ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลองที่สำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ภาคผนวก ก
ข้อมูลดิบในการสร้างแบบจำลองอุปกรณ์หลักของวงจรผลิตน้ำแข็ง

ตาราง ก.1 ผลการทดลองเพื่อหาแบบจำลองของคอมเพรสเซอร์

Speed (rps)	Flow rate (kg/s)	$P_{cp,i}$ (Mpa)	$P_{cp,o}$ (Mpa)	$T_{cp,i}$ (C)	$T_{cp,o}$ (C)	$m_r T_{cp,o}^{0.5} / P_{cd,o}$	$P_{cp,i}/P_{cp,o}$
11.8	0.011	0.17	0.76	21.3	94.5	0.14	0.22
11.8	0.022	0.19	0.76	21.5	94.2	0.28	0.25
11.8	0.033	0.21	0.76	21.8	96.3	0.42	0.28
11.8	0.044	0.24	0.76	21.4	95.8	0.57	0.31
11.8	0.055	0.25	0.76	20.7	94.2	0.71	0.33
11.8	0.066	0.26	0.76	20.6	94.5	0.85	0.34
11.8	0.088	0.27	0.76	20.3	95.8	1.13	0.35
9.5	0.022	0.21	0.75	22.7	88.3	0.28	0.28
9.5	0.033	0.24	0.75	22.4	89.6	0.42	0.32
9.5	0.044	0.26	0.75	22	89	0.56	0.34
9.5	0.055	0.28	0.75	21.7	88.6	0.69	0.37
9.5	0.066	0.29	0.75	21.6	89	0.83	0.39
9.5	0.088	0.31	0.75	21.2	87.5	1.11	0.42
7.1	0.011	0.22	0.71	22.3	78.3	0.14	0.31
7.1	0.022	0.25	0.71	24.8	79.4	0.27	0.35
7.1	0.033	0.27	0.71	24.3	79	0.41	0.38
7.1	0.044	0.29	0.71	22.6	78.9	0.55	0.41
7.1	0.055	0.32	0.71	21.9	77.6	0.69	0.45
7.1	0.066	0.34	0.71	21.4	78.9	0.82	0.48

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตาราง ก.2 ผลการทดลองเพื่อหา Polytropic index

Speed (rps)	Flow rate (kg/s)	$P_{cp,I}$ (Mpa)	$P_{cp,o}$ (Mpa)	$T_{cp,i}$ (K)	$T_{cp,o}$ (K)	k
11.8	0.011	0.17	0.76	294.5	367.7	1.17
11.8	0.022	0.19	0.76	294.7	367.4	1.19
11.8	0.033	0.21	0.76	295	369.5	1.22
11.8	0.044	0.24	0.76	294.6	369	1.24
11.8	0.055	0.25	0.76	293.9	367.4	1.25
11.8	0.066	0.26	0.76	293.8	367.7	1.26
11.8	0.088	0.27	0.76	293.5	369	1.28
9.5	0.022	0.21	0.75	295.9	361.5	1.19
9.5	0.033	0.24	0.75	295.6	362.8	1.22
9.5	0.044	0.26	0.75	295.2	362.2	1.24
9.5	0.055	0.28	0.75	294.9	361.8	1.26
9.5	0.066	0.29	0.75	294.8	362.2	1.28
9.5	0.088	0.31	0.75	294.4	360.7	1.30
7.1	0.011	0.22	0.71	295.15	351.5	1.17
7.1	0.022	0.25	0.71	298	352.6	1.19
7.1	0.033	0.27	0.71	297.5	352.2	1.21
7.1	0.044	0.29	0.71	295.8	352.1	1.24
7.1	0.055	0.32	0.71	295.1	350.8	1.27
7.1	0.066	0.34	0.71	294.6	352.1	1.32

ตาราง ก.3 ผลการทดลองเพื่อหาแบบจำลองของคอนเดนเซอร์

Flow ref (kg/s)	Flow air (kg/s)	$P_{cd,I}$ (Mpa)	$P_{cd,o}$ (Mpa)	$T_{cd,I}$ (C)	$T_{cd,o}$ (C)	$T_{a,I}$ (C)	$T_{a,o}$ (C)
0.011	0.68	0.76	0.712	74.6	28.2	24.7	27.4
0.011	0.72	0.76	0.712	74.8	28.2	24.7	27.2
0.011	0.95	0.76	0.712	74.2	28.2	24.7	26.6
0.011	1.05	0.76	0.712	74.1	28.2	24.7	26.4
0.022	0.68	0.76	0.712	74.6	28.2	24.6	29.7
0.022	0.72	0.76	0.712	75.2	28.2	24.6	29.3
0.022	0.95	0.76	0.712	74.8	28.2	24.6	28.2
0.022	1.05	0.76	0.712	74.1	28.2	24.6	28.1
0.044	0.68	0.76	0.712	75.2	28.2	24.6	35.4
0.044	0.72	0.76	0.712	74.7	28.2	24.6	34.6
0.044	0.95	0.76	0.712	74.6	28.2	24.6	32.2
0.044	1.05	0.76	0.712	74.2	28.2	24.6	31.4
0.055	0.68	0.76	0.712	75.7	28.2	24.5	38.1
0.055	0.72	0.76	0.712	74.8	28.2	24.6	37.4
0.055	0.95	0.76	0.712	73.5	28.2	24.5	34
0.055	1.05	0.76	0.712	73.6	28.2	24.5	33.1
0.066	0.68	0.76	0.712	73.4	28.2	24.5	40.7
0.066	0.72	0.76	0.712	73.2	28.2	24.4	39.8
0.066	0.95	0.76	0.712	73.4	28.2	24.4	35.8
0.066	1.05	0.76	0.712	73.2	28.2	24.4	35

ตาราง ก.4 ผลการทดลองเพื่อหาแบบจำลองของวาล์วขยายตัว

Speed (rps)	Flow rate (kg/s)	$P_{ex,o}$ Mpa	$P_{ex,I}$ Mpa
11.8	0.011	0.17	0.73
11.8	0.022	0.19	0.73
11.8	0.033	0.21	0.73
11.8	0.044	0.24	0.73
11.8	0.055	0.25	0.73
11.8	0.066	0.26	0.73
11.8	0.088	0.27	0.73
9.5	0.022	0.21	0.71
9.5	0.033	0.24	0.71
9.5	0.044	0.26	0.71
9.5	0.055	0.28	0.71
9.5	0.066	0.29	0.71
9.5	0.088	0.31	0.71
7.1	0.011	0.22	0.68
7.1	0.022	0.25	0.68
7.1	0.033	0.27	0.68
7.1	0.044	0.29	0.68
7.1	0.055	0.32	0.68
7.1	0.066	0.34	0.68

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ภาคผนวก ข
ข้อมูลจากการทดลองที่สำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบในการสร้างแบบจำลองอุปกรณ์หลักของวงจรผลิตน้ำเย็น

ตาราง ข.1 ผลการทดลองเพื่อหาแบบจำลองของคอมเพรสเซอร์

Flow rate (kg/s)	Pcp,I (Mpa)	Pcp,o (Mpa)	Tcp,o (C)	mrTcp,o0.5/Pcp,o	Pcp,i/Pcp,o
0.088	0.2185	1.2459	106.80	0.7299	0.1754
0.077	0.1979	1.1885	109.77	0.6788	0.1665
0.066	0.1887	1.1954	112.23	0.5849	0.1579
0.055	0.1794	1.1356	114.90	0.5192	0.1580
0.044	0.1542	1.0551	119.93	0.4567	0.1462
0.033	0.1427	1.0184	122.00	0.3579	0.1401
0.066	0.1910	1.1563	116.00	0.6148	0.1652
0.077	0.1979	1.1976	115.00	0.6895	0.1652

ตาราง ข.2 ผลการทดลองเพื่อหา Polytropic index

Flow rate kg/s	Pcp,I (Mpa)	Pcp,o (Mpa)	Tcp,i(°C) (C)	Tcp,o(°C) (C)	k
0.088	0.2185	1.2459	6.60	106.80	1.2134
0.077	0.1979	1.1885	7.75	155.00	1.2119
0.066	0.1887	1.1954	6.73	109.77	1.2080
0.055	0.1794	1.1356	8.50	166.00	1.2120
0.044	0.1542	1.0551	7.30	112.23	1.2043
0.033	0.1427	1.0184	7.87	114.90	1.2001

ตาราง ข.3 ผลการทดลองเพื่อหาแบบจำลองของวาล์วขยายตัว

Flow rate kg/s	Pex,o (Mpa)	Pex,I (Mpa)
0.088	0.2909	1.0528
0.088	0.3013	1.0528
0.088	0.3013	1.0528
0.088	0.3013	1.0528
0.077	0.2978	1.0321
0.077	0.2978	1.0390
0.077	0.2944	1.0321
0.077	0.2944	1.0321
0.066	0.284	1.0183
0.066	0.2806	1.0183
0.066	0.2806	1.0183
0.066	0.2806	1.0321
0.055	0.2668	1.0183
0.055	0.2737	0.9976
0.055	0.2668	0.9907
0.055	0.2392	1.0321
0.044	0.2599	0.9632
0.044	0.2268	0.9770
0.044	0.2461	0.9425
0.044	0.2289	0.9287
0.033	0.2254	0.9149
0.033	0.2047	0.9080
0.033	0.2103	0.9080
0.033	0.2047	0.9080

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ภาคผนวก ค
โปรแกรมการจำลองสถานการณ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

```
Program DCRCO1;
{This program is used for calculate the performance of refrigeration cycle using
a direct contact evaporator.}
Uses    wincrt;
Var     {Compressor} Pcpi,Pcpo,Tcpi,Tcpo,N,mr,hcpi,hcpo,Wcp:Real;
        {Condenser} Pcdi,Pcdo,Tcdi,Tcdo,Tai,Tao,UAcd,ma,Cpa,hcdi,hcdo,Qcd:Real;
        {Expansion Valve} Texi,Texo,Pexi,Pexo,hexi,hexo:Real;
        {Direct Contact Evaporator} Cpr,Mw,Mi,Tw,Tevi,Tevo,hevi,hevo,Pevi,Pevo,
            Qev:Real;
        {Others} COP,t,Tamb,Pex_ratio,Pcp_ratio,Psat,Tsat,k,u,v,w,x,y,z:Real;
        {Meaning of Variables (use only in this program)
        Cpr     = specific heat of refrigerant (kJ/kg-K)
        Cpa     = specific heat of air (kJ/kg-K)
        COP     = coefficient of performance
        hcpi    = inlet enthalpy of compressor (kJ/kg)
        hcpo    = outlet enthalpy of compressor (kJ/kg)
        hcdi    = inlet enthalpy of condenser (kJ/kg)
        hcdo    = outlet enthalpy of condenser (kJ/kg)
        hexi    = inlet enthalpy of expansion valve (kJ/kg)
        hexo    = outlet enthalpy of expansion valve (kJ/kg)
        hevi    = inlet enthalpy of evaporator (kJ/kg)
        hevo    = outlet enthalpy of evaporator (kJ/kg)
        k       = polytropic index
        mr      = mass flow rate of refrigerant (kg/s)
        ma      = mass flow rate of air (kg/s)
        Mw      = mass of water (kg)
        Mi      = mass of ice formution (kg)
        N       = compressor speed (rps)
        Pcdi    = inlet pressure of condenser (MPa)
        Pcdo    = outlet pressure of condenser (MPa)
```

Pcpi = inlet pressure compressor (MPa)

Pcpo = outlet pressure of compressor (MPa)

Pevi = inlet pressure of evaporator (MPa)

Pevo = outlet pressure of evaporator (MPa)

Pexi = inlet pressure of expansion valve (MPa)

Pexo = outlet pressure of expansion valve (MPa)

Pcp_ratio = pressure ratio of compressor (Pcpi/Pcpo)

Pex_ratio = pressure ratio of expansion valve (Pexi/Pexo)

Psat = saturated pressure (MPa)

Qcd = rate of heat transfer of condenser (kW)

Qev = rate of heat transfer of evaporator (kW)

Tai = inlet temperature of condenser fan (C)

Tao = outlet temperature of condenser fan (C)

Tamb = ambient temperature (C)

Tcdi = inlet temperature of condenser (C)

Tcdo = outlet temperature of condenser (C)

Tcpi = inlet temperature of compressor (C)

Tcpo = outlet temperature of compressor (C)

Tevi = inlet temperature of evaporator (C)

Tevo = outlet temperature of evaporator (C)

Texi = inlet temperature of expansion valve (C)

Texo = outlet temperature of expansion valve (C)

Tsat = saturated temperature (C)

t = time (S)

Tw = temperature of water (C)

u,v,w = variable

x,y,z = variable

UAcd = overall heat transfer coefficient of condenser (kW)

Wcp = rate of work input of compressor (kW)}

Begin

```
writeln('DCRCO1 PROGRAM ');
writeln;
write(' Enter mass of water in ice storage tank(kg)      ');
read(Mw);
write(' Enter mass flow rate of refrigerant (kg/s)       ');
read(mr);
write(' Enter mass flow rate of air(kg/s)                ');
read(ma);
write(' Enter compressor speed (rps)                     ');
read(N);
write(' Enter initial temperature of water in storage tank (C) ');
read(Tw);
write(' Enter ambient temperature (C)                    ');
read(Tamb);
write(' Enter specific heat of refrigerant (kJ/kg-K)     ');
read(Cpr);
write(' Enter specific heat of air (kJ/kg-K)             ');
read(Cpa);
write(' Enter delta time which you want to calculate (s) ');
read(t);
writeln('  Sensible Heat Period          ');
writeln('Time Tw  Tcpi Tcpo Tcdi Tcdo Pcpi Pcpo Wcp Qve Qcd COP Tevi');
{COMPRESSOR}
Pex_ratio:=(1.5134*sqr(N)-32.0125*N+148.8285)*sqr(mr)+(-0.1020*sqr(N)
        +2.0160*N-5.8329)*mr+(0.0032*sqr(N)-0.0824*N+0.7113);
Pcp_ratio:=0.954*(Pex_ratio);
w:= 0;
Repeat
    Tevo := Tw;
    Tcpi := 0;
```

```
Repeat
Tcpi := Tcpi+0.01;
x   := Tevo+(1/(mr*0.9))*((-0.0459*sqr(mr)+0.0005*mr-0.0003)
      *sqr(Tamb-(Tevo+Tcpi)/2)+(0.9183*sqr(mr)+0.1596*mr+0.0356)
      *(Tamb-(Tevo+Tcpi)/2)+(2.663*sqr(mr)+1.1131*mr-0.1304));
Until
abs(Tcpi-x)<=0.01;
k   := 1.9584*mr+1.1503;
Tcpo := exp(ln(Tcpi+273.15)-((k-1)/k)*ln(Pcp_ratio))-273.15;
x   := 0.0027*sqr(N)-0.0705*N+0.3297;
y   := -0.0013*sqr(N)+0.028*N+0.1428;
z   := 0.0026*sqr(N)-0.0680*N+0.6253-Pcp_ratio;
u   := (-y+sqrt(sqr(y)-4*x*z))/(2*x);
Pcpo := Mr*sqrt(Tcpo)/u;
Pcpi := Pcpo*Pcp_ratio;
Tsat := 0;
Repeat
Tsat  := Tsat+0.01;
x    := exp(-15.6+8.96*(Tsat/100)-1.038*sqr(Tsat/100));
Until
abs((x/10)-Pcpi)<=0.01;
hcpi  := 173.52+13.01*ln(Pcpi*10)+(0.57+0.0826*ln(Pcpi*10))
       *(Tcpi-Tsat+273.15);
Tsat  := 0;
Repeat
Tsat  := Tsat+0.01;
x    := exp(-15.6+8.96*(Tsat/100)-1.038*sqr(Tsat/100));
Until
abs((x/10)-Pcpo)<=0.01;
hcpo  := 173.52+13.01*ln(Pcpo*10)+(0.57+0.0826*ln(Pcpo*10))
```

```
        *(Tcpo-Tsat+273.15);
    Wcp  := mr*(hcpo-hcpi);
{Condenser}
    Pcdi  := Pcpo;
    Tcdi  := 0;
    Repeat
    Tcdi  := Tcdi+0.01;
    x     := Tcpo-(1/(mr*0.9))*((1.607*sqr(mr)-0.0298*mr+0.0146)
        *((Tcpo+Tcdi)/2-Tamb)+(-20.432*sqr(mr)+1.9399*mr-0.293));
    Until
    abs(Tcdi-x)<=0.01;
    Pcdo  := Pcdi-0.034;
    Tsat  := 0;
    Repeat
    Tsat  := Tsat+0.01;
    x     := exp(-15.6+8.96*(Tsat/100)-1.038*sqr(Tsat/100));
    Until
    abs((x)/10-Pcdi)<=0.01;
    hcdi  := 173.52+13.01*ln(Pcdi*10)+(0.57+0.0826*ln(Pcdi*10))
        *(Tcdi-Tsat+273.15);
    Tcdo  := Tsat-273.15;
    hcdo  := -239.8+100.6*(Tsat/100);
    Qcd   := mr*(hcdi-hcdo);
    Tai   := Tamb;
    Tao   := (Qcd/ma)+Tai;
    UAcd  := (ma*Cpa/0.2723)*(((Tao-Tai)/(Tcdi-Tai))-0.0107);
{Expansion Valve}
    Pexi  := Pcdo;
    Pexo  := Pexi*Pex_ratio;
    Tsat  := 0;
```

```
    Repeat
    Tsat  := Tsat+0.01;
    x     := exp(-15.6+8.96*(Tsat/100)-1.038*sqr(Tsat/100));
    Until
    abs((x/10)-Pexo)<=0.01;
    Texo  := Tsat-273.15;
    hexo  := hcdo;
{Direct Contact Evaporator}
    Pevi  := Pexo;
    Pevo  := Pevi;
    Tevi  := Texo;
    Tsat  := 0;
    w     := w+1;
    u     := w*t;
    Repeat
    Tsat  := Tsat+0.01;
    x     := exp(-15.6+8.96*(Tsat/100)-1.038*sqr(Tsat/100));
    Until
    abs((x)/10-Pevo)<=0.01;
    hevo  := 173.52+13.01*ln(Pevo*10)+(0.57+0.0826*ln(Pevo*10))
          *(Tw-Tsat+273.15);
    hevi  := hexo;
    Tw    := Tw-(mr*(hevo-hevi)*t)/(Mw*4.19+30);
    y     := y+1;
    Qev   := mr*(hevo-hevi);
    COP   := Qev/Wcp;
    If Tw>0.01 Then
    writeln(u:1:0,' ',Tw:1:1,' ',Tcpi:1:1,' ',Tcpo:1:1,' ',
        Tcdi:1:1,' ',Tcdo:1:1,' ',Pcpi:1:2,' ',Pcpo:1:2,' ',
        Wcp:1:1,' ',Qev:1:1,' ',Qcd:1:1,' ',COP:1:1,' ',Tevi:1:1);
```

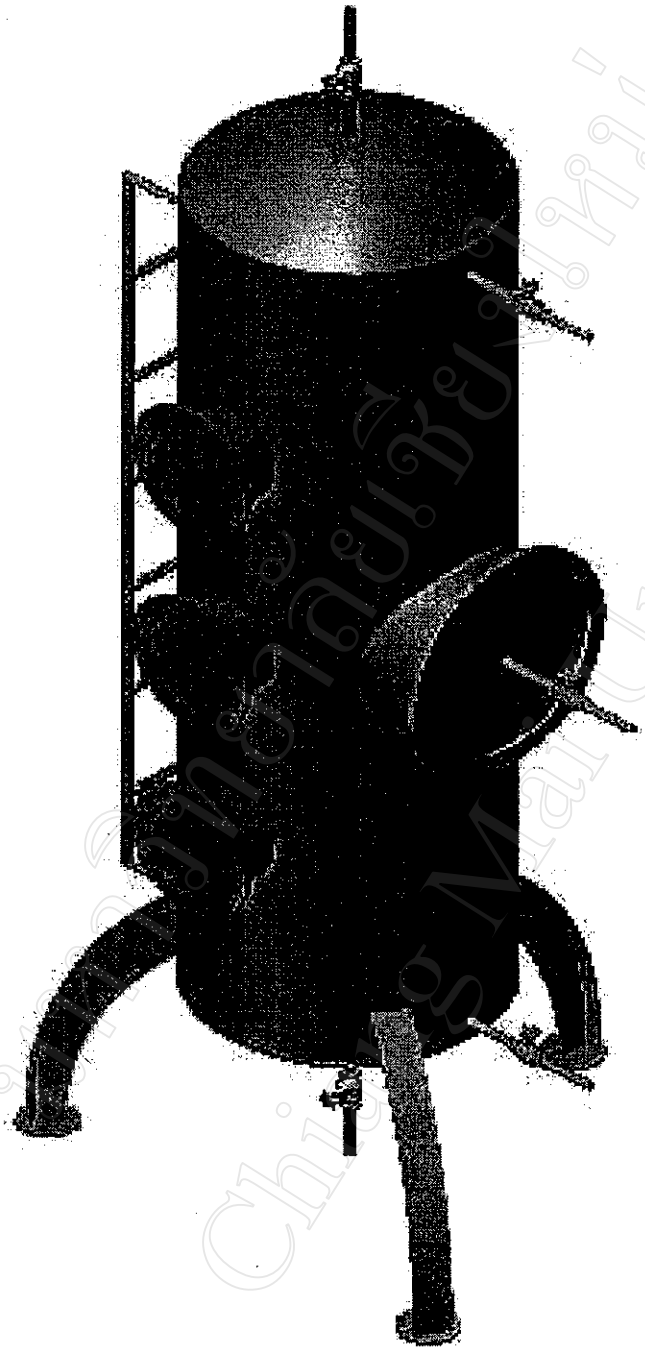
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

```
    If Tw<=0.01 Then
    BEGIN
    Tw   :=0.01;
    writeln(u:1:0,' ',Tw:1:1,' ',Tcpi:1:1,' ',Tcpo:1:1,' ',
        Tcdi:1:1,' ',Tcdo:1:1,' ',Pcpi:1:2,' ',Pcpo:1:2,' ',
        Wcp:1:1,' ',Qev:1:1,' ',Qcd:1:1,' ',COP:1:1,' ',Tevi:1:1);
    END;
  Until Tw<=0.01;
  writeln;
  writeln('Press enter for next calculation');
  readkey;
  writeln('      Latent Heat Period      ');
  hevo    := 173.52+13.01*ln(Pevo)+(0.57+0.0826*ln(Pevo))*(0.01-Tsat+273.15);
  v       := (Mw*334)/(mr*(hevo-hevi));
  z       := 0;
    Repeat
    Mi    := Mw*(z/v);
    If Mi<Mw Then
    writeln('Time = ',z:1:0, 'second  Ice formation = ',Mi:1:2,'kg');
    If Mi>=Mw Then
    Begin
    writeln('Time = ',v:1:0, 'second  Ice formation = ',Mw:1:2,'kg');
    end;
    z    := z+1;
    Until
    Mi>=Mw;
    writeln;
    writeln('Press Any Key to Return to Program');
    readkey;
End.
```

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

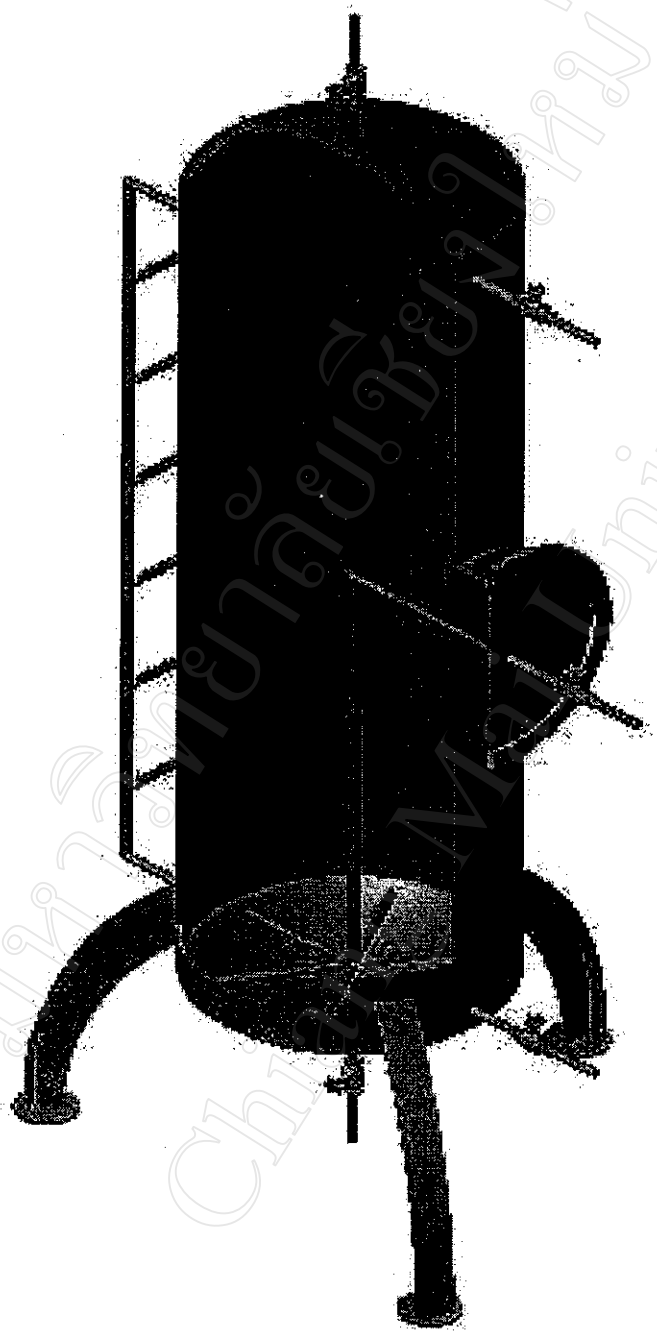
ภาคผนวก ง
ขนาดของถังอีวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



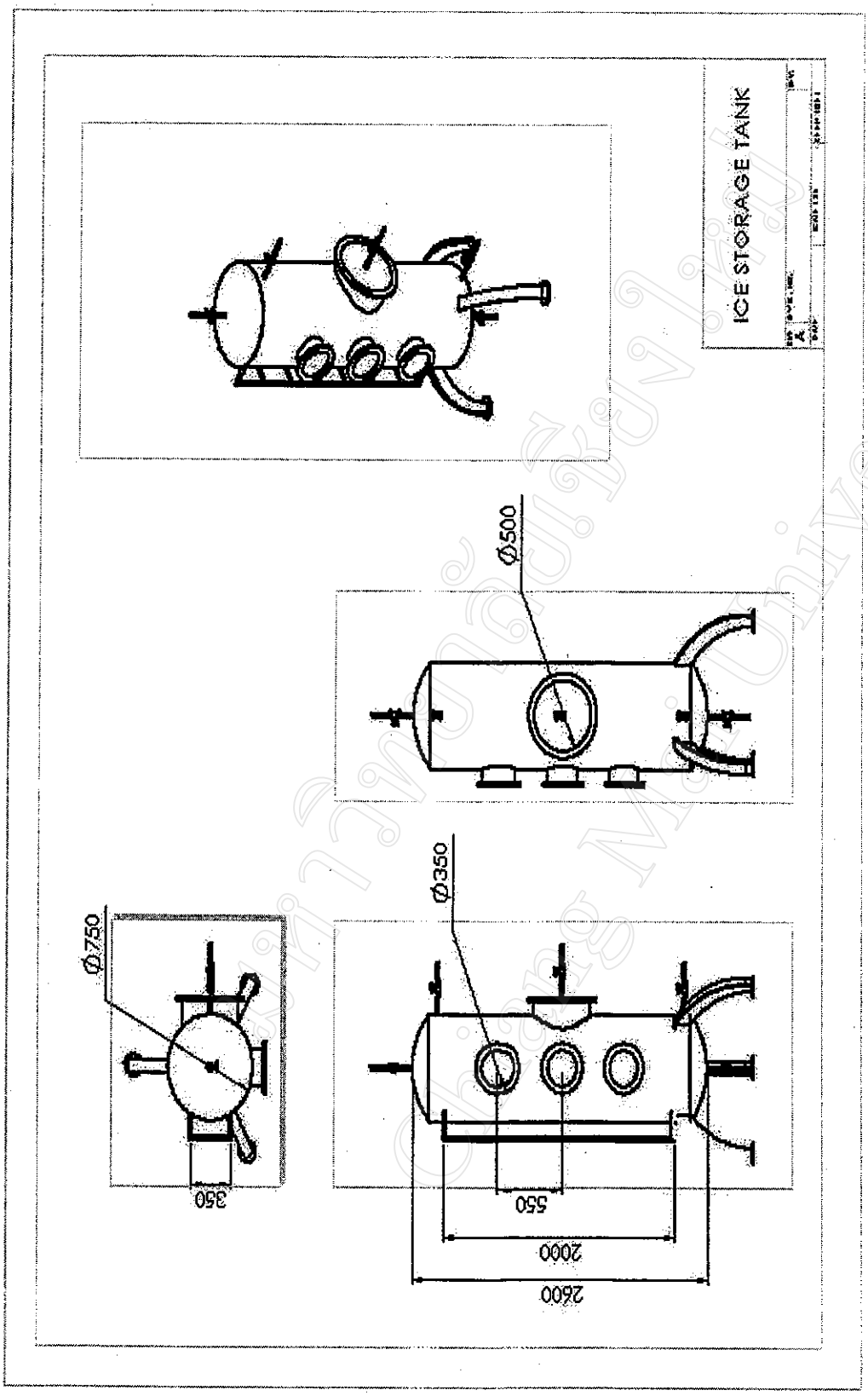
รูป ง.1 แสดงภาพ 3 มิติของถังอีวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



รูป ง.2 แสดงภาพตัด section ของถังอีวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

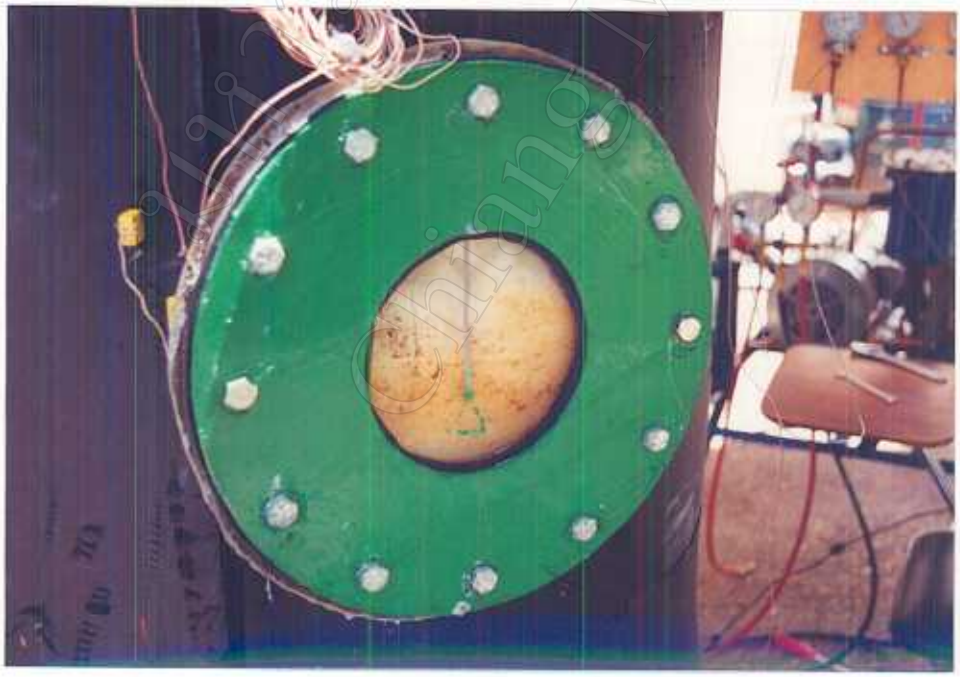


รูป ง.3 แสดงขนาดของถังอีวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง

ภาคผนวก จ
รูปภาพที่สำคัญ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

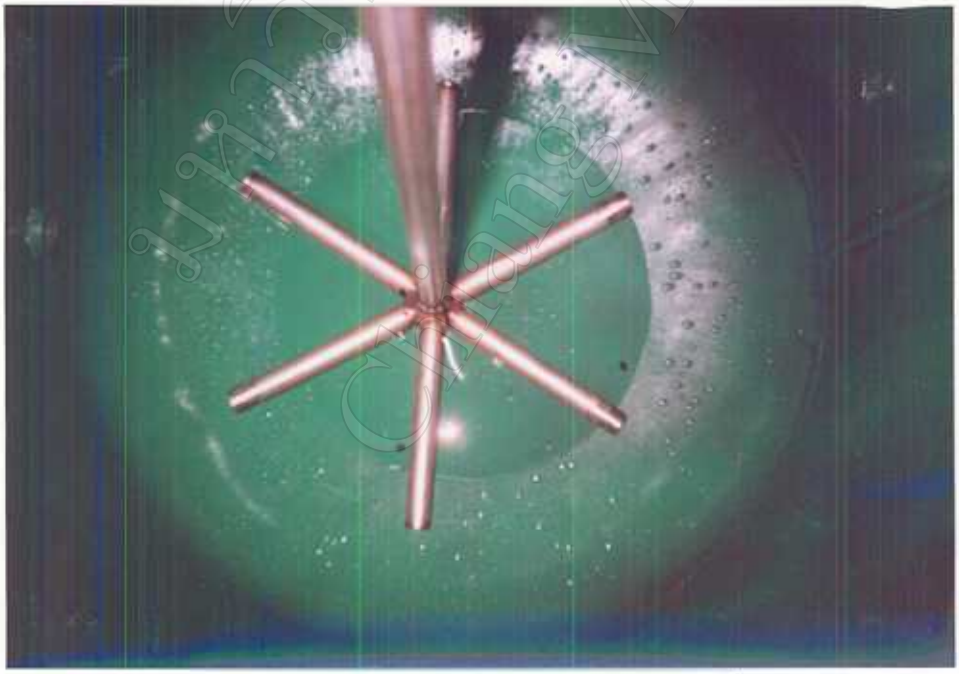
รูป จ.1 แสดงลักษณะหอผึ่งเย็นที่ใช้ระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์



รูป จ.2 แสดงการเกิดน้ำแข็งภายในถังอีวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

รูป จ.3 แสดงถังบรรจุสารทำความเย็น(R-12)ขนาดประมาณ 70 กิโลกรัม



รูป จ.4 แสดงลักษณะของหัวฉีดสารทำความเย็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

รูป จ.5 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้ในการชั่งน้ำหนักของสารทำความเย็นที่ใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายศราวุธ ศรีวัฒนางกูร
วัน เดือน ปี เกิด	16 กันยายน 2517
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนอัสสัมชัญศรีราชา จ. ศรีราชา ปีการศึกษา 2533 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเซนต์คอมินิก กรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2536 และการศึกษานอกโรงเรียน สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University