)တွင် liquid overfeed reciprocating system တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။ Ammonia(R-717) နှင့် HCFC-22 တို့ကို refrigerant အဖြစ် အသုံးပြုသည်။ Refrigerant များ လည်ပတ်ရန်အတွက် refrigerant pump အပိုတစ်ခု ပါရှိရန် လိုအပ်သည်။ Evaporating rate ထက် အဆပေါင်း များစွာ ပိုများသည့် evaporator စီးနှုန်း(flow rate) ရရှိရန် လိုအပ်သည်။

အလိုရှိသည့် evaporating pressure ရရှိအောင် expansion valve က throttle လုပ်ပေးသည်။ Evaporator ၏ tube များအတွင်း၌ liquid refrigerant များသည် vapor အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားပြီး low-pressure receiver အတွင်း၌ စုဝေးနေစေသည်။ Dry-expansion evaporator အမျိုးအစား မဟုတ်ပေ။ Liquid overfeed system ကို water-cooled condenser များနှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။

Liquid overfeed refrigeration system များ၏ အားသာချက်များမှာ အတွင်းမျက်နှာပြင်များသည် စိုစွတ် နေသောကြောင့် heat-transfer coefficient ပိုကောင်းခြင်း နှင့် ရိုးရှင်းလွယ်ကူစွာ refrigerant flow control လုပ်နိုင်ခြင်းတို့ ဖြစ်သည်။ Liquid overfeed refrigeration system များကို industrial refrigeration၊ စားသောက်ကုန်များ သိမ်းဆည်းရာ နေရာ(food storage)နှင့် တချို့သော ရေခဲခန်း၊ ရေခဲစက်(ice storage system) များတွင် အသုံးပြုကြသည်။



ပုံ ၁၃-၅၂ Actual and ideal reciprocating vapor compression refrigeration cycle on p-h diagram

၁၃.၆.၃ Real Cycle of a Single-Stage Reciprocating Refrigeration System

Reciprocating refrigeration system တစ်ခု မောင်းနေသည့်အခါ pipelines ၊ valves ၊ compressor passages ၊ evaporator နှင့် condenser များတွင် ဖိအားကျဆင်းမှု ဖြစ်ပါသောကြောင့် actual refrigeration cycle သည် ideal cycle နှင့် မတူညီပါ။ လက်တွေ့တွင် compression process နှင့် expansion process တို့သည် isentropic process မဖြစ်နိုင်ပေ။

ပုံ(၁၃-၅၂)တွင် single-stage reciprocating vapor compression refrigeration ၏ real cycle ကို p-h diagram ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ Actual refrigeration cycle ကို မျဉ်းအထူဖြင့် ဖော်ပြထားသည့် ideal cycle ကို မျဉ်းအပါးဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

၁၃.၇ Reciprocating Refrigeration System Oil Lubrication

လှုပ်ရှားနေသည့် အရာဝတ္ထုများ၏ မျက်နှာပြင်တွင် ပွန်းတီးခြင်းနှင့် တိုက်စားခြင်းစသည်တို့ မဖြစ်ပေါ်စေရန် အတွက် ချောဆီလွှာ(fluid film)တစ်မျိုး ဖုံးအုပ်ကာကွယ်ထားပေးရန် လိုအပ်သည်။ ပွတ်တိုက်ခြင်း ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော အပူများကို ဖယ်ရှားရန်နှင့် refrigerant ကို အေးစေရန်အတွက် ချောဆီ(oil)ကို အသုံးပြုသည်။ ဆလင်ဒါနှင့် ပင်စတင်အကြား၊ valve နှင့် valve plate အကြားတို့တွင် ချောဆီ(oil)သည် oil seal အဖြစ် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Refrigeration system များတွင် mineral နှင့် synthetic oil များကို lubrication အတွက် အသုံးပြု ကြသည်။

HCFC-22 သည် ချောဆီထဲတွင် ပျော်ဝင်(oil-miscible) နိုင်သောကြောင့် compressor အတွင်းသို့ refrigerant-oil mixture အနေဖြင့် ဝင်ရောက်လာနိုင်သည်။ HFC နှင့် HFC blend များသည် mineral oil တွင် မပျော်ဝင်နိုင်သောကြောင့် polyolester-based synthetic oil ကိုသာ ချောဆီ(lubrication oil)အဖြစ် အသုံးပြု နိုင်သည်။

Chiller များတွင် အသုံးပြုမည့် ချောဆီ(oil)ထဲတွင် အစိုင်အခဲ(solid)များ၊ ဖယောင်း(wax) စသည်တို့ ကင်းစင်ရမည်။ ဓာတုနည်းဖြင့်ပြိုကွဲခြင်း မဖြစ်စေရ (chermically stable)။ သင့်လျော်သည် စေးပျစ်မှု(viscosity) ရှိရမည်။ ASHRAE handbook 1994 အရ HCFC-22 နှင့် halogenated refrigerant ကို အသုံးပြုသည့် reciprocating compressor များတွင် Saybolt Seconds Universal(SSU) viscosity သည် (၁၅၀) မှ (၃၀၀) အတွင်း ရှိရမည်။ Kinematic viscosity 92, 900 mm^2/sec သည် 4.3 x 105 SSU နှင့် ညီမျှသည်။

အလတ်စား(medium) နှင့် အကြီးစား(large) reciprocating compressor များတွင် positive displacement vane သို့မဟုတ် gear oil pump များကို အသုံးပြု၍ ချောဆီ(oil)ကို အားဖြင့်တွန်းခြင်း(forced-feed lubrication) ပြုလုပ်သည်။ ဆီဝင်ပေါက်(oil passage)များ မှတစ်ဆင့် main bearing မျက်နှာပြင်နှင့် crankshaft ဆီသို့ ချောဆီ(oil)များကို တွန်းပို့ပေးသည်။ Crankshaft သည် လည်နေသောကြောင့် ဆလင်ဒါ နံရံ(cylinder wall) နှင့် piston pin များတွင် ချောဆီများ စိုစွတ်သွားသည်။ Crankshaft ၏ ထိပ်တစ်ဘက်တွင် ဆီပန့်(oil pump)ကို တပ်ဆင်ထားသည်။ ဆီစစ်(strainer) ကို oil sump အတွင်း၌ မြှုပ်ထားသည်။ Oil sump သည် ဆီပန့်(oil pump) ၏ suction intake နှင့် ချိတ်ဆက်ထားသည်။

Crankcase အတွင်းရှိ refrigerant ၏ ဖိအားသည် suction pressure နှင့် ညီမျှသည်။ ချောဆီပန့်(oil pump)၏ တွန်းနိုင်သည့်အမြင့်(pressure lift)သည် suction pressure နှင့် discharge pressure တို့၏ ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။

သေးငယ်သည့် reciprocating compressor များတွင် ချောဆီများပက်ဖြန်းသည့်နည်း(splash lubrication)ကို အသုံးပြုသည်။ လည်နေသည့် crankshaft နှင့် connecting rod ကို အသုံးပြု၍ ချောဆီများကို ဘယ်ရင်မျက်နှာပြင်(bearingsurface)၊ ဆလင်ဒါနံရံ(cylinder wall) နှင့် လှုပ်ရှားနေသည့် အစိတ်အပိုင်းများ(moving parts) အပေါ်သို့ ပက်ဖြန်းပေးသည်။ Crankcase အတွင်း၌ လုံလောက်သည့် ဆီပမာဏရှိရန် လိုအပ်သည်။ ဆီပက်ဖြန်း(splash lubrication)နည်းသည် ရိုးရှင်းသည့်နည်း ဖြစ်သည်။ အားနည်းချက်မှာ ဘယ်ရင်အကြား လွတ်နေသည့်နေရာ(bearing clearance)သည် ပုံမှန်ထက် ပိုကျယ်သောကြောင့် ဆူညံသံ မြင့်မားသည်။

Refrigerant ပိုက်များကို ဒီဇိုင်းလုပ်သည့်အခါ evaporator နှင့် condenser တို့မှ ပြန်လာသည့် oil များ အတွက်ပါ ထည့်၍တွက်ရန် လိုအပ်သည်။ ချောဆီ(oil)များကို compressor အတွင်း၌ suction vapor မှ ဖယ်ထုတ်ပြီး crankcase ဆီသို့ ပြန်ပို့ပေးရမည်။

၁၃.၇.၁ Strainers ၊ Lubrication and Crankcase Heater

Compressor အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် gas များတွင် အညစ်အကြေးများ ပါဝင်လာနိုင်သည်။ အထူးသဖြင့် system အသစ်များတွင် အညစ်အကြေးများ ပို၍ ရှိနေနိုင်သည်။ Suction strainer သို့မဟုတ် trap များ တပ်ဆင်၍ အညစ်အကြေးများကို ဖမ်းယူ တားဆီးထားနိုင်သည်။

သေးငယ်သည့် compressor များ၏ ချောဆီပတ်လမ်း(lubricating oil circuit)တွင် strainer သို့မဟုတ် filter တပ်ဆင်ထားသည်။ ချောဆီကို ပန့်ဖြင့် တွန်းပေးပြီး compressor အတွင်းသို့ ပက်ဖြန်းပေးသည်။

Semi-hermetic နှင့် open compressor များတွင် ချောဆီပမာဏ(oil level)ကို သိနိုင်ရန်အတွက် sight glass တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ Compressor idle ဖြစ်နေချိန်တွင် ချောဆီထဲတွင် refrigerant တချို့ ပျော်ဝင်နေသည်။ ပျော်ဝင်နေသည့် ပမာဏသည် refrigerant ၏ ဖိအား(pressure)၊ အပူချိန်(temperature) နှင့် refrigerant အမျိုးအစား ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ချောဆီထဲတွင် refrigerant အနည်းငယ်သာ ပျော်ဝင်နေစေရန် crankcases heater တပ်ဆင်ထားသည်။

၁၃.၈ Capacity Control of Reciprocating Compressors

အလိုရှိသည့် setpoint ကို ထိန်းထားနိုင်ရန်အတွက် evaporator အတွင်းမှ ထွက်သွားသည့် refrigerant gas ၏ အပူချိန်ကို control လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Refrigerant အငွေ့၏ အပူချိန်သည် refrigerant စီးနှုန်းပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Refrigerant စီးနှုန်းကို expansion valve ဖြင့် control လုပ်သည်။ Expansion valve သည် chiller capacity ကို control လုပ်ရန်အတွက် refrigerant စီးနှုန်းကို control လုပ်သည်။ Expansion valve ကို throttling လုပ်ခြင်းကြောင့် system ဖိအားမြင့်တက်လာသည်။ Compressor သည် discharge pressure setpoint ကို ထိန်းထားနိုင်ရန်အတွက် refrigerant စီးနှုန်းကို လျှော့ချရန် လိုအပ်သည်။

လက်တွေ့အခြေအနေတွင် ဖြစ်ပေါ်နေသည့် load နှင့် ကိုက်ညီအောင် refrigeration system များကို မောင်းရန် လိုအပ်သောကြောင့် compressor များတွင် capacity လျှော့ချနိုင်သည့် ကိရိယာ(reduction device)များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ် သည်။ မြန်နှုန်းထိန်းခြင်း(speed control)သည် အထင်ရှားဆုံးသောနည်း ဖြစ်သည်။ သို့သော် VSD ကဲ့သို့သော inverter drive များ အသုံးပြုရန် လိုအပ်သည်။

ပုံ(၁၃-၅၂)တွင် ဝန်အပြည့်(full capacity)ဖြင့် မောင်းနေသည့် ပုံမှန် အခြေအနေဖြစ်သည်။ ထိုအချိန်တွင် solenoid valve သည် de-energized ဖြစ်နေသည်။ ပုံ(၁၃-၅၁)တွင် suction ပိတ်သွားသောကြောင့် capacity ကျဆင်းပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

Reciprocating compressor များတွင် refrigerant စီးနှုန်း(flow rate) နှင့် capacity ကို လျှော့ချရန် အတွက် အသုံးများသောနည်းများမှာ suction valve ဖွင့်ပေးခြင်း၊ compressor အတွင်း၌ refrigerant gas bypassing သို့မဟုတ် တခြား compressor တစ်လုံးဆီသို့ refrigerant gas များကို bypassing တို့ ဖြစ်သည်။

Suction valve ဖွင့်ပေးသည့်နည်းတွင် compressor ဆလင်ဒါများ၌ ရှိနေသော suction valve များကို ပြင်ပမှ actuator ဖြင့် မ,၍ ဖွင့်ပေးထားခြင်း ဖြစ်သောကြောင့် ဖိသိပ်ခြင်း(compression) မဖြစ်ပေါ်နိုင်တော့ပေ။ ထိုဆလင်ဒါများ၌ refrigerant စီးနှုန်း(flow rate) လုံးဝ မရှိတော့ပေ။

Reciprocating compressor များ၏ cooling capacity ကို control လုပ်နိုင်သည့်နည်းများကို ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Cycling (on/off) နည်း (with or without multiple compressors)

(၂) Cylinder unloader နည်း

(၃) Hot gas bypass နည်း နှင့်

(၄) Speed control နည်း တို့ ဖြစ်သည်။

ပုံ ၁၃-၅၁ Multiple compressors cycling (on/off) နည်း

၁၃.၈.၁ Cycling (on/off) With or Without Multiple Compressors

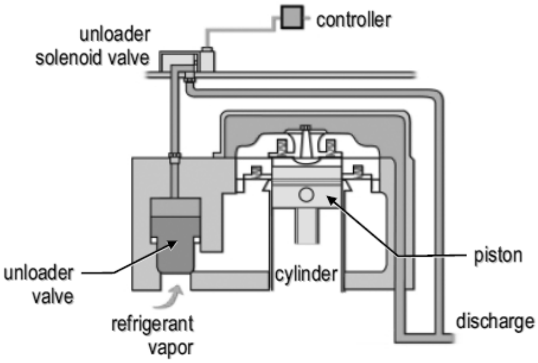
Compressor တစ်လုံးထက် ပိုများသည့် chiller များတွင် compressor ကို ရပ်နားခြင်း(off)ဖြင့်လည်း capacity control ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ဥပမာ- compressor လေးလုံး ပါဝင်သည့် chiller တွင် capacity control လုပ်ရန် stage လေးခု သို့မဟုတ် step လေးခု (25%–50%–75%–100%) ရရှိနိုင်သည်။ ဆလင်ဒါ လေးလုံးပါသည့်(four-cylinder) compressor တွင် stage လေးခု သို့မဟုတ် step လေးခု(25%–50%–75%–100%) ရရှိနိုင်သည်။ ဆလင်ဒါ လေးလုံးပါသည့်(four-cylinder) compressor နှစ်လုံးပါရှိသည့် chiller တွင် capacity control လုပ်ရန် အဆင့်(၈)ခု ရနိုင်သည်။

Reciprocating chiller တစ်လုံးတွင် compressor အရေအတွက် များလေ သို့မဟုတ် ဆလင်ဒါ အရေအတွက်များလေ capacity control လုပ်ရန် ပိုချောမွေ့လေ ဖြစ်သည်။

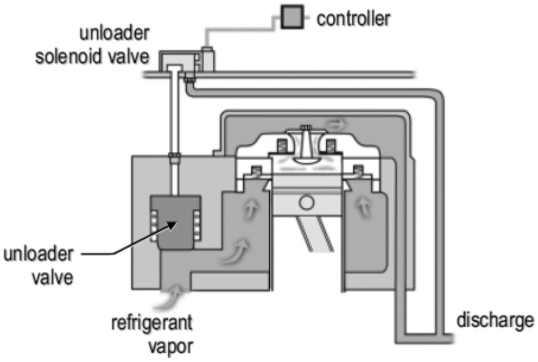
Compressor များကို on/off လုပ်၍ cycling လုပ်ခြင်းသည် ကုန်ကျစရိတ် သက်သာပြီး စွမ်းအင် ချွေတာနိုင်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။ သို့သော် အချိန်တိုအတွင်း compressor များကို အကြိမ်များစွာ မောင်းခြင်း၊ ရပ်နားခြင်းကြောင့် အချိန်မတိုင်မီ ပျက်စီးနိုင်သည်။ ထိုသို့ ပျက်စီးခြင်းများကို ကာကွယ်ရန်အတွက် ရပ်တန့်ပြီးနောက်

ပြန်မောင်းသည့်အခါတွင် အချိန် အနည်းငယ် ဆိုင်းထားခြင်း၊ compressor စတင်မောင်းပြီးနောက် ချက်ချင်း မရပ်တန့်စေရန် အနည်းဆုံး မောင်းချိန် သတ်မှတ်ပေးထားခြင်း စသည့် ကာကွယ်မှုများပါရှိရမည်။ ထို့အချက်များကြောင့် reciprocating chiller များတွင် chilled water temperature မတည်ငြိမ်ခြင်း(fluctuation) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

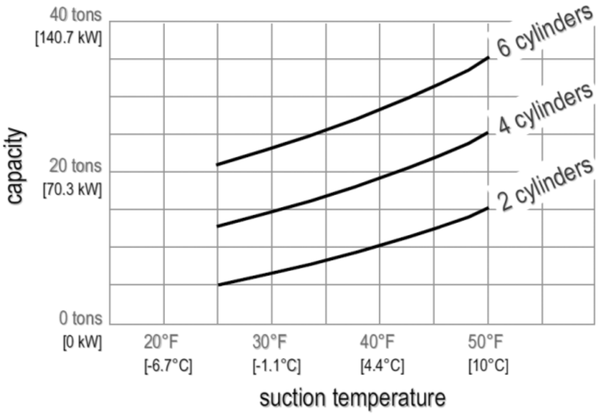
Unloader များသည် ပင်စတင်(piston)မှ ဖိသိပ်ခြင်း(compress) မပြုလုပ်အောင် suction valve ကို မ, ပေးသည့် ကိရိယာများဖြစ်သည်။ Hermetic compressor ကို refrigerant ဖြင့် အေးအောင်ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် ဆလင်ဒါ အားလုံးကို unload လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ဆလင်ဒါ unloading နည်းသည် cycling နည်းလောက် energy efficiency မကောင်းနိုင်ပေ။



ပုံ ၁၃-၅၁ Unloader valve ပိတ်နေပုံ



ပုံ ၁၃-၅၂ Unloader valve ပွင့်နေပုံ



ပုံ ၁၃-၅၃ Cylinder unloader နည်း ဖြင့် လျှော့ချနိုင်သည့် capacity

၁၃.၈.၂ Cylinder Unloader နည်း

Suction Valve ပိတ်ထားသည့်နည်း

ဆလင်ဒါများစွာပါသော(multi-cylinder) compressor များတွင် suction valve ကို ပိတ်ထားခြင်းဖြင့် swept volume ပမာဏကို လျှော့နည်းစေကာ ဆလင်ဒါများ compression မလုပ်အောင် ပြုလုပ်ထားခြင်းဖြင့် capacity ကို လျှော့ချနိုင်သည်။

Plunger အကြားတွင် ရှိနေသည့် ဖိအား(gas pressure)များ တူညီကြသည်။ Plunger ကို ဖွင့်နေသည့် အနေအထားဖြစ်အောင် စပရိန်(spring)က ပြုလုပ်ပေးသည်။ Solenoid valve က energize ဖြစ်သည့်အခါ needle valve သည် အပေါ်တွင်(upper port) ရှိနေသည်။ Unloading plunger chamber သည် discharge pressure port မှ တစ်ဆင့် discharge pressure သက်ရောက်ခြင်း ခံရသည်။ Discharge နှင့် suction pressure ကွာခြားချက်ကြောင့် plunger အောက်သို့ နိမ့်ဆင်းသွားသည်။ suction port ကို valve plate ဖြင့် ဖုံးအုပ်သွားသောကြောင့် unloaded cylinder များအတွင်းသို့ suction vapor မဝင်ရောက် နိုင်တော့ပေ။

Cylinder Unloaders

Cooling capacity 10 tons [35 kW] ထက် ပိုကြီးမားသည့် reciprocating compressor များတွင် cylinder unloader ကို တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။ Cooling capacity လျော့နည်းစေရန်အတွက် cylinder များကို ဖိသိပ်ခြင်း မပြုလုပ်ရန်(deactivate) cylinder unloader များက ပြုလုပ်ပေးသည်။

ဆလင်ဒါ(cylinder) အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာမည့် gas များကို ပိတ်ဆို့ရန် unloader valve ကို လျှပ်စစ်ဓာတ်အားဖြင့် မောင်းသည်။ Cooling load လျော့နည်းသည့်အခါ electronic controller မှ solenoid valve ကို ဖွင့်ရန် အချက်(signal) ပေးလိုက်သည်။ Solenoid valve သည် compressor discharge မှ ဖိအား မြင့်သည့် (pressurized) refrigerant vapor များကို unloader valve ထိပ်သို့ ရောက်အောင် လမ်းကြောင်းပြောင်း(divert) ပေးလိုက်သောကြောင့် unloader valve ပိတ်သွားပြီး cylinder အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာမည့် refrigerant vapor များ ရပ်တန့်သွားသည်။

ပင်စတင်(piston)သည် အထက်သို့တက်ခြင်း၊ အောက်သို့ဆင်းခြင်းဖြင့် ဆလင်ဒါ(cylinder) အတွင်း၌ ရွေ့လျားနေသော်လည်း ဖိသိပ်ခြင်း(compression) မပြုလုပ်ပေ။ Load များလာသည့်အခါ solenoid valve ပိတ်ရန် အချက်(signal) ပေးလိုက်သည်။ ဖိအားမြင့်သည့်(pressurized) refrigerant vapor များ unloader valve ထိပ်မှ ဆလင်ဒါ(cylinder) အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်နိုင်သည်။

Suction valve ကို ပွင့်နေအောင် လုပ်ထားပေးမည့် mechanisms ကို cylinder unloader ဟု ခေါ်ဆိုနိုင်သည်။ Suction valve အမြဲပွင့်နေသောကြောင့် ဖိသိပ်ခြင်း(compression) မဖြစ်ပေါ်နိုင်တော့ပေ။ နောက်ထပ် cylinder unloader တစ်မျိုးမှာ ဖိအားမြင့်သည့်(compressed) refrigerant များကို suction ဘက်သို့လမ်းလွှဲ(divert) ပေးသည့် နည်းဖြစ်သည်။

Suction temperature မြင့်တက်လေ compressor ၏ capacity များလေဖြစ်သည်။ Suction temperature မြင့်တက်ချိန်တွင် suction pressure မြင့်တက်နေလိမ့်မည်။ ဖိအားမြင့်သည့် refrigerant သည် ပို၍ သိပ်သည်းသောကြောင့်(denser) compression cycle တစ်ခုအတွင်း၌ ပိုများသည့် ထုထည်ကို ဖိသိပ်နိုင်ခြင်း ဖြစ်သောကြောင့် capacity ပိုများခြင်း ဖြစ်သည်။

ဘားကို မ,တင်ထားသည့်နည်း (Valve Lifting Method)

ဘားကို မ,တင်ထားသည့်နည်း(valve-lifting method)တွင် ring plate valve များကို အသုံးပြုကြသည်။ Ring plate suction valve များသည် crown တွင် တည်ရှိပြီး မ,တင်ထားသည့်နည်း အမျိုးမျိုးကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ ချောဆီ ဖိအား(lubricating oil)ကို solenoid valve များဖြင့် ထိန်းပေးသည်။ ဆလင်ဒါများစွာပါရှိသည့်စက်များ(multi-cylinder machines)မှ ဆလင်ဒါ(cylinder) တချို့ကို unload လုပ်ပေးခြင်းဖြင့် စွမ်းရည်(capacity)ကို လျော့နည်းစေနိုင်သည်။ ထိုကဲ့သို့ ဆလင်ဒါ(cylinder) များကို unload လုပ်ထားခြင်းကို compressor စတင် မောင်းသည့် အချိန်၌လည်း ပြုလုပ်ထားခြင်းဖြင့် starting current ကို လျော့နည်းစေသည်။ Compressor သည် ဝန်အပြည့်ဖြင့် မောင်းချိန်(fully loaded) မတိုင်ခင် ချောဆီဖိအား(oil pressure)ကို မြင့်တက်စေသည်။

သေးငယ်သည့်စက်များတွင် cylinder head ၏ inlet နှင့် outlet port များကို bypass လုပ်ပေးနိုင်သည့် valve များ တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ သို့မဟုတ် cylinder head များ၏ အရွယ်အစားလိုသလို ပြောင်းနိုင်သည့် variable clearance pocket များ ပြုလုပ်ထားသည်။ Compressor ၏ အပြင်ဘက်၌ ပိုက်များတပ်ဆင်၍ bypass လုပ်ခြင်းဖြင့်လည်း capacity လျော့နည်းစေနိုင်သည်။

၁၃.၈.၃ Hot gas bypass နည်း

ဆလင်ဒါများ၌ discharge ဘက်မှ ဖိအားမြင့်သည့်(high pressure) hot gas များကို condenser ဆီသို့ မရောက်စေဘဲ suction ဘက်သို့ လမ်းလွှဲသည့်နည်း ဖြစ်သည်။ တပ်ဆင်ထားသည့် solenoid valve များသည် refrigerant flow ကို လမ်းလွှဲပေးခြင်း သို့မဟုတ် bypass လုပ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ Pressure differential သို့မဟုတ်

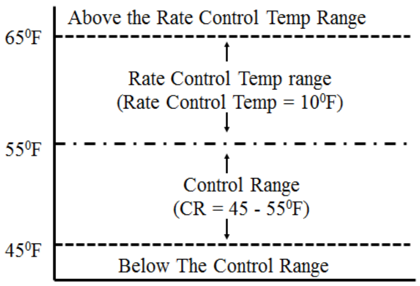
"lift" ကို လျှော့ချနိုင်ပြီး evaporator အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာမည့် refrigerant gas flow ကို လည်း လျှော့နည်းစေသည်။

Hot gas bypass နည်းသည် low suction pressure ကို အခြေခံ၍ capacity control လုပ်သည့်နည်းဖြစ်သည်။ နောက်ဆုံး သို့မဟုတ် အနည်းဆုံး unloading stage သို့ ရောက်ပြီးနောက်မှသာ hot gas bypass နည်းကို အသုံးပြုသင့်သည်။ Hot gas bypass နည်းသည် အနည်းဆုံး cooling load ကို ပေးနိုင်သော်လည်း စွမ်းအင် ချွေတာမှု မပြုလုပ်နိုင်ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် စက်များသည် unload မလုပ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် အလွန် အလွန်နိမ့်သည့် cooling load များအတွက်သာ hot gas bypass နည်းကို အသုံးပြုသင့်သည်။ စင်ကာပူနိုင်ငံတွင် comfort air conditioning များအတွက် hot gas bypass လုပ်ခြင်းကို ခွင့်မပြုပေ။

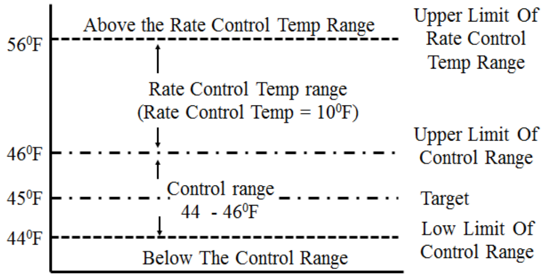
၁၃.၈.၄ Speed Control နည်း

Two speed electric motor သို့မဟုတ် inverter များ တပ်ဆင်၍ မြန်နှုန်းကို လျှော့ချခြင်းဖြင့်လည်း capacity လျှော့နည်းစေနိုင်သည်။ မြန်နှုန်း(speed) လျှော့ချရာတွင် lubrication system ကောင်းစွာ အလုပ် လုပ်နေစေရန်အတွက် သတိပြုသင့်သည်။ မြန်နှုန်း(speed) အလွန်နိမ့်ပါက ချောဆီဖိအား(oil pressure) အလွန် နိမ့်ဆင်းသွားကာ system တစ်ခုလုံး ပျက်စီးသွားနိုင်သည်။

၁၃.၈.၅ Return Water Control နှင့် Leaving Water Control



ပုံ ၁၃-၅၄ Return chilled water control



ပုံ ၁၃-၅၅ Leaving chilled water control

၁၃.၉ Reciprocating Compressor Startup Sequence

Tabel 13-1 reciprocating compressor startup sequence	
0 Seconds	
	Start initiated with unit switch
	2 minute timer timed out
	Anti-recycle timer timed out
	Compressor starts
	Anti-recycle timer starts again
4 Seconds	
	Motor current >14% and < 115%
30 Seconds	
	Oil pressure => 20 psid
	Suction pressure > 50% of cutout
60 Seconds	
	Compressor loads first step
90 Seconds	

	Second compressor starts
120 Seconds	
	Compressor loads next step
180 Seconds	
	Compressor Loads next stage
240 Seconds	
	Suction pressure > cut out
	Oil pressure > 25 psid

Compressor တစ်လုံးနှင့် တစ်လုံးသည် ထုတ်လုပ်သူ၊ တည်ဆောက်ပုံ၊ configuration စသည်တို့ အမျိုးမျိုး ကွဲပြားခြားနားကြသောကြောင့် အထက်ပါ အချိန်(timing)နှင့် operating parameter တန်ဖိုးများ ကို ဥပမာ အဖြစ်သာ ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။

၁၃.၁၀ Reciprocating Refrigeration Systems Testing Standards

Reciprocating refrigeration system testing နှင့် သက်ဆိုင်သည့် standard တချို့ကို ဖော်ပြထားသည်။	
Ratings	
	ASHRAE Standard 23
	AHRI Standard 520
U.L. 60 Hz Approval testing	
	Housing burst test
	Low side 720 psig
	High side 2250 psig
	U.L. standard 465 rain test
	U.L. Maximum continuous current test

-End –