



# ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

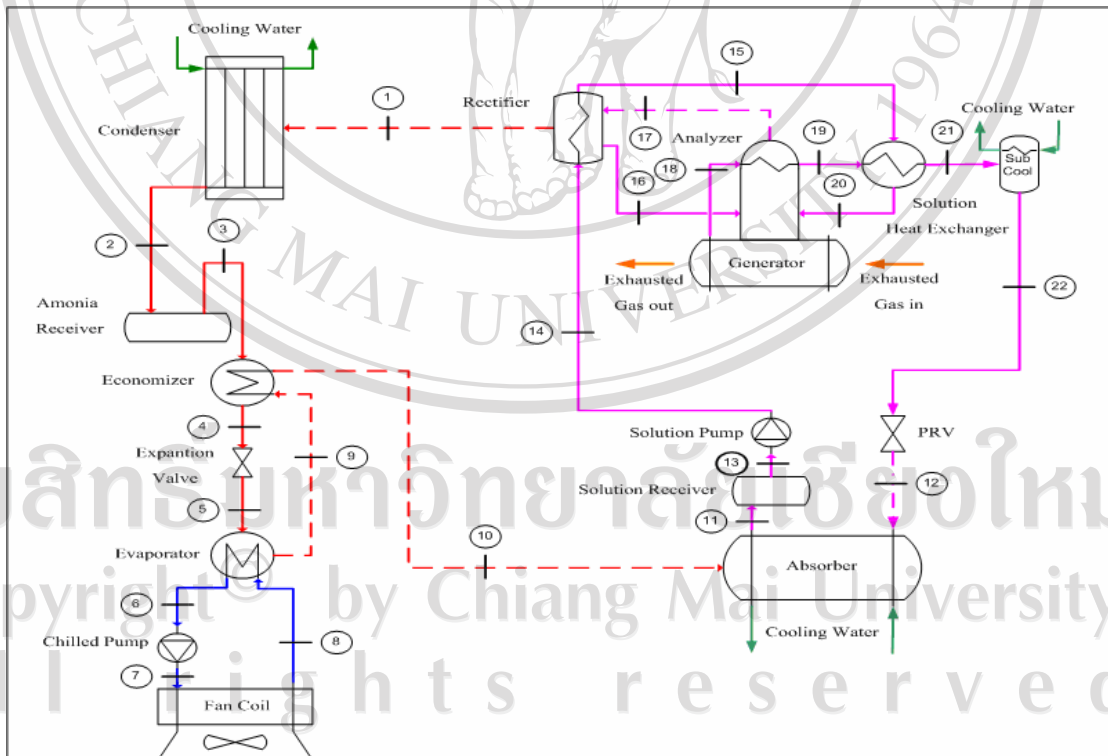
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

ก) การออกแบบทางความร้อน (Thermal Design)

ข้อมูลการออกแบบระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

- Cooling Load = 14.08 [KW]
- = 4 [TR]
- อุณหภูมิ Analyzer = 120 [°C]
- อุณหภูมิ Generator = 100 [°C]
- อุณหภูมิ Condenser = 40 [°C]
- อุณหภูมิ Absorber = 40 [°C]
- อุณหภูมิ Evaporator = -5 [°C]
- Refrigerant = Ammonia
- Absorbent = Water

รายละเอียดสถานการณ์การทำงานแต่ละจุดของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมแสดงดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 ส่วนประกอบของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

**ขั้นตอนที่ 1) หาความดันด้านสูงของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม**

- อุณหภูมิที่ Condensor = 40 [°C]
- ความเข้มข้นแอมโมเนียจุดที่ 1 และจุดที่ 5 ≈ 100 [%]
- จากรูปที่ ก.2 ได้ High Pressure\* = 15.6 [Bar.Absolute]
- = 14.6 [Bar.Gage]

**ขั้นตอนที่ 2) หาความดันด้านต่ำของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม**

- อุณหภูมิที่ Evaporator = -5 [°C]
- ความเข้มข้นแอมโมเนีย ≈ 100 [%]
- จากรูปที่ ก.2 ได้ Low Pressure = 3.54 [Bar. Absolute]

แต่จากคุณสมบัติสารทำความเย็น (NIST, 2000) ความดันต่ำสุด ที่สามารถทำให้ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมทำงานได้ตามเงื่อนไขเริ่มต้น อุณหภูมิที่ Absorber 40 °C คือ ความดันประมาณ 3.7 Bar. Absolute ดังนั้นความดันด้านต่ำของระบบจึงเลือกใช้ความดันประมาณ 3.7 Bar. Absolute หรือ ประมาณ 2.7 Bar.Gage

REFPROP - NIST Reference Fluid Properties

1: ammonia: V/L sat. Tz = -50.0 to 100.0 gC

	Temperature (gC)	Pressure (MPa)	Liquid Density (kg/m <sup>3</sup> )	Vapor Density (kg/m <sup>3</sup> )	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	-50.000	0.040836	702.09	0.38055	118.43	1534.3	0.56609	6.9112
2	-45.000	0.054489	696.17	0.49824	140.31	1542.7	0.66297	6.8100
3	-40.000	0.071692	690.15	0.64380	162.32	1550.9	0.75832	6.7141
4	-35.000	0.093098	684.04	0.82184	184.48	1558.8	0.85219	6.6232
5	-30.000	0.11943	677.83	1.0374	206.76	1566.5	0.94462	6.5367
6	-25.000	0.15147	671.53	1.2959	229.17	1573.8	1.0357	6.4543
7	-20.000	0.19008	665.14	1.6033	251.71	1580.8	1.1253	6.3757
8	-15.000	0.23617	658.65	1.9659	274.37	1587.5	1.2137	6.3005
9	-10.000	0.29071	652.06	2.3906	297.16	1593.9	1.3009	6.2285
10	-5.0000	0.35476	645.37	2.8843	320.09	1599.8	1.3868	6.1592
11	0.00000	0.42938	638.57	3.4567	343.15	1605.4	1.4716	6.0926
12	5.0000	0.51575	631.66	4.1146	366.36	1610.5	1.5553	6.0284
13	10.000	0.61505	624.64	4.8679	389.72	1615.3	1.6380	5.9662
14	15.000	0.72852	617.49	5.7269	413.24	1619.5	1.7197	5.9060
15	20.000	0.85748	610.20	6.7025	436.94	1623.3	1.8005	5.8475
16	25.000	1.0032	602.76	7.8069	460.82	1626.6	1.8804	5.7904
17	30.000	1.1672	595.17	9.0533	484.91	1629.3	1.9597	5.7347
18	35.000	1.3508	587.40	10.457	509.23	1631.5	2.0382	5.6801
19	40.000	1.5554	579.44	12.034	533.79	1633.1	2.1161	5.6265
20	45.000	1.7827	571.27	13.803	558.63	1634.0	2.1936	5.5736
21	50.000	2.0340	562.86	15.785	583.77	1634.2	2.2706	5.5213
22	55.000	2.3111	554.20	18.006	609.26	1633.7	2.3473	5.4693
23	60.000	2.6156	545.24	20.493	635.12	1632.4	2.4239	5.4174
24	65.000	2.9491	535.96	23.280	661.42	1630.2	2.5004	5.3655
25	70.000	3.3135	526.31	26.407	688.20	1627.1	2.5770	5.3131
26	75.000	3.7105	516.23	29.923	715.53	1622.9	2.6539	5.2601
27	80.000	4.1420	505.67	33.888	743.50	1617.5	2.7312	5.2060
28	85.000	4.6100	494.54	38.376	772.20	1610.7	2.8093	5.1504
29	90.000	5.1167	482.75	43.484	801.76	1602.3	2.8884	5.0929
30	95.000	5.6643	470.17	49.340	832.34	1592.2	2.9689	5.0327
31	100.00	6.2553	456.63	56.117	864.16	1579.8	3.0513	4.9691

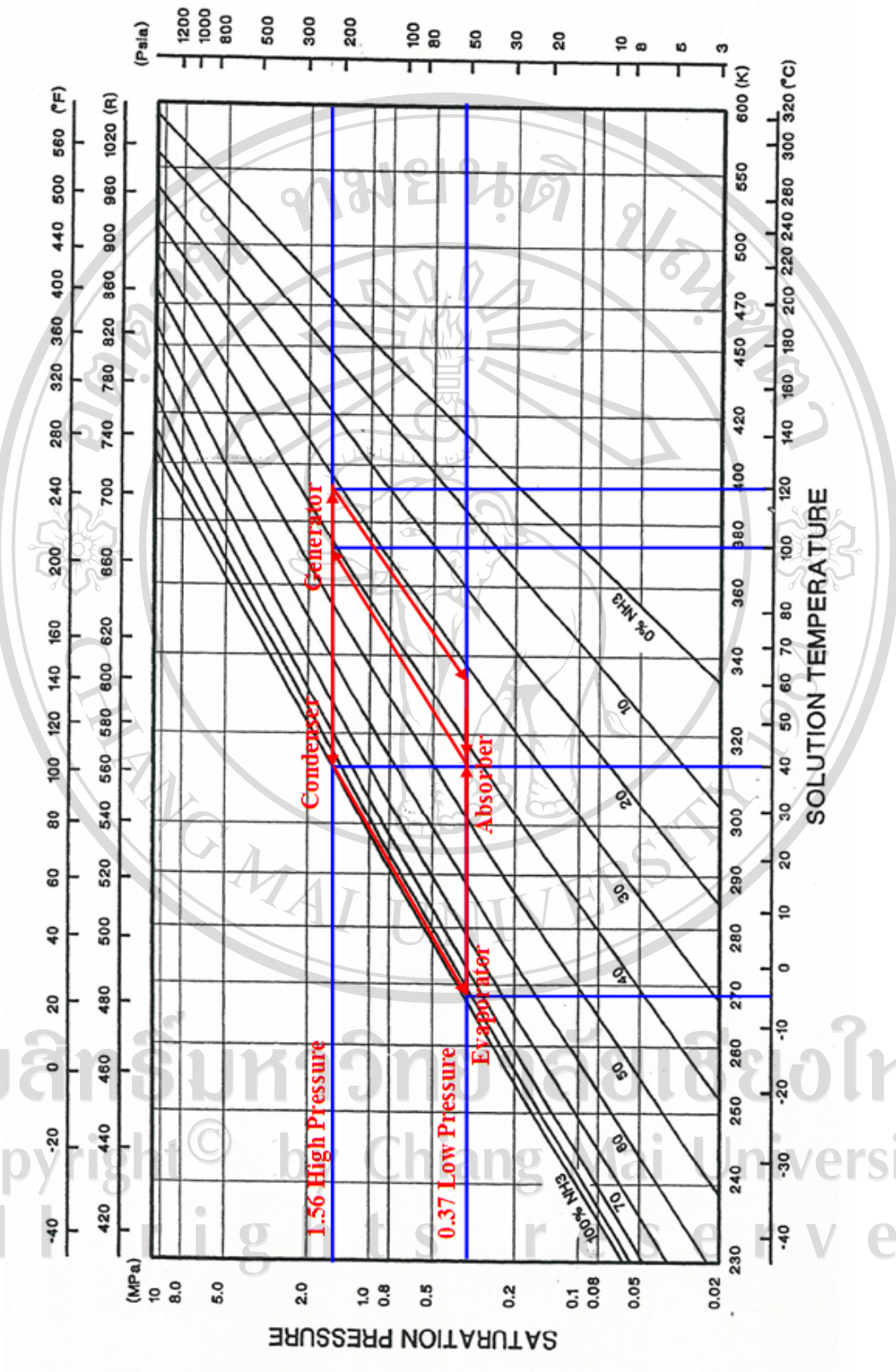
รูปที่ ก.2 โปรแกรม REFPROP (NIST, 2000)

ขั้นตอนที่ 3) หาความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนีย/น้ำ

- High Pressure	=	15.6	[Bar.Absolute]
- Low Pressure	=	3.7	[Bar. Absolute]
- อุณหภูมิ Analyzer	=	120	[°C]
- อุณหภูมิ Generator	=	100	[°C]
- อุณหภูมิ Condenser	=	40	[°C]
- อุณหภูมิ Absorber	=	40	[°C]
- อุณหภูมิ Evaporator	=	- 5	[°C]

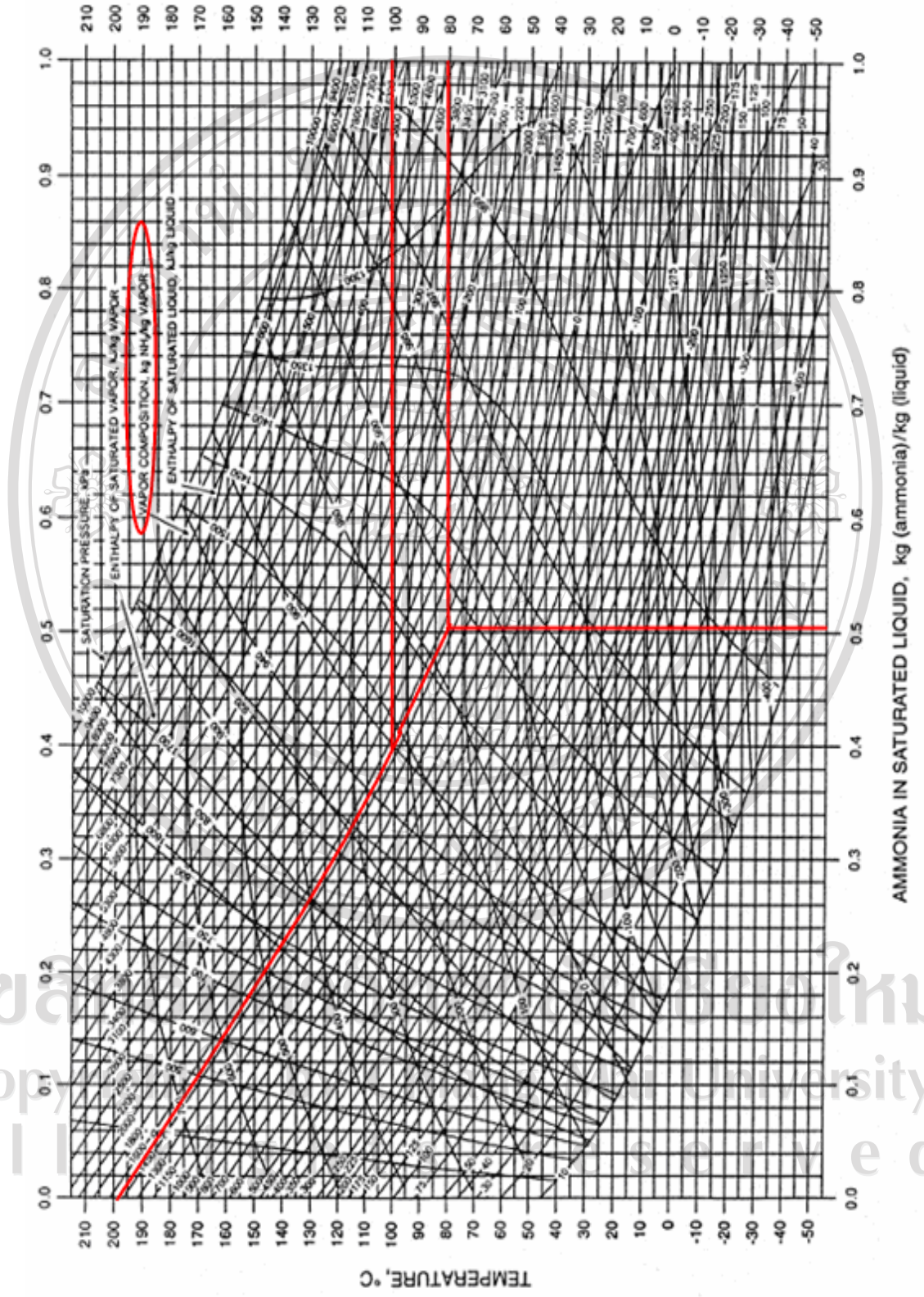
โดยสถานะความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนีย/น้ำในแต่ละจุดจากกราฟในรูปที่ ก.3 และรูปที่ ก.4 ได้ดังต่อไปนี้

- ความเข้มข้นระหว่าง Absorber-Generator	≈	0.43
- ความเข้มข้นระหว่าง Generator-Absorber	≈	0.31
- ความเข้มข้นระหว่าง Condenser-Evaporator	≈	0.99
- ความเข้มข้นระหว่าง Analyzer-Rectifier	≈	0.95
- ความเข้มข้นระหว่าง Liquid Reflux	≈	0.5



รูปที่ ๓.๓ P-T-X Diagram for ammonia/water





รูปที่ ๓.4 P-T-X Diagrame for ammonia/water

**ขั้นตอนที่ 4) หาสภาวะการทำงานแต่ละจุดของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม**

การคำนวณสถานการณ์ทำงานในแต่ละจุดตามรายละเอียดในรูปที่ ก.1 ใช้ Software ช่วยในกระบวนการคำนวณ คือ Progame REFPROP (NIST, 2000) ซึ่งขั้นตอนการคำนวณอยู่ในรูปแบบ Microsoft EXCEL ดังรายละเอียดการคำนวณต่อไปนี้

หมายเหตุ	Input	REFPROP	Calculate
<b>Step 1 Initial condition</b>			
Cooling Capacity	4.00		[TR]
Heat Input	14.07		[kW]
Absorbate	36.00		[kW]
Absorbent	AMMONIA		
Effectiveness of Heat Exchanger	WATER		
Isotropic Efficiency of Solution Pump	0.60		
<b>Step 2 Pressure of Absorption CHP</b>			
High Pressure	15.62		[Bar]
	1,583.09		[kPa]
Low Pressure	3.75		[Bar]
	380.06		[kPa]
<b>Step 3 Temperature and Concentration of Solution Ammonia - Water</b>			
Temperature of Generator	100.00		[°C]
Temperature of Analyzer	120.00		[°C]
Temperature of Condenser	40.00		[°C]
Temperature of Absorber	40.00		[°C]
Temperature of Evaporator	-5.00		[°C]
Percent of Solution by mass	aq_w0.99.MIX		
Percent of Solution by mass	aq_w0.95.MIX		
Percent of Solution by mass	aq_w0.5.MIX		
Percent of Solution by mass	aq_w0.43.MIX		
Percent of Solution by mass	aq_w0.31.MIX		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright © by Chiang Mai University  
 All rights reserved

Step 4 Find X (Concentration)

Fix Temperature Main Point

Temp2	40.00	[°C]
Temp9	-5.00	[°C]
Temp11	40.00	[°C]
Temp17	100.00	[°C]
Temp19	120.00	[°C]

From \$9 (P-T-X Diagram)

X Strong Solution	0.43
X Weak Solution	0.31
X Condenser	0.99
X Analyzer	0.95
X Reflex	0.50

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
99.00%	99.00%	99.00%	99.00%	99.00%	Prop.glyc		25%	99.00%	99.00%	43.00%
X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
31.00%	43.00%	43.00%	43.00%	50.00%	95.00%	0.31	31.00%	43.00%	31.00%	31.00%

Step 2 Mass Flow rate in Absorption Chiller

At Evaporator

Temperator of	-5.00	[°C]
---------------	-------	------

hf	308.41	[kJ/kg]
----	--------	---------

hg	1,599.82	[kJ/kg]
----	----------	---------

hfg	1,291.42	[kJ/kg]
-----	----------	---------

Mass Flow rate of Ammonia in System (m'ref)	0.011	[kg/s]
---	-------	--------

m'ref = m'1 = m'2 = m'3 = m'4 = m'5 = m'9 = m'10	0.011	[kg/s]
--	-------	--------

m'11	0.062	[kg/s]
------	-------	--------

m'12	0.051	[kg/s]
------	-------	--------

m'17	0.012	[kg/s]
------	-------	--------

m'16	0.001	[kg/s]
------	-------	--------

m'20	0.062	[kg/s]
------	-------	--------

m'18	0.050	[kg/s]
------	-------	--------



At Fancoil

Concentration of Prop.glyc	0.25	
Temperator at Fancoil	0.00	[°C]
Heat Capacity	3.96	[kJ/kg-C]
$\Delta T_{\text{Fancoil}}$	5.00	[°C]
$m'_{\text{Fancoil}}$	0.68	[kg/s]
$m'_{\text{Fancoil}} = m'6 = m'7 = m'8$	0.68	[kg/s]

Mass flow rate (kg/s, kg/min)

m'1	m'2	m'3	m'4	m'5	m'6	m'7	m'8	m'9	m'10	m'11
0.0108935	0.0108935	0.0108935	0.0108935	0.0108935	0.6820848	0.682085	0.6820848	0.0108935	0.0108935	0.061729629
0.6536078	0.6536078	0.6536078	0.6536078	0.6536078	40.925091	40.92509091	40.925091	0.6536078	0.6536078	3.703777759
m'12	m'13	m'14	m'15	m'16	m'17	m'18	m'19	m'20	m'21	m'22
0.0498679	0.0617296	0.0617296	0.0617296	0.0009683	0.0118618	0.049868	0.0498679	0.0617296	0.0498679	0.049867857
2.9920714	3.7037778	3.7037778	3.7037778	0.0580985	0.7117063	2.992071445	2.9920714	3.7037778	2.9920714	2.992071445

Temperature (Reference From S9 P-T-X Diagram, °C)

Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11
70	40	40	22	-3.22	0	0	5	-5	13	40
Point 12	Point 13	Point 14	Point 15	Point 16	Point 17	Point 18	Point 19	Point 20	Point 21	Point 22
63	40	40.18472	49.45	80	100	120	93	70.97	66.871885	62.79243617

At Generator and Analyzer

High Pressure	1,583.09	[kPa]
Point 18 - Temp	120.00	[°C]
X	0.31	
h18	437.30	[kJ/kg]
Point 17 - Temp	100.00	[°C]
X	0.95	
h17	1,853.29	[kJ/kg]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

At Generator

High Pressure		1,583.09	[kPa]
Gen - Temp		120.00	[°C]
X		0.43	
$\eta_{Gen}$		2,349.88	[kJ/kg]
$h_{Gen} - h_{17}$		496.58	[kJ/kg]
Heat reject		5.89	kW

At Rectifier

High Pressure		1,583.09	[kPa]
Point 1 - Temp		70.00	[°C]
X		0.99	
h1		1,749.57	[kJ/kg]
Point 16 - Temp		80.00	[°C]
X		0.50	
h16		293.37	[kJ/kg]

At Condenser

High Pressure		1,583.09	[kPa]
Point 2 - Temp		40.00	[°C]
X		0.99	
h2		522.08	[kJ/kg]
h2=h3		522.08	[kJ/kg]

At Economizer

High Pressure		1,583.09	[kPa]
Effectiveness		0.60	
	- Effectiveness = $T3-T10/T3-T9$		
Point 3 - T2=T3		40.00	[°C]
Point 4 - T4		22.00	[°C]
T10		13.00	[°C]
h4		435.13	[kJ/kg]
Point 5 - h4=h5		435.13	[kJ/kg]
T5		269.93	[°K]
		-3.22	[°C]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright © by Chiang Mai University  
 All rights reserved

*At Evaporator*

Low Pressure		380.06	[kPa]
Point 9	- Temp	-5.00	[°C]
	h9	1,599.82	[kJ/kg]
	h10	1,643.04	[kJ/kg]

*At Absorber*

Low Pressure		380.06	[kPa]
Point 11	- Temp	40.00	[°C]
	X	0.43	
	h11	79.46	[kJ/kg]
Point 12	- Temp	63.00	[°C]
	X	0.31	
	h12	171.19	[kJ/kg]

*At Solution Pump*

High Pressure		1,583.09	[kPa]
Low Pressure		380.06	[kPa]
Point 13	- T13=T11	40.00	[°C]
	Specific Volume of Liquid	0.0012	[m <sup>3</sup> /kg]
	Density of Liquid	834.7018	[kg/m <sup>3</sup> ]
	h13=h11	79.46	[kJ/kg]
	s13	1.02	[kJ/kg-K]
	s13=s14	1.02	[kJ/kg-K]
	h14'	80.90	[kJ/kg]
Point 14	- h14 From Isotropic Efficiency	81.26	[kJ/kg]
	T14	313.33	[K]
		40.18	[°C]
	C <sub>p14</sub>	4.60	[kJ/kg-K]
Point 15	- h15	124.04	[kJ/kg]
	T15	322.60	[K]
		49.45	[°C]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright © by Chiang Mai University  
 All rights reserved

At Solution Heat Exchanger

High Pressure 1,583.09 [kPa]

Effectiveness 0.60

- Effectiveness =  $T_{19}-T_{21}/T_{19}-T_{15}$

Point 19 - T19 93.00 [°C]

h19 330.08

T15 49.45 [°C]

Point 21 - T21 66.87 [°C]

h21 205.42 [kJ/kg]

Point 20 - h20 224.74 [kJ/kg]

T20 344.12 [K]

70.97 [°C]

At PRV

High Pressure 1,583.09 [kPa]

Low Pressure 380.06 [kPa]

Point 22 - h12 = h22 171.19 [kJ/kg]

T22 335.94 [K]

62.79 [°C]

Enthalpy (kJ/kg)

h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11
1749.5682	522.07824	522.07824	435.13429	435.13429	Propylene Glycol			1599.8226	1643.0416	79.46329914
h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22
171.19362	79.463299	81.264455	124.03808	293.36674	1853.292	437.30	330.07612	224.74366	205.4163	171.1936169



*Energy Balance*

Desorber (Generator+Analyzer)	24.29	[kW]
Generator	29.63	[kW]
Rectifier	2.64	[kW]
Condenser	13.37	[kW]
Economizer	0.95	[kW]
Evaporator	15.45	[kW]
Fancoil	14.07	[kW]
Absorber	21.53	[kW]
Subcool	1.71	[kW]
Solution Heat Exchanger	6.22	[kW]
Solution Pump	0.11	[kW]

*Check Energy Balance*

Heat input system (Desorber + Evaporator + Solution Pump)	39.85	[kW]
Heat output system (Condenser + Rectifier + Subcool + Absorber)	39.25	[kW]
Loss	0.60	[kW]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright© by Chiang Mai University  
 All rights reserved

### ข) การออกแบบทางกายภาพ (Physical Design and Construction)

การคำนวณออกแบบลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์อุปกรณ์ส่วนมากเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน มีลักษณะการคำนวณที่คล้ายกัน การออกแบบในงานวิจัยจึงใช้โปรแกรมคำนวณช่วยในกระบวนการ (NIST, 2000) แต่เพื่อความเข้าใจในขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จึงขอแสดงตัวอย่างขั้นตอนการคำนวณออกแบบ Generator โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### ขั้นตอนการคำนวณ Generator

Shell side

Fluid =  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Concentration = 0.43 [-]

$T_{gen}$  = 120 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$d_o$  (Dimension) = 12 [mm]

= 0.012 [m]

$N_T$  (Number of tube) = 88 (การเลือกจำนวนรูของท่อดูรายละเอียดเพิ่มเติมใน ภาคผนวก ด.) [-]

$N_p$  (Number of pass) = 2 [-]

คุณสมบัติของสาร

$C_p$  (Heat capacity) = 5.00 [kJ/kg-K]

$K_l$  (Thermal conductivity) = 0.58 [W/m-K]

$\mu_l$  (Viscosity of liquid) =  $250 \times 10^{-6}$  [Pa-s]

หาค่า Prandtl number (Pr)

$Pr = \frac{C_p \mu_l}{K_l}$

= 2.16 [-]

หาค่า Mass flux of Ammonia ( $A_s$ )

$A_s = \frac{\pi}{4} d_o^2 N_T$

=  $3.14/4 \times (12 \times 10^{-3})^2 \times 88$

= 0.0099 [m<sup>2</sup>]

หาค่า Mass velocity ( $G$ )

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{m_{20} \cdot}{A_s} \\
 &= \frac{0.0617}{0.0099} \\
 &= 6.2 \quad [kg/m^2 - s]
 \end{aligned}$$

หาค่า Reynolds Number ( $Re$ )

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{Gd_0}{\mu_l} \\
 &= \frac{6.2 \times 12 \times 10^{-3}}{250 \times 10^{-6}} \\
 &= 297.7 \quad [W/m^2 - K]
 \end{aligned}$$

หาค่า Heat Transfer Coefficient ( $h_o$ ) และสมการที่ใช้ขึ้นกับลักษณะอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนและสารทำงาน (Sadik Kakaç and Hongtan Liu, 2002)

$$\begin{aligned}
 h_o &= 0.05R_e^{0.8} Pr^{1/3} K_l / d_0 \\
 &= 0.05 \times 297.7^{0.8} \times 2.16^{1/3} \times 0.58 / 12 \times 10^{-3} \\
 &= 297.55 \quad [W/m^2 - K]
 \end{aligned}$$

ด้าน Tube side

Fluid = ไอดีเสีย

$$T_{Exhaust,in} = 450 \quad [^{\circ}C]$$

$$T_{Exhaust,out} = 180 \quad [^{\circ}C]$$

$$\text{Bulk Temperature} = \frac{450+180}{2} \quad [^{\circ}C]$$

$$= 315 \quad [^{\circ}C]$$

คุณสมบัติของสาร

$$C_p = 1.04 \quad [kJ/kg - K]$$

$$\rho = 0.59 \quad [kg/m^3]$$

$$\mu_g = 30.4 \times 10^{-6} \quad [Pa - s]$$

$$K_g = 0.447 \quad [W/m - K]$$

หาค่า Prandtl number ( $Pr$ )

$$Pr \text{ (Prandtl number)} = \frac{C_p \mu_g}{K_g}$$

$$= 0.715 \quad [-]$$

หาค่า Mass flux of Ammonia ( $A_t$ )

$$A_t = \frac{\pi \times d_i^2 \times N_T}{4 \times N_p}$$

$$= \frac{\pi \times (10 \times 10^{-3})^2 \times 1^2 \times 88}{4 \times 2}$$

$$= 0.00345 \quad [m^2]$$

$$v^{\bullet}_{Exhaust} \text{ (Volume flow rate)} = 0.15 \quad [m^3/s]$$

$$m^{\bullet}_{Exhaust} \text{ (Mass flow rate)} = \frac{v^{\bullet}_{Exhaust}}{\rho}$$

$$= 0.15 / 0.59$$

$$= 0.089 \quad [kg/s]$$

หาค่า Mass velocity ( $G$ )

$$G = \frac{m^{\bullet}_{Exhaust}}{A_t}$$

$$= 0.089 / 0.00345$$

$$= 25.69 \quad [kg/m^2 \cdot s]$$

หาค่า Renold Number ( $Re$ )

$$Re = \frac{G d_i}{\mu_g}$$

$$= \frac{25.69 \times 10 \times 10^{-3}}{30.4 \times 10^{-6}}$$

$$= 8435.57 \quad [W/m^2 \cdot K]$$

หาค่า Heat Transfer Coefficient ( $h_i$ ) และสมการที่ใช้ขึ้นกับลักษณะอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนและสารทำงาน (Sadik Kakaç and Hongtan Liu, 2002)

$$h_i = 0.05 R_e^{0.8} P_r^{1/3} K_g / d_i$$

$$= 0.05 \times 8436^{0.8} \times 0.715^{1/3} \times 0.447 / 10 \times 10^{-3}$$

$$= 276.26 \quad [W/m^2 \cdot K]$$

หาค่า Overall heat transfer ( $U_o$ )

$$U_o = \left[ \frac{d_o}{h_i d_i} + \frac{d_o / n (d_o / d_i)}{2k} + \frac{1}{h_o} \right]^{-1}$$



$$= \left[ \frac{0.012}{276 \times 0.01} + \frac{0.012/n(0.012/0.01)}{2 \times 111} + \frac{1}{297.6} \right]^{-1}$$

$$= 129.51 \quad [W/m^2 - K]$$

หาค่า Log mean temperature differential (*LMTD*)

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

$$= \frac{(480 - 120) - (180 - 120)}{\ln(260/60)}$$

$$= 158.38 \quad [^{\circ}C]$$

คิด Safety Factor = 0.8 [-]

$$\therefore LMTD = 0.8 \times 158.38$$

$$= 126.70 \quad [^{\circ}C]$$

หาค่าพื้นที่ถ่ายเทความร้อนรวม (*A*)

$$A = \frac{Q}{U_0 LMTD}$$

$$= \frac{29.63 \times 10^3}{129.51 \times 126.70}$$

$$= 1.48 \quad [m^2]$$

หาความยาวของ Tube (*L*)

$$L = \frac{A}{N_T \pi d_0}$$

$$= \frac{1.48}{88 \times \pi \times 12 \times 10^{-3}}$$

$$= 0.44 \quad [m]$$

เลือกใช้ความยาวของ Shell  $\approx 0.5$  [m]

เลือกใช้ความยาวของ Shell = 1 [m]

**สรุปการคำนวณของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)**

Type Heat Exchanger	Generator	Rectifier	Condenser	Economizer
<b>Property</b>				
Capacity [kW]	29.63	2.64	13.37	0.95
Dimeter of Shell (D <sub>s</sub> ) [in]	8.00	6.00	8.00	6.00
[m]	0.2032	0.1524	0.2032	0.1524
Number of pass (N <sub>p</sub> )	2.00	1.00	4.00	1.00
Number of tube (N <sub>t</sub> )	88.00	45.00	88.00	45.00
P <sub>1</sub> ratio	1.35	1.35	1.35	1.20
P <sub>1</sub> [mm]	16.20	16.20	16.20	14.40
[m]	0.0162	0.0162	0.0162	0.0144
Dimeter tube (d <sub>o</sub> ) [mm]	12.00	12.00	12.00	12.00
[m]	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120
Dimeter tube (d <sub>i</sub> ) [mm]	10.00	10.00	10.00	10.00
[m]	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>Shell side</b>				
Fluid	aq_w0.43.MIX	aq_w0.95.MIX	aq_w0.99.MIX	aq_w0.99.MIX
Temperature input (T <sub>in</sub> ) [°C]	120	100	70	40
[K]	393.15	373.15	343.15	313.15
Temperature output (T <sub>out</sub> ) [°C]	120	80	40	22
[K]	393.15	353.15	313.15	295.15
<b>Property of fluid</b>				
- Bulk temperature [°C]	120	90	55	31
[K]	393.15	363.15	328.15	304.15
- Isobaric Heat Capacity (Cp) [kJ/kg-K]	5.004954707	2.488099911	5.12153000	4.83276806
- Volume of liquid [m <sup>3</sup> /kg]	0.001329502	0.001939174	0.001787758	0.001671618
- Volume of vapour [m <sup>3</sup> /kg]	0.528276776	0.184394477	0.055537482	0.10728533
- Thermal Conductivity (K) [W/m-K]	0.5800000000	0.5500000000	0.4060000000	0.4000000000
- Viscosity of liquid (μ <sub>l</sub> ) [mPa-s]	0.25		0.12	0.18
[Pa-s]	0.0002500000		0.0001200000	0.0001800000
- Viscosity of Vapour (μ <sub>g</sub> ) [Pa-s]		0.0000125487	0.0000108568	0.0000100277
Prandtl number (Pr) [-]	2.1573080634	0.0567678242	0.1369539191	2.1747456248
Mass flux (A <sub>s</sub> ) [m <sup>2</sup> ]	0.009952566	0.004741333	0.002488141	0.016833333
mass flow rate of fluid [kg/s]	0.061729629	0.011861772	0.010893464	0.010893464
Mass velocity (G) [kg/m <sup>2</sup> -s]	6.202384	2.501780	4.378153	0.647136
Equivalent Diameter (D <sub>e</sub> ) [m]		0.015845749		0.010001579
Renold Number (Re <sub>l</sub> ) [W/m <sup>2</sup> -K]			218.907657	
Renold Number (Re <sub>v</sub> ) [W/m <sup>2</sup> -K]			2419.587997	
Renold Number (Re) [W/m <sup>2</sup> -K]	297.7144134	2392.396745	2181.349682	43.14243167
Heat transfer coefficient (h <sub>o</sub> ) [W/m <sup>2</sup> -K]	297.550508	336.9589352	408.7770572	143.7892707
<b>Tube side</b>				
Fluid	Exhaust	aq_w0.43.MIX	WATER	aq_w0.99.MIX
Temperature input (T <sub>in</sub> ) [°C]	450	40.18471996	32	-5
[K]	723.15	313.33472	305.15	268.15
Temperature output (T <sub>out</sub> ) [°C]	180	49.45	37.00	13.00
[K]	453.15	322.6031411	310.15	286.15
<b>Property of fluid</b>				
- Bulk temperature [°C]	315	44.81893052	34.5	4
[K]	588.15	317.9689305	307.65	277.15
- Isobaric Heat Capacity (Cp) [kJ/kg-K]	1.048730247	4.615026321	4.179527228	2.544419902
- Density (ρ <sub>l</sub> ) [kg/m <sup>3</sup> ]	0.591955599	830.7996097	994.1618469	2.975882047
- Density (ρ <sub>g</sub> ) [kg/m <sup>3</sup> ]				
- Thermal Conductivity (K) [W/m-K]	0.0446681403	0.6000000000	0.6225228487	0.0235774506
- Viscosity of liquid (μ <sub>l</sub> ) [mPa-s]		0.6400000000		
[Pa-s]		0.0006400000	0.0007265495	
- Viscosity of Vapour (μ <sub>g</sub> ) [Pa-s]	0.0000304595			0.0000092263
Prandtl number (Pr)	0.7151368058	4.9226947420	4.8779471801	0.9956796670
Mass flux of ammonia (A <sub>T</sub> ) [m <sup>2</sup> ]	0.003455752	0.003534292	0.001727876	0.003534292
Volume flow rate Exhaust (v) [m <sup>3</sup> /s]	0.15			
Mass flow rate [kg/s]	0.088793	0.061730	0.639863	0.010893
Velocity [m/s]				1.035733
Mass velocity (G) [kg/m <sup>2</sup> -s]	25.694362	17.465912	370.317481	3.082220
Renold Number (Re <sub>l</sub> ) [W/m <sup>2</sup> -K]				
Renold Number (Re <sub>v</sub> ) [W/m <sup>2</sup> -K]				
Renold Number (Re) [W/m <sup>2</sup> -K]	8435.573746	272.9048789	5096.933679	3073.702612
(f)				0.011297119
(Nu)				16.19770452
Heat transfer coefficient (h <sub>i</sub> ) [W/m <sup>2</sup> -K]	276.2629343	781.1956416	4042.552282	38.19005789
Thermal Conductivity of Material (k) [W/m <sup>2</sup> -K]	64	64	64	64
Overall heat transfer (U <sub>o</sub> ) [W/m <sup>2</sup> -K]	129.5075988	221.1939062	362.2852289	26.0460721
Log mean temperature differential 1 (LMTD) [°C]	158.3811715	44.96784748	17.64208558	21.61584858
Heat transfer area (A1) [m <sup>2</sup> ]	1.444713472	0.265457203	2.092104563	1.682251127

Type Heat Exchanger	Evaporator	Absorber	Solution heat Exchanger	Subcool
<b>Property</b>				
Capacity [kW]	15.45	21.53	6.22	1.71
Dimeter of Shell ( $D_s$ ) [in]	10.00	8.00	6.00	6.00
[m]	0.2540	0.2032	0.1524	0.1524
Number of pass ( $N_p$ )	2.00	4.00	1.00	1.00
Number of tube ( $N_T$ )	85.00	88.00	45.00	45.00
$P_T$ ratio	1.35	1.35	1.40	1.35
$P_T$ [mm]	16.20	16.20	16.80	16.20
[m]	0.0162	0.0162	0.0168	0.0162
Dimeter tube ( $d_o$ ) [mm]	12.00	12.00	12.00	12.00
[m]	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120
Dimeter tube ( $d_i$ ) [mm]	10.00	10.00	10.00	10.00
[m]	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>Shell side</b>				
Fluid	Glycol/Water 25%	aq_w0.43.MIX	aq_w0.43.MIX	aq_w0.31.MIX
Temperature input ( $T_{i,in}$ ) [°C]	5	63	49.45	66.87
[K]	278.15	336.15	322.6031411	340.0218846
Temperature output ( $T_{o,out}$ ) [°C]	0	40	70.97	62.79
[K]	273.15	313.15	344.1177778	335.9424362
Property of fluid				
- Bulk temperature [°C]	2.5	51.5	60.21045945	64.83216041
[K]	275.65	324.65	333.3604594	337.9821604
- Isobaric Heat Capacity ( $C_p$ ) [kJ/kg-K]	3.95700000	4.64607504	4.68052252	4.53240310
- Volume of liquid [ $m^3/kg$ ]				
- Volume of vapour [ $m^3/kg$ ]				
- Thermal Conductivity (K) [W/m-K]	0.4700000000	0.6200000000	0.5800000000	0.6000000000
- Viscosity of liquid ( $\mu_l$ ) [mPa-s]		0.28	0.25	0.25
[Pa-s]	0.0058320000	0.0002800000	0.0002500000	0.0002500000
- Viscosity of Vapour ( $\mu_g$ ) [Pa-s]				
Prandtl number (Pr) [-]	49.1004765957	2.0982274389	2.0174666032	1.8885012911
Mass flux ( $A_s$ ) [ $m^2$ ]	0.003292593	0.007902222	0.002177143	0.001975556
mass flow rate of fluid [kg/s]	0.682084848	0.061729629	0.061729629	0.049867857
Mass velocity (G) [ $kg/m^2-s$ ]	207.157378	7.811680	28.353504	25.242448
Equivalent Diameter ( $D_e$ ) [m]	0.015845749	0.015845749	0.017946594	0.015845749
Renold Number ( $Re_L$ ) [ $W/m^2-K$ ]				
Renold Number ( $Re_v$ ) [ $W/m^2-K$ ]				
Renold Number (Re) [ $W/m^2-K$ ]	562.8538724	442.0782692	2035.39533	1599.941934
Heat transfer coefficient ( $h_o$ ) [ $W/m^2-K$ ]	1237.844189	499.868414	943.7847189	947.5517624
<b>Tube side</b>				
Fluid	aq_w0.99.MIX	WATER	aq_w0.31.MIX	WATER
Temperature input ( $T_{i,in}$ ) [°C]	-3.219230121	32	93	32
[K]	269.9307699	305.15	366.15	305.15
Temperature output ( $T_{o,out}$ ) [°C]	-5.00	37.00	66.87	37.00
[K]	268.15	310.15	340.0218846	310.15
Property of fluid				
- Bulk temperature [°C]	-4.10961506	34.5	79.93594232	34.5
[K]	269.0403849	307.65	353.0859423	307.65
- Isobaric Heat Capacity ( $C_p$ ) [kJ/kg-K]	4.594124177	4.179527228	4.596633132	4.179527228
- Density ( $\rho_l$ ) [ $kg/m^3$ ]	644.1655932	994.1618469	843.6885081	994.1618469
- Density ( $\rho_g$ ) [ $kg/m^3$ ]	2.980784375			
- Thermal Conductivity (K) [W/m-K]	0.5718322618	0.6225228487	0.6100000000	0.6225228487
- Viscosity of liquid ( $\mu_l$ ) [mPa-s]	0.2110000000		0.2300000000	
[Pa-s]	0.0002110000	0.0007265495	0.0002300000	0.0007265495
- Viscosity of Vapour ( $\mu_g$ ) [Pa-s]	0.0000089302			
Prandtl number (Pr)	1.6951827766	4.8779471801	1.7331567547	4.8779471801
Mass flux of ammonia ( $A_r$ ) [ $m^2$ ]	0.003337942	0.001727876	0.003534292	0.003534292
Volume flow rate Exhaust (v) [ $m^3/s$ ]				
Mass flow rate [kg/s]	0.010893	1.030271	0.049868	0.081665
Velocity [m/s]				
Mass velocity (G) [ $kg/m^2-s$ ]	3.263527	596.264581	14.109717	23.106559
Renold Number ( $Re_L$ ) [ $W/m^2-K$ ]	123.735615			
Renold Number ( $Re_v$ ) [ $W/m^2-K$ ]	730.892863			
Renold Number (Re) [ $W/m^2-K$ ]	56268.18875	8206.798719	613.4659717	318.0314265
(f)			0.02123592	
(Nu)			6.843886619	
Heat transfer coefficient ( $h_i$ ) [ $W/m^2-K$ ]	21520.60702	5253.288899	417.4770837	879.0108289
Thermal Conductivity of Material (k) [ $W/m^2-K$ ]	64	64	64	64
Overall heat transfer ( $U_o$ ) [ $W/m^2-K$ ]	1135.448475	445.2265677	253.0962795	410.2370795
Log mean temperature differential 1 (LMTD) [°C]	5.982454122	15.27164442	19.63523428	30.32983211
Heat transfer area ( $A_1$ ) [ $m^2$ ]	2.274258299	3.166517282	1.250907942	0.137160768

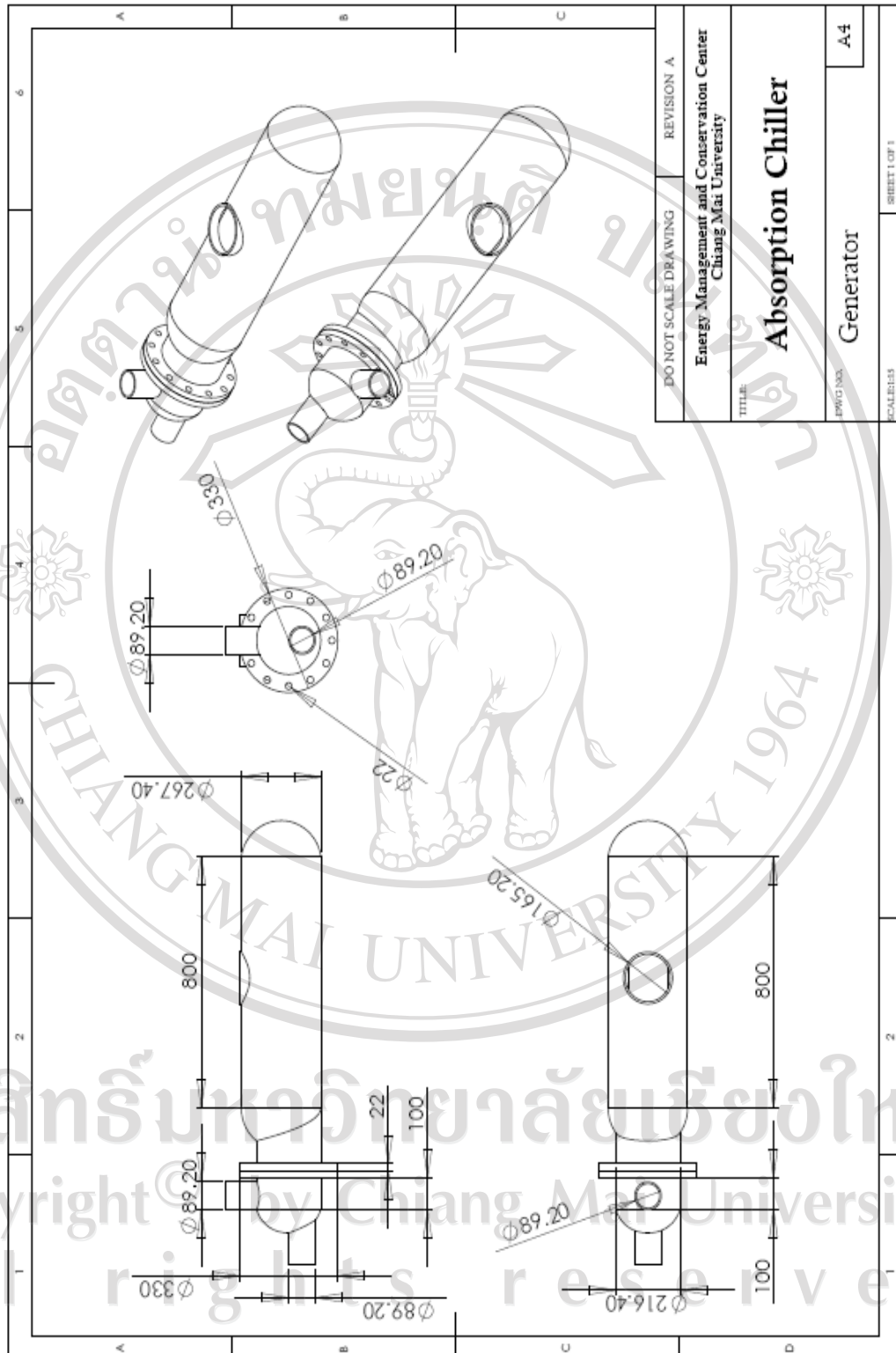
ค) แบบแปลนระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

แบบแปลนทางวิศวกรรมของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมมีลำดับการแสดงดังต่อไปนี้

- Generator
- Evaporator
- Absorber
- Solution Heat Exchanger
- Rectifier
- Ammonia Receiver
- Economizer
- Condenser
- Distillation
- Sub Cool
- Electric Diagram

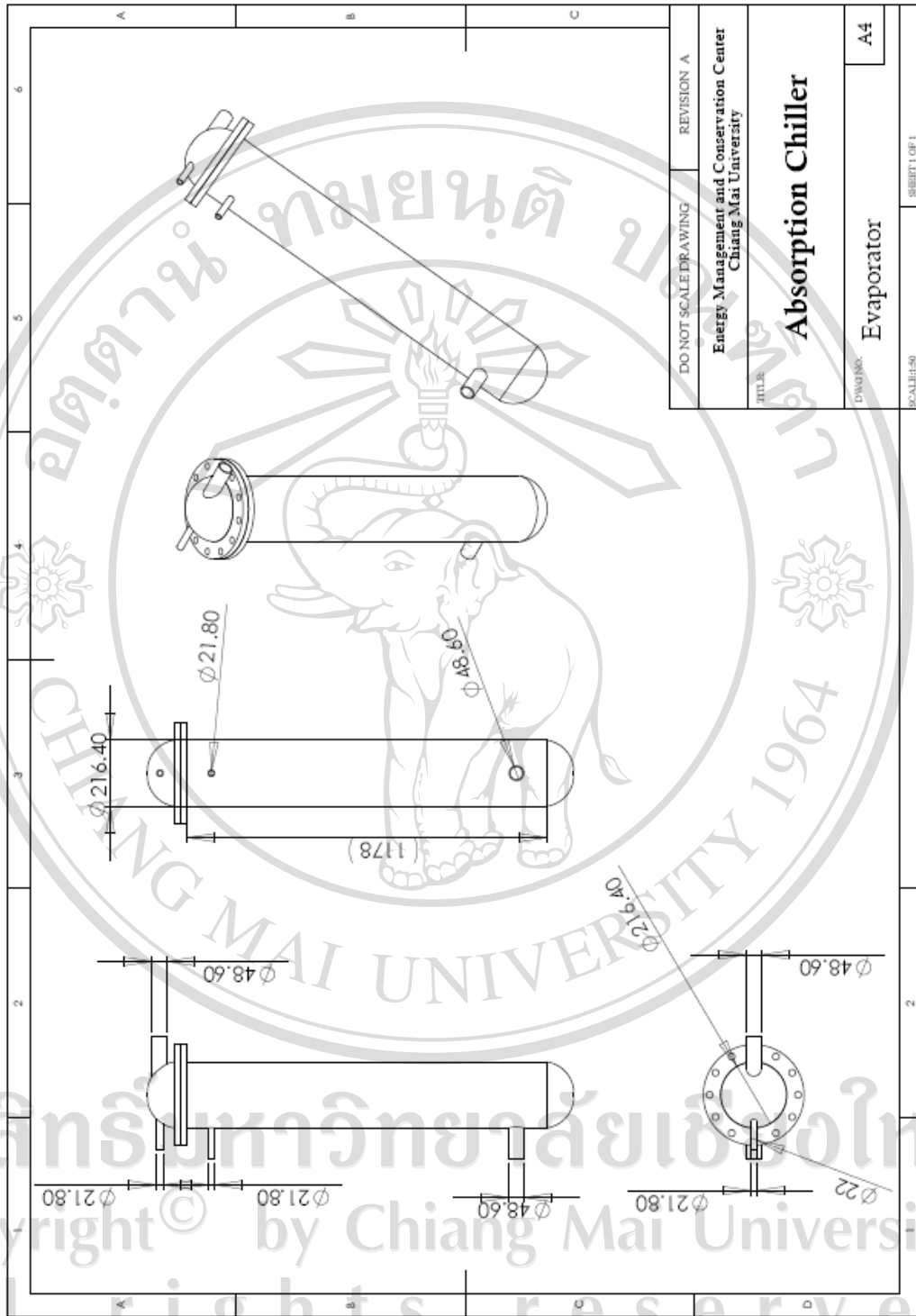
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright© by Chiang Mai University  
 All rights reserved





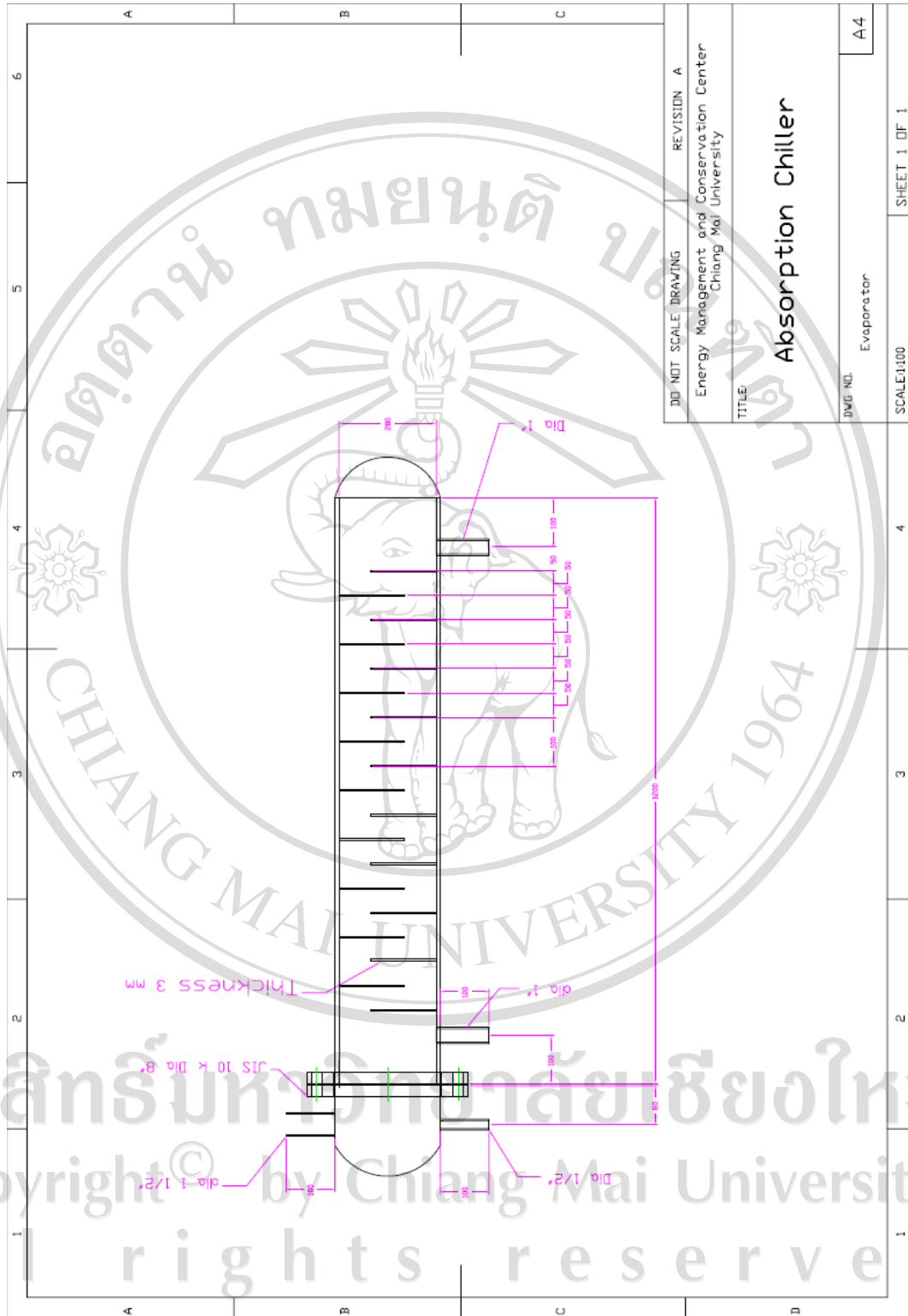
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright © by Chiang Mai University  
 All rights reserved





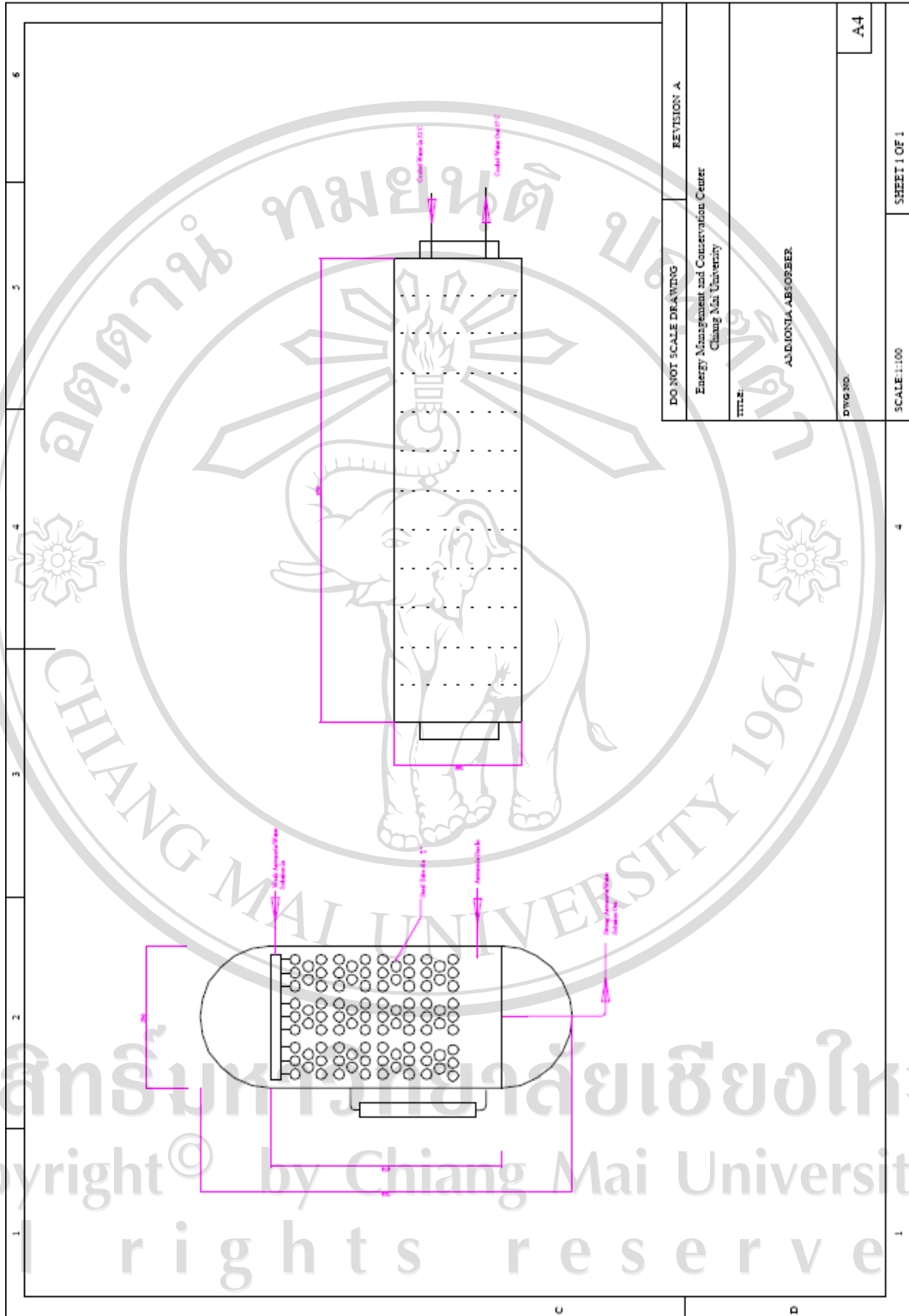
DO NOT SCALE DRAWING	REVISION A
Energy Management and Conservation Center Chiang Mai University	
TITLE: <b>Absorption Chiller</b>	
DIAGRAM: Evaporator	A4
SCALE: 1:50	SHEET 1 OF 1

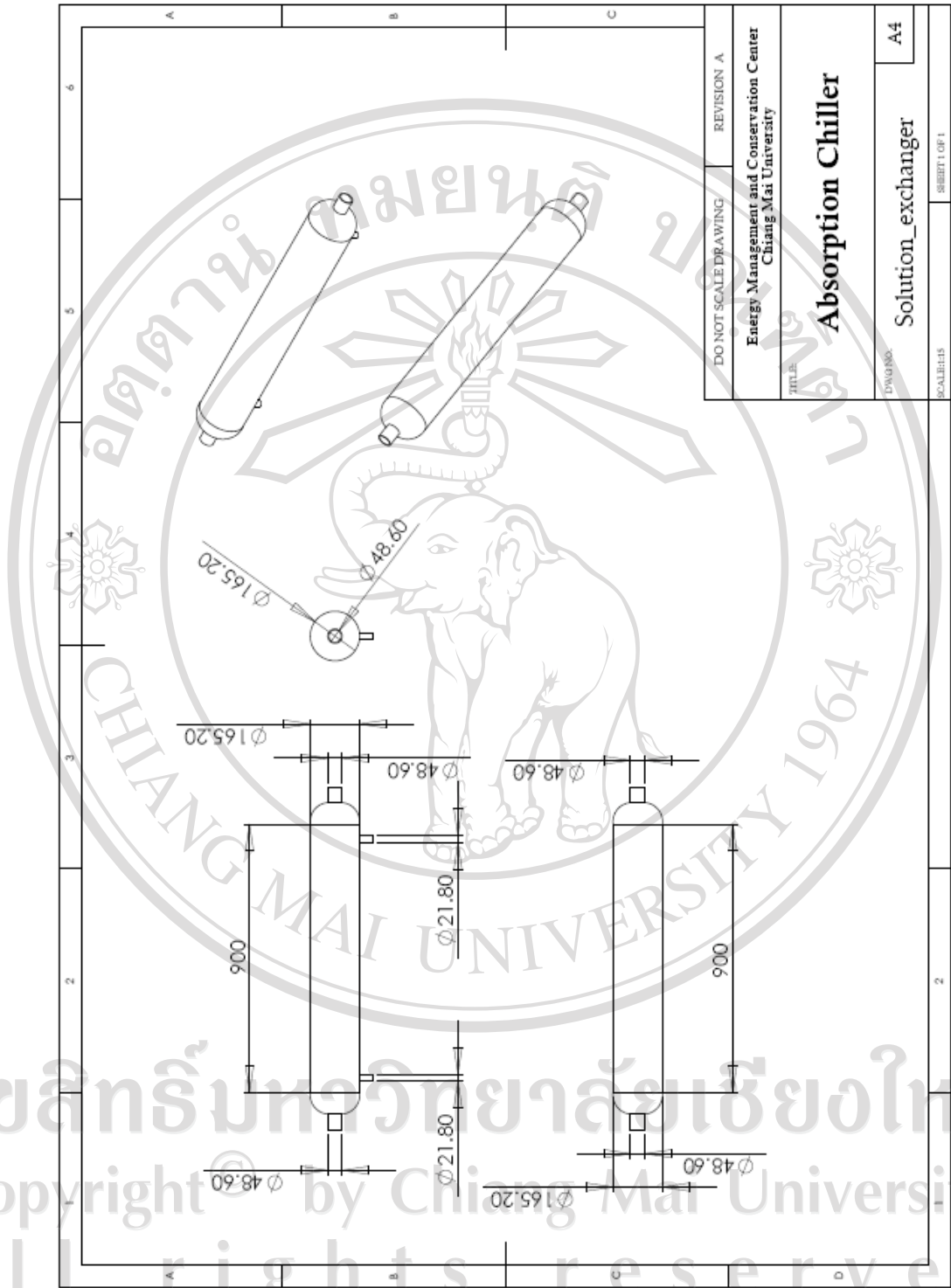
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright © by Chiang Mai University  
 All rights reserved



DD NOT SCALE DRAWING	REVISION A
Energy Management and Conservation Center Chiang Mai University	
TITLE: <b>Absorption Chiller</b>	
DWG NO. Evaporator	A4
SCALE:1:100	SHEET 1 OF 1

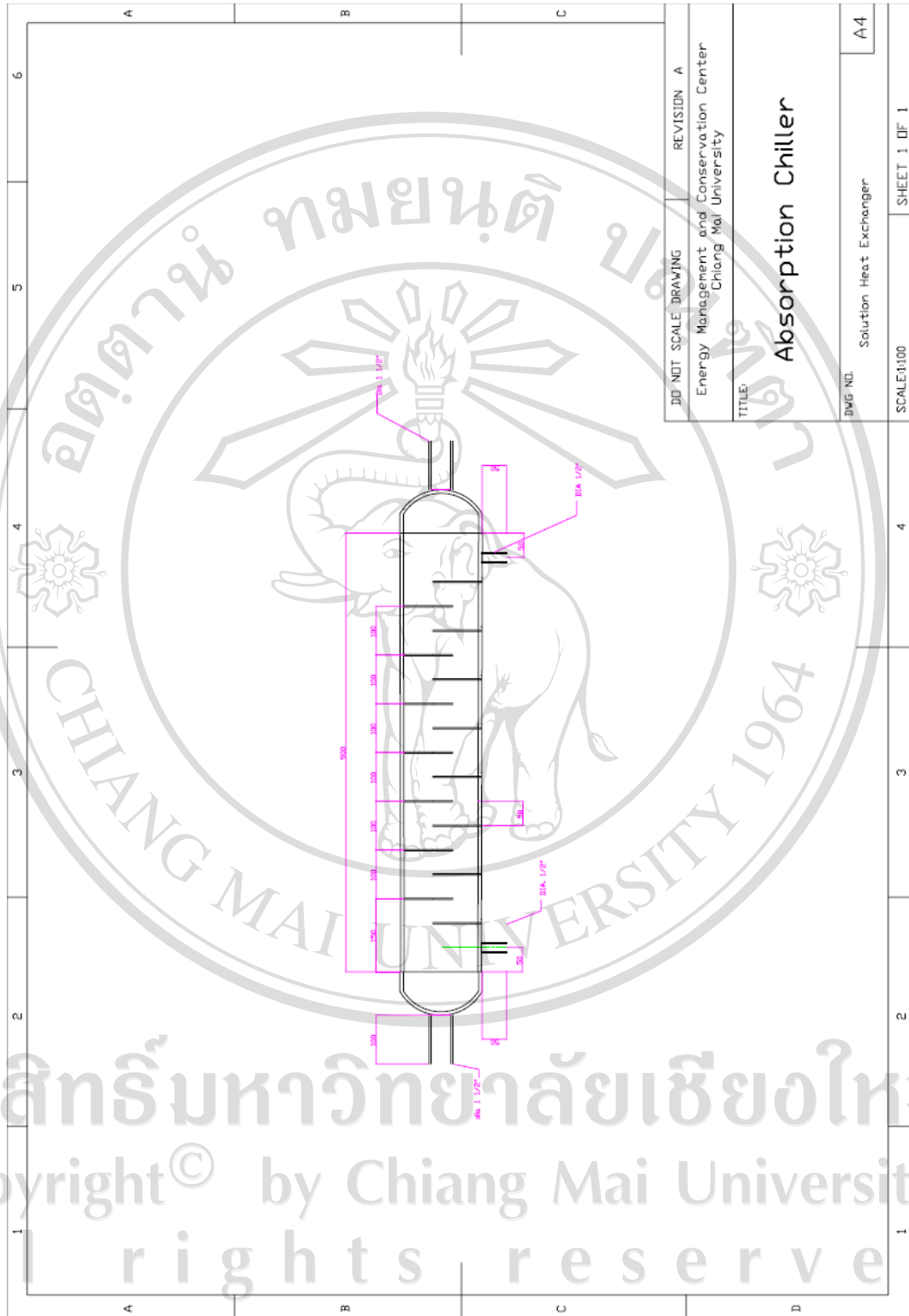


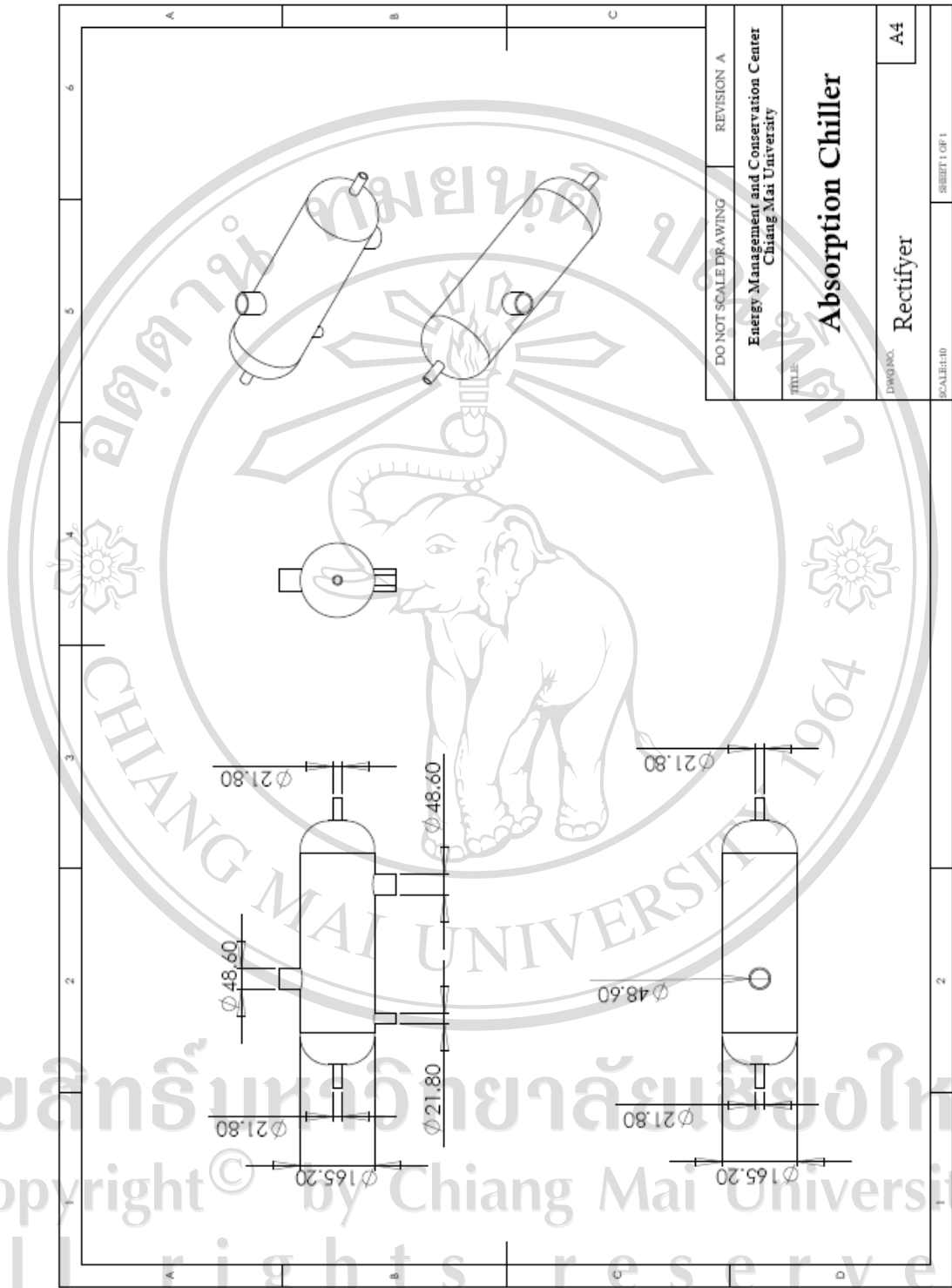




DO NOT SCALE DRAWING	REVISION A
Energy Management and Conservation Center Chiang Mai University	
TITLE:	<b>Absorption Chiller</b>
DWG. NO.	Solution_exchanger
SCALE: 1:1	A4
SHEET 1 OF 1	

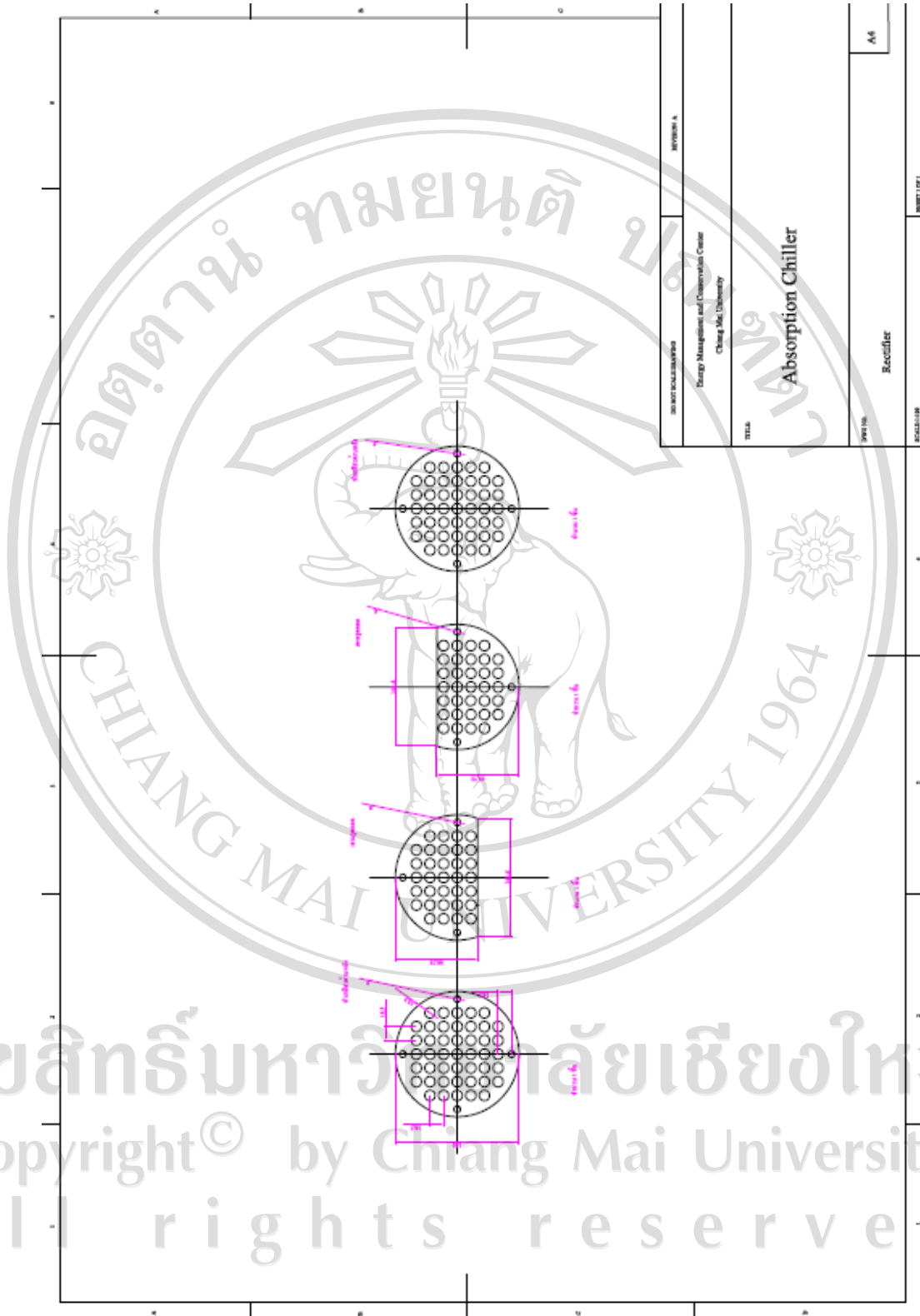
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved





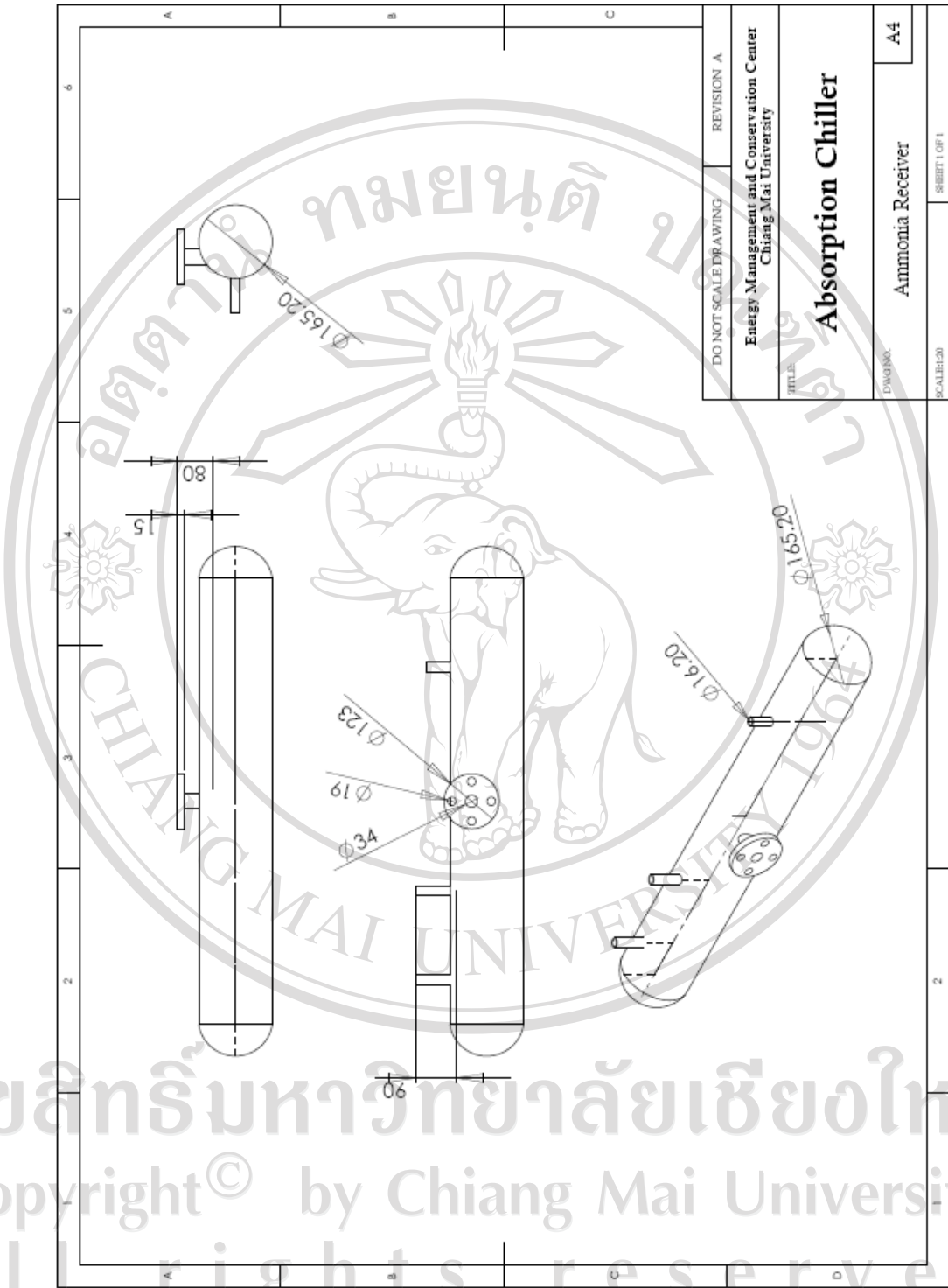
DO NOT SCALE DRAWING	REVISION A
Energy Management and Conservation Center Chiang Mai University	
TITLE <b>Absorption Chiller</b>	
DWGNO.	Rectifier
SCALE:1:10	SHEET 1 OF 1
A4	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

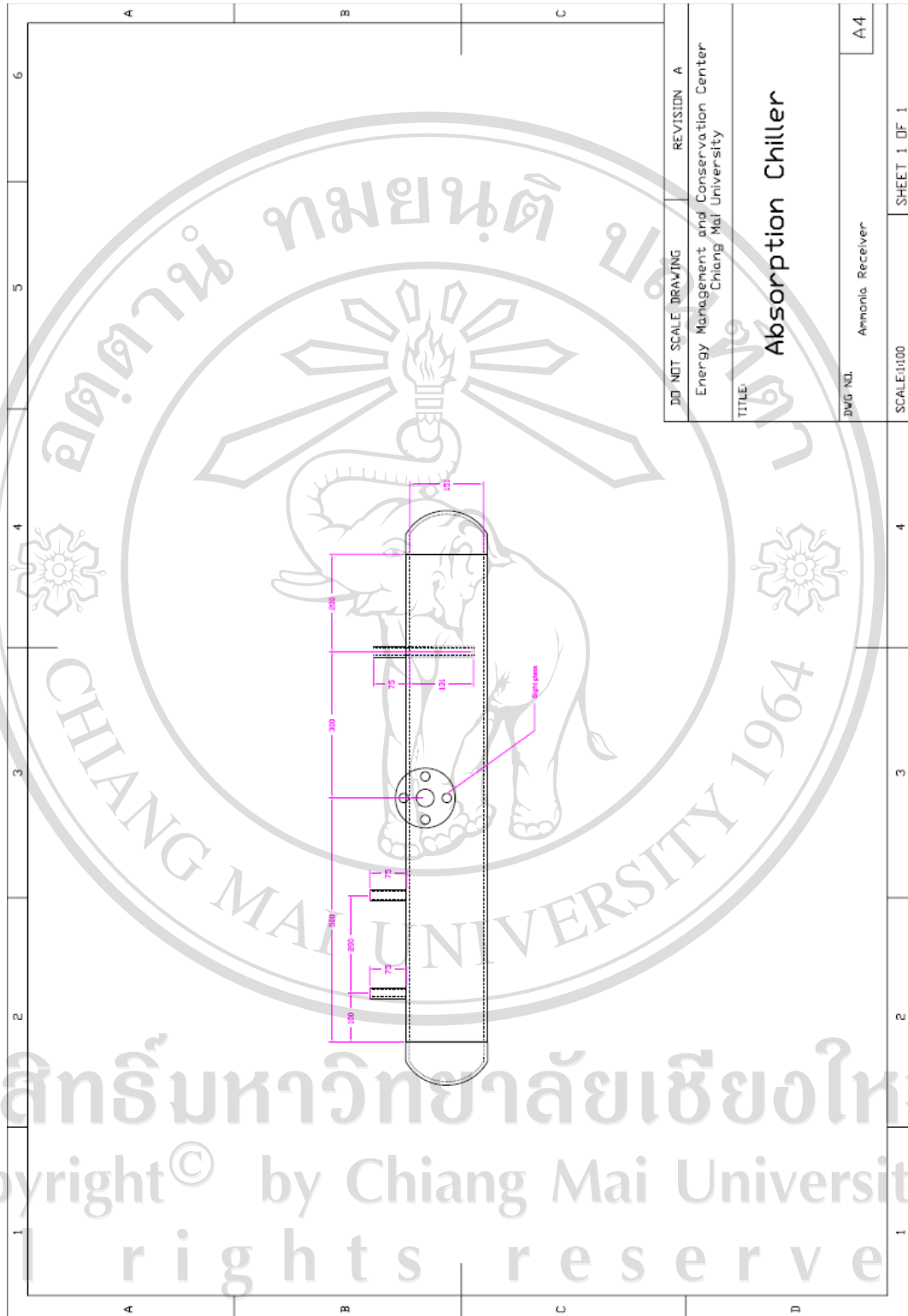


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

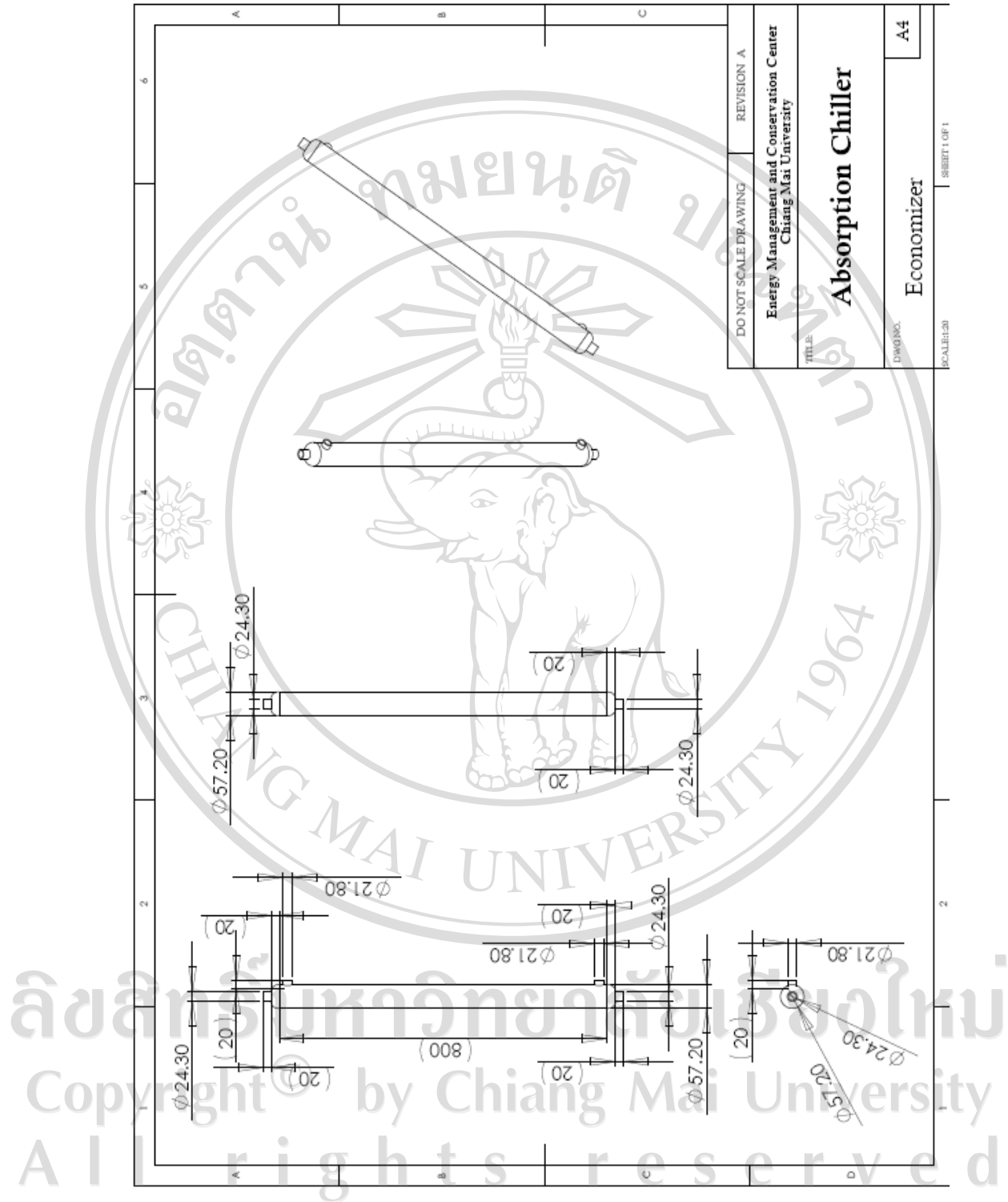


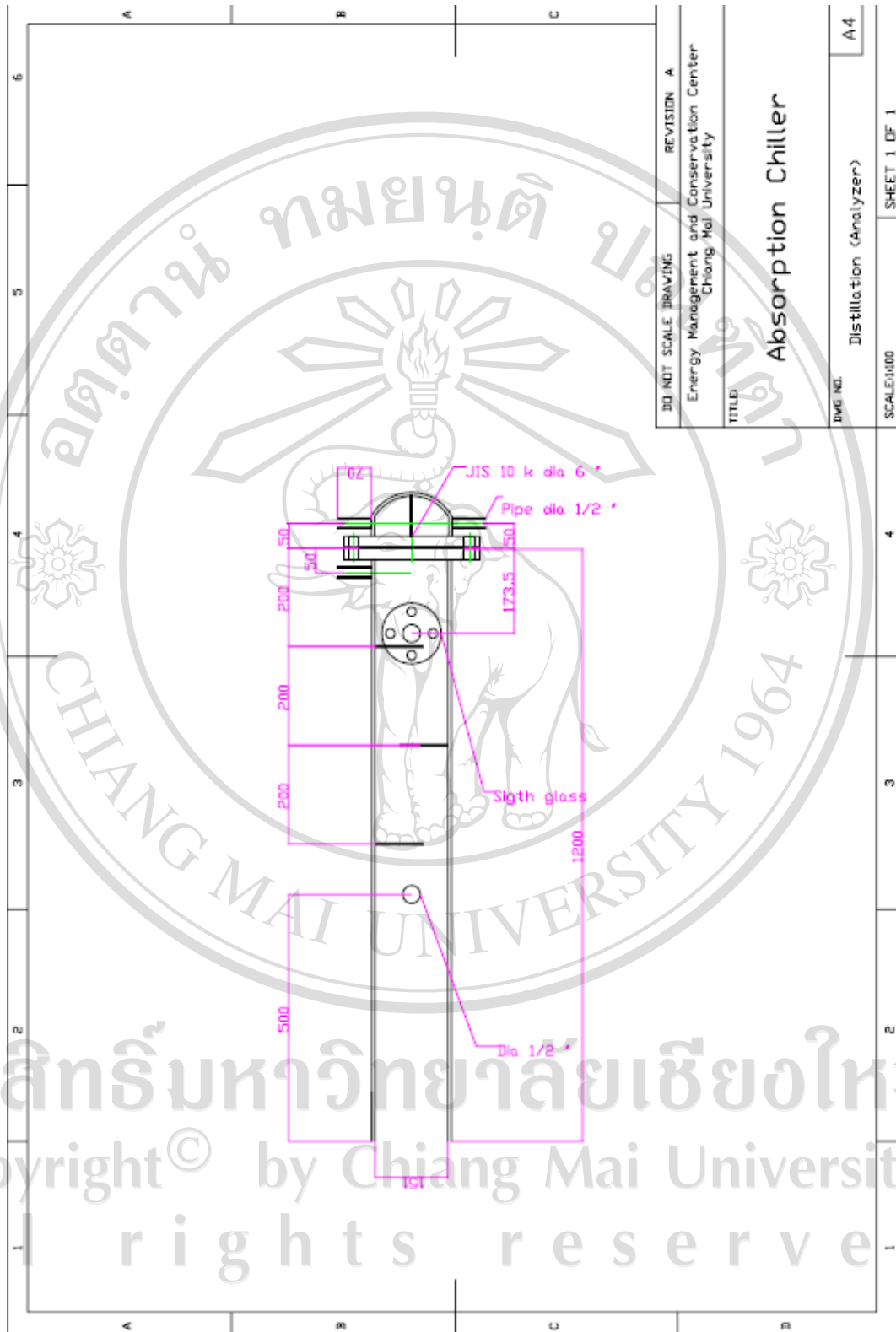


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

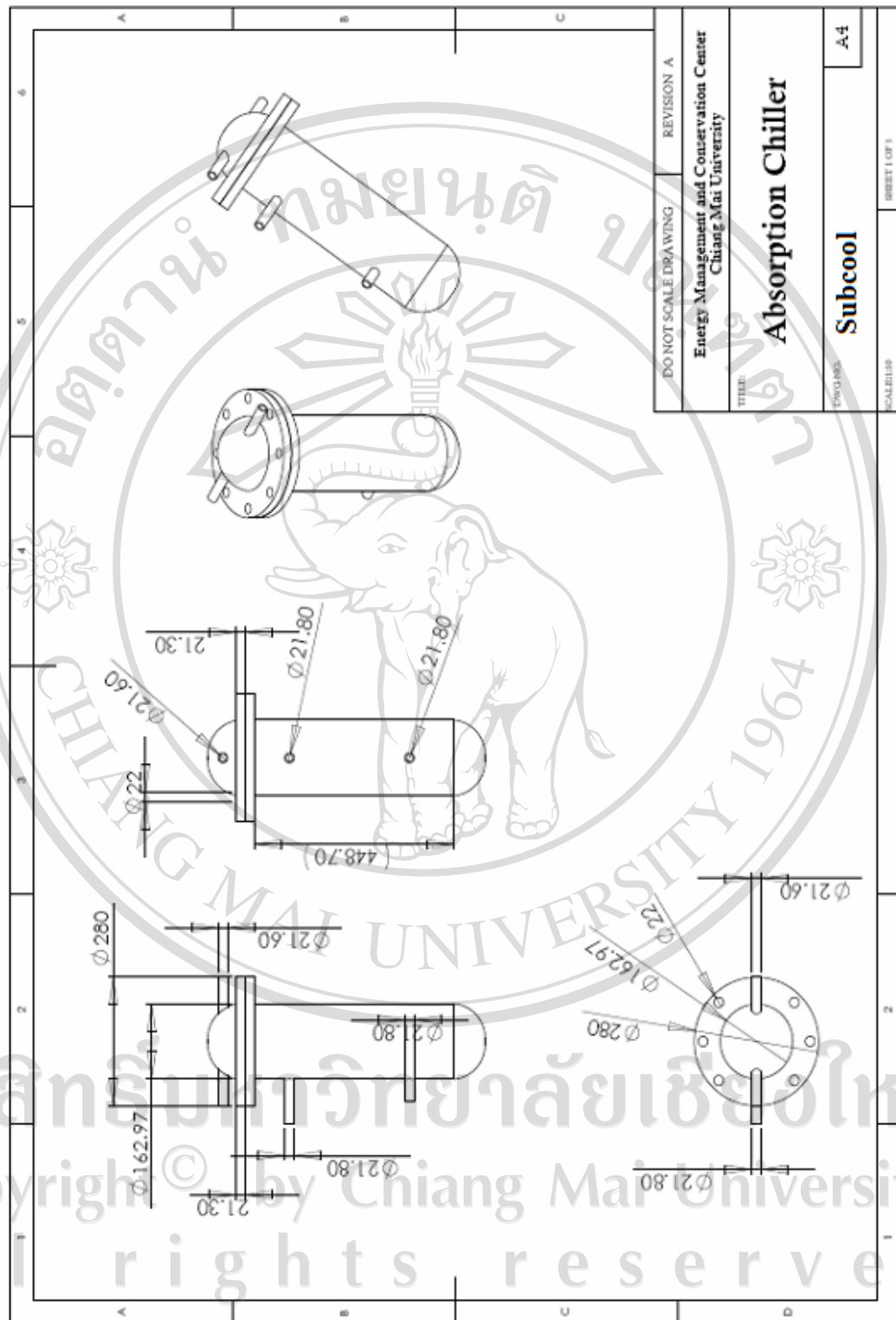


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved



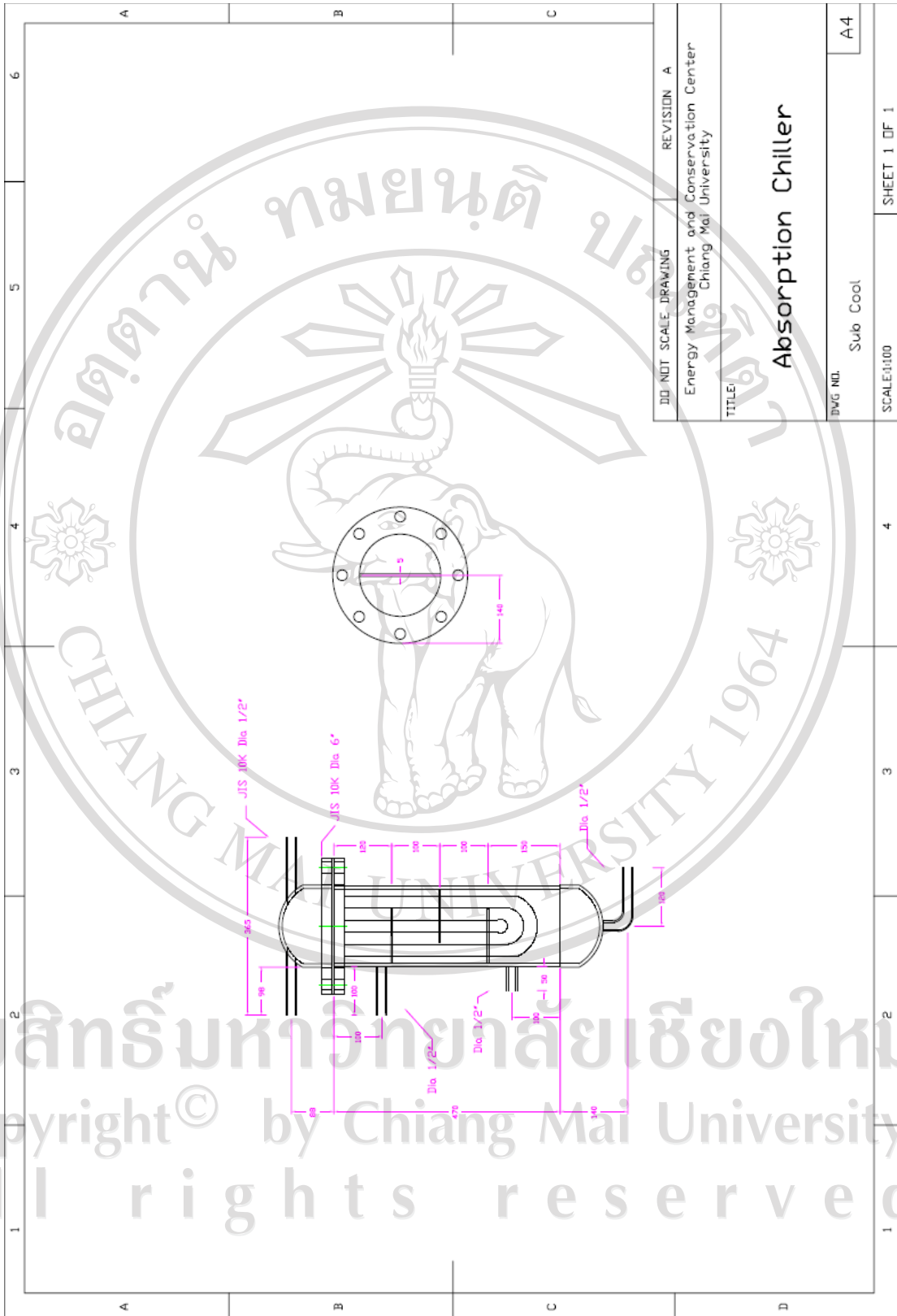


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

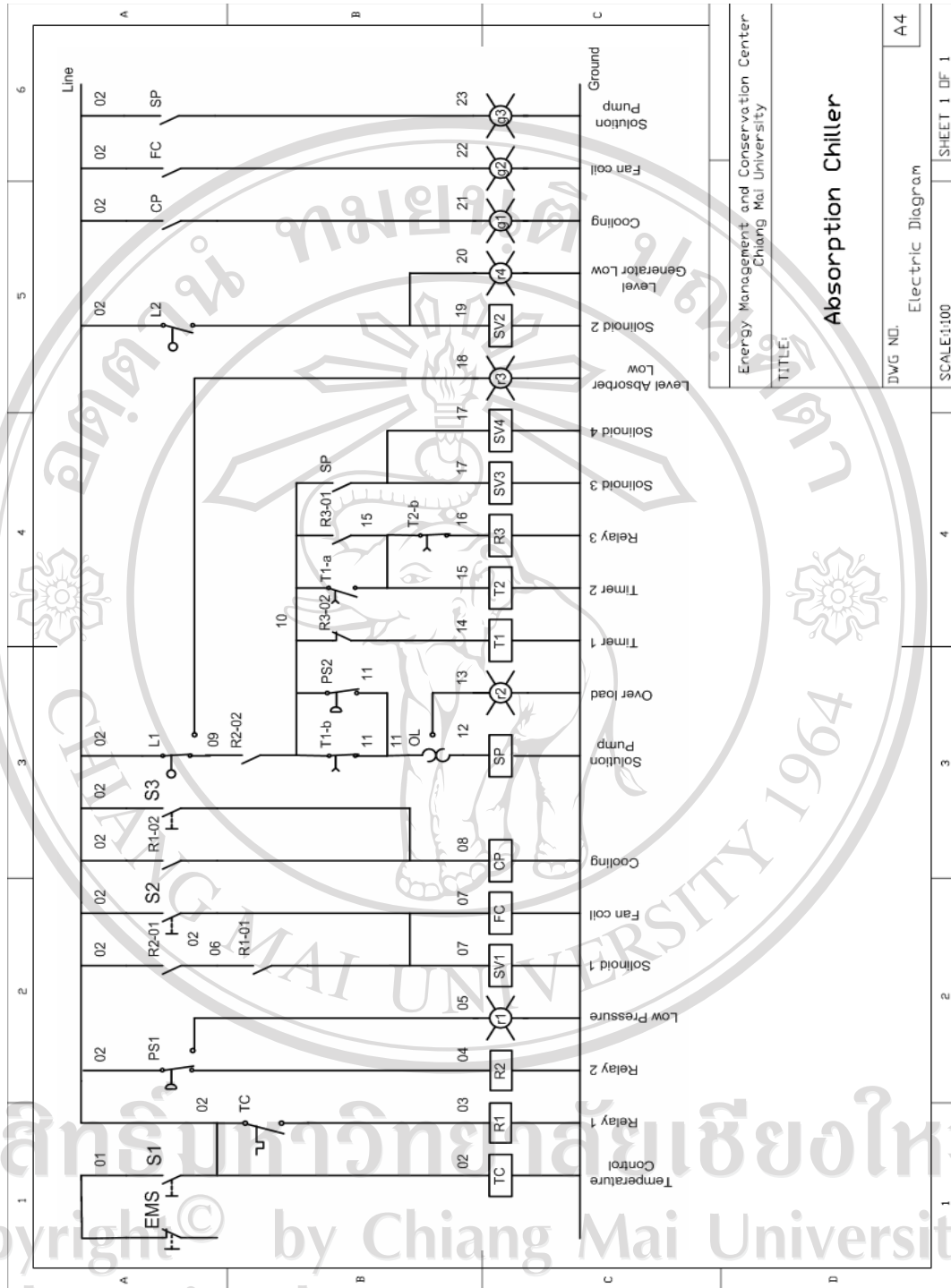


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright © by Chiang Mai University  
 All rights reserved





ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright © by Chiang Mai University  
 All rights reserved



Energy Management and Conservation Center Chiang Mai University	
TITLE: <b>Absorption Chiller</b>	
DWG NO.:	Electric Diagram
A4	
SCALE:1:100	SHEET 1 OF 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

ง) ผลการทดสอบและเก็บข้อมูลอุณหภูมิของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

ความหมายของสัญลักษณ์ในการทดสอบและเก็บข้อมูลอุณหภูมิของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมใน ตาราง ง.1) ถึง ตารางที่ ง.3) มีดังต่อไปนี้

- Room = A
- Inlet Flue = B
- Outlet Flue = C
- Outlet Analyzer = D
- Inlet Cond = E
- Outlet Cond = F
- Inlet Evap = G
- Outlet Evap = H
- Inlet Glycol2 = I
- Outlet Glycol = J
- Inlet Absorb = K
- Inlet Absorb = L
- Outlet Absorb = M
- Water cooling = N

ตารางที่ ง.1) ตารางบันทึกผลอุณหภูมิของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (27/10/2549)

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
9:50:00	31.9	479.2	75.1	45.4	33.3	35.2	33.2	33.0	33.6	26.9	32.5	38.7	32.7	29.0
9:55:00	32.7	481.0	135.8	60.7	43.1	35.3	32.6	26.6	34.1	25.8	32.3	38.9	32.9	28.2
10:00:00	33.4	480.2	154.5	80.0	56.0	38.5	32.3	29.7	34.4	25.8	32.3	38.7	32.4	27.8
10:05:00	30.8	481.3	158.1	100.4	69.2	35.1	7.9	12.7	33.1	26.0	23.0	39.0	31.2	25.4
10:10:00	26.5	481.2	156.7	105.5	71.4	36.2	1.8	0.0	30.0	28.0	15.9	44.1	34.2	25.6
10:15:00	22.8	481.3	158.7	105.7	71.7	37.9	2.6	-1.1	27.0	25.0	14.5	52.7	35.0	25.4
10:20:00	19.8	474.9	157.5	107.4	75.1	38.9	4.5	0.2	24.4	22.4	14.0	56.3	35.8	26.4
10:25:00	16.7	471.5	156.4	107.7	75.4	39.2	2.1	-2.1	21.8	19.8	12.4	58.2	36.3	27.4
10:30:00	12.5	481.3	164.6	107.8	78.5	39.7	1.1	-6.6	18.3	16.3	2.4	61.1	37.4	26.4
10:35:00	9.5	480.9	164.2	110.8	82.6	41.3	2.5	-5.2	15.6	13.6	1.6	63.8	38.5	27.6

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
10:40:00	10.0	475.7	160.3	109.7	82.8	40.0	2.9	1.8	29.6	27.6	25.4	63.1	38.3	26.4
10:45:00	11.4	474.9	160.1	109.2	84.3	38.5	4.9	5.0	15.7	13.7	35.7	63.1	37.8	26.4
10:50:00	12.4	473.3	161.0	112.1	90.3	38.1	7.5	8.6	27.6	25.6	34.8	61.3	37.0	30.3
10:55:00	13.5	467.3	157.4	111.1	85.0	37.4	9.9	9.6	32.5	30.5	29.6	61.0	36.1	29.5
11:00:00	11.3	464.9	157.9	109.9	80.8	38.0	3.2	-6.3	13.8	11.8	3.3	66.4	40.6	32.2
11:05:00	8.9	463.5	159.6	113.4	86.8	39.9	6.4	-2.4	10.6	8.3	6.9	67.4	40.3	32.1
11:10:00	7.6	461.7	154.8	109.7	85.0	40.0	8.7	0.3	8.5	6.9	8.7	77.4	43.0	32.1
11:15:00	8.8	460.8	148.8	102.5	69.9	38.4	11.1	2.4	9.5	8.3	25.4	70.3	40.6	31.9
11:20:00	10.0	461.2	141.2	93.2	55.1	36.8	11.0	3.0	10.6	9.5	25.8	61.4	38.0	31.3
11:25:00	10.9	461.3	141.6	94.7	57.8	36.4	12.6	7.6	11.6	10.6	31.9	62.6	35.9	30.7
11:30:00	9.3	461.7	144.6	97.5	66.9	35.4	7.0	-1.3	10.7	8.8	6.0	58.8	37.0	29.9
11:35:00	6.1	460.8	152.9	103.2	87.0	35.8	4.1	-4.1	7.7	5.3	3.0	56.5	36.4	29.7
11:40:00	6.9	461.2	161.9	112.5	99.2	35.4	6.0	-2.0	7.4	6.3	27.4	54.9	35.0	29.5
11:45:00	8.2	461.8	169.3	124.7	104.9	34.8	8.5	0.6	8.5	7.7	34.4	56.3	41.1	29.1
11:50:00	9.5	454.7	173.8	124.6	115.8	36.1	10.4	20.1	9.6	9.3	34.2	59.2	44.7	29.5
11:55:00	11.2	452.0	146.0	116.1	87.5	35.6	4.7	20.8	11.6	10.8	25.2	54.6	32.4	29.4
12:00:00	8.4	450.2	149.1	109.0	93.6	34.9	5.7	-2.6	9.1	7.5	5.8	56.4	34.3	29.5
12:05:00	9.6	453.5	156.2	113.4	96.2	34.4	8.2	2.0	9.9	9.1	29.4	56.3	36.3	28.8
12:10:00	10.5	455.9	163.0	122.1	105.7	34.0	9.6	12.7	10.9	10.1	25.9	55.6	34.1	28.4
12:15:00	8.2	455.6	169.0	129.4	116.9	34.6	6.8	-1.4	9.1	7.4	8.7	55.8	32.9	28.9
12:20:00	6.3	451.2	156.1	116.1	94.6	36.8	10.2	1.8	6.6	5.6	9.5	66.4	35.6	30.3
12:25:00	7.6	449.5	149.6	110.9	87.3	36.8	9.1	3.0	7.8	7.1	15.2	70.6	37.0	30.3
12:30:00	8.5	447.9	151.9	110.7	92.0	36.0	10.6	5.8	8.7	8.2	22.6	70.9	39.6	29.9
12:35:00	6.5	449.0	145.2	104.4	82.3	35.9	5.8	-2.2	7.6	5.9	7.6	71.5	36.8	30.4
12:40:00	4.8	452.6	149.6	109.4	87.3	36.5	5.4	-1.5	4.5	3.1	5.4	68.2	37.5	30.6
12:45:00	7.1	456.2	148.4	105.9	86.0	35.7	7.6	0.4	7.2	4.1	33.8	67.8	39.4	28.5
12:50:00	5.2	456.6	140.1	95.2	68.3	35.4	9.4	15.6	5.7	4.5	25.6	66.0	38.9	28.1
12:55:00	6.4	451.5	137.8	98.1	68.2	33.7	10.9	15.5	7.0	5.9	30.3	58.9	36.5	28.1
13:00:00	7.9	448.0	136.5	98.3	67.8	33.3	11.4	20.2	8.4	6.9	29.8	59.1	34.2	26.2
13:05:00	9.0	445.2	136.7	97.9	68.2	34.0	13.8	19.9	9.4	8.5	25.9	58.5	33.8	29.1
13:10:00	6.5	443.5	138.5	99.6	69.9	33.6	3.1	-5.8	7.6	5.7	6.6	59.3	36.2	27.8
13:15:00	3.9	442.2	143.2	101.1	74.2	34.9	3.3	-6.9	4.6	2.5	4.3	60.2	36.8	26.6
13:20:00	6.7	447.8	143.9	100.1	77.0	33.9	5.5	-1.0	6.8	3.8	19.4	59.1	35.1	27.8
13:25:00	2.3	450.2	147.5	108.2	84.7	34.1	1.7	-8.4	3.5	1.5	1.7	59.3	35.4	26.7
13:30:00	2.3	444.4	145.9	105.4	90.3	34.2	1.7	-5.7	2.9	1.2	9.3	61.4	35.1	27.5
13:35:00	2.9	442.6	141.9	107.3	80.8	33.9	2.2	-3.4	3.2	1.9	19.8	60.9	33.9	27.5
13:40:00	3.6	440.8	145.5	106.0	93.1	33.2	4.3	-1.1	3.9	2.9	26.6	62.9	34.4	26.9
13:45:00	2.6	441.7	141.9	106.3	78.8	33.6	-0.9	-9.8	3.3	2.0	-0.7	63.1	34.0	27.0
13:50:00	2.0	440.6	148.5	106.6	92.8	33.9	0.9	-8.8	2.6	1.2	0.1	64.6	34.3	26.6
13:55:00	2.3	451.8	150.0	104.9	86.2	33.6	-0.4	-8.3	2.7	1.5	14.5	64.9	33.9	26.8

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
14:00:00	3.0	455.1	158.7	110.0	93.3	33.3	1.7	-6.9	3.3	2.3	23.5	64.5	34.4	26.7
14:05:00	3.6	456.1	151.7	107.1	90.7	33.4	0.8	-3.3	3.9	3.0	27.4	63.6	33.9	26.7
14:10:00	4.4	453.2	157.9	114.2	96.2	32.4	3.7	0.2	4.7	3.9	29.8	64.3	34.3	26.7
14:15:00	5.3	452.4	151.0	108.4	94.1	32.5	3.6	0.2	5.5	4.7	30.5	63.1	33.4	26.0
14:20:00	6.2	452.5	157.9	117.0	97.4	31.9	5.3	0.3	6.5	5.6	32.5	63.5	33.7	25.7
14:25:00	7.0	453.7	152.8	111.9	94.9	31.7	5.5	0.5	7.4	6.2	32.3	62.5	32.6	26.5
14:30:00	4.9	451.1	160.7	117.5	103.2	31.4	-4.2	-15.1	5.6	3.9	-7.0	64.1	33.2	26.6
14:35:00	3.3	449.4	152.2	111.8	95.5	32.2	-2.5	-11.6	4.2	2.2	-4.7	66.9	34.0	26.6
14:40:00	2.9	452.3	162.0	120.3	103.3	32.4	-2.1	-12.0	3.6	1.9	-1.6	65.7	34.3	26.5
14:45:00	3.1	443.9	147.2	110.8	91.8	31.4	-1.6	-12.2	3.7	2.3	15.3	66.8	33.9	26.3
14:50:00	3.6	441.6	153.0	115.2	97.8	31.1	-0.9	-10.1	4.1	2.8	24.6	67.4	34.2	26.1
14:55:00	2.2	439.5	145.2	110.3	85.1	31.2	-3.3	-10.0	3.2	1.0	-5.3	68.3	33.5	26.0
15:00:00	1.7	436.5	147.8	109.5	94.9	32.4	-2.3	-11.1	2.4	0.8	-5.7	69.7	33.9	27.6
15:05:00	1.7	435.7	150.8	111.3	98.9	32.6	-2.1	-11.5	2.3	0.9	-5.5	68.9	34.2	26.5
15:10:00	1.8	438.3	156.2	116.1	97.1	32.6	-1.9	-11.0	2.4	1.0	0.5	68.7	33.1	26.7
15:15:00	2.0	437.9	145.6	110.7	84.6	32.8	-2.6	-13.0	2.5	1.2	2.8	67.8	33.0	26.9
15:20:00	2.2	439.0	147.1	107.6	90.5	32.7	-2.0	-12.7	2.7	1.5	5.7	68.9	32.6	27.0
15:25:00	2.5	441.7	151.0	110.0	96.2	32.7	-1.9	-12.7	2.9	1.8	4.6	68.4	33.4	26.7
15:30:00	2.7	439.7	154.6	114.2	96.9	32.1	-2.2	-9.9	3.1	1.8	-1.5	68.0	33.8	26.5
15:35:00	2.5	441.4	152.3	118.5	94.6	32.2	-2.5	-11.3	2.1	1.8	-4.7	67.0	33.0	26.4
15:40:00	1.9	436.3	145.5	108.1	91.6	33.7	-1.0	-9.1	14.0	1.0	-3.9	68.7	33.6	27.3
15:45:00	3.3	434.7	148.3	109.3	94.9	33.6	0.4	-7.5	15.0	1.2	-2.5	67.8	33.5	27.2
15:50:00	3.1	433.8	153.0	114.1	95.7	33.8	1.6	-5.7	4.8	2.1	-1.0	67.8	33.5	26.8
15:55:00	2.8	433.5	144.4	116.5	90.6	34.2	2.0	-5.5	4.2	1.7	-0.7	67.9	33.7	26.6
16:00:00	2.4	433.6	140.3	104.4	81.1	34.6	1.8	-3.7	4.1	2.2	0.4	70.4	34.9	26.7
16:05:00	2.5	433.0	143.5	105.9	82.0	34.2	3.7	-1.1	3.2	1.6	2.5	72.0	36.5	27.1
16:10:00	2.5	433.2	132.9	99.5	85.2	34.7	2.1	-4.7	3.1	1.5	0.1	75.7	37.7	27.1
16:15:00	2.6	432.7	130.8	94.0	85.0	34.5	2.7	-3.2	3.2	1.7	1.4	67.5	37.2	26.5
16:20:00	2.8	442.5	136.5	96.8	84.8	34.3	2.8	-3.7	3.2	1.7	1.2	64.5	36.7	26.3
16:25:00	2.63	441.18	137.39	96.35	89.76	34.26	3.11	-3.48	3.21	1.96	1.16	65.02	37.06	27.03
16:30:00	2.96	444.95	133.75	91.08	88.64	33.14	3.81	0.55	3.45	2.38	28.31	60.89	35.44	26.69
16:35:00	3.79	447.52	136.02	92.55	88.67	33.17	5.98	1.46	4.23	3.06	21.65	61.60	33.79	26.55
16:40:00	2.85	443.89	134.10	92.02	88.56	33.06	5.49	0.64	3.41	1.68	6.93	60.88	34.71	25.73
16:45:00	2.99	444.13	133.15	94.52	88.43	32.93	3.55	0.56	3.55	2.13	2.65	57.24	34.44	25.88
16:50:00	3.00	442.34	134.66	92.06	88.39	32.89	2.71	-2.36	3.38	1.90	2.02	57.26	34.15	26.70
16:55:00	3.03	439.21	136.09	93.19	88.09	32.59	2.65	-3.18	3.52	2.23	8.67	57.13	33.47	26.08
17:00:00	3.26	438.98	136.04	93.26	88.08	32.58	2.81	-2.86	3.56	2.32	9.41	57.11	33.35	25.72
17:05:00	3.39	438.29	136.62	94.16	87.95	32.45	3.12	-3.20	3.61	2.73	9.98	56.95	33.27	25.81
17:10:00	3.35	437.46	134.98	95.48	88.05	32.55	2.88	-4.00	3.69	2.80	9.00	56.40	33.29	26.32
17:15:00	3.38	437.65	133.21	95.77	88.16	32.66	2.00	-4.66	3.74	2.59	8.01	55.74	33.10	26.66

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
17:20:00	3.51	436.49	131.96	95.00	88.25	32.75	0.80	-5.32	3.79	2.08	7.58	55.10	33.01	26.40
17:25:00	3.34	437.04	132.29	95.25	88.23	32.73	0.88	-5.75	3.85	2.62	8.31	54.71	32.94	26.38
17:30:00	3.59	435.95	132.45	93.69	88.27	32.77	1.32	-5.82	3.87	2.93	9.22	54.62	32.91	26.44
17:35:00	3.74	436.34	131.77	93.19	88.26	32.76	0.61	-5.70	3.95	4.60	9.30	54.42	32.77	26.09
17:40:00	3.56	436.00	131.85	93.68	88.10	32.60	0.16	-6.74	4.03	2.92	9.33	54.25	32.66	26.05
17:45:00	3.72	436.17	132.87	94.64	87.88	32.38	-0.29	-6.98	4.09	2.70	8.92	54.00	32.59	26.19
17:50:00	3.82	435.35	131.88	94.34	87.82	32.32	0.49	-6.96	4.14	3.12	8.74	53.91	32.53	26.37



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright© by Chiang Mai University  
 All rights reserved



ตารางที่ ง.2) ตารางบันทึกผลอุณหภูมิของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (28/10/2549)

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
10:00:00	22.1	483.6	142.6	83.1	57.6	35.0	9.3	0.8	23.5	21.5	21.6	48.7	35.7	28.3
10:05:00	22.2	483.5	148.1	90.0	67.7	36.1	8.9	2.3	23.0	21.9	34.4	55.7	35.7	27.2
10:10:00	20.2	483.3	159.8	100.1	84.8	36.3	8.5	0.0	21.5	19.6	29.3	53.8	34.6	25.7
10:15:00	18.7	482.7	169.2	117.0	94.0	36.2	9.7	0.3	19.7	17.8	27.1	49.4	40.2	25.8
10:20:00	20.2	484.2	187.0	132.5	104.2	37.1	12.1	2.3	19.8	17.9	34.3	52.0	41.7	26.2
10:25:00	18.7	481.8	217.3	140.3	129.5	37.9	14.6	8.7	19.5	17.6	39.1	53.5	44.7	26.1
10:30:00	17.4	477.0	172.8	133.0	105.3	40.1	10.7	2.5	18.7	16.5	17.3	52.9	34.9	26.2
10:35:00	16.4	477.3	162.3	118.7	94.9	39.8	12.5	4.6	17.3	15.6	17.7	55.7	35.1	27.0
10:40:00	16.0	474.4	163.4	115.4	89.3	39.0	14.2	7.8	16.9	15.5	17.9	71.9	39.3	25.6
10:45:00	13.3	475.4	155.1	104.4	75.4	40.7	12.7	5.1	14.3	12.4	14.2	73.3	43.1	25.7
10:50:00	12.9	480.8	151.3	99.2	70.3	41.3	14.7	7.3	13.4	11.5	22.4	65.8	44.1	25.3
10:55:00	11.8	482.1	156.5	98.9	77.4	41.5	15.6	7.8	12.2	11.0	29.5	63.5	45.7	27.6
11:00:00	11.4	483.0	159.1	98.9	74.6	43.2	14.9	6.7	12.2	10.7	38.4	66.5	45.8	27.8
11:05:00	11.4	481.4	157.8	98.6	69.6	42.7	15.4	7.8	12.3	10.6	41.0	67.1	45.5	27.7
11:10:00	11.6	480.3	155.8	96.0	71.5	41.2	15.5	8.2	11.6	10.4	31.8	66.3	43.4	26.7
11:15:00	11.5	482.0	152.9	94.6	68.7	41.6	14.7	6.1	11.8	10.3	28.6	66.7	43.8	26.3
11:20:00	10.5	480.9	155.1	99.4	72.5	41.5	14.3	6.5	11.3	9.9	30.6	65.1	42.9	27.9
11:25:00	9.9	483.0	152.7	97.4	73.1	41.1	12.8	4.8	10.3	9.1	16.1	66.1	42.2	28.2
11:30:00	11.2	480.5	151.8	96.6	70.1	40.1	14.0	5.5	11.2	9.3	32.0	67.1	41.0	28.4
11:35:00	12.7	480.5	154.9	96.5	69.0	39.1	15.7	5.1	13.7	10.1	44.4	63.5	38.4	27.8
11:40:00	9.4	481.4	163.1	99.8	80.8	39.4	10.3	1.4	10.3	8.5	21.2	60.6	37.9	26.4
11:45:00	8.1	480.3	165.4	105.9	85.9	38.9	8.0	-1.4	8.8	7.2	9.2	58.2	37.2	26.4
11:50:00	7.6	476.0	170.6	116.2	87.8	40.2	9.0	0.4	8.6	6.5	12.0	58.8	36.5	25.0
11:55:00	7.9	475.7	172.5	117.9	97.5	38.9	9.3	0.6	7.2	5.8	10.1	59.1	36.5	26.9
12:00:00	6.6	478.8	167.6	116.7	90.1	41.1	11.0	2.3	6.9	5.9	12.0	71.6	38.4	26.2
12:05:00	6.0	478.2	155.3	101.7	71.6	40.5	8.7	-0.3	6.5	5.2	9.0	70.1	40.5	25.8
12:10:00	5.7	478.1	155.3	101.4	73.9	40.1	9.2	0.3	5.9	4.9	9.6	64.4	39.2	25.2
12:15:00	7.0	478.3	157.5	101.6	82.3	39.0	9.9	1.4	7.2	6.4	15.1	64.8	37.1	26.6
12:20:00	6.6	481.4	160.7	103.1	78.9	38.7	8.9	0.3	7.0	5.9	9.1	63.7	37.5	26.8
12:25:00	6.3	483.3	154.6	95.5	66.2	38.5	6.8	-2.7	6.7	5.5	6.6	65.1	38.4	25.9
12:30:00	6.7	479.0	153.4	97.7	69.1	38.4	9.2	0.5	6.9	6.0	13.1	62.5	38.1	27.3
12:35:00	8.1	478.2	152.1	95.5	65.7	38.3	8.6	-0.6	8.2	7.4	18.0	63.7	37.8	25.1
12:40:00	7.7	476.8	151.1	94.6	63.0	38.3	8.0	-0.9	8.2	7.0	6.8	62.5	37.7	26.1
12:45:00	7.6	478.4	151.2	97.5	66.0	39.9	8.1	-0.9	7.7	6.8	7.9	62.9	38.1	26.0
12:50:00	8.0	475.2	152.9	98.4	67.2	39.5	5.8	-0.2	8.4	7.0	7.5	60.6	37.2	24.9
12:55:00	7.2	470.3	150.1	98.0	68.3	38.6	5.1	-6.5	7.5	6.4	3.4	61.3	36.9	25.5
13:00:00	7.7	470.1	149.2	99.3	70.2	36.9	3.4	-8.2	7.8	6.9	12.0	61.1	36.3	24.8
13:05:00	7.5	476.8	157.9	104.5	76.7	36.9	3.5	-7.3	7.9	6.7	0.2	62.0	36.9	25.4

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
13:10:00	7.1	474.1	150.3	96.8	63.5	37.1	2.0	-9.6	8.3	6.1	1.5	63.2	37.6	24.5
13:15:00	3.9	468.0	156.4	100.7	82.9	37.9	1.0	-10.1	4.4	3.0	-4.1	59.1	36.5	25.3
13:20:00	3.9	465.4	163.3	110.2	96.1	37.4	2.6	-8.6	4.1	3.0	6.2	58.4	34.2	25.2
13:25:00	4.5	465.4	172.6	125.0	101.3	38.3	3.7	-7.5	4.8	3.6	14.6	56.7	33.2	25.0
13:30:00	6.0	460.9	175.1	134.7	112.4	37.7	4.6	-6.6	6.1	4.4	11.5	55.3	33.5	26.1
13:35:00	8.2	459.4	172.6	134.0	120.3	36.0	6.9	-4.0	8.8	5.3	22.7	58.4	33.4	26.7
13:40:00	9.3	458.4	156.9	114.4	85.4	33.3	6.2	0.6	10.7	6.2	30.9	61.1	35.2	25.5
13:45:00	5.3	457.4	148.0	105.3	70.5	34.8	-1.1	-12.6	6.2	3.9	-3.4	68.9	38.0	25.9
13:50:00	3.6	460.2	148.7	103.9	69.9	37.0	2.4	-7.3	4.1	2.5	-2.4	64.3	38.0	27.5
13:55:00	3.9	459.3	149.0	100.8	76.1	35.9	0.9	-8.7	4.4	2.7	-2.0	58.4	35.9	27.0
14:00:00	3.6	458.1	159.4	110.4	93.6	35.9	1.4	-7.6	4.0	2.1	-3.1	59.9	35.2	27.6
14:05:00	3.7	457.8	154.3	108.9	91.7	35.9	-0.4	-10.2	4.0	2.4	-5.0	58.3	34.2	27.7
14:10:00	4.2	457.9	162.6	118.3	98.1	35.4	0.7	-8.7	4.4	2.8	6.9	57.8	33.3	27.6
14:15:00	4.3	457.0	154.5	110.7	88.0	34.1	-1.9	-10.6	4.8	3.1	-2.9	56.9	33.0	27.3
14:20:00	4.3	456.3	155.6	113.8	91.7	34.5	-0.1	-9.2	4.6	2.9	1.9	68.7	35.9	27.9
14:25:00	4.4	455.6	143.6	103.5	70.4	35.1	-2.5	-11.6	4.8	3.1	-4.1	65.9	39.0	28.0
14:30:00	4.5	455.5	143.1	100.6	64.1	35.0	1.3	-6.8	4.7	3.2	11.1	57.5	36.6	27.8
14:35:00	4.6	454.8	145.0	102.3	65.5	34.6	2.0	-5.0	5.1	3.6	4.4	59.3	36.6	27.3
14:40:00	3.4	459.6	145.4	99.6	61.8	34.7	-0.1	-10.2	4.4	2.5	-4.1	59.5	37.5	28.4
14:45:00	2.1	460.6	149.1	100.0	72.8	35.5	-2.3	-10.0	2.8	1.8	-6.0	56.0	37.1	27.3
14:50:00	1.8	462.4	153.9	102.5	85.2	36.1	-1.6	-10.0	2.3	0.8	-5.7	55.1	36.1	27.5
14:55:00	1.8	462.8	158.1	106.8	95.0	35.9	-1.0	-8.6	2.1	0.8	-4.6	55.0	35.0	28.0
15:00:00	3.0	458.9	163.4	111.0	97.6	35.9	0.5	-6.6	2.5	1.1	-1.2	54.8	40.7	27.4
15:05:00	3.7	456.3	169.6	114.8	97.5	38.4	0.2	-5.8	3.6	1.1	2.5	53.4	40.6	27.5
15:10:00	3.2	457.4	172.0	124.9	106.6	40.7	-0.2	-5.3	4.2	1.7	6.3	52.4	39.7	27.8
15:15:00	2.6	456.2	159.1	123.9	99.4	37.0	0.2	-7.8	2.9	1.3	4.4	57.8	34.8	28.0
15:20:00	2.1	456.7	153.3	114.2	84.8	36.0	0.7	-7.3	2.6	1.2	-2.5	61.2	35.9	29.2
15:25:00	2.0	455.2	149.6	110.1	80.3	36.4	0.6	-7.2	2.5	0.9	-3.2	67.0	37.9	28.9
15:30:00	2.0	456.0	147.0	106.3	76.0	36.3	0.5	-7.6	2.5	0.9	-3.6	66.9	37.3	28.5
15:35:00	2.1	454.3	145.6	104.8	73.9	36.4	0.5	-6.9	2.4	0.9	-2.0	65.7	36.9	27.9
15:40:00	2.2	455.2	144.2	103.9	74.7	36.1	0.8	-7.6	2.5	1.0	1.3	64.4	36.7	29.5
15:45:00	2.3	455.0	143.2	101.0	70.8	36.1	2.5	-3.3	2.7	1.0	14.2	63.9	36.3	29.4
15:50:00	1.8	455.6	142.5	99.9	69.6	36.3	1.6	-5.7	2.6	0.6	-0.3	62.5	36.9	28.5
15:55:00	2.0	454.5	141.7	98.6	68.5	36.1	2.8	-4.0	2.3	0.8	3.0	62.7	37.1	29.5
16:00:00	2.0	454.5	142.6	98.8	69.3	35.7	3.6	-3.3	2.3	0.8	2.4	62.8	37.3	29.6
16:05:00	1.9	453.8	140.9	96.2	66.8	36.2	3.8	0.3	2.1	1.0	21.9	62.2	36.9	28.3
16:10:00	1.0	453.3	140.0	95.5	67.2	35.9	4.5	-0.6	1.8	0.4	11.2	62.0	36.6	29.8
16:15:00	1.6	452.7	139.3	94.2	68.9	35.9	5.5	0.1	1.7	0.9	4.7	62.7	38.9	29.6
16:20:00	1.9	454.4	138.0	93.0	70.1	35.6	6.1	0.6	1.9	1.1	9.6	63.4	39.4	29.5
16:25:00	1.8	454.0	136.5	92.2	67.7	35.4	6.0	0.6	2.0	1.0	24.7	63.4	38.5	28.3

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
16:30:00	1.7	455.2	135.3	90.3	66.7	35.4	6.5	0.6	2.0	0.8	11.7	63.3	38.2	26.9
16:35:00	3.2	455.5	135.7	89.6	63.0	36.1	6.5	0.7	3.2	1.0	31.8	62.0	39.3	28.6
16:40:00	4.5	455.4	137.4	90.3	62.4	36.6	4.9	0.6	4.6	3.0	27.6	60.2	37.1	27.6
16:45:00	5.0	454.7	140.6	91.7	68.8	37.5	5.9	20.5	5.6	3.6	35.7	60.3	37.9	29.9
16:50:00	5.5	454.8	144.6	95.4	79.0	36.1	7.6	30.4	6.3	3.8	35.2	57.9	35.5	28.7
16:55:00	6.5	453.7	148.5	98.1	84.8	35.3	8.9	31.0	7.0	4.1	34.9	55.6	34.4	28.3
17:00:00	6.4	453.1	152.1	103.1	90.1	35.1	10.6	31.1	8.0	4.4	34.7	54.4	33.4	27.9
17:05:00	5.0	453.8	156.0	106.6	91.4	34.7	5.1	2.0	6.0	4.1	23.6	53.4	32.9	28.2
17:10:00	5.5	453.0	160.1	113.4	94.7	34.5	5.0	0.6	6.5	4.2	10.7	54.5	33.2	28.4
17:15:00	5.5	453.9	152.6	116.9	94.6	35.1	4.8	1.3	6.5	4.2	6.2	57.0	34.4	28.8
17:20:00	5.2	454.9	141.9	105.5	77.2	36.1	6.0	0.5	5.8	3.9	3.6	67.8	36.2	27.3
17:25:00	4.8	454.4	136.9	95.5	68.2	36.1	5.6	-0.4	5.1	2.8	5.4	65.7	38.0	27.5
17:30:00	4.9	454.8	133.6	92.5	67.2	35.4	6.3	0.5	5.2	2.9	9.4	62.5	38.2	26.1
17:35:00	5.6	455.0	132.0	88.4	60.7	35.6	7.5	3.0	5.6	3.6	24.3	62.6	37.7	28.0
17:40:00	6.3	455.4	133.5	88.1	58.7	35.8	6.2	1.1	6.4	3.8	35.2	60.7	37.5	28.1
17:45:00	6.2	456.0	138.2	90.2	59.7	35.8	7.6	11.0	6.9	3.9	36.5	58.4	36.0	28.5
17:50:00	6.8	454.9	146.4	90.3	62.2	39.6	8.3	15.7	7.8	4.1	35.4	56.7	35.5	27.8
17:55:00	4.4	461.8	146.3	93.9	70.9	37.9	3.9	0.7	5.5	2.7	15.9	55.2	35.9	29.0
18:00:00	3.7	461.6	148.2	94.2	73.4	37.1	3.7	0.7	4.7	1.8	5.1	54.4	36.0	28.8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright© by Chiang Mai University  
 All rights reserved

ตารางที่ ง.3) ตารางบันทึกผลอุณหภูมิของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (29/10/2549)

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
9:50:10	19.8	128.7	56.1	31.9	28.5	24.7	23.1	22.4	20.7	18.4	29.2	26.3	26.0	24.8
9:55:10	20.7	245.2	82.8	32.7	29.0	26.9	22.7	22.1	21.6	19.3	30.9	26.8	25.8	24.5
10:00:10	21.4	331.6	121.2	38.0	30.2	27.9	21.5	21.9	22.2	19.9	31.5	27.9	25.8	23.8
10:05:10	22.3	382.8	136.1	59.9	38.2	29.3	19.4	23.3	23.2	20.5	31.3	30.2	26.2	24.9
10:10:10	21.9	411.1	153.3	84.5	63.1	30.2	4.7	16.3	23.4	20.0	30.9	31.9	27.4	26.3
10:15:10	17.6	422.2	147.7	88.6	67.0	32.6	3.1	-1.9	19.3	15.7	24.6	42.9	32.0	26.5
10:20:10	15.9	425.4	152.9	90.4	67.5	34.5	4.0	-5.2	16.5	13.9	26.7	53.3	34.5	26.1
10:25:10	14.6	424.5	153.1	93.8	70.8	35.3	4.8	-4.1	15.9	12.5	31.1	57.0	35.1	25.3
10:30:10	11.3	423.4	152.4	94.4	68.9	36.2	5.5	-3.6	12.4	9.1	27.4	59.7	36.7	25.5
10:35:10	9.8	425.7	154.0	97.8	71.9	37.4	6.3	-3.0	11.0	8.0	29.5	62.0	37.3	25.7
10:40:10	9.1	426.5	156.7	96.6	73.2	37.8	7.4	-1.3	9.8	6.9	32.1	60.9	37.7	27.3
10:45:10	7.7	427.8	157.3	100.3	78.8	38.2	9.0	-0.2	8.3	5.8	32.5	62.5	38.5	28.6
10:50:10	7.0	426.7	156.5	104.0	82.3	39.2	8.9	-0.1	7.7	5.0	29.5	65.9	39.0	28.8
10:55:10	5.6	424.0	155.6	98.6	75.0	39.0	8.7	-0.2	6.1	3.5	30.3	63.9	39.1	27.9
11:00:10	5.6	428.0	157.8	104.5	81.0	38.9	9.9	-0.1	6.1	3.8	28.4	64.2	39.2	25.3
11:05:10	5.2	426.1	154.8	97.4	74.4	38.9	9.1	-0.1	5.8	3.4	26.5	66.5	39.5	26.6
11:10:10	5.3	424.6	154.7	102.5	81.6	38.9	9.4	0.7	5.8	3.4	25.9	64.6	40.0	30.5
11:15:10	4.6	423.2	155.6	96.8	73.3	38.7	9.2	0.3	4.9	2.7	27.2	65.2	40.0	26.7
11:20:10	4.1	424.0	155.3	98.5	77.0	39.0	9.7	0.7	4.3	2.5	28.3	64.4	40.1	29.8
11:25:10	3.7	422.8	154.2	98.9	76.7	38.6	9.1	0.2	4.2	2.3	27.9	63.5	40.1	29.8
11:30:10	3.6	423.2	154.9	97.6	74.7	38.8	9.0	-0.3	3.9	2.3	27.9	64.3	39.8	28.0
11:35:10	3.2	423.4	156.6	97.9	75.4	38.8	9.0	-0.5	3.6	1.9	28.2	64.0	39.6	27.2
11:40:10	3.8	420.6	160.8	103.9	86.3	38.5	10.4	1.7	3.9	2.3	29.3	63.5	39.6	29.7
11:45:10	3.8	418.2	153.2	101.7	78.9	39.3	9.5	0.1	4.1	2.1	27.4	64.0	39.8	26.0
11:50:10	3.9	416.7	151.8	99.6	77.3	39.0	10.4	1.1	4.1	2.3	27.7	65.9	39.5	29.9
11:55:10	3.7	415.6	151.3	97.1	76.5	38.0	9.9	0.2	4.0	2.3	26.8	65.2	39.8	29.4
12:00:10	3.3	414.8	154.2	96.2	76.6	38.2	9.1	-0.4	3.7	2.0	26.5	63.7	38.8	27.1
12:05:10	3.4	414.4	157.0	100.0	84.7	38.3	9.1	-0.2	3.7	2.0	27.0	63.0	38.1	27.1
12:10:10	3.6	413.5	158.7	101.3	86.2	37.8	9.5	0.5	3.7	2.1	27.1	62.2	37.5	25.6
12:15:10	3.9	412.7	161.3	104.8	86.5	37.0	9.9	1.2	4.0	2.4	26.5	61.4	36.9	27.4
12:20:10	4.2	412.3	163.4	106.5	86.1	36.4	10.2	1.9	4.3	2.8	25.2	60.8	36.3	25.0
12:25:10	4.8	416.3	166.8	109.1	88.7	36.4	10.8	2.6	4.8	3.2	22.9	61.0	36.3	25.8
12:30:10	5.3	416.9	170.3	113.9	94.1	36.6	11.5	3.5	5.3	3.7	20.1	60.8	36.3	26.0
12:35:10	5.8	416.8	173.1	118.4	98.9	36.6	12.2	4.3	5.8	4.3	17.4	60.5	35.9	26.5
12:40:10	6.3	417.2	175.6	122.6	105.2	36.5	12.7	5.0	6.2	4.7	15.9	60.0	35.7	27.0
12:45:10	6.8	418.2	177.5	128.6	116.1	36.6	13.1	5.5	6.7	5.2	15.4	59.8	35.7	28.1
12:50:10	7.3	418.6	178.0	128.3	118.0	36.6	15.1	7.8	7.1	5.9	16.5	61.0	36.7	25.8
12:55:10	8.0	419.9	178.8	133.2	123.7	37.3	17.0	10.2	7.8	6.6	17.1	62.8	36.2	26.3

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
13:00:10	8.5	420.5	182.2	137.8	133.5	39.7	17.7	11.2	8.4	7.1	22.8	64.9	36.7	28.9
13:05:10	8.8	421.2	184.8	141.8	135.5	46.8	18.1	10.6	8.8	7.4	20.9	61.4	36.8	28.1
13:10:10	8.5	420.9	184.8	130.8	112.8	64.5	15.7	7.9	9.0	7.3	17.9	59.8	36.4	26.0
13:15:10	8.6	420.8	171.2	122.1	94.4	50.3	14.1	5.1	8.9	7.1	13.4	62.5	37.3	26.2
13:20:10	9.0	422.4	160.9	114.3	85.6	43.0	17.2	8.3	9.0	7.6	16.9	62.4	36.9	26.6
13:25:10	11.1	417.7	158.5	109.9	81.2	41.2	19.2	14.0	9.5	8.1	22.0	61.5	36.7	25.9
13:30:10	10.0	416.9	159.7	108.3	88.2	39.8	17.1	11.9	10.1	8.7	20.9	65.2	36.4	26.6
13:35:10	10.5	416.9	162.8	109.7	90.7	39.2	15.7	9.6	10.7	9.2	19.0	68.0	37.5	26.8
13:40:10	10.5	415.8	157.9	105.9	84.1	39.5	13.0	6.3	10.8	8.8	17.0	68.5	38.1	28.7
13:45:10	9.6	414.7	158.5	106.2	85.8	38.7	11.8	4.5	10.1	8.3	16.3	68.2	39.1	28.1
13:50:10	9.2	414.7	157.3	102.8	80.7	39.4	11.2	3.3	10.0	7.8	16.2	67.3	39.2	27.1
13:55:10	8.6	414.7	158.9	104.2	82.1	39.3	11.3	3.3	9.2	7.0	18.9	66.5	39.6	25.4
14:00:10	8.1	414.6	160.3	106.2	86.6	38.9	11.7	3.8	8.6	6.7	23.0	66.2	39.3	27.1
14:05:10	7.3	414.1	156.3	101.2	81.2	39.8	11.0	2.3	8.1	5.8	24.3	65.3	39.7	27.4
14:10:10	7.0	418.2	157.6	99.6	78.7	39.5	11.0	2.3	7.6	5.5	26.7	66.6	39.9	27.2
14:15:10	6.8	420.3	158.6	97.8	73.8	39.3	10.8	2.1	7.2	5.2	28.6	66.5	40.3	24.4
14:20:10	5.0	421.3	160.0	104.4	84.0	39.3	11.3	2.9	7.2	5.1	30.7	66.1	39.7	27.6
14:25:10	6.5	421.0	157.4	100.7	77.6	40.3	10.2	0.9	7.0	4.9	30.8	66.7	39.9	27.6
14:30:10	6.2	422.5	157.7	96.7	71.4	40.2	9.9	0.8	6.7	4.7	31.3	67.3	39.9	25.2
14:35:10	5.9	423.7	157.6	98.8	74.8	40.1	9.5	0.4	6.4	4.4	31.7	65.4	40.6	26.9
14:40:10	5.4	424.6	157.8	99.5	77.1	40.2	9.2	-0.3	6.1	4.0	31.8	64.6	40.5	28.1
14:45:10	5.2	425.5	158.5	101.8	79.7	40.5	9.2	0.0	5.7	3.7	31.8	64.2	39.9	28.3
14:50:10	4.8	425.5	158.2	100.6	78.2	40.5	9.6	0.3	5.2	3.4	30.1	63.9	40.2	27.9
14:55:10	4.7	423.3	157.9	101.2	76.9	40.1	10.0	0.9	5.1	3.3	27.1	64.0	40.4	27.8
15:00:10	4.5	423.2	158.8	99.4	76.5	39.9	10.2	1.0	4.9	3.2	22.7	64.3	40.3	27.6
15:05:10	4.8	424.2	159.6	103.5	82.2	39.8	10.1	1.1	5.1	3.4	16.6	64.2	40.4	28.3
15:10:10	4.1	421.4	156.4	100.7	77.2	39.6	10.1	0.6	4.7	3.0	14.9	64.3	40.2	27.7
15:15:10	4.5	415.4	154.5	99.6	77.8	38.0	10.3	1.4	4.7	3.4	13.3	64.9	40.1	30.0
15:20:10	4.1	414.7	154.0	96.2	75.7	38.6	9.9	0.7	4.6	3.2	11.8	64.7	40.3	27.1
15:25:10	3.8	413.2	153.3	98.0	75.9	38.3	9.0	-0.1	4.3	2.9	11.8	64.1	39.9	28.9
15:30:10	3.7	413.5	153.8	95.8	76.8	38.6	10.0	0.7	4.1	2.8	14.5	64.0	40.1	27.3
15:35:10	3.1	413.5	151.0	97.3	76.8	37.5	9.7	0.5	3.8	2.3	16.8	63.4	40.8	29.6
15:40:10	3.2	412.4	150.4	96.4	76.0	38.7	10.6	1.7	3.6	2.5	18.1	65.1	41.5	27.1
15:45:10	3.4	413.8	151.9	96.6	73.7	39.4	10.9	2.2	3.7	2.5	18.8	65.9	41.6	26.8
15:50:10	4.0	413.6	151.0	94.9	71.4	41.0	11.1	2.9	4.2	2.9	18.8	66.6	45.1	28.1
15:55:10	5.2	418.0	153.5	93.8	70.3	42.4	12.2	4.5	5.0	3.8	19.1	67.1	48.2	28.0
16:00:10	5.7	419.7	154.1	91.6	68.3	43.3	13.3	5.9	5.5	4.5	21.9	67.4	48.9	27.3
16:05:10	6.7	418.2	155.3	95.7	71.9	45.0	13.5	6.3	6.6	5.3	26.8	67.1	49.2	29.5
16:10:10	6.3	420.4	154.6	97.6	75.7	44.9	13.2	4.1	6.6	4.9	26.4	68.5	46.1	30.0
16:15:10	6.7	421.4	157.2	99.2	80.9	43.8	14.6	6.1	6.7	5.4	26.0	68.2	45.2	26.5

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
16:20:10	6.8	421.8	153.5	97.9	75.4	43.5	13.8	4.9	7.1	5.4	20.7	68.4	44.6	25.6
16:25:10	6.5	422.4	153.0	96.5	78.5	42.9	13.7	4.7	6.7	5.2	23.2	69.9	44.1	29.3
16:30:10	7.2	422.1	154.8	95.9	74.7	42.0	14.7	6.7	7.2	6.0	24.7	70.1	43.8	25.2
16:35:10	7.0	422.3	150.0	94.6	74.1	42.1	13.1	4.2	7.3	5.5	23.8	70.6	43.9	27.6
16:40:10	7.2	421.9	152.1	94.6	76.6	41.9	14.0	5.4	7.3	5.8	27.2	69.3	43.8	28.3
16:45:10	7.0	423.4	150.7	96.4	76.3	41.9	12.3	3.6	7.4	5.7	27.3	68.5	42.7	27.9
16:50:10	6.6	419.3	151.8	94.3	75.3	41.9	11.1	1.3	7.0	5.5	28.1	67.7	41.5	28.2
16:55:10	6.6	417.3	155.3	95.3	76.6	40.8	12.6	3.5	6.8	5.5	33.7	67.4	41.4	26.6
17:00:10	7.2	414.5	151.4	96.1	68.7	40.3	12.4	3.8	7.4	5.8	33.2	65.7	41.5	24.6
17:05:10	7.2	415.2	149.6	94.7	69.3	40.4	11.8	3.0	7.5	5.8	33.0	65.9	41.6	26.2
17:10:10	7.0	414.9	149.7	92.7	66.3	40.4	11.0	1.8	7.3	5.6	32.9	65.7	41.5	26.2
17:15:10	6.9	415.4	149.3	93.9	67.8	40.4	10.9	1.6	7.2	5.5	33.3	62.8	41.3	28.3
17:20:10	6.6	415.3	151.8	93.0	71.1	40.4	9.9	0.2	6.9	5.1	32.7	61.2	39.9	27.5
17:25:10	6.3	416.5	155.2	94.8	78.0	40.2	9.4	-0.4	6.6	4.9	32.9	60.0	38.9	25.4
17:30:10	6.1	415.4	158.6	98.5	87.0	39.7	9.8	0.1	6.5	4.8	32.8	59.5	38.2	27.9
17:35:10	5.8	413.0	160.7	101.6	89.8	38.1	10.0	0.8	6.1	4.6	31.3	58.9	37.8	26.9
17:40:10	5.7	419.3	166.5	106.6	93.2	39.0	10.3	1.3	6.1	4.6	29.3	58.8	37.5	27.5
17:45:10	6.0	420.7	170.0	110.7	92.1	38.9	10.9	2.0	6.2	4.7	25.7	58.7	37.3	25.8
17:50:10	6.3	420.3	173.0	115.1	93.2	38.6	11.2	2.4	6.5	5.2	20.7	58.2	36.8	24.9

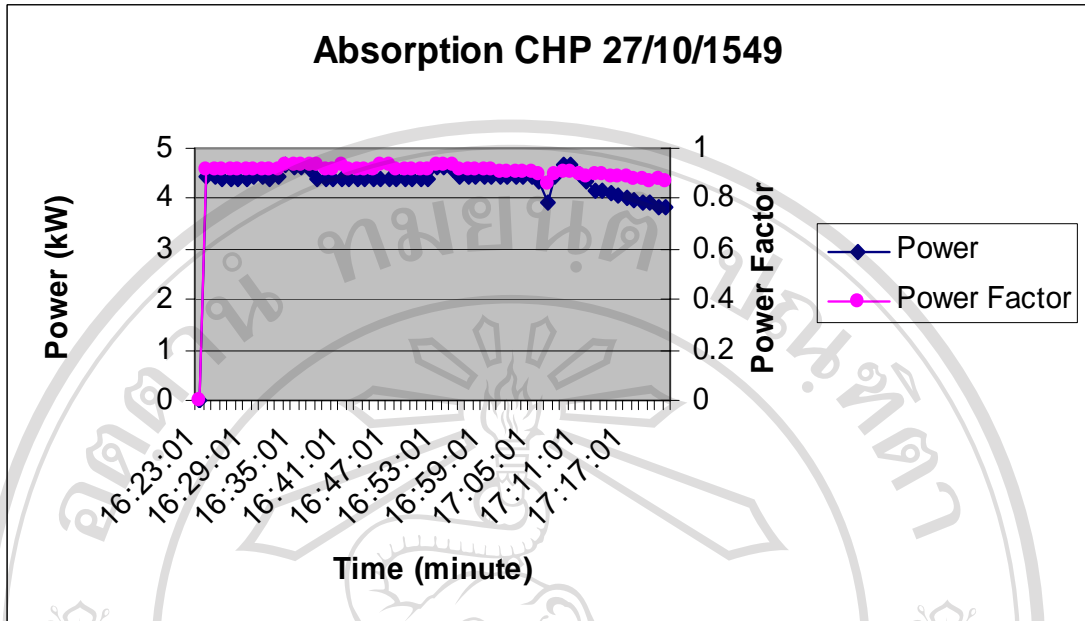
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright© by Chiang Mai University  
 All rights reserved



จ) ผลการทดสอบและเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

ตารางที่ จ.1) ตารางบันทึกผลทางไฟฟ้าของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (27/10/2549)

Time	Power (kW)	Power Factor	Ampere (A)	Voltage (V)	Hours (Minine)	Unit Power (kWhr)	Sum Unit Power (kWhr)	Frequency (Hz)
16:23:01	0.00	0.00	0.00	231	1	0.00	0.00	50
16:24:01	4.44	0.92	21.10	231	2	0.07	0.07	50
16:25:01	4.43	0.92	21.10	231	3	0.07	0.15	50
16:26:01	4.39	0.92	20.90	229	4	0.07	0.22	50
16:27:01	4.41	0.92	20.90	229	5	0.07	0.29	50
16:28:01	4.40	0.92	20.90	230	6	0.07	0.37	50
16:29:01	4.41	0.92	20.90	229	7	0.07	0.44	50
16:30:01	4.42	0.92	21.00	230	8	0.07	0.52	50
16:31:01	4.42	0.92	20.90	230	9	0.07	0.59	50
16:32:01	4.41	0.92	20.90	230	10	0.07	0.66	50
16:33:01	4.43	0.92	21.10	230	11	0.07	0.74	50
16:34:01	4.66	0.93	21.90	230	12	0.08	0.81	50
16:35:01	4.64	0.93	21.80	230	13	0.08	0.89	50
16:36:01	4.63	0.93	21.80	230	14	0.08	0.97	50
16:37:01	4.59	0.93	21.60	228	15	0.08	1.04	50
16:38:01	4.41	0.93	20.90	228	16	0.07	1.12	50
16:39:01	4.39	0.92	20.80	228	17	0.07	1.19	50
16:40:01	4.39	0.92	20.80	228	18	0.07	1.26	50
16:41:01	4.39	0.93	20.80	228	19	0.07	1.34	50
16:42:01	4.41	0.92	20.90	229	20	0.07	1.41	50
16:43:01	4.40	0.92	20.90	229	21	0.07	1.48	50
16:44:01	4.40	0.92	20.90	228	22	0.07	1.56	50
16:45:01	4.40	0.92	20.90	228	23	0.07	1.63	50
16:46:01	4.40	0.93	20.90	228	24	0.07	1.70	50
16:47:01	4.40	0.93	20.80	228	25	0.07	1.78	50
16:48:01	4.39	0.92	20.80	228	26	0.07	1.85	50
16:49:01	4.39	0.92	20.80	229	27	0.07	1.92	50
16:50:01	4.40	0.92	20.90	229	28	0.07	2.00	50
16:51:01	4.39	0.92	20.90	229	29	0.07	2.07	50
16:52:01	4.40	0.92	21.00	229	30	0.07	2.14	50
16:53:01	4.64	0.93	21.80	229	31	0.08	2.22	50
16:54:01	4.62	0.93	21.80	229	32	0.08	2.30	50
16:55:01	4.60	0.93	21.70	230	33	0.08	2.38	50
16:56:01	4.44	0.92	21.10	230	34	0.07	2.45	50
16:57:01	4.43	0.92	21.10	230	35	0.07	2.52	50
16:58:01	4.43	0.92	21.00	230	36	0.07	2.60	50
16:59:01	4.43	0.92	21.00	230	37	0.07	2.67	50

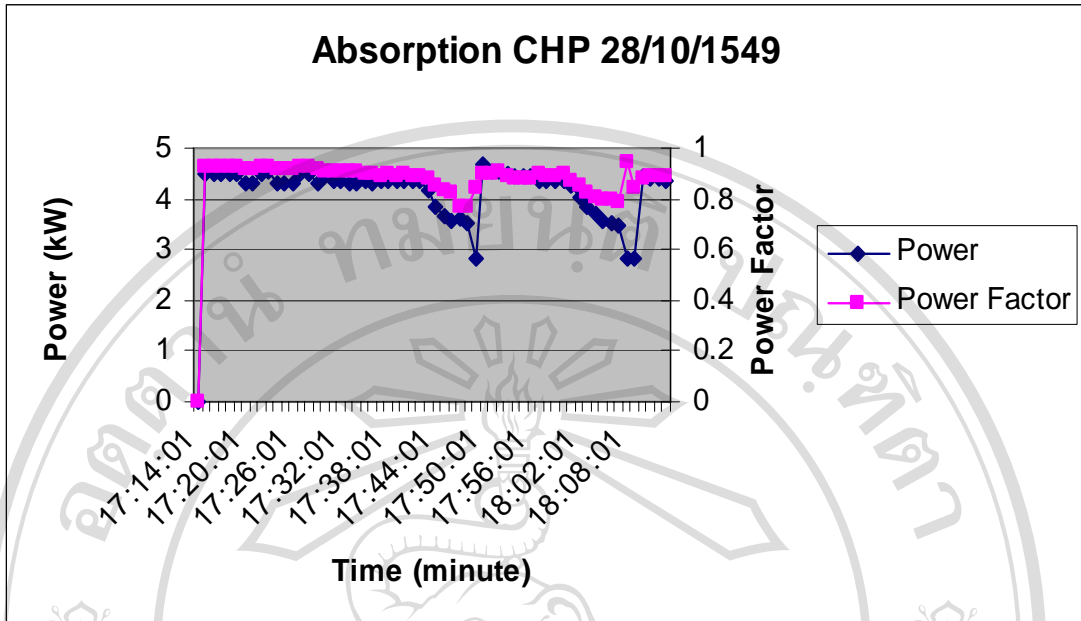


รูปที่ ๑.1) กราฟการใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าในห้องเย็นระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (27/10/2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

ตารางที่ ๑.2) ตารางบันทึกผลทางไฟฟ้าของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (28/10/2549)

Time	Power (kW)	Power Factor	Ampere (A)	Voltage (V)	Hours (Minine)	Unit Power (kWhr)	Sum Unit Power (kWhr)	Frequency (Hz)
17:14:01	0.00	0.00	0.00	230	1	0.00	0.00	50
17:15:01	4.51	0.93	21.40	228	2	0.08	0.08	50
17:16:01	4.51	0.93	21.30	228	3	0.08	0.15	50
17:17:01	4.50	0.93	21.30	228	4	0.08	0.23	50
17:18:01	4.50	0.93	21.30	228	5	0.08	0.30	50
17:19:01	4.48	0.93	21.30	228	6	0.07	0.38	50
17:20:01	4.29	0.92	20.60	228	7	0.07	0.45	50
17:21:01	4.32	0.92	20.60	228	8	0.07	0.52	50
17:22:01	4.51	0.93	21.30	228	9	0.08	0.59	50
17:23:01	4.52	0.93	21.40	228	10	0.08	0.67	50
17:24:01	4.31	0.92	20.60	228	11	0.07	0.74	50
17:25:01	4.30	0.92	20.60	228	12	0.07	0.81	50
17:26:01	4.30	0.92	20.50	228	13	0.07	0.88	50
17:27:01	4.49	0.93	21.30	228	14	0.07	0.96	50
17:28:01	4.48	0.93	21.20	228	15	0.07	1.03	50
17:29:01	4.30	0.92	20.50	228	16	0.07	1.11	50
17:30:01	4.43	0.91	20.70	230	17	0.07	1.18	50
17:31:01	4.33	0.91	20.80	230	18	0.07	1.25	50
17:32:01	4.34	0.91	20.80	230	19	0.07	1.32	50
17:33:01	4.32	0.91	20.70	229	20	0.07	1.40	50
17:34:01	4.30	0.91	20.60	229	21	0.07	1.47	50
17:35:01	4.33	0.90	20.90	232	22	0.07	1.54	50
17:36:01	4.32	0.90	20.70	231	23	0.07	1.61	50
17:37:01	4.34	0.89	20.90	233	24	0.07	1.68	50
17:38:01	4.33	0.90	21.00	232	25	0.07	1.76	50
17:39:01	4.35	0.89	21.00	232	26	0.07	1.83	50
17:40:01	4.34	0.90	20.90	232	27	0.07	1.90	50
17:41:01	4.35	0.89	21.00	233	28	0.07	1.97	50
17:42:01	4.37	0.89	21.00	233	29	0.07	2.05	50
17:43:01	4.17	0.88	20.30	233	30	0.07	2.12	50
17:44:01	3.83	0.85	19.40	233	31	0.06	2.18	50
17:45:01	3.67	0.83	18.90	232	32	0.06	2.24	50
17:46:01	3.56	0.82	18.60	232	33	0.06	2.30	50
17:47:01	3.63	0.77	19.80	237	34	0.06	2.36	50
17:48:01	3.54	0.77	19.60	233	35	0.06	2.42	50
17:49:01	2.82	0.84	14.20	235	36	0.05	2.47	50
17:50:01	4.66	0.90	22.10	233	37	0.08	2.54	50

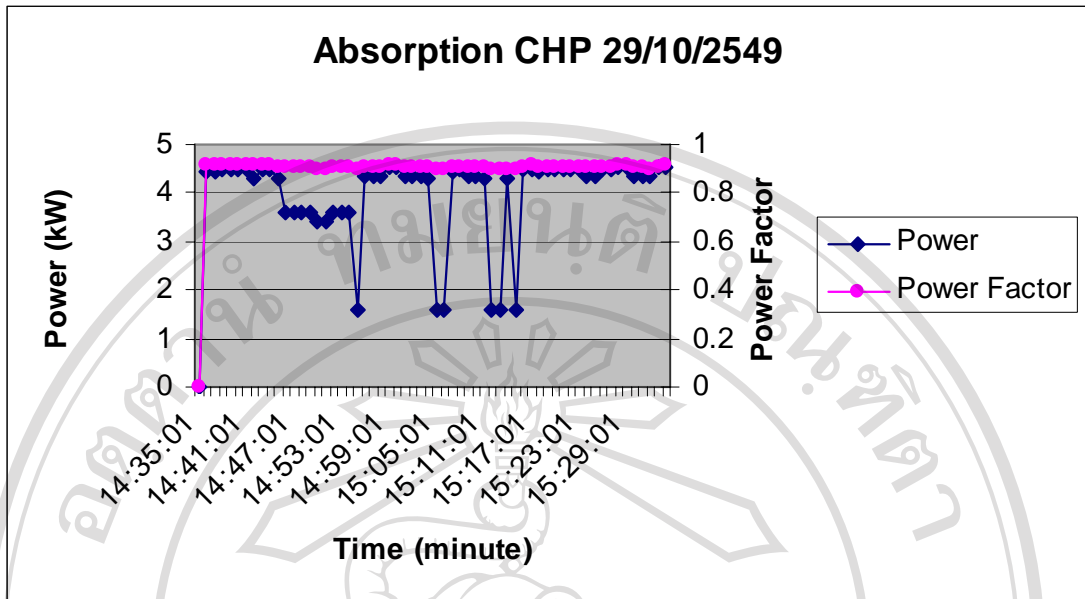


รูปที่ ๑.2) กราฟการใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าในห้องเย็นระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (28/10/2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

ตารางที่ จ.3) ตารางบันทึกผลทางไฟฟ้าระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (29/10/2549)

Time	Power (kW)	Power Factor	Ampere (A)	Voltage (V)	Hours (Minine)	Unit Power (kWhr)	Sum Unit Power (kWhr)	Frequency (Hz)
14:35:01	0.00	0.00	0.00	234	1	0.00	0.00	50
14:36:01	4.45	0.92	21.30	229	2	0.07	0.07	50
14:37:01	4.46	0.92	21.30	229	3	0.07	0.15	50
14:38:01	4.47	0.92	21.30	229	4	0.07	0.22	50
14:39:01	4.49	0.92	21.30	229	5	0.07	0.30	50
14:40:01	4.48	0.92	21.30	229	6	0.07	0.37	50
14:41:01	4.48	0.92	21.30	229	7	0.07	0.45	50
14:42:01	4.32	0.92	21.30	229	8	0.07	0.52	50
14:43:01	4.49	0.92	21.30	229	9	0.07	0.59	50
14:44:01	4.50	0.92	21.40	229	10	0.08	0.67	50
14:45:01	4.31	0.91	20.70	229	11	0.07	0.74	50
14:46:01	3.62	0.91	17.30	232	12	0.06	0.80	50
14:47:01	3.60	0.91	17.20	230	13	0.06	0.86	50
14:48:01	3.60	0.91	17.20	230	14	0.06	0.92	50
14:49:01	3.60	0.91	17.20	230	15	0.06	0.98	50
14:50:01	3.42	0.90	16.50	230	16	0.06	1.04	50
14:51:01	3.41	0.90	16.50	230	17	0.06	1.10	50
14:52:01	3.59	0.91	17.20	230	18	0.06	1.15	50
14:53:01	3.62	0.91	17.30	231	19	0.06	1.22	50
14:54:01	3.61	0.91	17.20	230	20	0.06	1.28	50
14:55:01	1.61	0.90	7.65	232	21	0.03	1.30	50
14:56:01	4.33	0.91	20.80	230	22	0.07	1.37	50
14:57:01	4.33	0.91	20.80	229	23	0.07	1.45	50
14:58:01	4.33	0.91	20.70	230	24	0.07	1.52	50
14:59:01	4.51	0.92	21.40	230	25	0.08	1.59	50
15:00:01	4.51	0.92	21.40	230	26	0.08	1.67	50
15:01:01	4.33	0.91	20.70	230	27	0.07	1.74	50
15:02:01	4.33	0.91	20.70	230	28	0.07	1.81	50
15:03:01	4.33	0.91	20.80	230	29	0.07	1.89	50
15:04:01	4.32	0.91	20.80	230	30	0.07	1.96	50
15:05:01	1.60	0.90	7.65	233	31	0.03	1.98	50
15:06:01	1.59	0.90	7.63	233	32	0.03	2.01	50
15:07:01	4.46	0.91	21.40	230	33	0.07	2.09	50
15:08:01	4.50	0.91	21.50	230	34	0.08	2.16	50
15:09:01	4.35	0.91	20.90	230	35	0.07	2.23	50
15:10:01	4.34	0.91	20.80	231	36	0.07	2.30	50
15:11:01	4.32	0.91	20.70	230	37	0.07	2.38	50



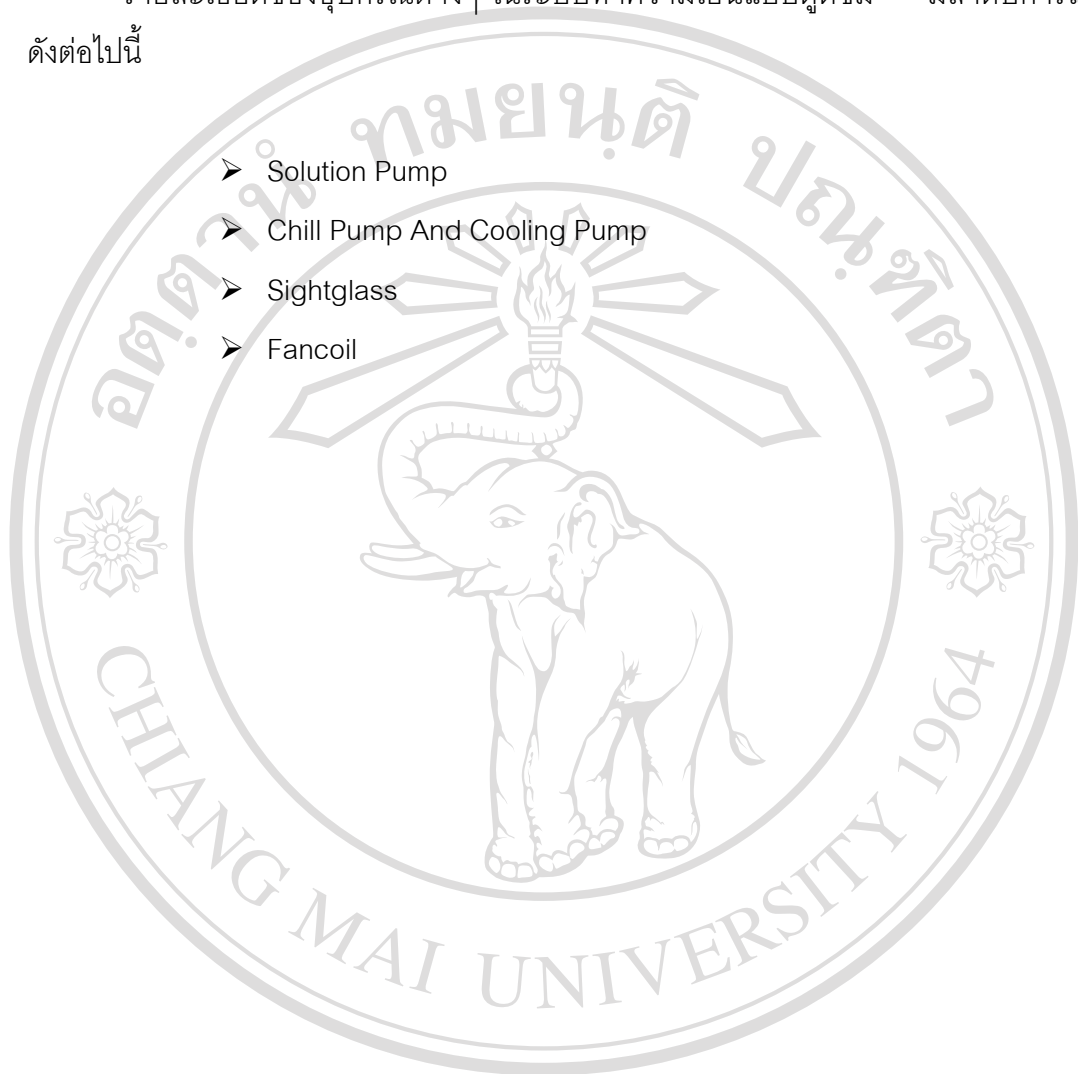
รูปที่ ๑.3) กราฟการใช้กำลังไฟฟ้าในห้องเย็นระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (29/10/2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright© by Chiang Mai University  
 All rights reserved

ฉ) รายละเอียดอุปกรณ์ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

รายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม มีลำดับการแสดงดังต่อไปนี้

- Solution Pump
- Chill Pump And Cooling Pump
- Sightglass
- Fancoil



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright© by Chiang Mai University  
 All rights reserved



จ. 1) Solution Pump

**LOWARA**

**V SERIES**

**VERTICAL MULTISTAGE CENTRIFUGAL PUMPS**

Highly reliable and technologically advanced purpose pumps capable of satisfying the needs of a wide variety of users. Many different structural designs are available, with models ranging from 2-4-8-16-30-60 m<sup>3</sup>/h nominal capacities.

**HIGH HYDRAULIC EFFICIENCY**  
LIQUID END MANUFACTURED IN AISI 304 STAINLESS STEEL FOR THE 2-4-8-16 m<sup>3</sup>/h STANDARD VERSION  
40 m<sup>3</sup>/h VERSION AVAILABLE MADE OF AISI 316 STAINLESS STEEL

VERSIONS WITH 4-POLE AND/OR 60 Hz MOTOR ARE AVAILABLE ON REQUEST  
MOTOR CAN BE REPLACED WITH ANY STANDARD MODEL AVAILABLE ON THE MARKET

IPS<sup>®</sup> HIGH-PRESSURE UNITS, CONSISTING OF TWO SV "N" PUMPS CONNECTED IN SERIES

**APPLICATIONS**  
Water transfer and circulation in the civil, industrial and maritime sectors.  
Pure boosting and water supply systems.  
Irrigation systems for agriculture and sporting facilities.  
Cooling systems.  
Air feed.  
Wastewater treatment and reverse osmosis plants.

**OPERATING MEDIA:**  
Pumping of moderately aggressive liquids.

**CHARACTERISTICS**  
Flow rate: up to 72 m<sup>3</sup>/h.  
Head: up to 247 m.  
Maximum operating pressure: 16/25 bar, depending on model.  
Intermittent duty.  
Operating temperature of pumped liquid: -20°C to +120°C.

Single-phase 220-240 V 50 Hz (up to 2.2 kW)  
Three-phase 220-240/380-415 V 50 Hz up to 3 kW (up to 2.2 kW).

**IP55 Insulation.**



- IP55 protection.
- Thin flanged, round or oval counterflanges made of zinc-plated steel are standard supply.
- Version with HYDROVAR frequency converter (variable speed) is available on request.
- Versions with 4-pole motor are available on request.

**AVAILABLE VERSIONS**

VERSION	02	04	08	16	30	60
Standard with oval flange	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Standard with oval flange	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Standard with oval flange	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Standard with oval flange	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Standard with oval flange	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Standard with oval flange	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Standard with oval flange	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Standard with oval flange	✓	✓	✓	✓	✓	✓

**IDENTIFICATION CODE**

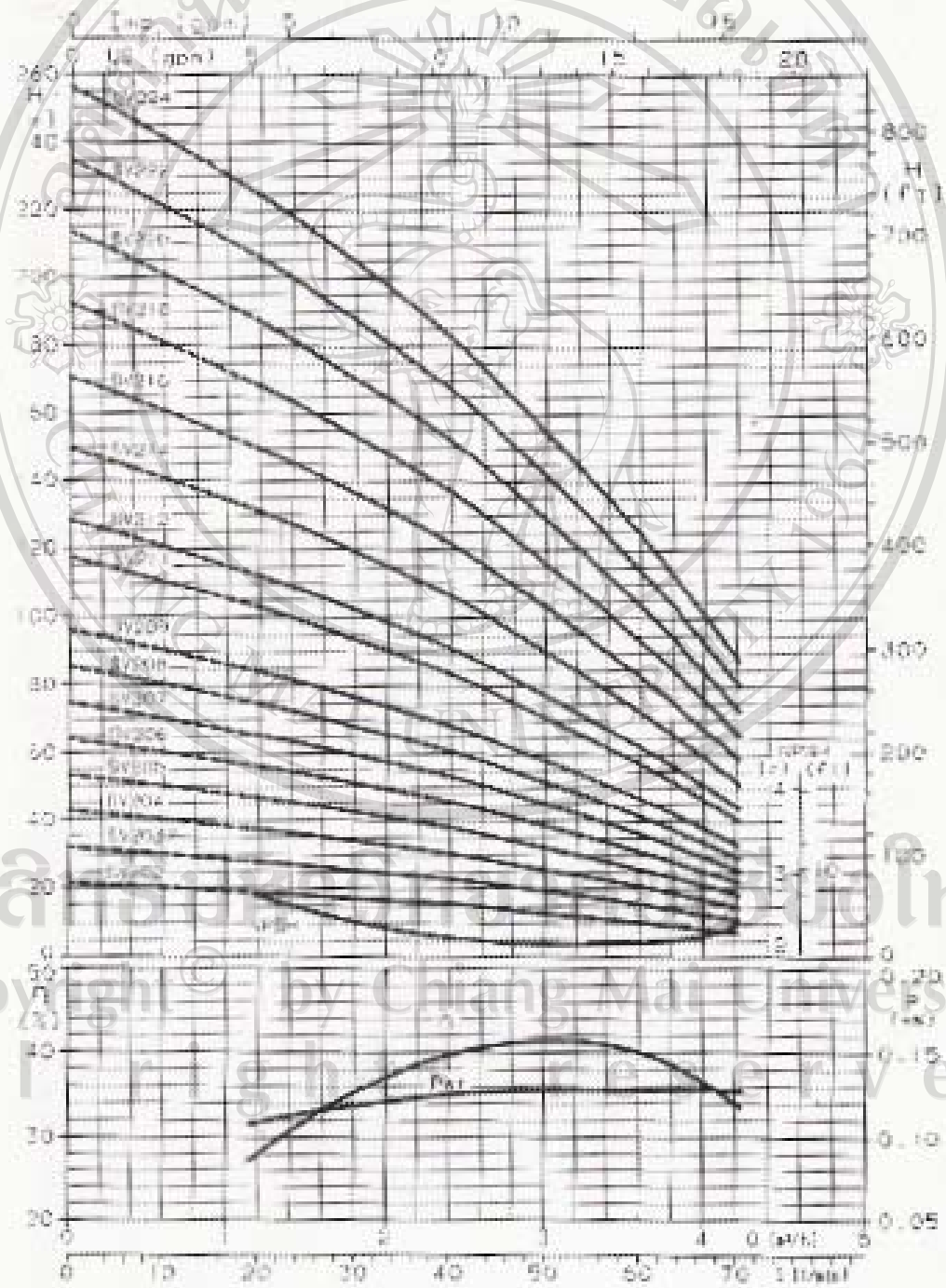
GP 1E 0C F 50 1

Legend:  
 GP: Integral or in base pressure  
 1E: 1.5" (38.1 mm) dia. flange  
 0C: 0.5" (12.7 mm) dia. flange  
 F: 1" (25.4 mm) dia. flange  
 50: 50 Hz  
 1: 1" (25.4 mm) dia. motor

Number of stages:  
 — Standard duty (1-12)  
 — Special duty (1-12)

# HOWARA

## SERIES RATING CHARACTERISTICS AT 2900 rpm 50 Hz



ลิขสิทธิ์ © โดย Chiang Mai University  
All rights reserved

## ๑.2 ) Chill Pump And Cooling Pump

**LOWARA**

# CEA-CA SERIES

## STAINLESS STEEL THREADED CENTRIFUGAL PUMPS

Wide range of pumps for domestic and industrial applications.  
Single-impeller (CEA) and dual-impeller (CA) models available.

- ❑ IN THE STANDARD VERSION ALL COMPONENTS IN CONTACT WITH THE PUMPED LIQUID ARE MADE OF STAINLESS STEEL (AISI 304 OR AISI 316)
- ❑ IP 55 MOTOR PROTECTION

### APPLICATIONS

- Handling of liquids compatible with AISI 304 stainless steel in a wide variety of civil and industrial systems.
- Warm circulation for domestic use
- Sprinkler systems
- Compressor of surge tank units for pressure boosting in various applications.

### SPECIFICATIONS

- Single-impeller CEA series, dual-impeller CA series.
- Delivery: up to 31 m<sup>3</sup>/h.
- Head: up to 62 m.
- Maximum operating pressure: 8 bar.
- Continuous duty.
- Temperature of pumped liquid: -10°C to 85°C (special CEA-V CA-V version, with O-ring or PPM seals, is available for temperatures up to +110°C).
- Enclosed motor with external ventilation and aluminium alloy fitted casing
- Versions:
  - Single-phase** 220-240V/50 Hz, permanently connected capacitor and built-in automatic reset overload protection up to 1.5 kW (except for 2.2 kW version)
  - Three-phase** 220-240/380-415 V/50 Hz, overload protection to be provided by user
- Power up to 3 kW
- Class F insulation.
- IP 55 protection.



### TABLE OF MATERIALS

PART	MATERIAL	
	CEA	CA
External Comp. (Impeller, Casing, Motor)	STAINLESS STEEL AISI 304 (OR AISI 316)	STAINLESS STEEL AISI 304 (OR AISI 316)
Internal assembly	BRASS (OR ALUMINUM) (OR STAINLESS STEEL)	BRASS (OR ALUMINUM) (OR STAINLESS STEEL)
Impeller	BRASS (OR ALUMINUM) (OR STAINLESS STEEL)	BRASS (OR ALUMINUM) (OR STAINLESS STEEL)
Shaft	STAINLESS STEEL AISI 304 (OR AISI 316)	STAINLESS STEEL AISI 304 (OR AISI 316)
Motor	IP 55	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

**CEA SERIES HYDRAULIC PERFORMANCE TABLE AT 2850 rpm 50 Hz**

PUMP TYPE	RATED POWER	Q = DELIVERY																		
		m³/h																		
		0	30	45	60	90	120	140	160	180	200	250	300	350	400	450	480	510		
CEAM 703	0.37	1.0	22.0	20.1	19.1	16.6	12.0													
CEAM 705	0.55	1.25	21.1	28.8	27.7	24.7	20.3													
CEAM 805	0.75	1	42.0	30.0	29.3	27.8	24.0													
CEAM 1203	0.55	1.25	22.4			18.9	17.5	15.9	14.0	11.8	9.2									
CEAM 1205	0.9	1.2	21.8			28.2	26.5	24.8	22.4	20.0	17.1									
CEAM 2103	0.75	1	42.7			30.2	28.0	25.6	23.0	19.6	15.0	14.4	12.6	10.4						
CEAM 2105	1.1	1.5	40.8			19.7	19.1	19.0	18.5	18.0	16.3	14.8								
CEAM 2104	1.5	2	25.3			28.8	28.8	24.0	23.6	23.0	21.3	20.0								
CEAM 2105	1.85	2.5	29.0			28.2	27.9	27.5	27.1	26.6	25.1	23.1								
CEAM 3701	6.0	7.5	16.3							15.5	15.2	14.3	13.0	11.4	9.4	8.1				
CEAM 3702	7.0	2	20.4										19.1	18.3	17.2	15.8	14.1	13.0	10.8	
CEAM 3703	1.85	2.5	24.4										27.9	27.0	21.0	19.5	18.2	17.1	15.0	

\* Signature column = (1.1W/1.0H) m³=200 g/h

PUMP TYPE	INPUT POWER*	INPUT CURRENT*		CAPACITOR
		220-240 V	μF / 450 V	
CEAM 703	0.6	2.72	14	
CEAM 705	0.87	4.35	15	
CEAM 805	1.07	4.82	20	
CEAM 1203	0.91	4.33	15	
CEAM 1205	1.19	6.24	17	
CEAM 2103	1.13	5.1	20	
CEAM 2105	1.48	6.68	30	
CEAM 2104	1.91	8.6	40	
CEAM 2105	2.31	10.6	50	
CEAM 3701	7.89	6.75	70	
CEAM 3702	2.05	9.26	40	
CEAM 3703	2.87	11.3	50	

PUMP TYPE	INPUT POWER*	INPUT CURRENT*	
		220-240 V	300-615 V
CEA 703	0.61	2.51	1.45
CEA 705	0.88	2.28	1.65
CEA 805	1.06	3.65	2.11
CEA 1203	0.82	2.74	1.58
CEA 1205	1.32	4.52	2.61
CEA 2103	1.12	3.76	2.17
CEA 2105	1.43	4.08	2.7
CEA 2104	1.84	6.04	3.00
CEA 2705	2.38	8.35	4.82
CEA 3701	1.44	4.3	2.72
CEA 3702	1.99	6.32	3.63
CEA 3703	2.47	4.67	4.38

\* Maximum value of (1.1W/1.0H) m³=200 g/h

**CA SERIES HYDRAULIC PERFORMANCE TABLE AT 2850 rpm 50 Hz**

PUMP TYPE	RATED POWER	Q = DELIVERY																		
		m³/h																		
		0	30	45	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510
CA 7033	0.75	1	42.0	38.0	36.9	34.6	31.7	28.2	23.8											
CA 7034	0.9	1.2	49.8	45.1	43.2	40.7	37.7	34.0	29.5											
CA 7045	1.1	1.5	55.2	52.0	49.8	47.1	43.0	39.5	35.3											
CA 12033	1.1	1.5	44.3			39.1	37.8	36.4	34.8	31.4	27.6	21.0								
CA 12035	1.5	2	54.0			49.4	48.1	46.6	44.0	41.7	38.8	29.3								
CA 12055	1.85	2.5	63.8			59.6	58.2	56.0	54.8	50.6	45.7	37.1								
CA 20033	2.185	2.9	43.3			41.8	41.3	40.6	39.9	38.7	36.4	33.2	29.5	24.5						
CA 20035	2.2	3	53.5			52.4	51.9	51.4	50.7	49.2	47.5	44.3	40.6	36.5						
CA 20055	3	4	62.6			61.0	60.4	60.1	59.5	58.2	56.6	53.8	50.4	46.2						

\* Signature column = 2.2 W (1.0H) m³=200 g/h

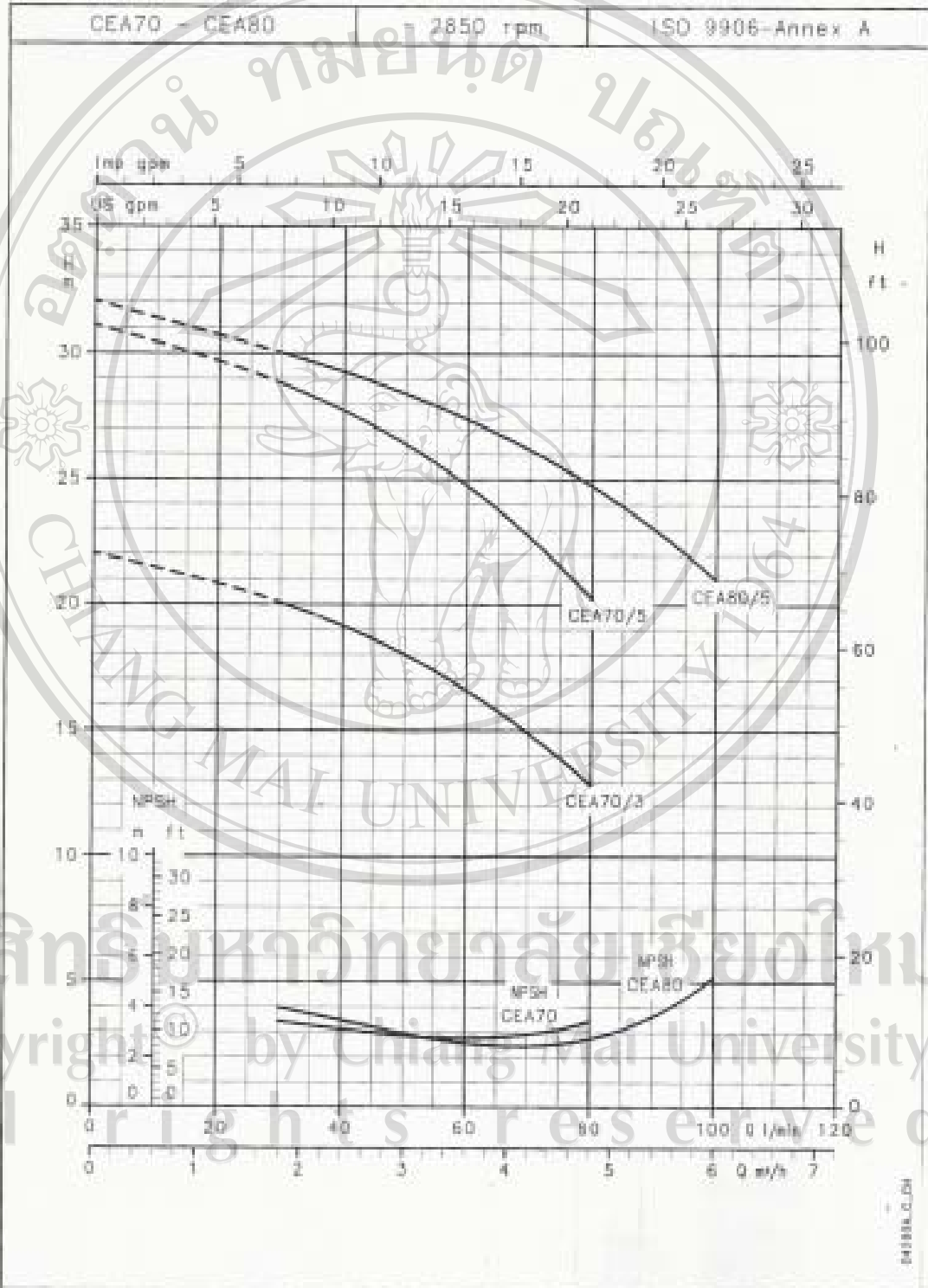
PUMP TYPE	INPUT POWER*	INPUT CURRENT*		CAPACITOR
		220-240 V	μF / 450 V	
CA 7033	1.15	5.16	30	
CA 7034	1.39	6.77	25	
CA 7045	1.76	7.92	30	
CA 12033	1.67	7.53	30	
CA 12035	2.18	9.87	40	
CA 12055	2.61	11.7	50	
CA 20033	2.36	10.8	50	

PUMP TYPE	INPUT POWER*	INPUT CURRENT*	
		220-240 V	300-615 V
CA 7033	1.14	3.78	2.18
CA 7034	1.32	4.52	2.61
CA 7045	1.71	5.23	3.02
CA 12033	1.62	5.06	2.92
CA 12035	2.13	6.58	3.8
CA 12055	2.62	8.89	5.13
CA 20033	2.34	8.44	4.82
CA 20035	3.14	9.18	5.3
CA 20055	3.68	10.9	6.3

ลิขสิทธิ์ © by Chiang Mai University  
All rights reserved






**CEA70-CEA80 SERIES  
OPERATING CHARACTERISTICS AT 2850 rpm 50 Hz**



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

๑.3 ) Sightglass



# lumiglas®

DATA SHEET 01.02

---

**Circular Sightglass Fittings Series to DIN 28121, PN 10/25**

Sightglass fittings to DIN 28121 are circular paired retaining flanges, sandwiching a sightglass disc set in two seals and bolted and correctly torqued together at manufacturer's works to form an integral cage. The unit is ready drilled and finished to fit onto flanged pipes, vessel heads etc; construction and dimensions correspond to DIN 28121.

Connecting sizes: PN 10, DN 40 to DN 200.

Application:  
viewing of internals of pressure vessels, tanks, silos, stirred vessels, reactors, pipelines etc.

Operating conditions:  
 - pressure: 10 bar or 25 bar, vacuum  
 - temperature: max 200° C  
 - when using soda lime glass DIN 8902, max. 150° C (higher temperatures on request)

Table combinations:  
 - can be combined with Lumiglas luminaires when used in explosion hazardous as well as non explosion hazardous areas - see data sheets series 05 and 07.  
 - cover flange is then drilled and tapped to suit luminaire mounting set.


Options/testing:  
 depending on customer requirements and at extra cost, can be provided to DIN 50049, 3.1 A or 3.1 B.

Component materials, shown in adjoining exploded view, are:


Port	Material
cover flange (version A)	boiler plate H II DIN 17155; stainless steel 1.4571 to DIN 17440 or other
form C	welding rib to DIN 2526
form F	torque to DIN 2512
form V13	male socket to DIN 2513
gasket (product side)	PTFE amescope resistant gasket with corrugated supporting ring
gasket (atmos. side)	KLINGER® C-4400
sightglass disc	soda lime glass, toughened, to DIN 8902, permissible op. temp. 150° C or borosilicate glass to DIN 7080, op. temp. 280° C
cover flange	boiler plate H II, stainless steel 1.4541 or other

compression bolts: steel S5

fasteners:  
 appropriate fastening bolts, the number and size of which are given on table overleaf to fit the ready pre-compressed and internally drilled unit to nozzle flange, vessel head etc.




Complete assembly of sightglass unit to DIN 28121



Exploded view of sightglass assembly to DIN 28121

---

© VISILUME Limited - Unit 30 - Moor Park Industrial Centre - Tolpits Lane - Watford - Hertfordshire - WD18 9SP - United Kingdom  
 Phone 01923 211 131 - Facsimile 01923 211 432 - E-mail sales@visilume.co.uk - www.visilume.co.uk



**VISILUME**  
 Vision in process

## จ. 4) Fancoil

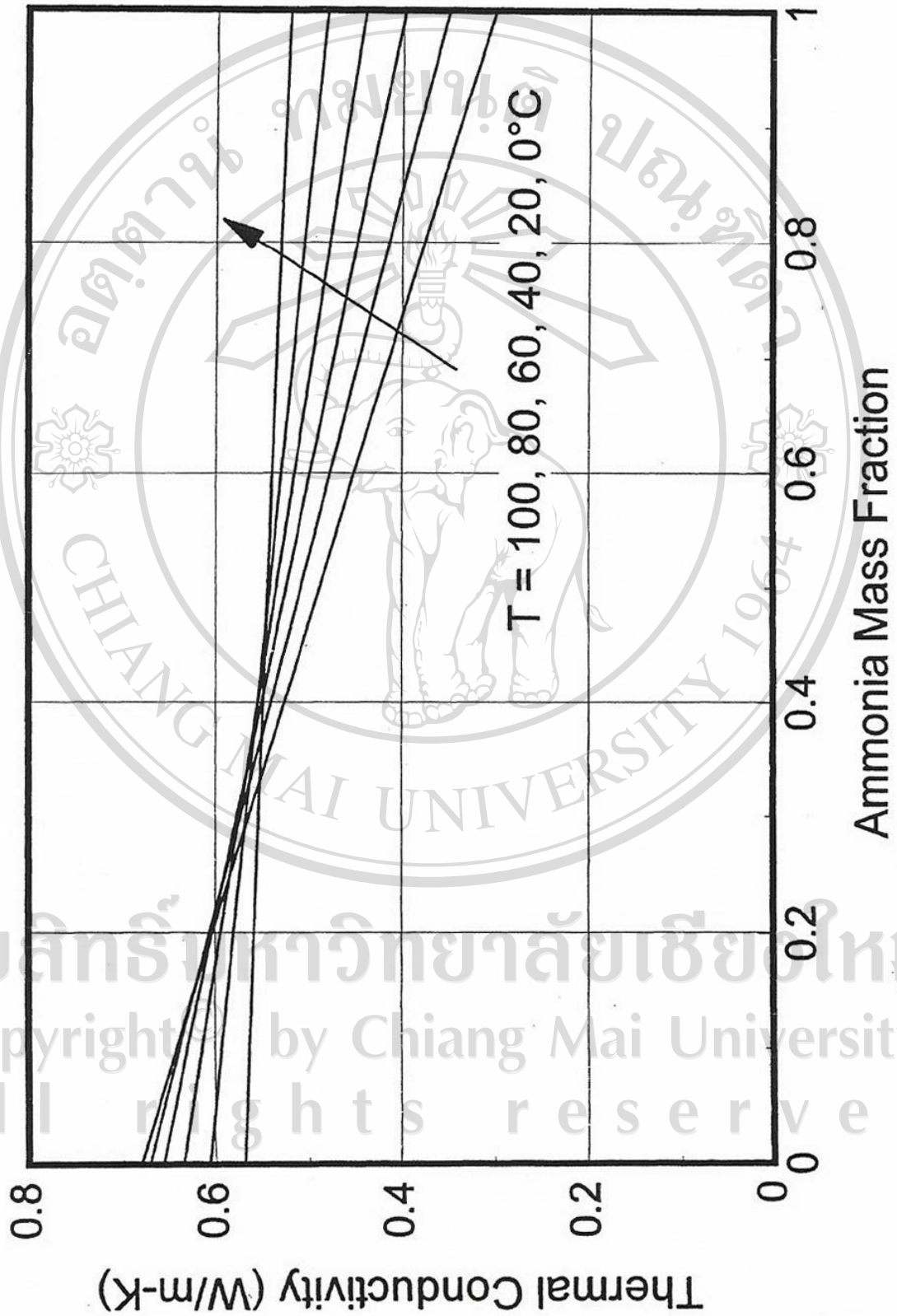
ตารางที่ จ.1 รายละเอียด Fancoil

	รายละเอียด	ปริมาณ	หน่วย
1	Overall Heat transfer	42.98	$W / m^2 - ^\circ C$
2	LMTD	10.67	$K$
3	Total Heat transfer area	31.50	$m^2$
4	Air flow	11 890.00	$m^3 / hr$
5	Row	4	<i>row</i>
6	Fin Pitch	10	$FPI$
7	Fan dia. (2 Unit)	18	$in / Unit$
8	Motor (220V/1ph/50Hz, 2 Unit)	0.5	$hp / Unit$
9	Tube (Copper dia)	3/8	$in$
10	Fin (Aluminium thick)	0.2	$mm$
11	Dimension (W x L x H)	328.0 x 1 101.0 x 581.2	$mm$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright© by Chiang Mai University  
 All rights reserved



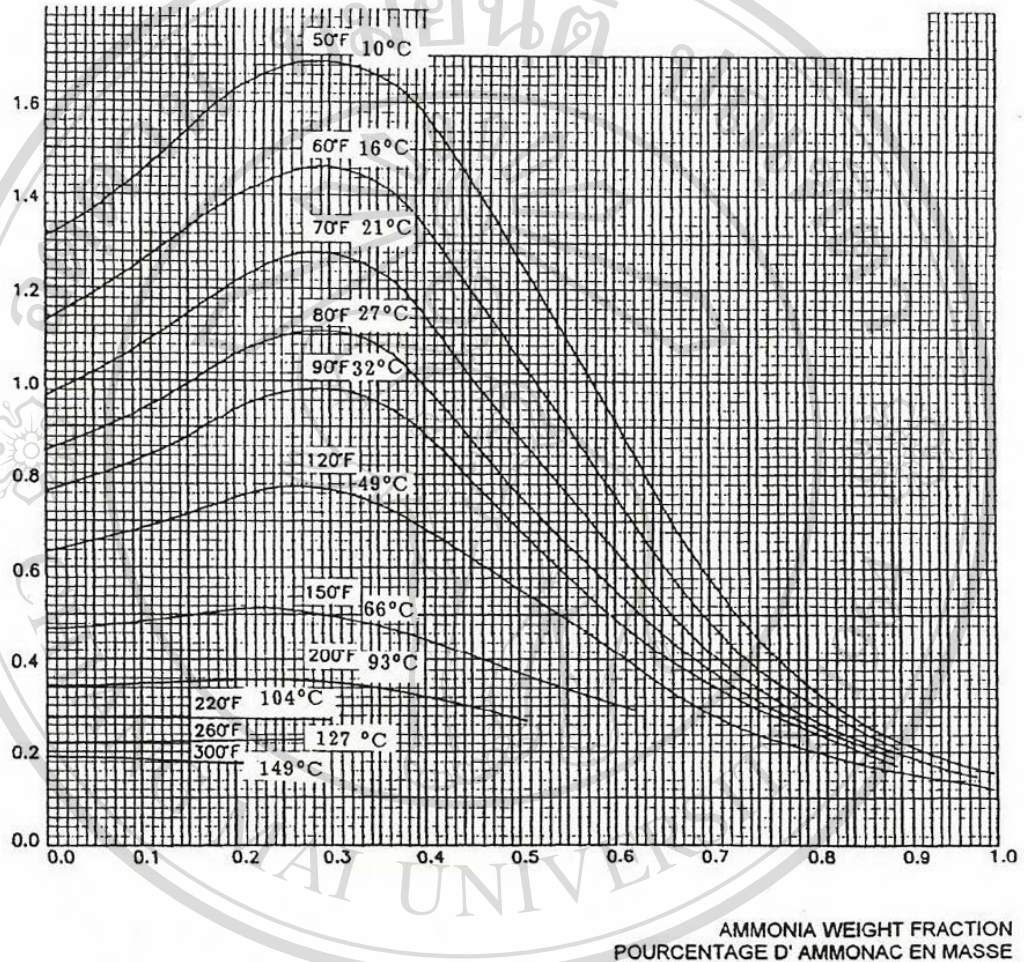
๗) Predicted thermal conductivity of ammonia/water liquid



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright by Chiang Mai University  
All rights reserved

## ๗) Viscosity of ammonia/water liquid

VISCOSITY, cP  
VISCOSITE, mPa.s



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

## ณ) Thermal Conductivity of Material

สภาพนำความร้อน ( $W/m-^{\circ}C$ )				
โลหะ	-100 $^{\circ}C$	0 $^{\circ}C$	100 $^{\circ}C$	400 $^{\circ}C$
โลหะเจือของอะลูมิเนียม	120	160	180	-
เหล็กกล้าไร้สนิม	-	43	42	36
ทองแดง	407	380	374	350
ทองเหลือง	88	100	120	140
นิกเกิล/โครม	12	13	16	18

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright© by Chiang Mai University  
 All rights reserved

ณ) สภาวะการทำงานของ Generator ขณะทำงานร่วมกับ Absorption Chiller

สภาวะการทำงานปกติของเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า CAT

ข้อมูลผลการเก็บข้อมูล (26/10/2549)

Time	Battery	Hour	n/min	Pressure (PSI)	(Temperature) °F	Voltage (V)	Frequency (Hr)	Current (A)
9:45	27	2481	1505	63	63	397	50.2	89
10:45	24	2482	1505	57	193	398	50.2	100
11:45	27	2483	1505	56	194	397	50.2	105
12:45	27	2484	1505	57	195	398	50.2	105
13:45	27	2485	1505	56	196	398	50.2	87
14:45	27	2486	1505	56	194	397	50.2	79
15:45	27	2487	1505	57	194	397	50.2	80
16:45	27	2488	1505	57	194	397	50.2	76
17:45	27	2489	1505	57	193	397	50.2	74

สภาวะการทำงานปกติของเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า CAT เมื่อนำต่อกับ Absorption chiller

ข้อมูลผลการเก็บข้อมูล (27/10/2549)

Time	Battery	Hour	n/min	Pressure (PSI)	(Temperature) °F	Voltage (V)	Frequency (Hr)	Current (A)
9:45	27	2481	1505	57	193	397	50.2	89
10:45	24	2482	1505	57	193	398	50.2	100
11:45	27	2483	1505	56	194	397	50.2	105
12:45	27	2484	1505	57	195	398	50.2	105
13:45	27	2485	1505	56	196	398	50.2	87
14:45	27	2486	1505	56	194	397	50.2	79
15:45	27	2487	1505	57	194	397	50.2	80
16:45	27	2488	1505	57	194	397	50.2	76
17:45	27	2489	1505	57	193	397	50.2	74

## ข้อมูลผลการเก็บข้อมูล (28/10/2549)

Time	Battery	Hour	n/min	Pressure (PSI)	(Temperature) °F	Voltage (V)	Frequency (Hr)	Current (A)
10:04	27	2495	1505	59	191	397	50.2	115
11:04	27	2496	1505	56	196	398	50.2	111
12:04	27	2497	1505	56	198	397	50.2	105
13:04	27	2498	1505	56	194	397	50.2	109
14:04	27	2499	1505	57	191	396	50.2	111
15:04	27	2500	1505	56	194	397	50.2	106
16:04	27	2501	1505	56	196	397	50.2	103
17:04	27	2502	1505	56	195	397	50.2	80
18:04	27	2503	1505	56	194	397	50.2	64

## ข้อมูลผลการเก็บข้อมูล (29/10/2549)

Time	Battery	Hour	n/min	Pressure (PSI)	(Temperature) °F	Voltage (V)	Frequency (Hr)	Current (A)
10:10	27	2509	1504	57	194	397	50.2	107
11:10	24	2510	1505	57	194	396	50.2	89
12:10	27	2511	1505	56	195	396	50.2	96
13:10	27	2512	1505	55	197	397	50.2	109
14:10	27	2513	1504	56	197	396	50.2	110
15:10	27	2514	1505	56	197	397	50.2	120
16:10	27	2515	1505	57	197	397	50.2	103
17:10	27	2516	1502	57	196	395	50.2	104
18:10	27	2517	1505	57	194	398	50.2	72



ฎ) ค่าการประเมินจากการตรวจวัดก่อนและระหว่างการทดสอบ

Working Sheet of Enthalpy Calculation for Biogas Fuel on O<sub>2</sub> Concentration

Base Data of Enthalpy (kcal/m <sup>3</sup> )												
deg.C	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	AIR	Flue Gas				
								Kcal/m <sup>3</sup> N	0 fuel gas	Kcal/m <sup>3</sup> N	Effi. up % on LHV	Effi. down % on LHV
25	0	0	0	0	0	0	0	25				
100	23.207	23.511	25.679	29.960	32.585	23.359	23.287	100	24.57	180	96.91	3.09
200	54.257	55.266	60.276	72.152	78.025	54.600	54.433	200	57.78	423	92.74	7.26
300	85.402	87.510	95.267	116.243	125.257	85.996	85.782	300	91.38	669	88.51	11.49
400	116.751	120.244	130.699	162.042	173.993	117.644	117.423	400	125.43	919	84.23	15.77
500	148.350	153.432	166.694	209.334	224.031	149.589	149.374	500	159.96	1172	79.89	20.11
600	180.200	187.073	203.297	257.974	275.294	181.881	181.618	600	194.95	1428	75.49	24.51
700	212.397	221.168	240.497	307.822	327.500	214.567	214.203	700	230.46	1689	71.03	28.97
800	244.939	255.670	278.294	358.767	380.596	247.612	247.158	800	266.46	1952	66.51	33.49
900	277.781	290.565	316.689	410.657	434.443	280.954	280.405	900	302.89	2219	61.93	38.07
1000	310.921	325.807	355.680	463.394	488.935	314.596	313.999	1000	339.76	2489	57.29	42.71
1100	344.371	361.299	395.317	516.979	544.025	348.536	347.855	1100	377.07	2763	52.60	47.40
1200	378.072	397.042	435.610	571.316	599.664	382.774	381.962	1200	414.76	3039	47.86	52.14
1300	412.012	433.084	476.453	626.311	655.757	417.264	416.356	1300	452.81	3318	43.08	56.92
1400	445.251	469.377	517.893	681.902	712.244	451.956	451.001	1400	491.26	3599	38.25	61.75
1500	480.740	505.873	559.941	738.091	769.078	486.899	485.896	1500	530.06	3884	33.37	66.63
1600	515.432	542.559	602.492	794.828	826.222	522.093	521.042	1600	569.17	4170	28.45	71.55
1700	550.328	579.449	645.544	852.068	883.712	557.490	556.392	1700	608.57	4459	23.50	76.50
1800	585.414	616.542	689.145	909.761	941.501	593.078	591.884	1800	648.27	4750	18.51	81.49
1900	620.704	653.838	733.236	967.848	999.492	628.822	627.580	1900	688.24	5043	13.49	86.51
2000	656.148	691.336	777.769	1026.330	1057.675	664.720	663.430	2000	728.45	5337	8.43	91.57

Results of Combustion Calculation			Flue Gas Production Rate		
	$m_{3N}/m_{3N-fuel}$	volum. %	Molecular weight	Weight	weight %
O <sub>2</sub>	0.027	0.369	32	11.79	0.415
CO <sub>2</sub>	1.000	13.649	44	600.54	21.125
H <sub>2</sub> O	1.301	17.757	18	319.63	11.243
N <sub>2</sub>	4.998	68.212	28	1909.94	67.186
SO <sub>2</sub>	0.001	0.014	64	0.87	0.031
Total	7.327	100.000	-	2842.78	100.000
Air	7.140	-	-	-	-

LHV of biogas (kcal/m <sub>3N</sub> )	5828.6
Adiabatic Max. Enthalpy (kcal/m <sub>3N</sub> )	795.53

	TEMP.	Enthalpy	Heat Flow
	Deg.C	kcal/m <sub>3N</sub>	kcal/m <sub>3N-fuel</sub>
Inlet Condition	450	142.69	1045.48
Outlet Condition	150	41.17	301.66
Heat Absorption Including Heat-loss	kcal/m <sub>3N-fuel</sub>	743.82	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright© by Chiang Mai University  
 All rights reserved



ฎ) การประเมินค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น (COP)

		Efficiency				
Spec	Volume flow rate air in the room (Fancoil)				20 cfm	
					0.01 m <sup>3</sup> /s	
					0.6 m <sup>3</sup> /min	
					36 m <sup>3</sup> /hr	
	Mass flow rate Glycol - Water				40 m <sup>3</sup> /min	
	Note	Convert unit cfm	1	ft	0.3000	m
			1	ft <sup>3</sup>	0.0283	m <sup>3</sup>
			0.017	ft <sup>3</sup> /min	0.0005	m <sup>3</sup> /min
			1	ft <sup>3</sup> /min	0.0283	m <sup>3</sup> /min
					1.6990	m <sup>3</sup> /hr
				0.0005 m <sup>3</sup> /s		
Fancoil (Glycol - Water)	Heat capacity Glycol - Water				3.96 kJ/kg-K	
	Density				1031 kg/m <sup>3</sup>	
	- Temperature 0 (°C) - 25% of Glycol					
Mass flow rate				80 lite/min		
				1.3746667 kg/s		
Average		27_10_49	28_10_49	29_10_49		
	High Pressure	1750	1750	1750	1750 kPa	
	Low Pressure	400	400	400	400 kPa	
	Inlet Temperature	3.060	4.812	11.355	6.409 °C	
	Outlet Temperature	-3.240	-0.840	2.547	-0.511 °C	
	Mass flow rate	0.009	0.010	0.011	0.010 kg/s	
	Capacity of Evap	12.311	13.843	14.501	13.531 kW	
		3.500	3.936	4.123	3.847 TR	
	COP	0.232	0.254	0.314	0.264	
	COP <sub>Total</sub>	2.817	3.312	3.625	3.237	
Steady State		27_10_49	28_10_49	29_10_49		
	Inlet Temperature	2.766	2.023	10.491	5.093 °C	
	Outlet Temperature	-3.040	-5.411	1.820	-2.210 °C	
	Enthalpy Inlet	344.309	340.862	380.375	355.138 kJ/kg	
	Enthalpy Outlet (Gas)	1602.054	1599.347	1607.319	1602.980 kJ/kg	
	Enthalpy Outlet (Liquid)	317.435	306.513	339.922	321.265 kJ/kg	
	Capacity of Evap	11.625	13.287	13.840	12.893 kW	
		3.305	3.778	3.935	3.666 TR	
	COP	0.219	0.243	0.297	0.251	
	COP <sub>Total</sub>	2.660	3.179	3.460	3.085	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright © by Chiang Mai University  
 All rights reserved

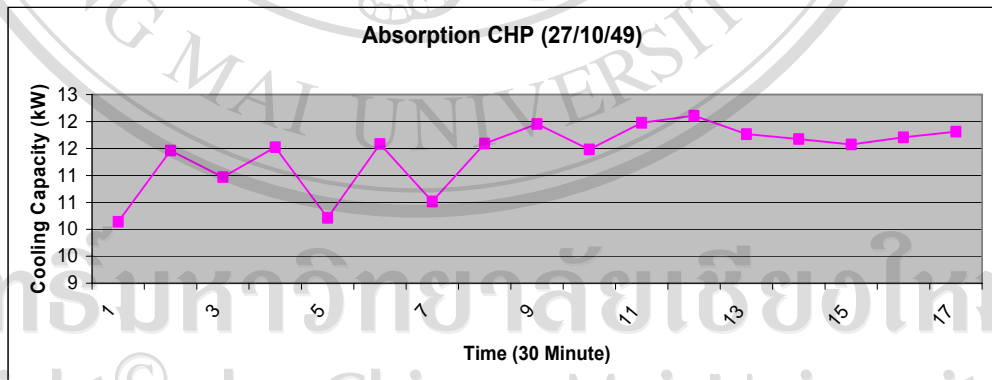
**Carnot Refrigerator**

TH = T, At Refrigerant Condenser of Compression	40.000	'C	313.150	K
TL = T, Refrigerant Evaporator of Compression	0.000	'C	273.150	K
COP <sub>ideal</sub>			6.829	

**Real (D-Kuhle)**

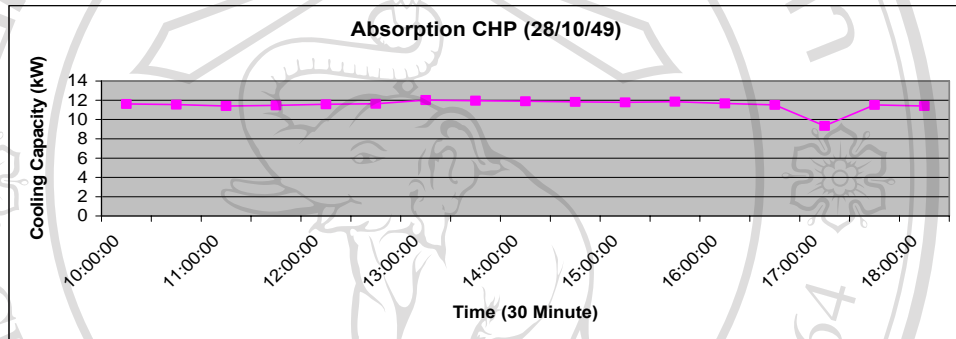
Q <sub>evap</sub>	4.000	TR	14.068	kW
Q <sub>comp</sub>			5.300	kW
COP <sub>real</sub>			2.654	

27_10_49	Time	Inlet Evap	Outlet Evap	hl	hg	hf	Capacity of Evap		COP
Cooling	(30 Min)	('C)	('C)	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	(kW)	(TR)	
	9:50:00	33.176	32.979	488.65	1630.69	487.69	10.14	2.88	0.191
	10:20:00	4.4545	0.21627	352.16	1605.62	332.49	11.46	3.26	0.216
	10:50:00	7.4791	8.5657	366.27	1613.96	371.35	10.97	3.12	0.207
	11:20:00	10.948	3.0049	382.52	1608.54	345.42	11.53	3.28	0.218
	11:50:00	10.433	20.076	380.10	1623.37	425.66	10.21	2.90	0.193
	12:20:00	10.151	1.7545	378.78	1607.25	339.62	11.58	3.29	0.219
	12:50:00	9.3721	15.587	375.13	1620.00	404.37	10.52	2.99	0.198
	13:20:00	5.4834	-1.014	356.96	1604.30	326.79	11.59	3.30	0.219
	13:50:00	0.85403	-8.7871	335.44	1595.34	291.02	11.96	3.40	0.226
	14:20:00	5.2518	0.34298	355.88	1605.76	333.07	11.48	3.27	0.217
	14:50:00	-0.85037	-10.103	327.55	1593.73	284.99	11.98	3.41	0.226
	15:20:00	-1.9905	-12.653	322.28	1590.54	273.34	12.11	3.44	0.229
	15:50:00	1.6249	-5.6544	339.01	1599.06	305.40	11.77	3.35	0.222
	16:20:00	2.824	-3.7164	344.58	1601.29	314.32	11.68	3.32	0.220
	16:50:00	2.707	-2.3643	344.04	1602.81	320.55	11.57	3.29	0.218
	17:20:00	0.8047	-5.3154	335.21	1599.46	306.95	11.71	3.33	0.221
	17:50:00	0.49284	-6.9606	333.77	1597.53	299.39	11.81	3.36	0.223



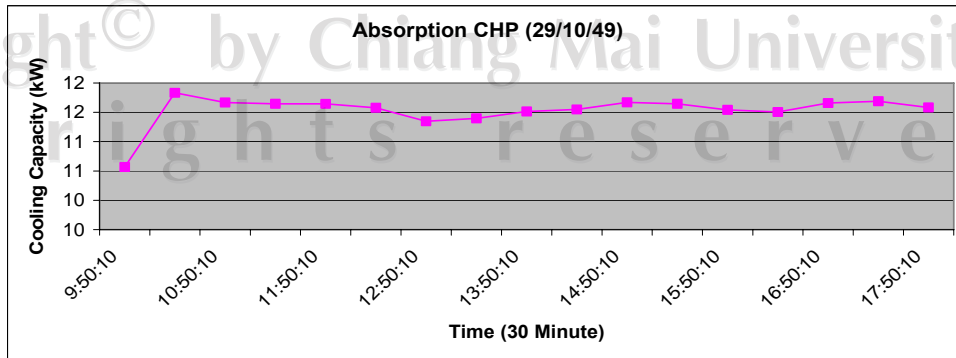
28\_10\_49  
Cooling

Time (30 Min)	Inlet Evap (°C)	Outlet Evap (°C)	hl (kJ/kg)	hg (kJ/kg)	hf (kJ/kg)	Capacity of Evap (kW)	(TR)	COP
10:00:00	9.2651	0.80017	374.63	1606.25	335.19	11.62	3.30	0.213
10:30:00	10.647	2.4499	381.11	1607.97	342.84	11.55	3.29	0.212
11:00:00	14.935	6.7228	401.29	1612.22	362.74	11.42	3.25	0.209
11:30:00	13.957	5.5116	396.68	1611.05	357.09	11.47	3.26	0.210
12:00:00	10.948	2.3192	382.52	1607.84	342.24	11.58	3.29	0.212
12:30:00	9.228	0.53662	374.45	1605.97	333.97	11.63	3.31	0.213
13:00:00	3.4429	-8.1995	347.46	1596.05	293.71	12.02	3.42	0.220
13:30:00	4.6157	-6.6434	352.91	1597.90	300.85	11.96	3.40	0.219
14:00:00	1.3838	-7.571	337.90	1596.80	296.59	11.89	3.38	0.218
14:30:00	1.3196	-6.7745	337.60	1597.75	300.25	11.83	3.36	0.217
15:00:00	0.45884	-6.5605	333.61	1598.00	301.23	11.78	3.35	0.216
15:30:00	0.48206	-7.5702	333.72	1596.81	296.60	11.85	3.37	0.217
16:00:00	3.5641	-3.2526	348.02	1601.81	316.46	11.67	3.32	0.214
16:30:00	6.4602	0.55511	361.51	1605.99	334.06	11.52	3.27	0.211
17:00:00	10.629	31.103	381.02	1629.85	478.59	9.34	2.66	0.171
17:30:00	6.317	0.48212	360.84	1605.91	333.72	11.52	3.27	0.211
18:00:00	3.7087	0.64995	348.69	1606.09	334.49	11.40	3.24	0.209



29\_10\_49  
Cooling

Time (30 Min)	Inlet Evap (°C)	Outlet Evap (°C)	hl (kJ/kg)	hg (kJ/kg)	hf (kJ/kg)	Capacity of Evap (kW)	(TR)	COP
9:50:10	23.103	22.345	440.09	1624.91	436.47	10.57	3.00	0.229
10:20:10	3.9844	-5.238	349.98	1599.55	307.31	11.83	3.36	0.256
10:50:10	8.8674	-0.13346	372.77	1605.25	330.87	11.67	3.32	0.253
11:20:10	9.7046	0.65068	376.69	1606.09	334.50	11.65	3.31	0.252
11:50:10	10.345	1.0477	379.69	1606.51	336.34	11.64	3.31	0.252
12:20:10	10.218	1.8688	379.09	1607.37	340.15	11.58	3.29	0.251
12:50:10	15.063	7.7594	401.90	1613.21	367.58	11.35	3.23	0.246
13:20:10	17.166	8.261	411.84	1613.68	369.93	11.40	3.24	0.247
13:50:10	11.148	3.2697	383.46	1608.81	346.65	11.51	3.27	0.249
14:20:10	11.248	2.8673	383.93	1608.40	344.78	11.55	3.28	0.250
14:50:10	9.6106	0.2589	376.25	1605.67	332.68	11.67	3.32	0.253
15:20:10	9.8469	0.74475	377.35	1606.19	334.93	11.64	3.31	0.252
15:50:10	11.135	2.8962	383.40	1608.43	344.92	11.54	3.28	0.250
16:20:10	13.747	4.8608	395.69	1610.41	354.06	11.51	3.27	0.249
16:50:10	11.078	1.2726	383.13	1606.74	337.38	11.66	3.31	0.253
17:20:10	9.916	0.18909	377.68	1605.60	332.36	11.69	3.32	0.253
17:50:10	11.232	2.389	383.85	1607.91	342.56	11.58	3.29	0.251



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

### ฐ) ผลการประเมินการตรวจวัดไอเสียของเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า

จากผลการทดสอบนำข้อมูลคุณสมบัติและส่วนประกอบต่างๆของไอเสีย ที่ได้จากการตรวจวัดนำมาคำนวณตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยทางผู้ดำเนินการได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้วิเคราะห์การเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ ในรูปแบบของไมโครซอฟท์เอ็กเซลเพื่อช่วยในการคำนวณ การนำโปรแกรมเพื่อใช้วิเคราะห์การเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพมาช่วยเนื่องจากเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพและวัดอัตราการไหลของไอเสียไม่มี ดังนั้นจึงใช้การคำนวณร่วมกับผลการตรวจวัดในการประเมินอัตราไหลของก๊าซชีวภาพและไอเสีย รายละเอียดการคำนวณที่ได้แสดงดังตารางที่ ฐ.1 ถึงตารางที่ ฐ.4

ตารางที่ ฐ.1 การวิเคราะห์ปริมาณส่วนประกอบไอเสียที่ได้จากการคำนวณ

Composite of Biogas	Volume of each gas $\text{m}^3/\text{m}^3_{\text{fuel}}$	$\text{O}_2$ demand $\text{m}^3/\text{m}^3_{\text{gas}}$	$\text{O}_2$ demand $\text{m}^3/\text{m}^3_{\text{fuel}}$	LHV of each gas kcal/kg <sub>fuel</sub>	$\text{CO}_2$ in flue gas $\text{m}^3/\text{m}^3_{\text{fuel}}$	$\text{H}_2\text{O}$ in flue gas $\text{m}^3/\text{m}^3_{\text{fuel}}$	$\text{N}_2$ in flue gas $\text{m}^3/\text{m}^3_{\text{fuel}}$	$\text{SO}_2$ in flue gas $\text{m}^3/\text{m}^3_{\text{fuel}}$
$\text{CH}_4$	0.65	2	1.3	5564	0.65	1.3	4.89048	-
$\text{CO}$	0	0.5	0	0	0	-	0	-
$\text{CO}_2$	0.349	0	0	-	0.349	-	-	-
$\text{H}_2$	0	0.5	0	0	-	0	0	-
$\text{H}_2\text{S}$	0.001	1.5	0.0015	264.571	-	0.001	0.00564	0.001
$\text{O}_2$	0	-1	0	-	-	-	0	-
$\text{N}_2$	0	0	0	-	-	-	0	-

ตารางที่ ๒ การวิเคราะห์การเผาไหม้ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการคำนวณ

Theoretical combustion O <sub>2</sub> flow rate	1.3015	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>fuel</sub>
Theoretical combustion air flow rate	6.1976	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>fuel</sub>
Actual combustion O <sub>2</sub> flow rate	1.4993	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>fuel</sub>
Actual combustion air flow rate	7.1395	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>fuel</sub>
Air ratio	1.1475	-
Excess Air	12.8571	%
CO <sub>2</sub> in dried flue gas	0.9990	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>fuel</sub>
H <sub>2</sub> O in dried flue gas	1.3010	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>fuel</sub>
N <sub>2</sub> in dried flue gas	4.9977	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>fuel</sub>
SO <sub>2</sub> in dried flue gas	0.0010	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>fuel</sub>
O <sub>2</sub> in dried flue gas*	0.0270	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>fuel</sub>
<b>Total of flue gas</b>	<b>7.3257</b>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>fuel</sub>
<b>LHV of Biogas</b>	<b>5828.57</b>	kcal/m <sup>3</sup> <sub>fuel</sub>
	<b>24480.00</b>	kJ/m <sup>3</sup> <sub>fuel</sub>

ตารางที่ ๓ การวิเคราะห์ส่วนประกอบไอเสียที่ได้จากการคำนวณ

Results of Combustion Calculation					
Flue Gas Production Rate					
	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /m <sup>3</sup> <sub>N</sub> -fuel	volum. %	Molecular weight	Weight	weight %
O <sub>2</sub>	0.027	0.369	32	11.79	0.415
CO <sub>2</sub>	0.999	13.637	44	600.03	21.109
H <sub>2</sub> O	1.301	17.759	18	319.67	11.246
N <sub>2</sub>	4.998	68.221	28	1910.20	67.200
SO <sub>2</sub>	0.001	0.014	64	0.87	0.031
Total	7.326	100.000	-	2842.56	100.000
Air	7.139	-	-	-	-

ตารางที่ ๔.4 รายละเอียดการวิเคราะห์ที่ได้จากการคำนวณ

	TEMP.	Enthalpy	Heat Flow
	Deg.C	kcal/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	kcal/m <sup>3</sup> <sub>N-fuel</sub>
Inlet Condition	440	139.24	1020.00
Outlet Condition	355	110.10	806.57
Heat Absorption Including Heat-loss	kcal/m <sup>3</sup> <sub>N-fuel</sub>	213.43	

Inlet Condition

เงื่อนไขของไอดีเสียก่อนเข้าสู่ชุดตรวจวัดความร้อนสูญเสีย

Outlet Condition

เงื่อนไขของไอดีเสียออกจากชุดตรวจวัดความร้อนสูญเสีย

Heat Absorption Including Heat-loss

ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับจากไอดีเสีย

การวิเคราะห์ปริมาณความร้อนสูญเสียมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ปริมาณต่างๆดังนี้

ขั้นที่ 1 จากข้อมูลการทดสอบการหาปริมาณน้ำร้อนและอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างน้ำเข้าและน้ำออกของอุณหภูมิไอดีเสียเมื่อผ่านชุดทดสอบ เราสามารถหาปริมาณไอดีเสียที่ออกจากปล่องได้ดังต่อไปนี้

ข้อมูลจากการทดสอบได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิไอดีเสียเข้าสู่ชุดทดสอบ ( $T_{fluegasin}$ ) 440 (°C)
- อุณหภูมิไอดีเสียออกชุดทดสอบ ( $T_{fluegasout}$ ) 355 (°C)
- อุณหภูมิน้ำเข้า ( $T_{waterin}$ ) 28 (°C)
- อุณหภูมิน้ำออก ( $T_{waterout}$ ) 41 (°C)
- อัตราการไหลของน้ำ ( $m_w$ ) 0.34 (kg/s)

จากโปรแกรมช่วยการคำนวณคุณสมบัติของเชื้อเพลิงก๊าซ

- ค่าเอนทาลปีของไอเสียเข้าสู่ชุดทดสอบ ( $h_{fluegas\ in}$ ) 139.24 (kcal/m<sup>3</sup><sub>N</sub>)
- ค่าเอนทาลปีของไอเสียออกชุดทดสอบ ( $h_{fluegas\ out}$ ) 110.10 (kcal/m<sup>3</sup><sub>N</sub>)

จากคุณสมบัติมาตรฐาน

- ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ ( $C_{p\ water}$ ) 4.2 (kJ/kg.K)
- ค่าการแปลงหน่วย 1 (kcal) เท่ากับ 4.187 (kJ)

พิจารณาสมดุลพลังงานของชุดทดสอบการปริมาณน้ำร้อน และอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างน้ำเข้าและน้ำออกของอุณหภูมิไอเสีย (รูปที่ ฐ.1) โดยคิดว่าไม่มีการสูญเสียพลังงานให้กับสิ่งแวดล้อม จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้



รูปที่ ฐ.1 สมดุลพลังงานของชุดทดสอบ

$$\Delta Q_{water} = \Delta Q_{fluegas}$$

$$m_w \cdot c_p (T_{waterout} - T_{waterin}) = m_{fluegas} (h_{fluegas\ in} - h_{fluegas\ out})$$

ปริมาณไอเสียที่ออกจากปล่องไอเสีย ( $m_{fluegas}$ )

$$\begin{aligned} &= m_w \cdot c_p (T_{waterout} - T_{waterin}) / (h_{fluegas\ in} - h_{fluegas\ out}) \\ &= \frac{0.34 \text{ (kg/s)} \times 4.2 \text{ (kJ/kg.s)} \times (41 - 28) \text{ (}^\circ\text{C)}}{[139.24 \text{ (kcal/m}^3\text{N)} - 110.10 \text{ (kcal/m}^3\text{N)}] \times 4.187 \text{ (kJ/kcal)}} \\ &= 0.15 \text{ (m}^3_{fluegas}\text{/s)} \end{aligned}$$

ขั้นที่ 2 เมื่อทราบปริมาณไอเสียที่ออกจากปล่องไอเสีย นำมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนปริมาณไอเสียที่เกิดในการผลิตกับปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งค่าดังกล่าวได้มาจากการคำนวณของโปรแกรมสำเร็จรูป

จากโปรแกรมช่วยการคำนวณคุณสมบัติของเชื้อเพลิงก๊าซ

- ค่าอัตราส่วนปริมาณไอเสียที่เกิดในการผลิตกับปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซ ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า 7.325 7 (m<sup>3</sup><sub>flue</sub> / m<sup>3</sup><sub>fuel</sub>)

**Q**  
fluegas

ชุดท



ปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

$$\begin{aligned}
 &= 0.15 \text{ (m}^3_{\text{fuel}}/\text{s)} / 7.325 \text{ (m}^3_{\text{fuel}} / \text{m}^3_{\text{fuel}}) \\
 &= 0.02 \text{ (m}^3_{\text{fuel}}/\text{s)} \\
 &= 0.02 \text{ (m}^3_{\text{fuel}}/\text{s)} \times 3\,600.00 \text{ (s/hr)} \\
 &= 72 \text{ (m}^3_{\text{fuel}}/\text{hr)}
 \end{aligned}$$

ขั้นที่ 3 เมื่อปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า นำค่าดังกล่าวมาตรวจสอบความถูกต้องกับค่าเฉลี่ยของการใช้เชื้อเพลิงก๊าซในการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 หน่วย

จากข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของฟาร์มต่างๆ ที่เคยบันทึกข้อมูลไว้พบว่าส่วนใหญ่อัตราการใช้เชื้อเพลิงก๊าซในการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 หน่วย อยู่ที่ประมาณ 1.1-1.7 (kWh/m<sup>3</sup><sub>fuel</sub>) ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ Generator และการบำรุงรักษา

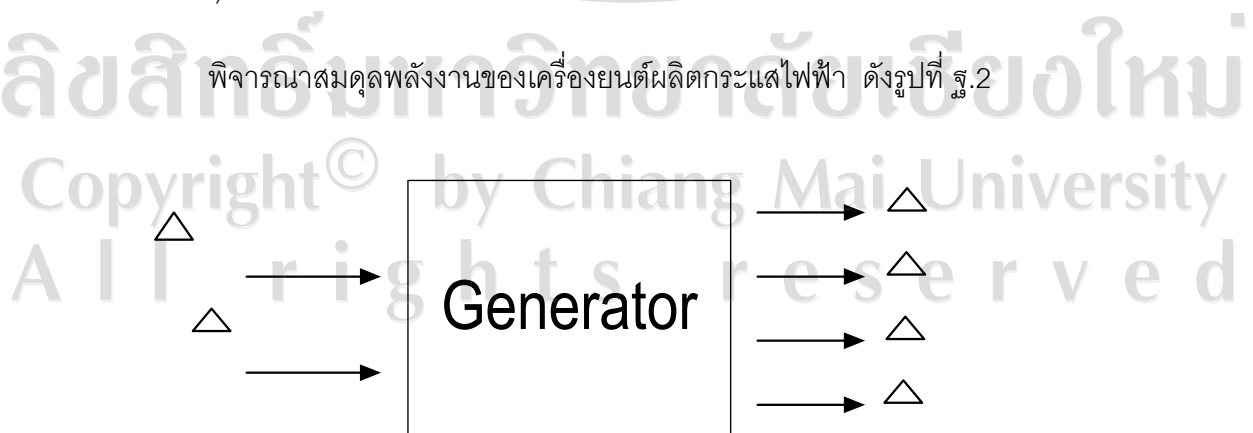
ข้อมูลจากการทดสอบปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ 68 (kW)

$$\begin{aligned}
 &\text{ค่าปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซที่ได้จากการคำนวณ } 72 \text{ (m}^3_{\text{fuel}}/\text{hr)} \text{ จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้} \\
 &= 68 \text{ (kW)} / 72 \text{ (m}^3_{\text{fuel}}/\text{hr)} \\
 &= 0.94 \text{ (kWh/m}^3_{\text{fuel}})
 \end{aligned}$$

ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าเฉลี่ยอาจมีสาเหตุมาจากประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลง เพราะค่าเฉลี่ยมักวัดตอนเริ่มติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ขั้นที่ 4 ทำการคำนวณหาประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าและสมดุลพลังงาน (Energy Balance)

พิจารณาสมดุลพลังงานของเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ ๒.2



รูปที่ ๒.2 สมดุลพลังงานของชุดทดสอบ

ข้อมูลจากการทดสอบได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

• อุณหภูมิไอดีเยเข้าชุดทดสอบ ( $T_{fluegasin}$ )	440	(°C)
• อุณหภูมิไอดีเยออกชุดทดสอบ ( $T_{fluegasout}$ )	355	(°C)
• อุณหภูมิน้ำเข้า ( $T_{waterin}$ )	28	(°C)
• อุณหภูมิน้ำออก ( $T_{waterout}$ )	41	(°C)
• อุณหภูมิอากาศเข้ารังผึ้ง ( $T_{airin}$ )	33.65	(°C)
• อุณหภูมิอากาศออกรังผึ้ง ( $T_{airout}$ )	47.94	(°C)
• ปริมาณอากาศเข้ารังผึ้ง ( $\dot{m}_{air}$ )	8.6	(m <sup>3</sup> /s)
• อัตราการไหลของน้ำ ( $\dot{m}_w$ )	0.34	(kg/s)
• ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ( $Q_{กระแสไฟฟ้า}$ )	68	(kW)

จากโปรแกรมช่วยการคำนวณคุณสมบัติของเชื้อเพลิงก๊าซ

• ค่าเอนทาลปีของไอดีเยเข้าชุดทดสอบ ( $h_{fluegasin}$ )	139.24	(kcal/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> )
• ค่าเอนทาลปีของไอดีเยออกชุดทดสอบ ( $h_{fluegasout}$ )	110.10	(kcal/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> )
• ค่าความร้อนขั้นต่ำ (LHV)	5 828.6	(kcal/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> )
• ปริมาณอากาศ ( $\dot{m}_{airfuel}$ )	0.021(m <sup>3</sup> <sub>air</sub> /s)/75.6 (m <sup>3</sup> <sub>air</sub> /hr)	
• ค่าเอนทาลปีของอากาศเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ( $h_{airfuel}$ )	$\approx 0$	(kcal/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> )

จากคุณสมบัติมาตรฐาน

• ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ ( $Cp_{water}$ )	4.2	(kJ/kg.K)
• ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ ( $Cp_{air}$ )	1.006	(kJ/kg.K)
• ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงก๊าซ ( $\rho_{fuel}$ )	1.15	(kg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> )
• ค่าความหนาแน่นของไอดีเย ( $\rho_{flue}$ )	1.1	(kg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> )
• ค่าความหนาแน่นของอากาศ ( $\rho_{air}$ )	1.2	(kg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> )
• ค่าการแปลงหน่วย 1 (kcal) เท่ากับ	4.187	(kJ)

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{เชื้อเพลิงก๊าซ}} &= \dot{m}_{fuel} LHV \\ &= 0.021 \text{ (m}^3_{\text{fuel}}/\text{s)} \times 5\,828.6 \text{ (kcal/m}^3\text{N)} \times 4.18 \\ &\text{ (kJ/kcal)} \end{aligned}$$

$$= 512.5 \quad (\text{kW})$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{อากาศ}} &= m \cdot \rho_{\text{air}} h_{\text{airfuel}} \\ &= 75.6 \text{ (m}^3\text{/hr)} \times 1.2 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 0 \\ &\quad ; \text{ ค่าเอนทาลปีมีค่าน้อยมาก} \\ &\approx 0 \quad (\text{kW}) \end{aligned}$$

$$\Delta Q_{\text{กระแสไฟฟ้า}} = 68 \quad (\text{kW})$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{ไอเสีย}} &= m \cdot h_{\text{fluegas}} \\ &= 0.15 \text{ (m}^3\text{/s)} \times 139.24 \text{ (kcal/m}^3\text{)} \times 4.187 \\ &\quad (\text{kJ/kcal}) \\ &= 87.4 \quad (\text{kW}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{นำระบายความร้อน}} &= m \cdot \rho_{\text{air}} C p_{\text{air}} (T_{\text{airout}} - T_{\text{airin}}) \\ &= 8.6 \text{ (m}^3\text{/s)} \times 1.2 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 1.006 \text{ (kJ/kg}\cdot\text{s)} \times \\ &\quad (47.94 - 33.65) \text{ (}^\circ\text{K)} \\ &= 148.5 \quad (\text{kW}) \end{aligned}$$

จากสมดุลพลังงาน

$$\begin{aligned} \sum Q_{in} &= \sum Q_{out} \\ \Delta Q_{\text{เชื้อเพลิงก๊าซ}} &= \Delta Q_{\text{กระแสไฟฟ้า}} + \Delta Q_{\text{ไอเสีย}} + \Delta Q_{\text{นำระบายความร้อน}} \\ &\quad + \Delta Q_{\text{อื่นๆ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{อื่นๆ}} &= \Delta Q_{\text{เชื้อเพลิงก๊าซ}} - \Delta Q_{\text{กระแสไฟฟ้า}} - \Delta Q_{\text{ไอเสีย}} \\ &\quad - \Delta Q_{\text{นำระบายความร้อน}} \end{aligned}$$

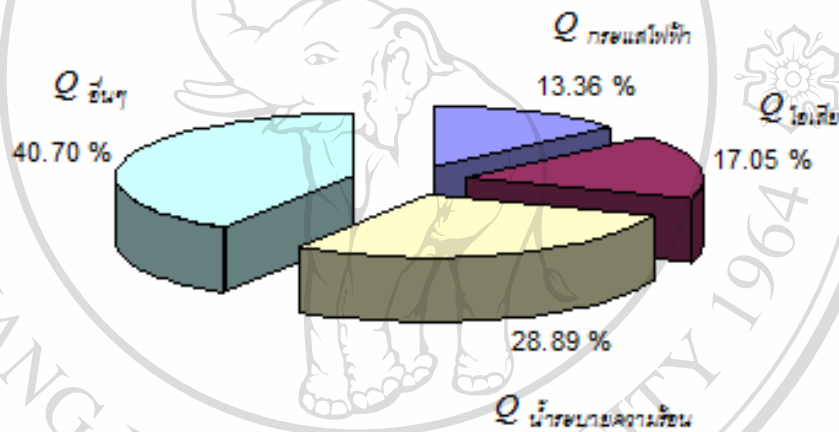
$$\Delta Q_{\text{อื่นๆ}} = 512.5 - 68 - 87.4 - 148.5 \quad (\text{kW})$$

$$= 208.6 \quad (\text{kW})$$

$\Delta Q_{\text{อื่นๆ}}$  ประกอบด้วยความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานของชิ้นส่วนที่สัมผัสกัน การสูญเสียในห้องเครื่อง การแผ่รังสีออกจากตัวเครื่องยนต์และอื่นๆ การเปรียบเทียบอัตราของพลังงานแต่ละส่วนของเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังตารางที่ ฐ.5 และรูปที่ ฐ.3

ตารางที่ ๕.5 แสดงการเปรียบเทียบอัตราของพลังงานแต่ละส่วน

Results of Heat flow		
Heat flow	kW	%
Q เชื้อเพลิงก๊าซ	512.5	100
Q กระแสไฟฟ้า	68.0	13.36
Q ไอเสีย	87.4	17.05
Q น้ำระบายความร้อน	148.5	28.89
Q อื่นๆ	208.6	40.70



รูปที่ ๕.3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราของพลังงานแต่ละส่วน

### ท) การแก้ไขทางวิศวกรรมของระบบควบคุมปริมาณการหมุนเวียนสารทำงาน

การควบคุมปริมาณการหมุนเวียนสารทำงาน คือ ควบคุมระดับของเหลวใน Generator และ Absorber ให้เหมาะสม มีความสมดุลเชิงมวล

ในการออกแบบทางความร้อนผลจากการออกแบบที่มีผลต่อการควบคุมปริมาณ และ อัตราการไหลเวียนของเหลวในระบบ คือ ขนาดความสามารถของ Solution Pump ซึ่งจากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 0.622 kg/s หรือ 0.27 m<sup>3</sup>/hr แต่ในความเป็นจริงพบว่า Pump ที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนของแอมโมเนีย สามารถสร้างระดับความดันให้แก่ระบบ (ประมาณ 16 Bar) และหาซื้อได้นั้น มีคุณสมบัติไม่ตรงความต้องการใช้งาน

Vertical multistage centrifugal pumps คือ Pump ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงและสามารถใช้ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมได้ โดยมีอัตราการไหลอยู่ที่ประมาณ 1.2-4.2 m<sup>3</sup>/hr สร้างความดันสูงสุดได้ประมาณ 25 Bar และเมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการจากการออกแบบทางความร้อนจะเห็นได้ว่า อัตราการไหลของ Pump ดังกล่าวมีค่ามากกว่าการออกแบบ ดังนั้นการควบคุมปริมาณการหมุนเวียนของสารทำงานในระบบจึงเป็นปัจจัยสำคัญอีกตัวหนึ่ง ที่มีผลต่อการทำงานของ Absorption Chiller

ปริมาณสารในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม มีสิ่งที่จะต้องควบคุมหลัก 3 ประการ คือ ปริมาณของเหลวใน Generator ปริมาณของเหลวใน Absorber และปริมาณสารไหลเวียนในระบบ ซึ่งการควบคุมทั้ง 3 หัวข้อมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- การควบคุมปริมาณของเหลวที่ Generator

ปัญหาที่พบ - เกิดการท่วมของสารละลายที่ Generator

วิธีแก้ปัญหา - ใส่อุปกรณ์วัดปริมาณของเหลวที่ทนต่อการกัดกร่อนของแอมโมเนียได้ที่ Generator นั่นคือ Float Switch สำหรับสารทำความเย็นโดยเฉพาะ ดังแสดงในรูปที่ ๗.1

- เพิ่มทางเดินท่อ Bypass ในระบบ

- ใส่ Solinoid Valve สำหรับควบคุมการ ปิด/เปิด วาล์วในทิศทางการไหลเวียนที่ต้องการ

- การควบคุมปริมาณของเหลวที่ Absorber

ปัญหาที่พบ - สารละลายขาดช่วง (แห้ง) ที่ Absorber

วิธีแก้ปัญหา - ใส่อุปกรณ์วัดปริมาณของเหลวที่ทนต่อการกัดกร่อนของแอมโมเนียได้ที่ Absorber นั่นคือ Float Switch สำหรับสารทำความเย็นโดยเฉพาะ ดังแสดงในรูปที่ ๓.1

- ใส่ Solinoid Valve สำหรับควบคุมการ ปิด/เปิด วาล์วในทิศทางการไหลเวียนที่ต้องการ



รูปที่ ๓.1 Float Switch สำหรับสารทำความเย็น

- การควบคุมปริมาณการไหลเวียน

ปัญหาที่พบ - อัตราการไหลมากเกินความต้องการ

วิธีแก้ปัญหา - เพิ่มทางเดินท่อ Bypass ในระบบ



- ใ้ Solinoid Valve สำหรับควบคุมการ ปิด/เปิด วาล์วในทิศทางการไหลเวียนที่ต้องการ



รูปที่ ๓.2 Solinoid Valve

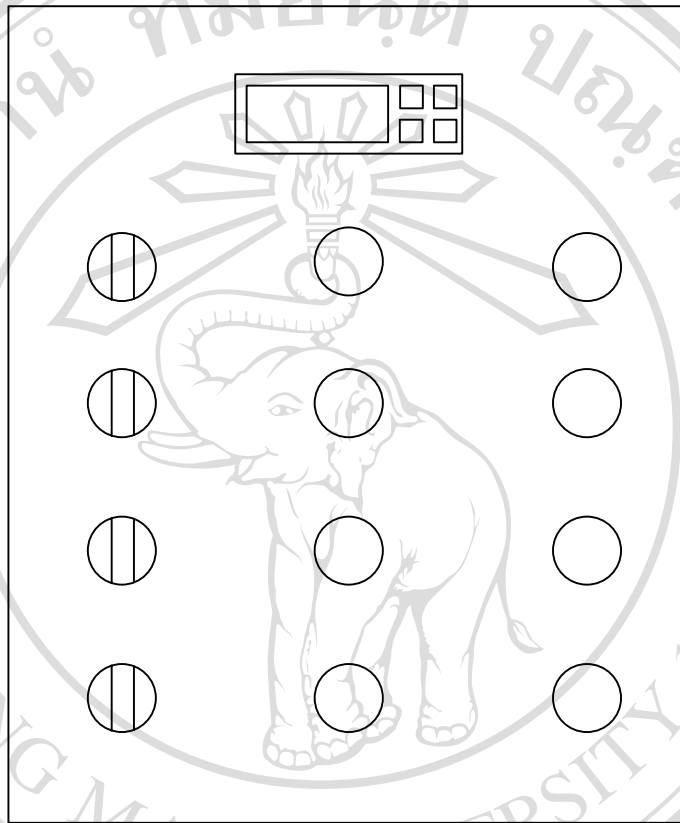
เมื่อทำการเพิ่มเติมอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น เข้าไปในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมดังแสดงรายละเอียดอุปกรณ์ในรูปที่ 3.8 พบว่าการควบคุมปริมาณสารทำงานในระบบมีความเสถียรภาพ และสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved



ฅ) ระบบไฟฟ้าและควบคุมการทำงานระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

แผนวงจรไฟฟ้าระบบควบคุมของห้องเย็นระบบทำความเย็นแบบดูดซึม มีลักษณะตำแหน่งการจัดวางและรายละเอียดของผู้ควบคุม ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ ฅ.1



รูปที่ ฅ.1 แสดงแผนควบคุมระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

สวิตช์ควบคุม

- Power : สวิตช์สำหรับปิด / เปิดไฟฟ้าเข้าระบบทำความเย็น (ระบบควบคุม อัตโนมัติ)
- Fan Coil : สวิตช์สำหรับปิด / เปิดพัดลม Fanciol
- Cooling Pump : สวิตช์สำหรับปิด / เปิด Cooling Pump
- EMS : สวิตช์สำหรับปิด / เปิด ระบบฉุกเฉิน

หลอดไฟแสดงสถานะการทำงาน

- Power : ไฟแสดงว่ามีไฟฟ้าจ่ายเข้าระบบทำความเย็น

On / Off  
Cooling Pump

On / Off

Tempera

Power

On / Off

Fan Coil

Fan

Solution Pump Run	:	ไฟแสดงว่าปั๊มสารละลายทำงาน
Fan Coil Pump Run	:	ไฟแสดงว่าพัดลมของ Fan Coil ทำงาน
Cooling Run	:	ไฟแสดงว่าพัดลมของ Cooling Tower ทำงาน
Overload	:	ไฟแสดงว่ามอเตอร์ของปั๊มเคมีเกิดการ over load
ADS Low	:	ไฟแสดงว่าระดับน้ำยาใน Absorber ต่ำ
Low Pressure	:	หลอดไฟจะติดเมื่อความดันในระบบมีต่ำเกินที่ตั้งไว้ ระบบจะหยุดการทำงานเองโดยอัตโนมัติ เมื่อความดันในระบบเพิ่มขึ้นในระดับปกติ ระบบจะทำงานอีกครั้งโดยอัตโนมัติ และหลอดไฟก็จะดับลง
Generator Temp Low	:	ไฟแสดงว่าอุณหภูมิน้ำยาใน Generator ต่ำ

โดยรายละเอียดคำอธิบายสัญลักษณ์ต่างๆ ของวงจรควบคุมการทำงานทางไฟฟ้าระบบทำความเย็นแบบดูดซึมในรูปที่ 3.8 แสดงดังตารางที่ ผ.1

ตารางที่ ผ.1 รายละเอียดอธิบาย Single line diagram absorption chiller

ลำดับที่	สัญลักษณ์	ชนิดอุปกรณ์	คำอธิบาย
00	EMS	Switch	- สวิตช์ EMS สำหรับ ปิด / เปิด ระบบฉุกเฉินแบบปกติปิด
01	S1	Switch	- สวิตช์ Power สำหรับ ปิด / เปิด ไฟฟ้าเข้าระบบทำความเย็น (ระบบควบคุมอัตโนมัติ)
02	TC	Temperature	- สวิตช์อัตโนมัติควบคุมการทำงานโดยใช้อุณหภูมิเป็นตัวกำหนด
	PS1	Pressure	- สวิตช์อัตโนมัติควบคุมการทำงานโดยใช้ความดันเป็นตัวกำหนด
	R2-01	Relay	- รีเลย์ช่วยให้เกิดการตัดต่อวงจรสำหรับการควบคุมอัตโนมัติแบบหน้าสัมผัสปกติเปิด
	S2	Switch	- สวิตช์ Fan Coil สำหรับ ปิด / เปิด พัดลม Fanciol เมื่อต้องการให้ทำงานตลอดเวลา
	S3	Switch	- สวิตช์ Cooling Pump สำหรับ ปิด / เปิด การ

ลำดับที่	สัญลักษณ์	ชนิดอุปกรณ์	คำอธิบาย
	L1	Level Switch	ทำงานของ Cooling Pump เมื่อต้องการให้ทำงานตลอดเวลา
	L2	Level Switch	สวิทช์อัตโนมัติควบคุมระดับของเหลว ทำงาน ปิด/เปิด โดยอาศัยระดับของเหลวที่กำหนดไว้ ณ Absorber เป็นตัวเกณฑ์
	CP	Magnetic Contactor	สวิทช์อัตโนมัติควบคุมระดับของเหลว ทำงาน ปิด/เปิด โดยอาศัยระดับของเหลวที่กำหนดไว้ ณ Generator เป็นตัวเกณฑ์
	FC	Magnetic Contactor	- แมกเนติก คอนแทคเตอร์ สำหรับตัดต่อวงจรการทำงานอัตโนมัติของ Cooling Pump แบบหน้าสัมผัสปกติเปิด
	SP	Magnetic Contactor	- แมกเนติก คอนแทคเตอร์ สำหรับตัดต่อวงจรการทำงานอัตโนมัติของ Fan Coil แบบหน้าสัมผัสปกติเปิด
03	R1	Relay	- รีเลย์ช่วยให้เกิดการตัดต่อวงจรสำหรับการควบคุมอัตโนมัติ เป็นขดลวดแม่เหล็ก
04	R2	Relay	- รีเลย์ช่วยให้เกิดการตัดต่อวงจรสำหรับการควบคุมอัตโนมัติ เป็นขดลวดแม่เหล็ก
05	r1	Lamp	- หลอดไฟแสดงสถานะสีแดง ทำงานเมื่อความดันในระบบมีค่าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ของ Pressure Switch
06	R1-01	Relay	- รีเลย์ช่วยให้เกิดการตัดต่อวงจรสำหรับการควบคุมอัตโนมัติแบบหน้าสัมผัสปกติเปิด
07	SV1	Soloid Valve	- วาล์ว ปิด/เปิด ควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้า ติดตั้งก่อนเข้า Expansion Valve
	FC	Magnetic	- แมกเนติก คอนแทคเตอร์ สำหรับตัดต่อวงจรการทำงาน

ลำดับที่	สัญลักษณ์	ชนิดอุปกรณ์	คำอธิบาย
		Contactor	ทำงานอัตโนมัติของ Fan Coil เป็นขดลวดแม่เหล็ก
08	CP	Magnetic Contactor	- แมกเนติก คอนแทคเตอร์ สำหรับตัดต่อวงจรการทำงานอัตโนมัติของ Cooling Pump เป็นขดลวดแม่เหล็ก
09	R1-02	Relay	- รีเลย์ช่วยให้เกิดการตัดต่อวงจรสำหรับการควบคุมอัตโนมัติแบบหน้าสัมผัสปกติปิด
10	T1-b	Timer	- รีเลย์ในการควบคุมการทำงานโดยการปรับตั้งเวลาชนิด On-delay (หน้าคอนแทคอยู่ในสภาพเดิมก่อนเมื่อครบกำหนดเวลาจะเปลี่ยนไปสภาวะตรงข้าม) แบบหน้าสัมผัสปกติปิด
	PS2	Pressure Switch	- สวิตช์อัตโนมัติควบคุมการทำงานโดยใช้ความดันเป็นตัวกำหนด
	R3-02	Relay	- รีเลย์ช่วยให้เกิดการตัดต่อวงจรสำหรับการควบคุมอัตโนมัติแบบหน้าสัมผัสปกติปิด
	T1-a	Timer	- รีเลย์ในการควบคุมการทำงานโดยการปรับตั้งเวลาชนิด On-delay (หน้าคอนแทคอยู่ในสภาพเดิมก่อนเมื่อครบกำหนดเวลาจะเปลี่ยนไปสภาวะตรงข้าม) แบบหน้าสัมผัสปกติเปิด
	R3-01	Relay	- รีเลย์ช่วยให้เกิดการตัดต่อวงจรสำหรับการควบคุมอัตโนมัติแบบหน้าสัมผัสปกติเปิด
	SP	Magnetic Contactor	- แมกเนติก คอนแทคเตอร์ สำหรับตัดต่อวงจรการทำงานอัตโนมัติของ Solution Pump แบบหน้าสัมผัสปกติเปิด
11	OL	Overload Relay	- โอเวอร์โหลดรีเลย์ ป้องกันมอเตอร์ของ Solution Pump ทำงานเกินกำลัง
12	SP	Magnetic Contactor	- แมกเนติก คอนแทคเตอร์ สำหรับตัดต่อวงจรการทำงานอัตโนมัติของ Solution Pump แบบหน้าสัมผัสปกติเปิด

ลำดับที่	สัญลักษณ์	ชนิดอุปกรณ์	คำอธิบาย
			ทำงานอัตโนมัติของ Solution Pump เป็นขดลวดแม่เหล็ก
13	r2	Lamp	- หลอดไฟแสดงสถานะสีแดง ทำงานเมื่อโอเวอร์โวลต์รีเลย์รับกระแสไฟฟ้าเกินค่าที่กำหนดไว้
14	T1	Timer	- รีเลย์ในการควบคุมการทำงานโดยการปรับตั้งเวลา ชนิด On-delay (หน้าคอนแทคอยู่ในสภาพเดิมก่อนเมื่อครบกำหนดเวลาจะเปลี่ยนไปสภาวะตรงข้าม) เป็นขดลวดแม่เหล็ก
15	T2	Timer	- รีเลย์ในการควบคุมการทำงานโดยการปรับตั้งเวลา ชนิด On-delay (หน้าคอนแทคอยู่ในสภาพเดิมก่อนเมื่อครบกำหนดเวลาจะเปลี่ยนไปสภาวะตรงข้าม) เป็นขดลวดแม่เหล็ก
	T1-b	Timer	- รีเลย์ในการควบคุมการทำงานโดยการปรับตั้งเวลา ชนิด On-delay (หน้าคอนแทคอยู่ในสภาพเดิมก่อนเมื่อครบกำหนดเวลาจะเปลี่ยนไปสภาวะตรงข้าม) แบบหน้าสัมผัสสปกติปิด
16	R3	Relay	- รีเลย์ช่วยให้เกิดการตัดต่อวงจรสำหรับการควบคุมอัตโนมัติ เป็นขดลวดแม่เหล็ก
17	SV3	Solinnoid Valve	- วาล์ว ปิด/เปิด ควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้า ติดตั้งหลังจากผ่าน Solution Pump ก่อนเข้า Rectifier
	SV4	Solinnoid Valve	- วาล์ว ปิด/เปิด ควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้า ติดตั้งหลังจากผ่าน Solution Pump ก่อนเข้า Absorber เป็น Bypass ควบคุมระดับของเหลว
18	r3	Lamp	- หลอดไฟแสดงสถานะสีแดง ทำงานเมื่อระดับของเหลวใน Absorber ต่ำกว่าค่าที่กำหนดของ Level Switch
19	SV2	Solinnoid Valve	- วาล์ว ปิด/เปิด ควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้า ติดตั้ง

ลำดับที่	สัญลักษณ์	ชนิดอุปกรณ์	คำอธิบาย
			หลังจากผ่าน Sub Cool ก่อนเข้า PRV
21	g1	Lamp	- หลอดไฟแสดงสถานะสีเขียว ทำงานเมื่อ Cooling Pump ทำงานปกติ
22	g2	Lamp	- หลอดไฟแสดงสถานะสีเขียว ทำงานเมื่อ Fan Coil ทำงานปกติ
23	g3	Lamp	- หลอดไฟแสดงสถานะสีเขียว ทำงานเมื่อ Solution Pump ทำงานปกติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright© by Chiang Mai University  
 All rights reserved



## ณ) อุปกรณ์การตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพของไอเสีย

อุปกรณ์การตรวจวัดไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า ในหัวข้อ 3.2.1 ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 4 อุปกรณ์ ดังนี้

1. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย ยี่ห้อ Testo ใช้ในการวัดอุณหภูมิและปริมาณส่วนประกอบและอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย เพื่อนำไปหาค่าความร้อนสูญเสียของก๊าซซึ่งภาพต่อไป แสดงดังรูปที่ ณ.1



รูปที่ ณ.1 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย

2. เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ ยี่ห้อ Testo ใช้วัดความเร็วของของไหลในท่อ (Fluid velocity) ให้เก็บข้อมูลความเร็วการไหลของลมออกจากรังผึ้งระบายอากาศของเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ ณ.2



รูปที่ ณ.2 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ

### 3. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermometer)

เครื่องวัดอุณหภูมิตัวที่ 1 ยี่ห้อ Kane-May รุ่น KM 340 สามารถวัดอุณหภูมิได้ถึง  $1\ 000\ ^\circ\text{C}$  ค่าความถูกต้อง  $\pm 2\ ^\circ\text{C}$  ใช้ในการวัดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกมาทางปล่องไอเสีย ของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ตลอดจนการใช้วัดอุณหภูมิของอากาศภายนอกของสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร แสดงดังรูปที่ ฅ.3



รูปที่ ฅ.3 เครื่องวัดอุณหภูมิตัวที่ 1 ยี่ห้อ Kane-May

เครื่องวัดอุณหภูมิตัวที่ 2 ยี่ห้อ Testo ใช้ในการวัดอุณหภูมิของน้ำ ของเหลว อากาศหรืออุณหภูมิสิ่งแวดล้อม แสดงดังรูปที่ ฅ.4



รูปที่ ฅ.4 เครื่องวัดอุณหภูมิตัวที่ 2 ยี่ห้อ Testo

ด) จำนวนรูของท่อถ่ายเทความร้อนที่เจาะบนแผ่นยึดท่อ

A.  $\frac{3}{8}$ -in. o.d. tubes on  $\frac{13}{16}$ -in. square pitch

Shell i.d., in.	T.E.M.A. P or S				T.E.M.A.U		
	Number of passes				Number of passes		
	1	2	4	6	2	4	6
8	55	48	34	24	52	40	32
10	88	78	62	56	90	80	74
12	140	138	112	100	140	128	108
13 1/4	178	172	146	136	180	164	148
15 1/4	245	232	208	192	246	232	216
17 1/4	320	308	274	260	330	312	292
19 1/4	405	392	352	336	420	388	368
21 1/4	502	484	442	424	510	488	460
23 1/4	610	584	536	508	626	596	562
25	700	676	618	600	728	692	644
27	843	812	742	716	856	816	780
29	970	942	868	840	998	956	920
31	1127	1096	1014	984	1148	1108	1060
33	1288	1250	1172	1148	1318	1268	1222
35	1479	1438	1330	1308	1492	1436	1388
37	1647	1604	1520	1480	1664	1620	1568
39	1840	1794	1700	1664	1882	1816	1754
42	2157	2112	2004	1968	2196	2136	2068
45	2511	2458	2326	2288	2530	2464	2402
48	2865	2808	2686	2656	2908	2832	2764
54	3656	3600	3462	3404	3712	3624	3556
60	4538	4472	4310	4256	4608	4508	4426

B.  $\frac{3}{8}$ -in. o.d. tubes on  $\frac{13}{16}$ -in. triangular pitch

Shell i.d., in.	T.E.M.A.L or M				T.E.M.A. P or S				T.E.M.A.U		
	Number of passes				Number of passes				Number of passes		
	1	2	4	6	1	2	4	6	2	4	6
8	64	48	34	24	34	32	16	18	32	24	24
10	85	72	52	50	60	62	52	44	64	52	52
12	122	114	94	96	109	98	78	68	98	88	78
13 1/4	151	142	124	112	126	120	106	100	126	116	108
15 1/4	204	192	166	168	183	168	146	136	180	160	148
17 1/4	264	254	228	220	237	228	202	192	238	224	204
19 1/4	332	326	290	280	297	286	258	248	298	280	262
21 1/4	417	396	364	348	372	356	324	316	370	352	334
23 1/4	495	478	430	420	450	430	392	376	456	428	408
25	579	554	512	488	518	498	456	444	534	500	474
27	676	648	602	584	618	602	548	532	628	600	570
29	785	762	704	688	729	708	650	624	736	696	668
31	909	878	814	792	843	812	744	732	846	812	780
33	1035	1002	944	920	962	934	868	840	978	928	904
35	1164	1132	1062	1036	1090	1064	990	972	1100	1060	1008
37	1304	1270	1200	1168	1233	1196	1132	1100	1238	1200	1152
39	1460	1422	1338	1320	1365	1346	1266	1244	1390	1336	1290
42	1703	1664	1578	1552	1611	1580	1498	1464	1632	1568	1524
45	1960	1918	1830	1800	1875	1834	1736	1708	1882	1820	1770
45	2242	2196	2106	2060	2132	2100	1998	1964	2152	2092	2044
54	2861	2804	2682	2660	2730	2684	2574	2536	2748	2680	2628
60	3527	3476	3360	3300	3395	3346	3228	3196	3420	3340	3286
66	4292	4228	4088	4044							
72	5116	5044	4902	4868							
78	6034	5964	5786	5740							
84	7005	6934	6766	6680							
90	8093	7998	7832	7708							
96	9203	9114	8896	8844							
105	11696	11618	11336	11268							
120	14459	14378	14080	13984							



C. 3/4-in. o.d. tubes on 1-in. square pitch

Shell i.d., in.	T.E.M.A. P or S				T.E.M. A. U		
	Number of passes				Number of passes		
	1	2	4	6	2	4	6
8	28	26	16	12	28	24	12
10	52	48	44	24	52	44	32
12	80	76	66	56	78	72	70
13 1/4	104	90	70	80	96	92	90
15 1/4	136	128	128	114	136	132	120
17 1/4	181	174	154	160	176	176	160
19 1/4	222	220	204	198	224	224	224
21 1/4	289	272	262	260	284	280	274
23 1/4	345	332	310	308	348	336	328
25	398	386	366	344	408	392	378
27	477	456	432	424	480	468	460
29	554	532	510	496	562	548	530
31	637	624	588	576	648	636	620
33	730	712	682	668	748	728	718
35	828	812	780	760	848	820	816
37	937	918	882	872	952	932	918
39	1048	1028	996	972	1056	1044	1020
42	1224	1200	1170	1140	1244	1224	1212
45	1421	1394	1350	1336	1436	1408	1398
48	1628	1598	1548	1536	1640	1628	1602
54	2096	2048	2010	1992	2108	2084	2068
60	2585	2552	2512	2476	2614	2584	2558

D. 3/4-in. o.d. tubes on 1-in. triangular pitch

Shell i.d., in.	T.E.M.A. L or M				T.E.M.A. P or S				T.E.M.A.U		
	Number of passes				Number of passes				Number of passes		
	1	2	4	6	1	2	4	6	2	4	6
8	42	40	26	24	31	26	16	12	32	24	24
10	73	66	52	44	56	48	42	40	52	48	40
12	109	102	88	80	88	78	62	68	84	76	74
13 1/4	136	128	112	102	121	106	94	88	110	100	98
15 1/4	183	172	146	148	159	148	132	132	152	140	136
17 1/4	237	228	208	192	208	198	182	180	206	188	182
19 1/4	295	282	258	248	258	250	228	220	266	248	234
21 1/4	361	346	318	320	320	314	290	276	330	316	296
23 1/4	438	416	382	372	400	384	352	336	400	384	356
25	507	486	448	440	450	442	400	392	472	440	424
27	592	574	536	516	543	530	488	468	554	528	502
29	692	668	632	604	645	618	574	556	648	616	588
31	796	774	732	708	741	716	666	648	744	716	688
33	909	886	836	812	843	826	760	740	852	816	788
35	1023	1002	942	920	950	930	878	856	974	932	908
37	1155	1124	1058	1032	1070	1052	992	968	1092	1056	1008
39	1277	1254	1194	1164	1209	1184	1122	1096	1224	1180	1146
42	1503	1466	1404	1372	1409	1378	1314	1296	1434	1388	1350
45	1726	1690	1622	1588	1635	1608	1536	1504	1652	1604	1560
48	1964	1936	1870	1828	1887	1842	1768	1740	1894	1844	1794
54	2519	2466	2380	2352	2399	2366	2270	2244	2426	2368	2326
60	3095	3058	2954	2928	2981	2940	2832	2800	3006	2944	2884
66	3769	3722	3618	3576							
72	4502	4448	4324	4280							
78	5309	5252	5126	5068							
84	6162	6108	5964	5900							
90	7103	7040	6898	6800							
96	8093	8026	7848	7796							
108	10260	10206	9992	9940							
120	12731	12648	12450	12336							

E. 1-in. o.d. tubes on 1 1/4-in. square pitch

Shell i.d., in.	T.E.M.A. P or S				T.E.M.A.U		
	Number of passes				Number of passes		
	1	2	4	6	2	4	6
8	17	12	8	12	14	8	6
10	30	30	16	18	30	24	12
12	52	48	42	24	44	40	32
13 1/4	61	56	52	50	60	48	44
15 1/4	85	78	62	64	80	72	74
17 1/4	108	108	104	96	104	100	100
19 1/4	144	136	130	114	132	132	120
21 1/4	173	166	154	156	172	168	148
23 1/4	217	208	194	192	212	204	198
25	252	240	230	212	244	240	230
27	296	280	270	260	290	284	274
29	345	336	310	314	340	336	328
31	402	390	366	368	400	384	372
33	461	452	432	420	456	444	440
35	520	514	494	484	518	504	502
37	588	572	562	548	584	576	566
39	661	640	624	620	664	644	640
42	776	756	738	724	764	748	750
45	900	882	862	844	902	880	862
48	1029	1016	984	972	1028	1008	1004
54	1310	1296	1268	1256	1320	1296	1284
60	1641	1624	1598	1576	1634	1616	1614

F. 1-in. o.d. tubes on 1 1/4-in. triangular pitch

Shell i.d., in.	T.E.M.A. L or M				T.E.M.A. P or S				T.E.M.A.U		
	Number of passes				Number of passes				Number of passes		
	1	2	4	6	1	2	4	6	2	4	6
8	27	26	8	12	18	14	8	12	14	12	6
10	42	40	34	24	33	28	16	18	28	24	24
12	64	66	52	44	51	48	42	44	52	40	40
13 1/4	81	74	62	56	73	68	52	44	64	56	52
15 1/4	106	106	88	92	93	90	78	76	90	80	78
17 1/4	147	134	124	114	126	122	112	102	122	112	102
19 1/4	183	176	150	152	159	152	132	136	152	140	136
21 1/4	226	220	204	186	202	192	182	172	196	180	176
23 1/4	268	262	236	228	249	238	216	212	242	224	216
25	316	302	274	272	291	278	250	240	286	264	246
27	375	360	336	324	345	330	298	288	340	320	300
29	430	416	390	380	400	388	356	348	400	380	352
31	495	482	452	448	459	450	414	400	456	436	414
33	579	554	520	504	526	514	484	464	526	504	486
35	645	622	586	576	596	584	548	536	596	572	548
37	729	712	662	648	672	668	626	608	668	636	614
39	808	792	744	732	756	736	704	692	748	728	700
42	947	918	874	868	890	878	834	808	890	856	830
45	1095	1068	1022	1000	1035	1008	966	948	1028	992	972
48	1241	1220	1176	1148	1181	1162	1118	1092	1180	1136	1100
54	1577	1572	1510	1480	1520	1492	1436	1416	1508	1468	1442
60	1964	1940	1882	1832	1884	1858	1800	1764	1886	1840	1794
66	2390	2362	2282	2260							
72	2861	2828	2746	2708							
78	3368	3324	3236	3216							
84	3920	3882	3784	3736							
90	4499	4456	4370	4328							
96	5144	5104	4986	4936							
108	6546	6494	6360	6300							
120	8117	8038	7870	7812							

ลิขสิทธิ์ © 2564  
 Copyright © Chulalongkorn University  
 All rights reserved

C. 1 1/4-in. o.d. tubes on 1 7/8-in. square pitch

Shell i.d., in.	T.E.M.A. P or S				T.E.M.A.U			
	Number of passes				Number of passes			
	1	2	4	6	2	4	6	
8	12	12	4	0	4	4	6	
10	21	12	8	12	12	8	12	
12	29	28	16	18	26	20	12	
13 1/4	38	34	34	24	36	28	15	
15 1/4	52	48	44	48	44	44	32	
17 1/4	70	66	56	50	60	60	56	
19 1/4	85	84	70	80	82	76	79	
21 1/4	108	108	100	96	100	100	100	
23 1/4	136	128	128	114	128	120	120	
25	154	154	142	136	154	148	130	
27	184	180	158	172	176	172	160	
29	217	212	204	198	212	204	198	
31	252	248	234	236	242	240	234	
33	289	276	270	264	280	280	274	
35	329	316	310	304	324	312	308	
37	372	368	354	340	358	352	350	
39	420	402	402	392	408	400	392	
42	485	476	468	464	480	476	464	
45	565	554	546	544	558	548	550	
48	653	636	628	620	644	628	632	
54	837	820	812	804	824	808	808	
60	1036	1028	1012	1008	1028	1016	1008	

H. 1 1/4-in. o.d. tubes on 1 7/8-in. triangular pitch

Shell i.d., in.	T.E.M.A. L or M				T.E.M.A. P or S				T.E.M.A.U			
	Number of passes				Number of passes				Number of passes			
	1	2	4	6	1	2	4	6	2	4	6	
8	15	10	8	12	13	10	4	0	6	4	6	
10	27	22	16	12	18	20	8	12	14	12	12	
12	38	36	26	24	33	26	26	18	28	20	18	
13 1/4	55	44	42	40	38	44	34	24	34	28	30	
15 1/4	66	64	52	50	57	58	48	44	52	48	40	
17 1/4	88	82	78	68	81	72	62	65	72	68	64	
19 1/4	117	106	98	96	100	94	86	80	90	84	78	
21 1/4	136	134	124	108	126	120	116	102	118	112	102	
23 1/4	170	164	146	148	158	146	132	132	148	132	120	
25	198	188	166	168	183	172	150	148	172	160	152	
27	237	228	208	192	208	206	190	180	200	188	180	
29	268	266	242	236	249	238	224	220	242	228	216	
31	312	304	284	276	291	282	262	256	282	264	250	
33	357	346	322	324	333	326	298	296	326	308	292	
35	417	396	372	364	372	368	344	336	362	344	336	
37	446	446	422	408	425	412	394	384	416	396	384	
39	506	490	472	464	478	468	442	432	472	444	428	
42	592	584	552	544	558	546	520	512	554	524	510	
45	680	676	646	632	646	634	606	596	636	624	592	
48	788	774	736	732	748	732	704	696	736	708	692	
54	1003	980	952	928	962	952	912	892	946	916	890	
60	1237	1228	1188	1152	1194	1182	1144	1116	1176	1148	1116	
66	1520	1496	1448	1424								
72	1814	1786	1736	1724								
78	2141	2116	2068	2044								
84	2507	2470	2392	2372								
90	2861	2840	2764	2744								
96	3275	3246	3158	3156								
108	4172	4136	4046	4020								
120	5164	5128	5038	5000								

ลิขสิทธิ์ © 2014 โดย Changwat University  
 All rights reserved



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย นัฐพร ไชยญาติ
เกิด	25 เมษายน พ.ศ. 2522
ที่อยู่	15 ม.1 ต.หนองหล่ม อ.ดอกคำใต้ จ.พะเยา 56120
โทรศัพท์	054-457159, 084-1763553
การศึกษา	มัธยมศึกษา : ม.1-ม.6 โรงเรียน พะเยาพิทยาคม (2539) ปริญญาตรี : วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2544)
การทำงาน	วิศวกร สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2548-ปัจจุบัน)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved