



เอกสารอ้างอิง

- 1 กิกร มังกรทอง สุภาพ ณ. เชียงใหม่ และ สุวิทย์ จักขุจินดา " การทำงานของตู้เย็นพลังงานแสงแดด " วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรกายภาพ (พลังงาน) ภาควิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ธันวาคม ๒๕๒๓
- 2 สมบัติ ชิมทรัพย์ " การทำความเป็นในระบับ ดูดละลาย " ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ สิงหาคม ๒๕๒๐
- 3 สุวิทย์ จักขุจินดา " การศึกษาตู้เย็นพลังงานแสงแดด " วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตุลาคม ๒๕๒๓
- 4 Chinnappa, J.C.V. Performance of an Intermittant Refrigerator Operated by a Flate Plate Collector. Solar Energy, Vol 6 , 1972.
- 5 Dossat, Roy J. Principle of Refrigeration. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc, New York, 1976.
- 6 Exell, R.H.B. ; Kornsakoo, Sommai, and Wijeratna, D.G.D.C. " The Design and Development of A Solar Powered Refrigerator." A II^o Research Report No.62, Bangkok, Thailand, February, 1976.
- 7 Gupta, C.L. " Solar Energy in India." Working papers Expert Working Group on the use of Wind and Solar Energy, Natural Resources Division, Escap, Bangkok, March, 1976.
- 8 John A. Duffie. and William A. Beckman, Solar Energy Thermal Process, John Wiley & Sons, New York, 1974.
- 9 Ozisik, Necati M. Basic Heat Transfer. Mc Graw-Hill, Inc, North

Carolina, 1977.

- 10 Sopcnronnarit, Somchart." Improvement in the Efficiency of the Solar Powered Refrigerator." Master's Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1977.
- 11 Swartman, P.K. and Swaminathan, C." Solar Powered Refrigerator." Mechanical Engineering, pp 22-24, 1971
- 12 Swartman, R.K.; H.A. V.H. and Newton, A.J. " Survey of Solar Power Refrigeration." The American Society of Mechanical Engineers, 73-wa/sol 6 August 1973
- 13 Sucharitkul, Thawan " Feed back Controlled Multi Axis Solar Tracking Device." Master's Thesis, Department of Mechanical Engineering, Florida Institute of Technology, 1980.
- 14 Williams, D.A.; Chung, R, GOG.; Fester, D.A. and Duffie, J.A. "Refrigerating Engineering." November, 1958
- 15 Wylen Gordon, J. and Sonntag Richard, E. Fundamental of Classical Thermodynamics. 2ed, John Wiley & Son, Inc, New York, 1976.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.



การหาประสิทธิภาพของ collector*

พิจารณา top loss

$$\text{จาก } U_t = \left[\frac{N}{(344/T_p) [(T_p - T_a)/(N+f)]^{0.31}} + \frac{1}{h_w} \right]^{-1} + \frac{6(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{[\epsilon_p + 0.0425 N(1 - \epsilon_p)]^{-1} + [(2N+f-1)/\epsilon_g]^{-N}}$$

U_t = top loss coefficient ที่มุมเอียง 45 องศา

N = จำนวนกระจกที่ใช้ปิด collector = 1

ϵ_g = emittance of glass = 0.88

ϵ_p = emittance of plate = 0.90

T_a = ambient temperature = 35°C = 308°K

T_p = plate temperature

h_w = wind heat transfer coefficient

$$= 5.7 + 3.8 v$$

ให้ v = wind velocity = 5 m/s

$$\text{จะได้ } h_w = 5.7 + 3.8 (5) = 24.7 \text{ W/m}^2\text{-K}$$

f = wind factor

*สูตรทั้งหมดที่นำมาจาก John A. Duffie and William A Beckman, Solar Energy Thermal process John Wiley & Sons, New York, 1974

$$\begin{aligned}
 f &= (1.0 - 0.04 h_w + 5 \times 10^{-4} h_w^2) (1 + 0.058N) \\
 &= (1.0 - 0.04 (24.7) + 5 \times 10^{-4} (24.7)^2) (1 + 0.058(1)) \\
 &= 0.335
 \end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned}
 U_t &= \left[\frac{1}{(344/T_p) [(T_p - 308)/(1 + 0.335)]^{0.31}} + \frac{1}{24.7} \right]^{-1} \\
 &+ \frac{5.6697 \times 10^{-8} (T_p + 308)(T_p^2 + 308^2)}{[0.9 + 0.0425 (1 - 0.9)]^{-1} + [(2 + 0.335 - 1)/0.88]^{-1}} \\
 U_t &= \left[\frac{1}{(344/T_p) [(T_p - 308)/1.335]^{0.31}} + 0.0405 \right]^{-1} \\
 &+ \frac{5.6697 \times 10^{-8} (T_p + 308)(T_p^2 + 94864)}{1.623} \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

จาก

$$U_t(s) = 1 - (s - 45)(0.00259 - 0.00144 s_p)$$

$$U_t(45)$$

เมื่อ

$$s = \text{มุมเชิงเป็นองศา} = 18 \text{ องศา}$$

$$U_t(18) = 1 - (18 - 45)(0.00259 - 0.00144(0.90))$$

$$U_t(45)$$

$$U_t(18) = 1.04 U_t(45) \dots\dots\dots(2)$$

พิจารณา bottom loss

ฉนวนด้านหลัง collector ถูกใส่ไว้ด้วย โยแก้ว โฟม และอากาศ ซึ่งมีค่า k แสดง

ดังตาราง

	k = thermal conductivity (W/m-°K)	L = ทน (m)
ใยแก้ว	0.034	0.05
โฟม	0.0375	0.10
อากาศ	0.026	0.07

bottom loss coefficient (U_b) =
$$\frac{1}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3}}$$

$$= \frac{1}{\frac{0.05}{0.034} + \frac{0.10}{0.375} + \frac{0.07}{0.026}}$$

$$= 0.226 \text{ W/m}^2\text{-}^\circ\text{K}$$

total loss (U_t) = $U_t + U_b$

$$U_t = U_t + 0.226 \dots\dots\dots(3)$$

จาก fin efficiency (F) = $\frac{\tanh m(W-D)/2}{m(W-D)/2}$

เมื่อ $m = \sqrt{\frac{U_t}{k\delta}}$

W = ระยะระหว่างท่อ (center to center) = 0.10 m

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อ = 0.0344 m

k = thermal conductivity ของเหล็กที่ใช้ทำท่อและ plate = 47.6 W/m-°K

δ = ความหนาของแผ่นเหล็กที่ใช้ทำ plate = 0.0032 m

จะได้
$$m = \sqrt{\frac{U_1}{47.6 \times 0.0032}} = \sqrt{\frac{U_1}{0.15232}} \dots\dots\dots(4)$$

และ fin efficiency (F) =
$$\frac{\tanh m (0.1 - 0.0334)/2}{m(0.1 - 0.0334)/2}$$

$$= \frac{\tanh 0.0333 m}{0.0333 m} \dots\dots\dots(5)$$

จาก collector efficiency factor (F') =
$$\frac{1/U_1}{W \left[\frac{1}{U_1 [D+(W-D)F]} + \frac{1}{cb} + \frac{1}{\pi D h_{fi}} \right]}$$

เมื่อ cb = bond conductance ระหว่าง plate กับท่อ = ∞ (ใช้เชื่อม)

$$h_{fi} = \text{convection coefficient} = 111 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (8)$$

$$D_i = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ} = 0.0266 \text{ m}$$

จะได้
$$F' = \frac{1/U_1}{0.1 \left[\frac{1}{U_1 [0.0334 + (0.1 - 0.0334)F]} + \frac{1}{111 \times \pi \times 0.0266} \right]} \dots\dots(6)$$

จาก heat removal factor (Fr) =
$$\frac{G \cdot C_p}{U_1} \left[1 - e^{-(U_1 F' / G C_p)} \right]$$

เมื่อ G = flow rate / area = 0.01 kg/m²-s (การไหลแบบธรรมชาติ)

Cp = specific heat ของสารละลาย = 4187 J/kg·K

จะได้
$$F_r = \frac{0.01 \times 4187}{U_1} \left[1 - e^{-(U_1 F' / 0.01 \times 4187)} \right] \dots\dots\dots(7)$$

จาก พลังงานที่ใช้ได้ (Q_u) =
$$F_r [s - U_1 (T_{fi} - T_a)]$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } T_{fi} &= \text{อุณหภูมิสารละลายก่อนเข้า collector} \\
 &= \frac{\text{อุณหภูมิสารละลายก่อน generation} + \text{อุณหภูมิสารละลายหลัง generation}}{2} \\
 &= \frac{337 + 356}{2} = 346 \text{ K} \quad (73^\circ\text{C})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \text{incident radiation on plate} \\
 &= \text{รังสีตกกระทบ} \times \text{transmittance} \times \text{absorptance} \\
 &= 693 \times 0.9 \times 0.9 = 562 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ } Q_u &= F_r (562 - U_l (346 - 308)) \\
 &= F_r (562 - 38U_l) \dots\dots\dots(8)
 \end{aligned}$$

$$\text{mean fluid temp } (T_{fm}) = T_{fi} + \frac{Q_u}{U_l F_r} \left[\frac{1 - F_r}{F'} \right]$$

$$\text{จะได้ } T_{fm} = 346 + \frac{Q_u}{U_l F_r} \left[\frac{1 - F_r}{F'} \right] \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{จาก } T_{pr} - T_{fm} = Q_u (h_{fi} \pi D_i n)^{-1}$$

$$\text{เมื่อ } n = \text{จำนวนท่อ} = 10 \text{ ท่อ / ตารางเมตร}$$

$$\text{จะได้ } T_{pr} = T_{fm} + Q_u [111 \times \pi \times 0.0266 \times 10]^{-1} \dots\dots\dots(10)$$

ทำการ iteration หาอุณหภูมิของ plate

$$\text{สมมติ อุณหภูมิของ plate} = 77^\circ\text{C} = 350 \text{ K}$$

$$\text{จากสมการ 1 ได้ } U_t = 7.562 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{จากสมการ 2 ได้ } U_t(18) = 7.864 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{จากสมการ 3 ได้ } U_l = 8.09 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{จากสมการ 4 ได้ } m = 7.288$$

$$\text{จากสมการ 5 ได้ } F = 0.98$$

$$\text{จากสมการ 6 ได้ } F' = 0.91$$

จากสมการ 7 ได้ $F_r = 0.834$

จากสมการ 8 ได้ $Q_u = 212 \text{ W/m}^2$

จากสมการ 9 ได้ $T_{fm} = 348.6 \text{ } ^\circ\text{K}$

จากสมการ 10 ได้ $T_{pm} = 350 \text{ } ^\circ\text{K}$ นับว่าใช้ได้

ดังนั้น อุณหภูมิของ plate ประมาณ $350 \text{ } ^\circ\text{K}$

collector efficiency = $\frac{\text{พลังงานใช้ประโยชน์}}{\text{พลังงานตกกระทบบ}}$

$$= \frac{Q_u}{G_{tc}}$$

$$= \frac{212}{693} = 0.306$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลจากการทดลองและผลจากการวิเคราะห์

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (Data) จะรายงานด้วยกราฟ และผลจากการวิเคราะห์ จะรายงานด้วยตารางเพื่ออำนวยความสะดวกในการอ่านและเปรียบเทียบ ผลจากการทดลองต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

ในช่วง generation process

1. การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ collector

การรายงานผลจะรายงานในรูปของกราฟโดยแกน y เป็น solar intensity มีหน่วยเป็น W/m^2 และแกน x เป็นเวลา เมื่อหาพื้นที่ใต้ curve ได้ก็สามารถนำมาหาพลังงานที่ตกลงบน collector ในวันนั้นได้ ซึ่งค่าที่อ่านได้ไม่เท่ากับพลังงานที่ตกลงบนพื้นโลก ในแนวราบ เพราะในการทดลองได้วาง pyranometer ทำมุมเท่ากับ collector ซึ่งมีมุมเอียง ๑๘ องศา กับพื้นโลก นอกจากนี้เพื่อความกระชับรัด การรายงานผลของการแผ่รังสีจึงได้ยกมาเพียงบางวันเท่านั้น เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของการแผ่รังสีในสภาวะต่าง ๆ เช่น เมฆมาก ไม่มีเมฆและฝนตก โดยได้ยกข้อมูลมาทั้งหมด ๓ วันคือ วันที่ ๒๘ กันยายน ๒๕๒๕ แสดงถึงวันที่มีเมฆมาก วันที่ ๔ ตุลาคม ๒๕๒๕ ไม่มีเมฆเลย และวันที่ ๗ ตุลาคม ๒๕๒๕ มีฝนตกในตอนบ่าย

2. อุณหภูมิของสารละลาย ความดันใน Collector และอุณหภูมิใน Condenser tank ค่าทั้งสามได้รายงานผลในรูปของกราฟ

ในช่วง Refrigeration Process

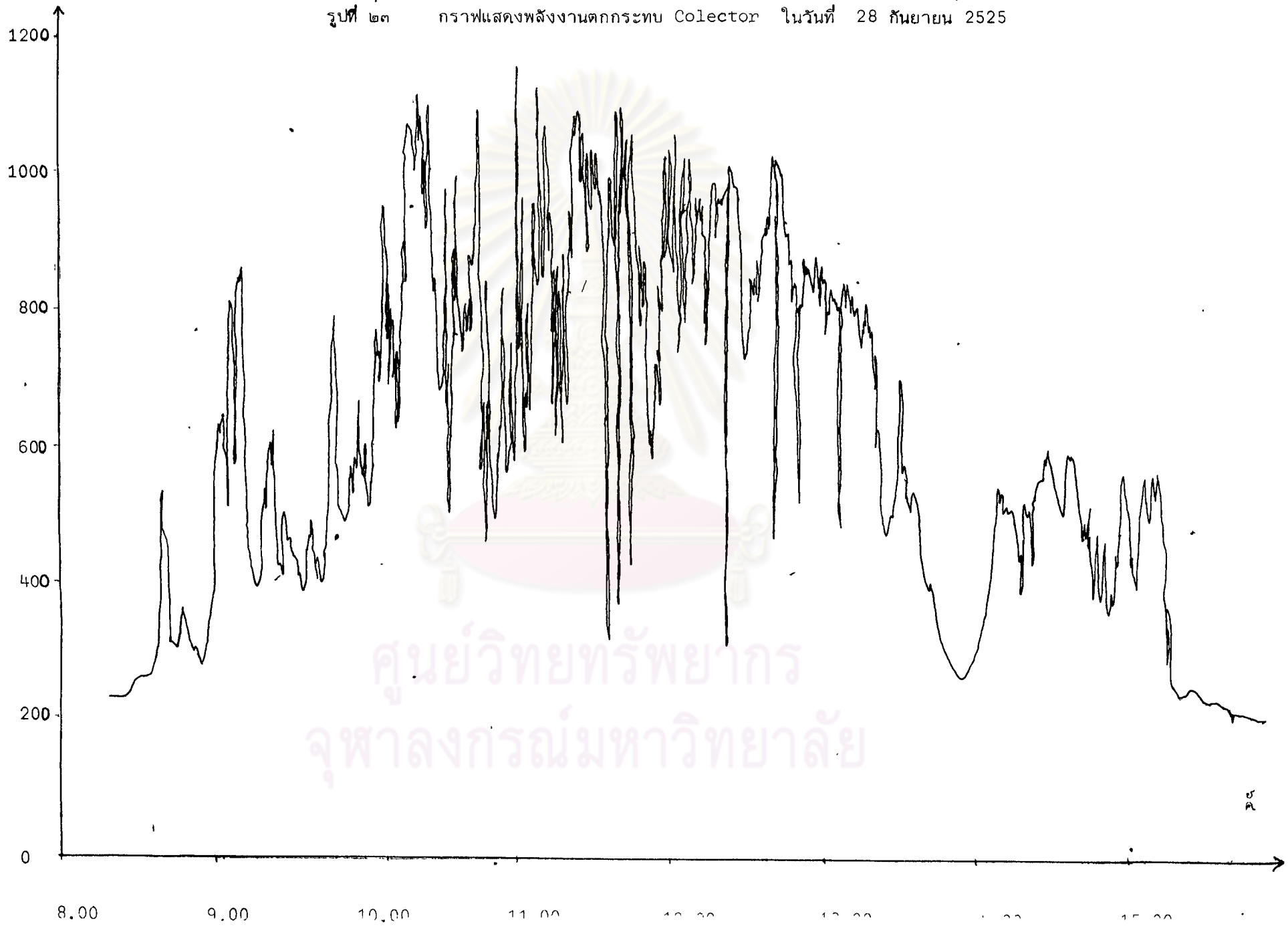
มีการรายงานผลของความดันในแหล่งดูดละลาย อุณหภูมิของสารทำความเย็นก่อนเข้า Evaporator Coil และอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจาก Evaporator Coil ในรูปของกราฟ

ผลจากการวิเคราะห์

ผลจากการวิเคราะห์ต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ ๒ และ ๓

Solar intensity (W/m^2)

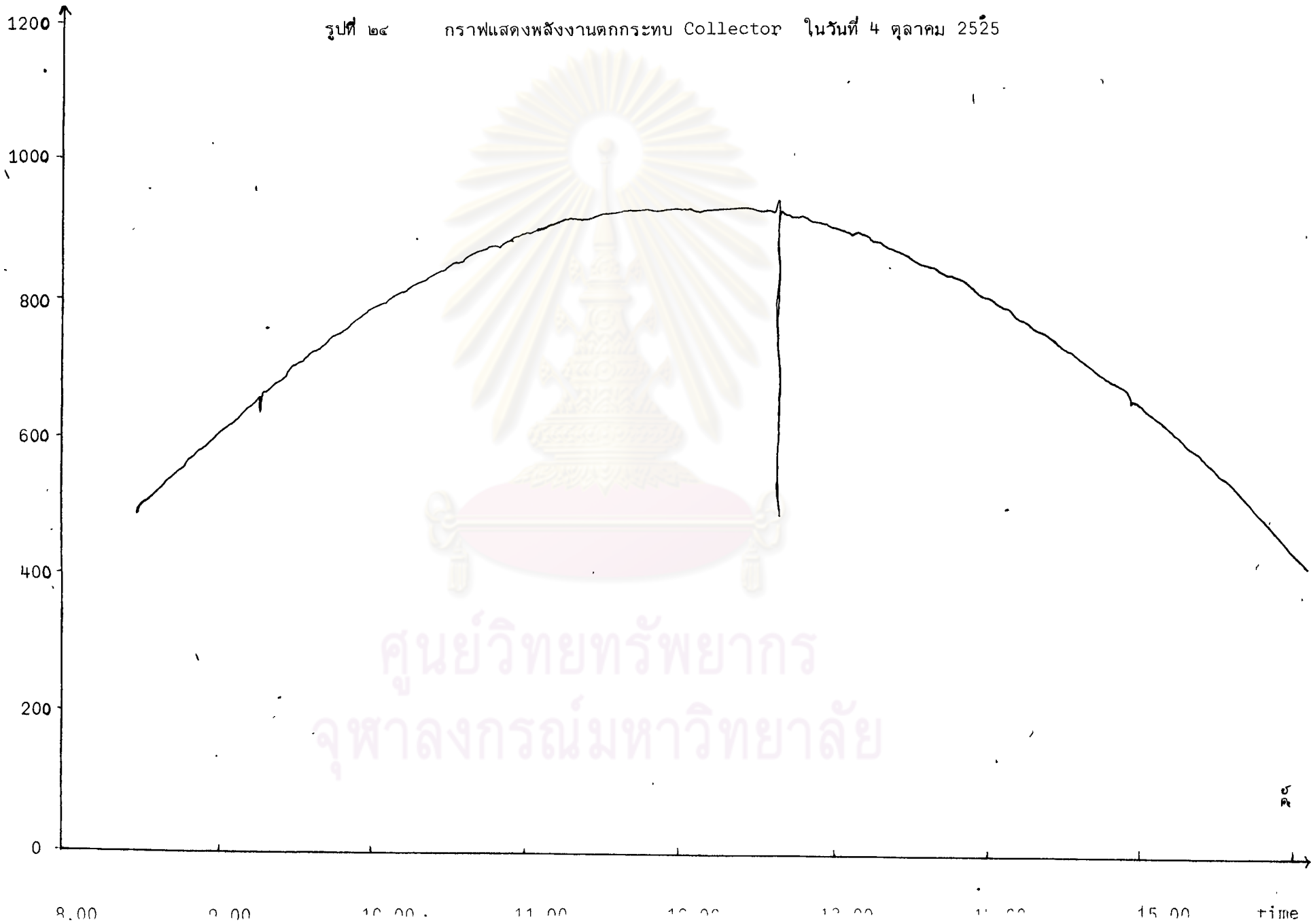
รูปที่ ๒๓ กราฟแสดงพลังงานตกกระทบบน Collector ในวันที่ 28 กันยายน 2525



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Solar intensity (W/m^2)

รูปที่ ๒๔ กราฟแสดงพลังงานตกกระทบบน Collector ในวันที่ 4 ตุลาคม 2525



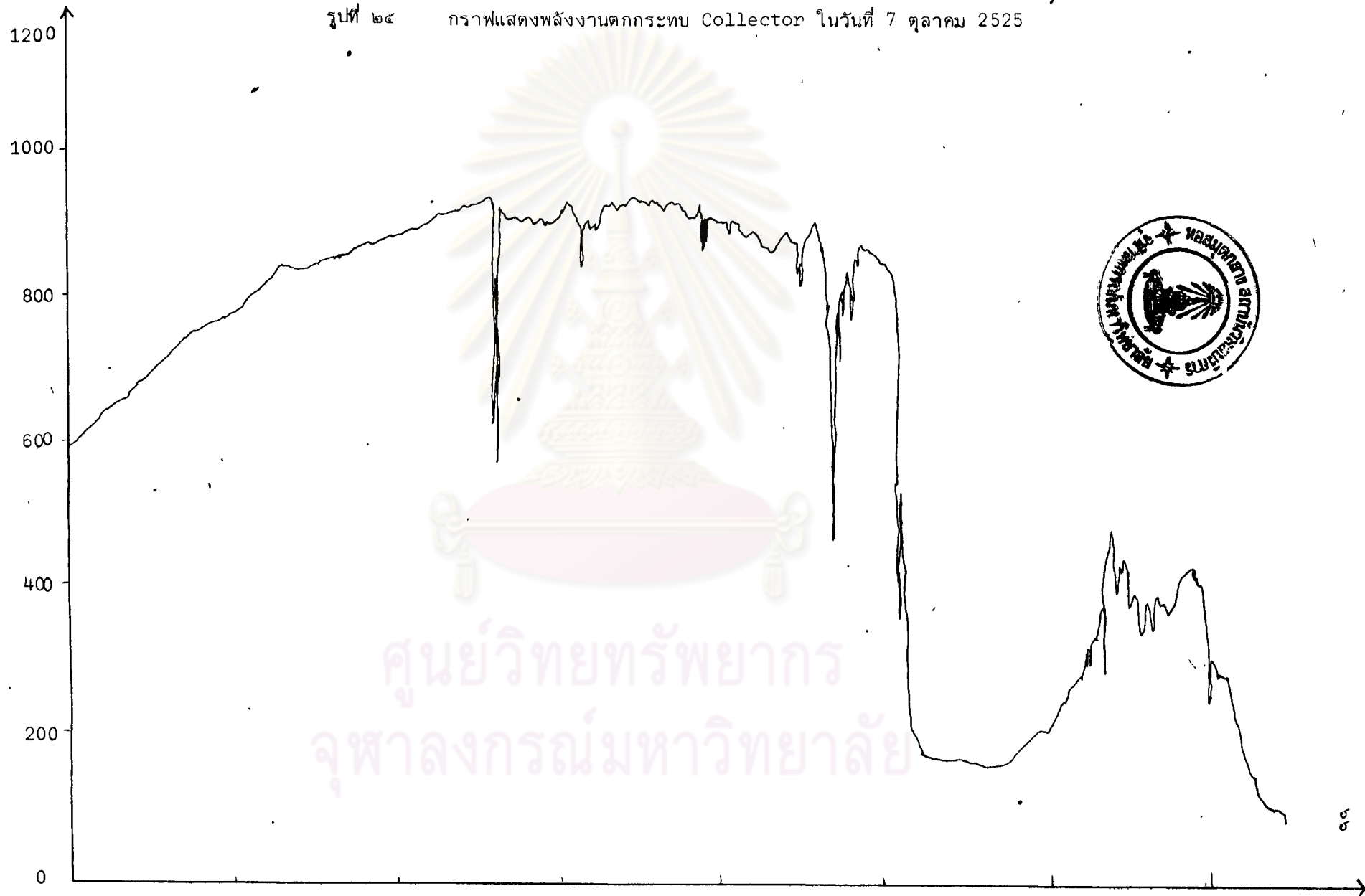
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๒๕

Solar intensity (W/m^2)

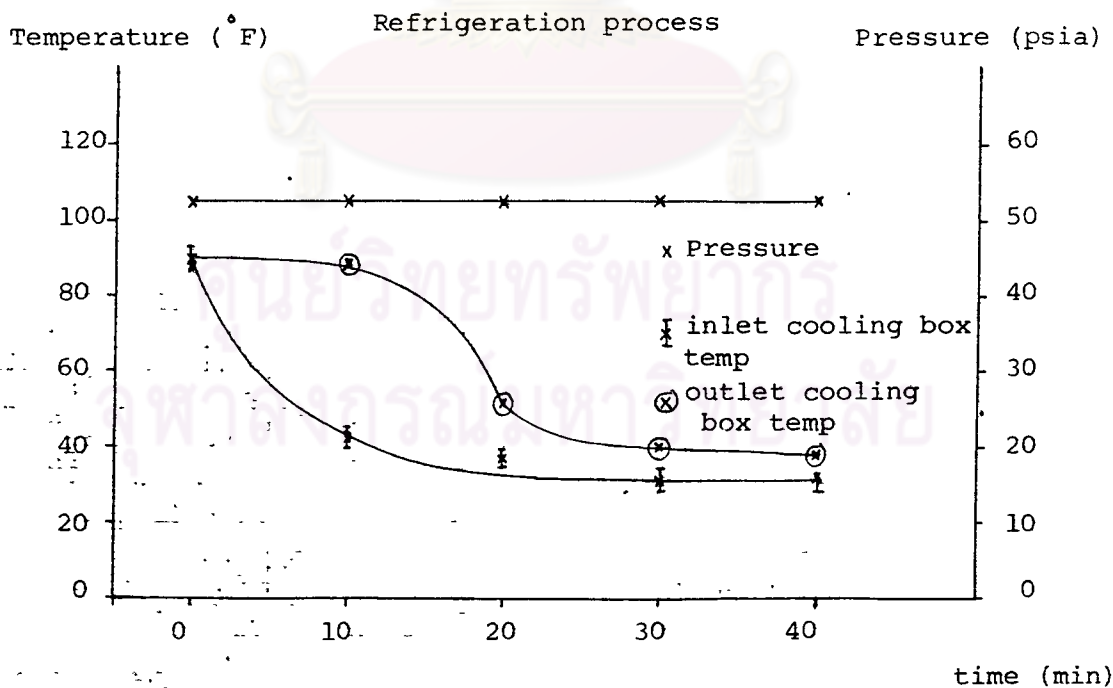
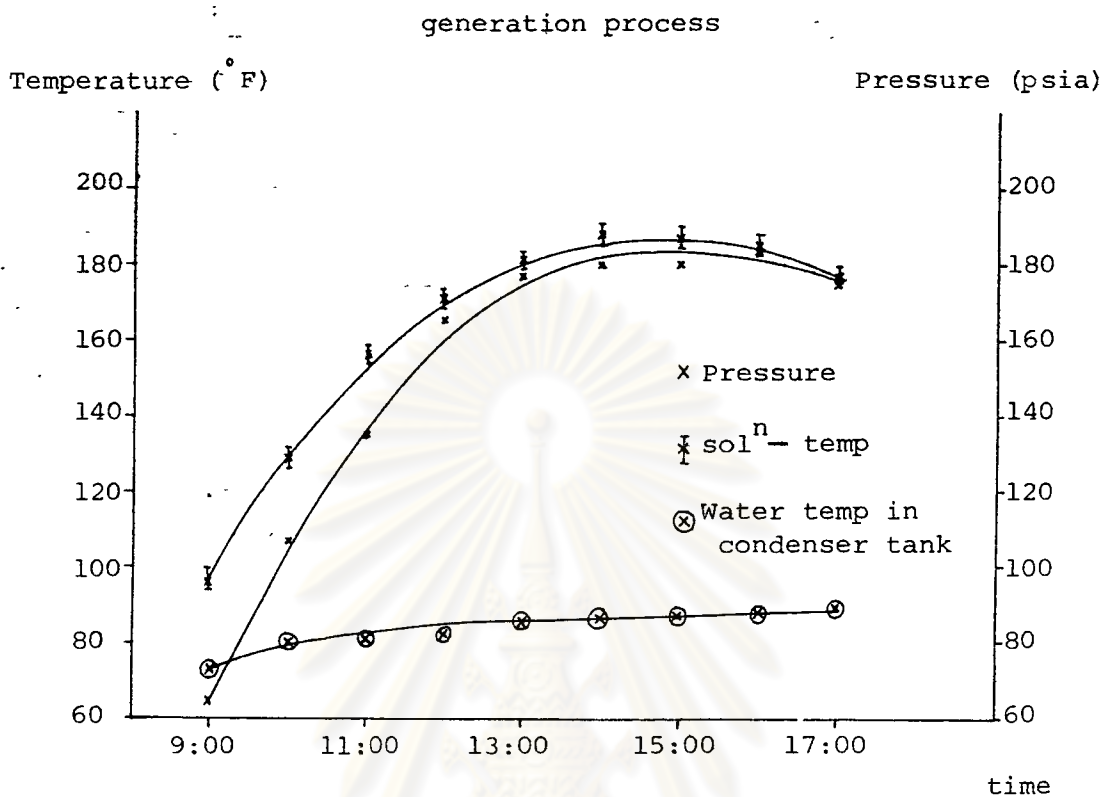
รูปที่ ๒๔

กราฟแสดงพลังงานตกกระทบบน Collector ในวันที่ 7 ตุลาคม 2525



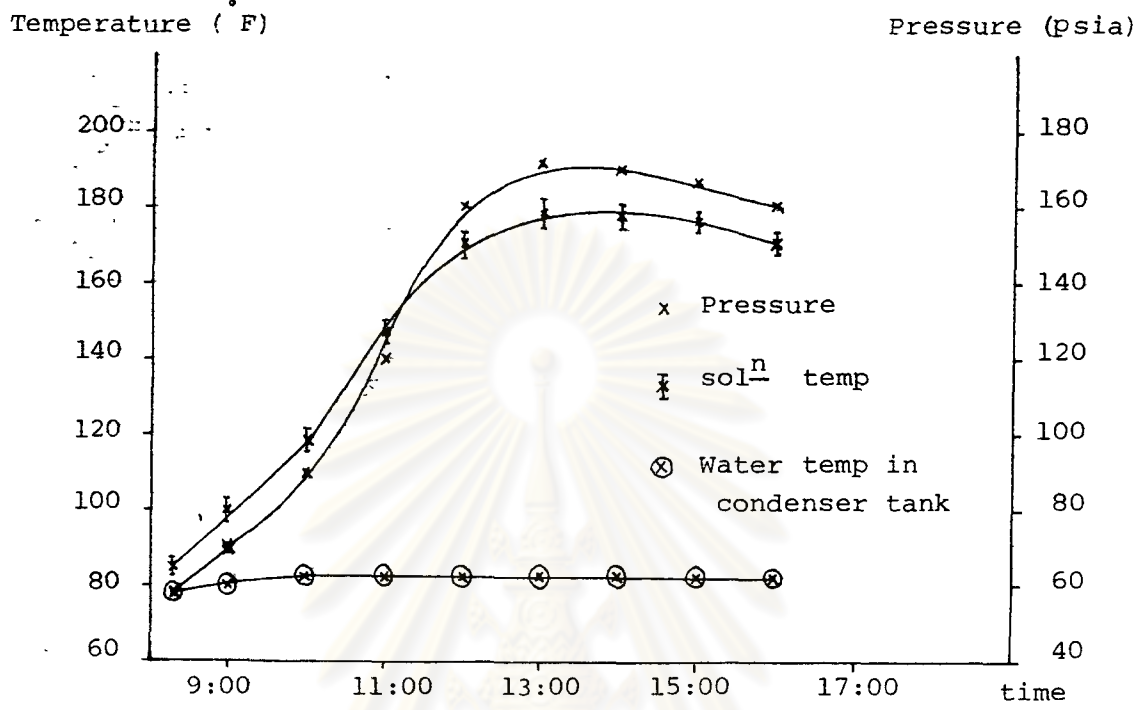
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๒๖ กราฟแสดงผลการทดลองในวันที่ ๑๙ กันยายน ๒๕๒๕ (แบบอัตโนมัติ)

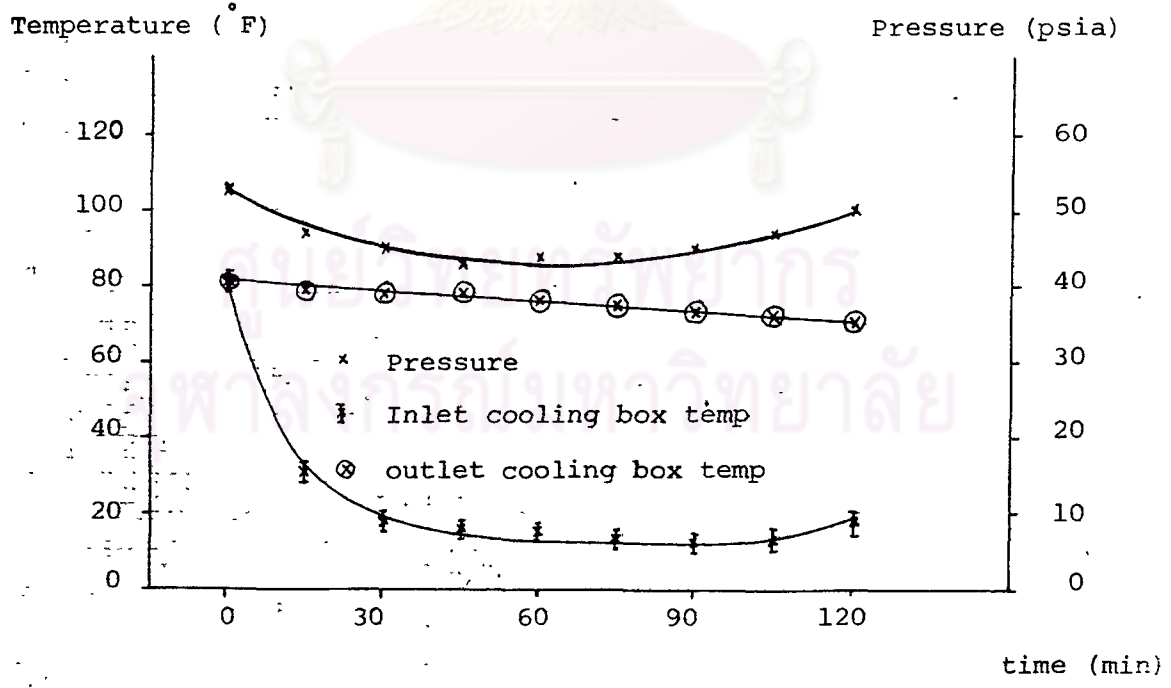


รูปที่ ๒๗ กราฟแสดงผลการทดลองในวันที่ ๒๔ กันยายน ๒๕๒๕ (แบบอัดโนมิติ)

generation process

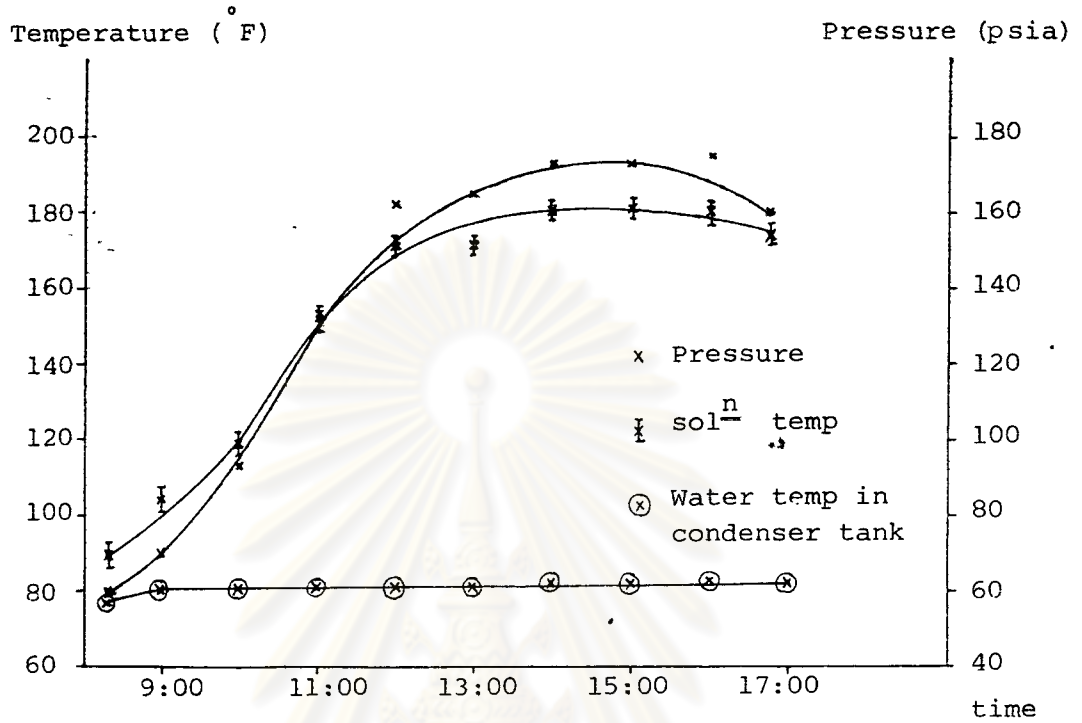


Refrigeration process

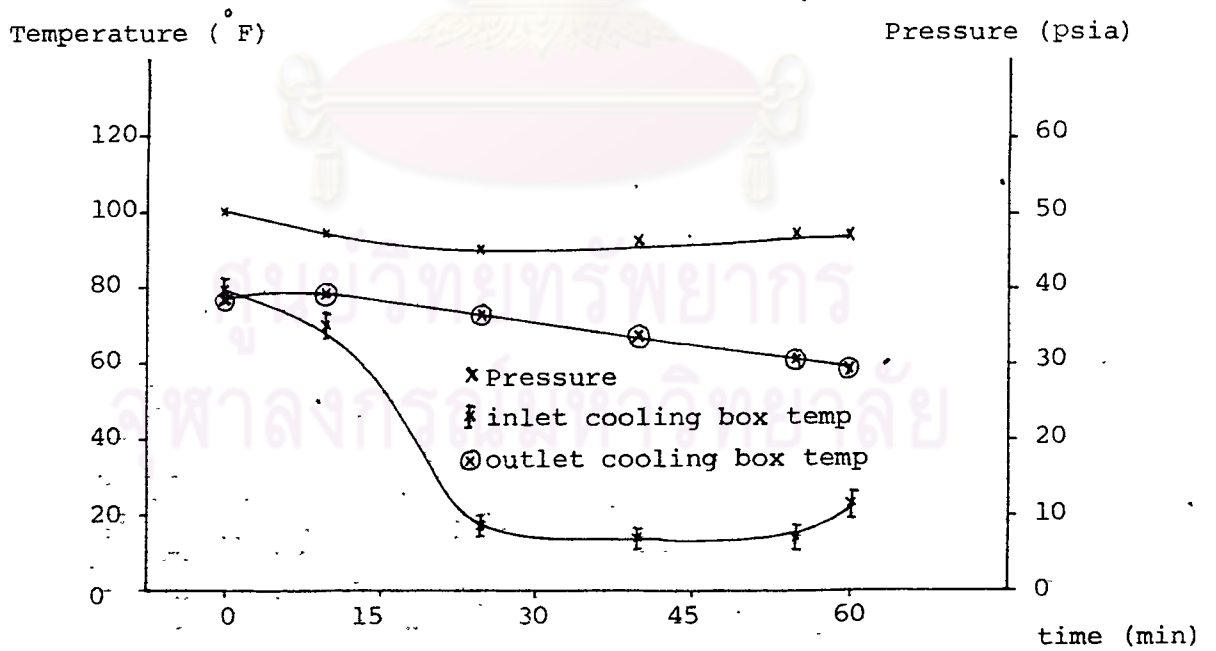


รูปที่ ๒๘ กราฟแสดงผลการทดลองในวันที่ ๓๐ กันยายน ๒๕๒๕ (แบบอัตโนมัติ)

generation process

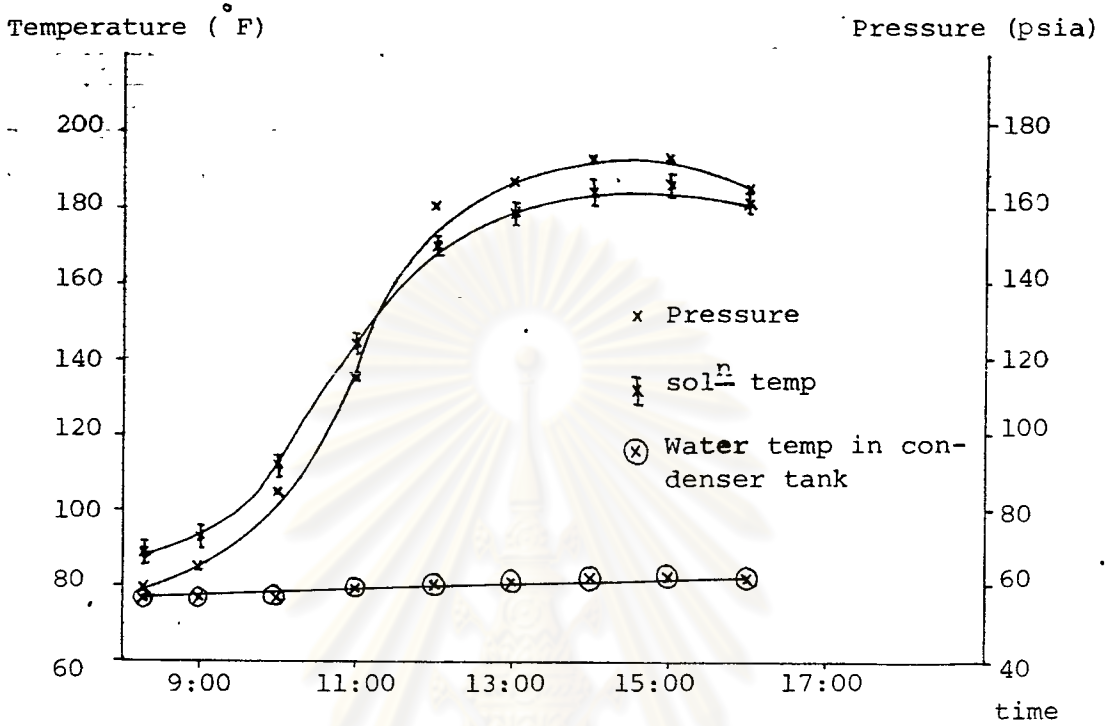


Refrigeration process

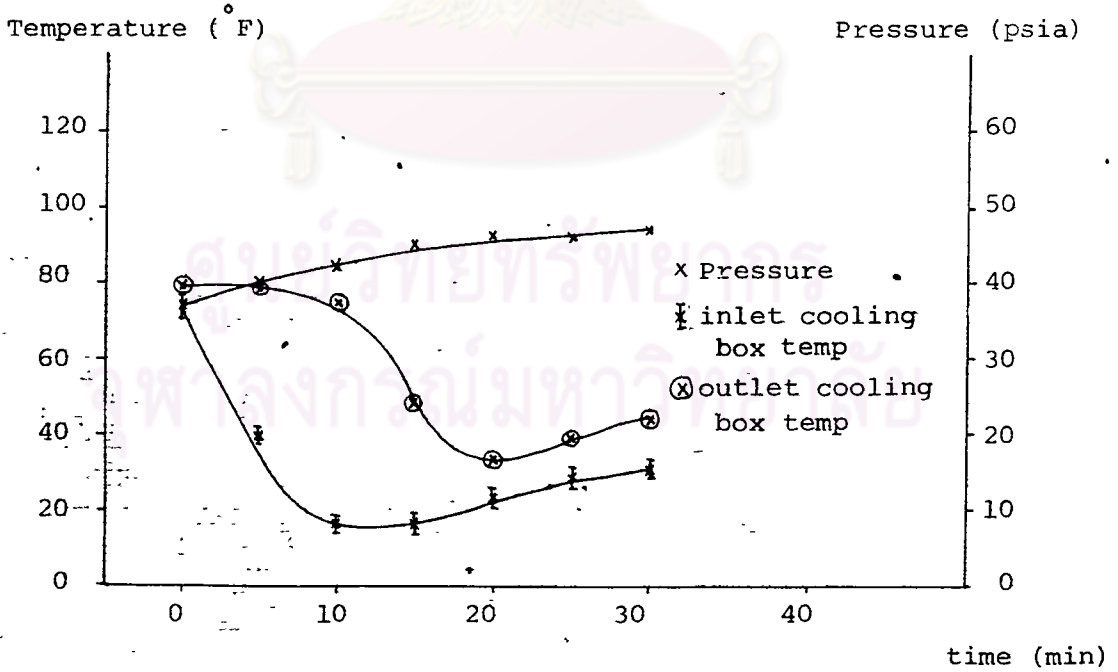


รูปที่ ๒๔ กราฟแสดงผลการทดลองในวันที่ ๑ ตุลาคม ๒๕๒๕ (แบบคนบังคับ)

generation process

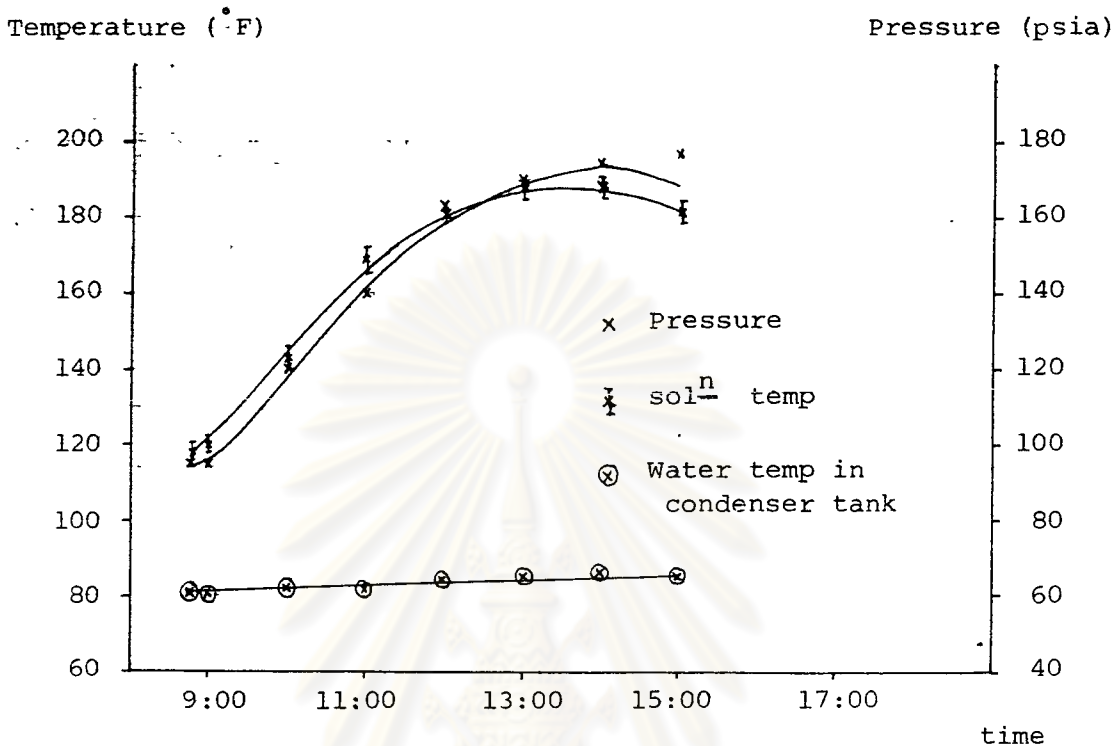


Refrigeration process

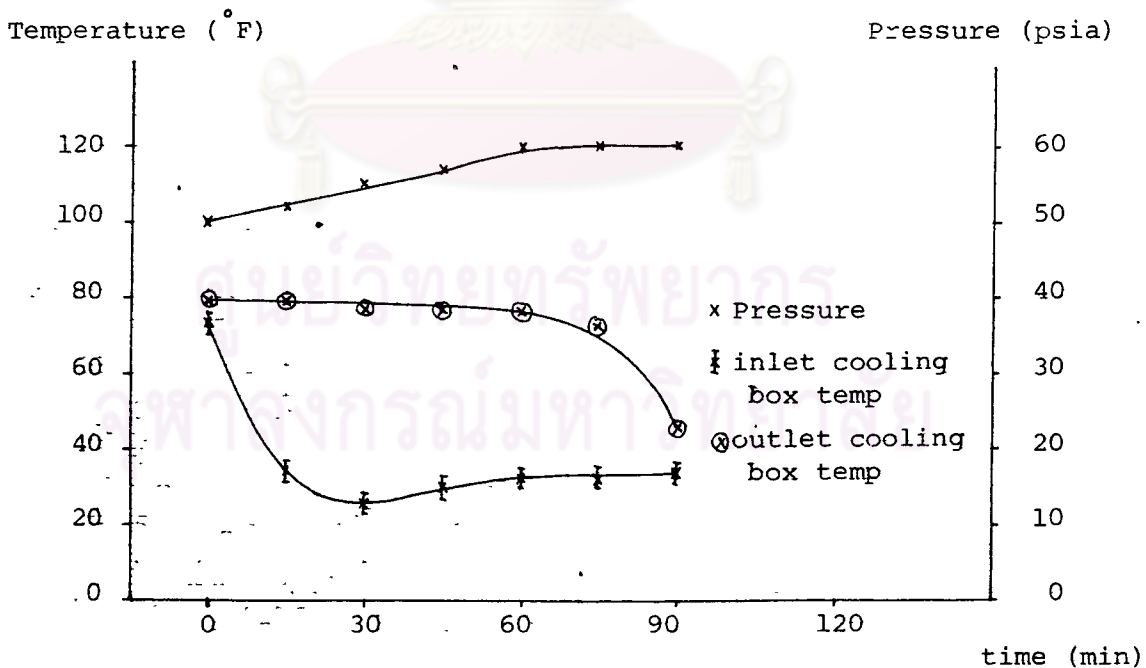


รูปที่ ๓๐ กราฟแสดงผลการทดลองในวันที่ ๒ ตุลาคม ๒๕๒๕ (แบบอัตโนมัติ)

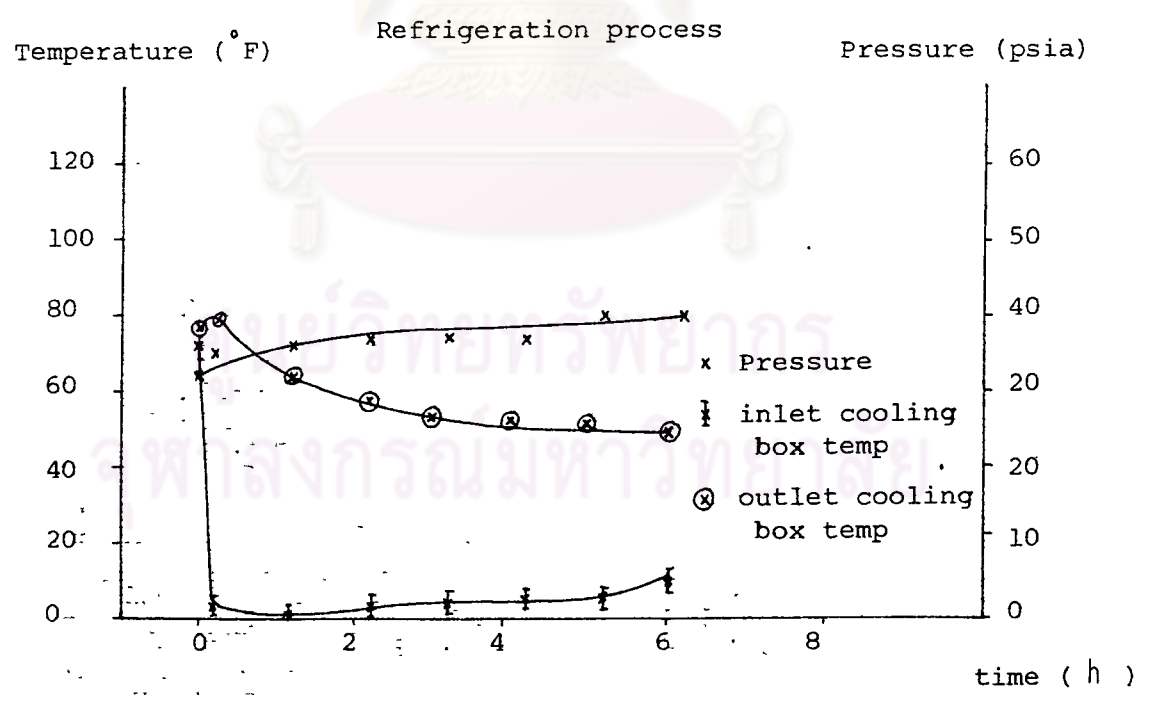
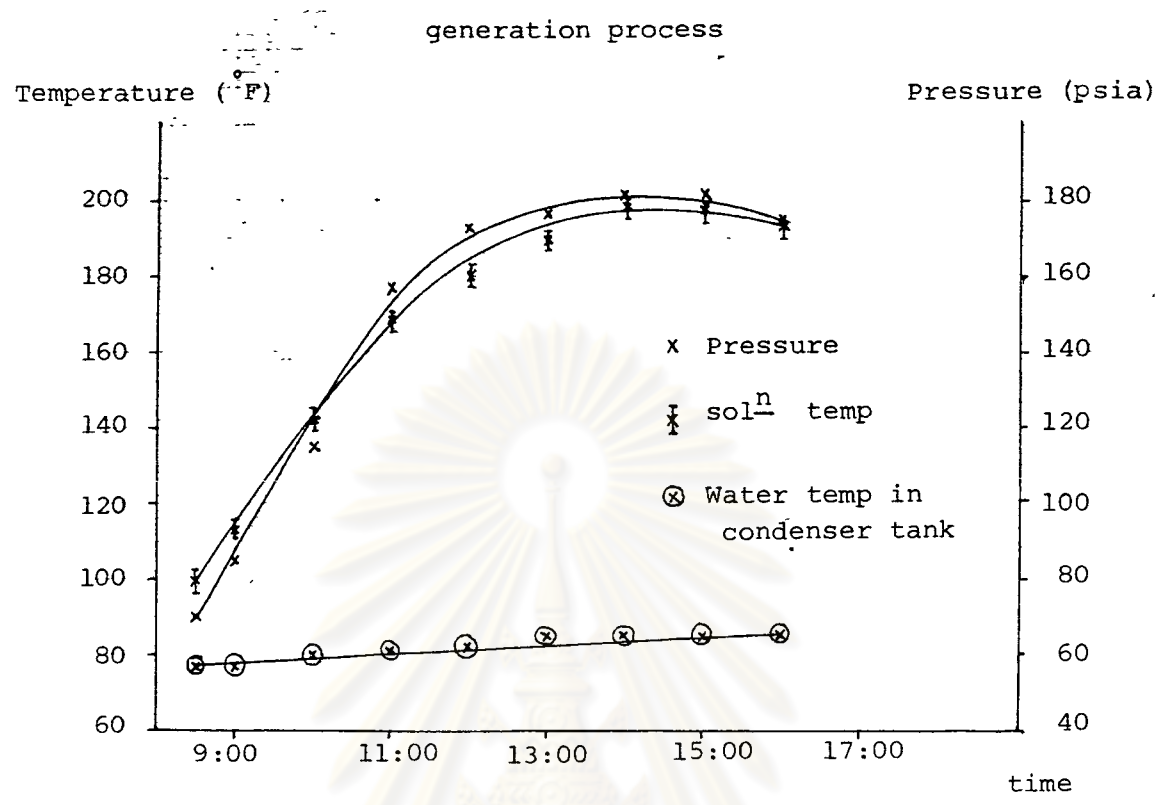
generation process



Refrigeration process

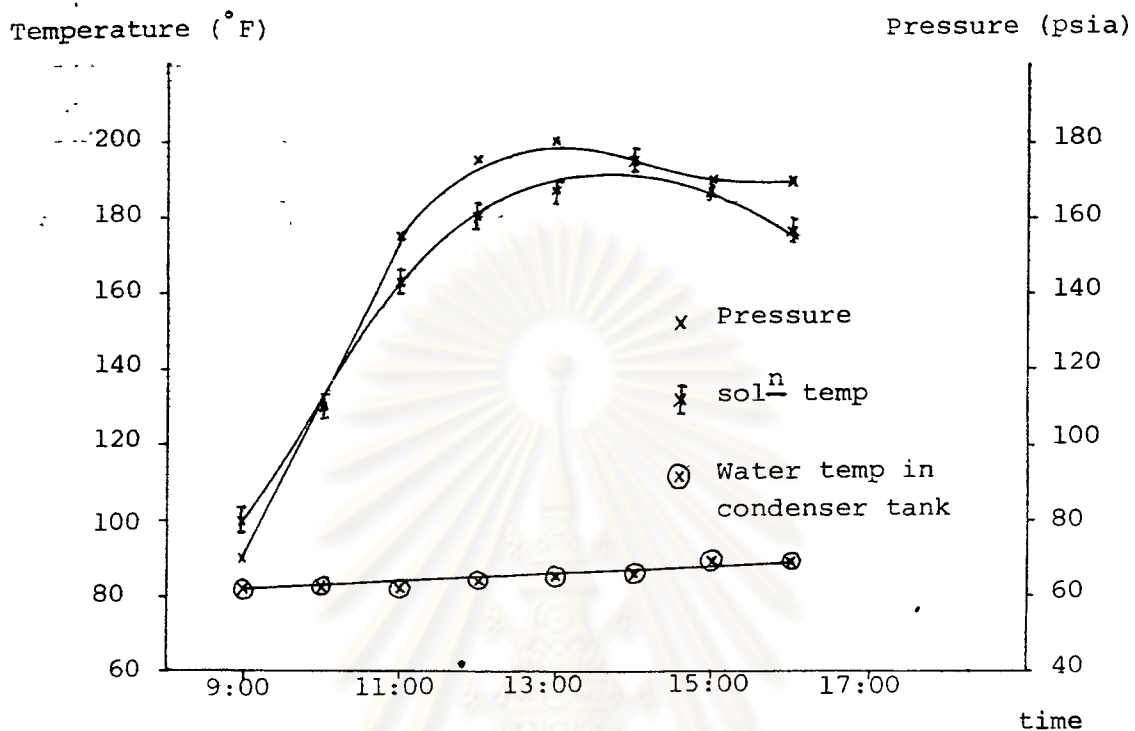


รูปที่ ๓๑ กราฟแสดงผลการทดลองในวันที่ ๔ ตุลาคม ๒๕๒๕ (แบบใช้คนบังคับ)

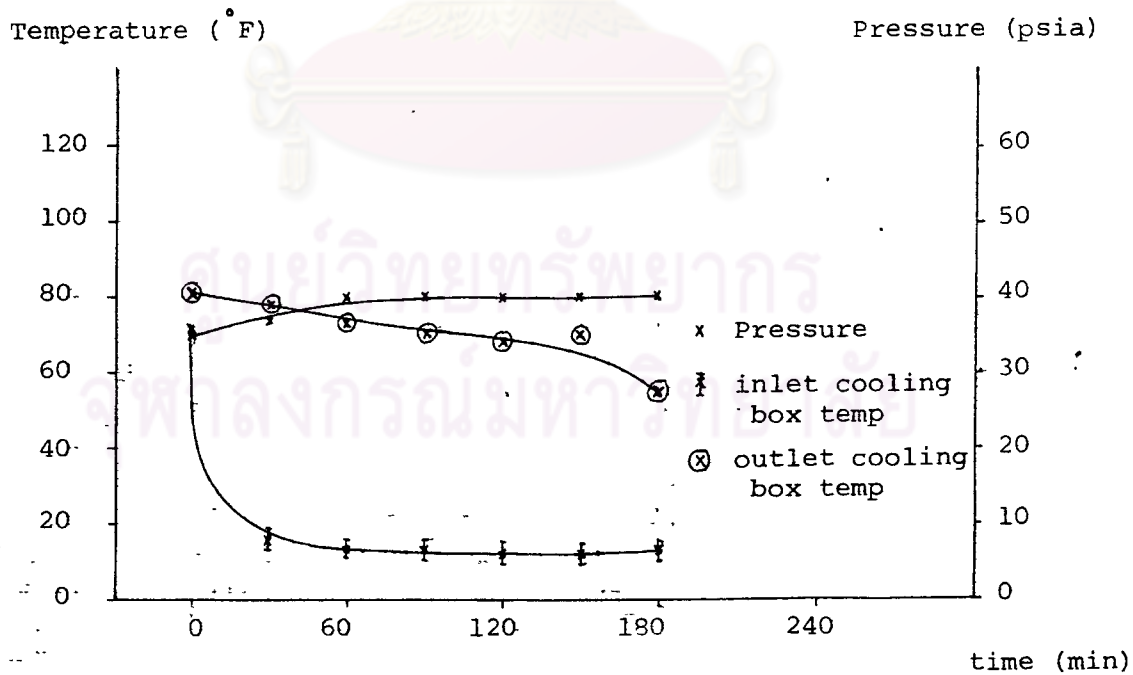


รูปที่ ๓๒ กราฟแสดงผลการทดลองในวันที่ ๗ ตุลาคม ๒๕๒๕ (แบบอัตโนมัติ)

generation process



Refrigeration process



ตารางที่ ๓ ข้อมูลและผลจากการทดลอง

	19/9/25	28/9/25	30/9/25	1/10/25
1. แบบ	อัดโนมัติ	อัดโนมัติ	อัดโนมัติ	อัดโนมัติ
2. generation process				
มวล ของสารละลายตอนเริ่มต้น(lb)	67.2	67.2	67.2	67.2
อุณหภูมิของสารละลายตอนเริ่มต้น(°F)	97	90	90	89
ความดันของสารละลายตอนเริ่มต้น(psia)	65	58	60	60
อุณหภูมิสูงสุดของสารละลาย(°F)	189	178	181	186
ความดันสูงสุดของสารละลาย(psia)	183	172	175	173
ความเข้มข้นตอนเริ่มต้น	0.5	0.5	0.5	0.5
ความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดขบวนการ generation process	0.41	0.44	0.43	0.42
ปริมาณของแอมโมเนียที่ควบแน่น(lb)	7.2	6.77	8.25	9.27
พลังงานจากแสงอาทิตย์(MJ/m ²)	20.5	15.40	17.12	18.20
3. Refrigeration process				
อุณหภูมิเริ่มต้นของสารละลาย(°F)	83	95	100	87
อุณหภูมิตอนสุดท้ายของสารละลาย(°F)	86	80	77	77
ความดันตอนเริ่มต้นของสารละลาย(psia)	55	50	50	37
ความดันตอนสุดท้ายของสารละลาย(psia)	55	50	47	47
4. ผลจากการทดลอง				
Cooling Ratio	0.29	0.31	0.35	0.34
Solar Coefficient of performance	0.06	0.08	0.09	0.09
อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำใน Cooling box(°F)	82	81	84	84
ปริมาณน้ำแข็ง (kg)	-	-	1	2.5
ปริมาณน้ำที่ 32°F (kg)	-	-	9	7.5
อื่น ๆ	น้ำ 36°F 10 kg.	น้ำ 40°F 10 kg.	-	-

	2/10/25	4/10/25	7/10/25
1. แบบ	อัตโนมัติ	คนบังคับ	อัตโนมัติ
2. generation process			
มวล ของสารละลายตอนเริ่มต้น(lb)	67.2	67.2	67.2
อุณหภูมิของสารละลายตอนเริ่มต้น(°F)	118	100	100
ความดันของสารละลายตอนเริ่มต้น(psia)	95	69	70
อุณหภูมิสูงสุดของสารละลาย (°F)	188	198	196
ความดันสูงสุดของสารละลาย(psia)	177	182	180
ความเข้มข้นตอนเริ่มต้น	0.5	0.5	0.5
ความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดขบวนการ generation process	0.44	0.39	0.44
ปริมาณของแอมโมเนียที่ควบแน่น (lb)	7.2	12.12	7.2
พลังงานจากแสงอาทิตย์ (MJ/m ²)	15.09	21.05	17.56
3. Re-frigeration process			
อุณหภูมิเริ่มต้นของสารละลาย (°F)	100	87	80
อุณหภูมิตอนสุดท้ายของสารละลาย(°F)	90	70	70
ความดันตอนเริ่มต้นของสารละลาย (psia)	50	32	35
ความดันตอนสุดท้ายของสารละลาย (psia)	60	40	40
4. ผลจากการทดลอง			
Cooling Ratio	0.36	0.42	0.34
Solar Coefficient of performance	0.088	0.106	0.08
อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำใน Cooling box (°F)	80	86	86
ปริมาณน้ำแข็ง (kg)	-	4.0	2.0
ปริมาณน้ำที่ 0 °C (kg)	-	6.0	8.0
อื่น ๆ	น้ำ 42°F 10 kg	-	

ประวัติผู้เขียน

นาย ชุศักดิ์ อารีพันธ์ เกิดเมื่อวันที่ ๑๔ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๐๒ ภูมิลำเนาอยู่
จังหวัด เชียงใหม่ เข้าศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต ที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ในปีการศึกษา ๒๕๒๐ และสำเร็จการศึกษา ในปีการศึกษา ๒๕๒๓ เคยทำงานที่บริษัท เฟรเดออร์
(ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่ง วิศวกรประจำห้องทดลอง เป็นเวลา ๒ เดือน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย