



1. ASHRAE. Guide and Data Book, Thermodynamics and Refrigeration Cycles. New York, ASHRAE, 1965.
2. ASHRAE. Guide and Data Book, Absorption Air Conditioning and Refrigeration Equipment. New York, ASHRAE, 1965.
3. ASRE. Air Conditioning & Refrigerating Data Book, Design Volume. 10th ed. New York, ASRE, 1957.
4. Carrier Air Conditioning Company, Handbook of Air Conditioning System Design. New York, Mc Graw-Hill Book Co., 1965.
5. P.J. Wibur and S. Karaki, Solar Cooling. Philadelphia, Pennsylvania, The Franklin Institute Press, 1977.
6. G. Ali Mansooni and Vinnod Patel, "Thermodynamic Basis for The Choice of Working Fluids for Solar Absorption Cooling System." Solar Energy, Vol.22, pp.483-91. (1979).
7. Arthur R. Patton, Solar Energy for Heating and Cooling of Buildings. New Jersey, Noyes Data Co., 1975.
8. B.H. Jennigs, The Thermal Environment Conditioning and Control. New York, Harper & Row, 1978.
9. J.F. Kreider and F. Kreith, Solar Heating and Cooling. New York, Mc Graw-Hill Book Co., 1977.
10. Dan S. Ward, "Solar Absorption Cooling Feasibility." Solar Energy, Vol.22, pp.259-68. (1979).
11. R. Chung, J.A. Duffie and G.O.G. Lof, "A Study of a Solar Air Conditioner." Mech. Engr., 85, 31 (1963).
12. J.A. Duffie and N.R. Sheridan, "Lithium Bromide-Water Refrigerators for Solar Operation." Mech. and Chem. Engr. Trans., Inst. Engrs. Australia, MC-1, 79 (1965).

13. F. de Winter and J.W. de Winter, "Use of Solar Energy for The Cooling of Buildings." Final Report, Atlas Corporation Santa Clara, California, July, 1976.
14. Toshihiro Ishibashi, "The Result of Cooling Operation of Yazaki Experimental Solar House I." Solar Energy, Vol.21, pp.11-16 (1978).
15. D.S. Ward and G.O.G. Lof, "Cooling Subsystem Design in CSU Solar House III." Solar Energy, Vol.20, pp.119-126. (1978).
16. D.V. Hattem and P. Actis-Dato, "Description and Performance of An Active Solar Cooling System, Using a LiBr-H₂O Absorption Machine." Commission of the European Communities, Joint Research Centre, Ispra Establishment, Italy (1980).
17. พัชรพิมพ์ เชาว์ชื่น, "รายงานการวิเคราะห์สมรรถนะการใช้ระบบปรับอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์." งานศึกษาและพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์, กองวิชาการ, สำนักงานพลังงานแห่งชาติ, เอกสารวิชาการ, ศพอ. 001/24., 2524.
18. ปราโมทย์ เตชะเพ็ญเวส, "การประเมินผลทางเศรษฐกิจของการทำงานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ปรับอากาศให้กับบ้านพักอาศัยในกรุงเทพฯ." วิทยานิพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2524.
19. G.G. Hawley, The Condensed Chemical Dictionary. 9th ed., New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1977.
20. W. Pennington, "How to Find Accurate Vapor Pressures of LiBr Water Solutions." Refrigeration Engineering, Vol. 63, pp. 57, May, 1955.
21. A.P. Faas and M. Necati Ozisik, Heat Exchanger Design, New York, John Wiley & Sons, Inc, 1965.

22. Herbert H. Uhlig, Corrosion Handbook. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1948.
23. R.H. Perry and C.H. Chilton, Chemical Engineers' Handbook. Fifth Edition, Tokyo, Mc Graw-Hill Kogakusha, LTD., 1973.
24. L.S. Tong, Boiling Heat Transfer and Two-Phase Flow. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1966.
25. W.H. Mc Adams, Heat Transmission. Third Edition, New York, Mc Graw-Hill Book Co., Inc., 1954.
26. W.H. Rohsenow and J.P. Hartnett, Handbook of Heat Transfer. New York. Mc. Graw-Hill, Inc., 1973.
27. J.F. Kreider and F. Kreith, Solar Heating and Cooling. New York. Mc Graw-Hill Book Co., 1977.
28. E.O. Doebelin, Measurement System, Application and Design. Revised Edition, New York, Mc Graw-Hill Book Co., 1975.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

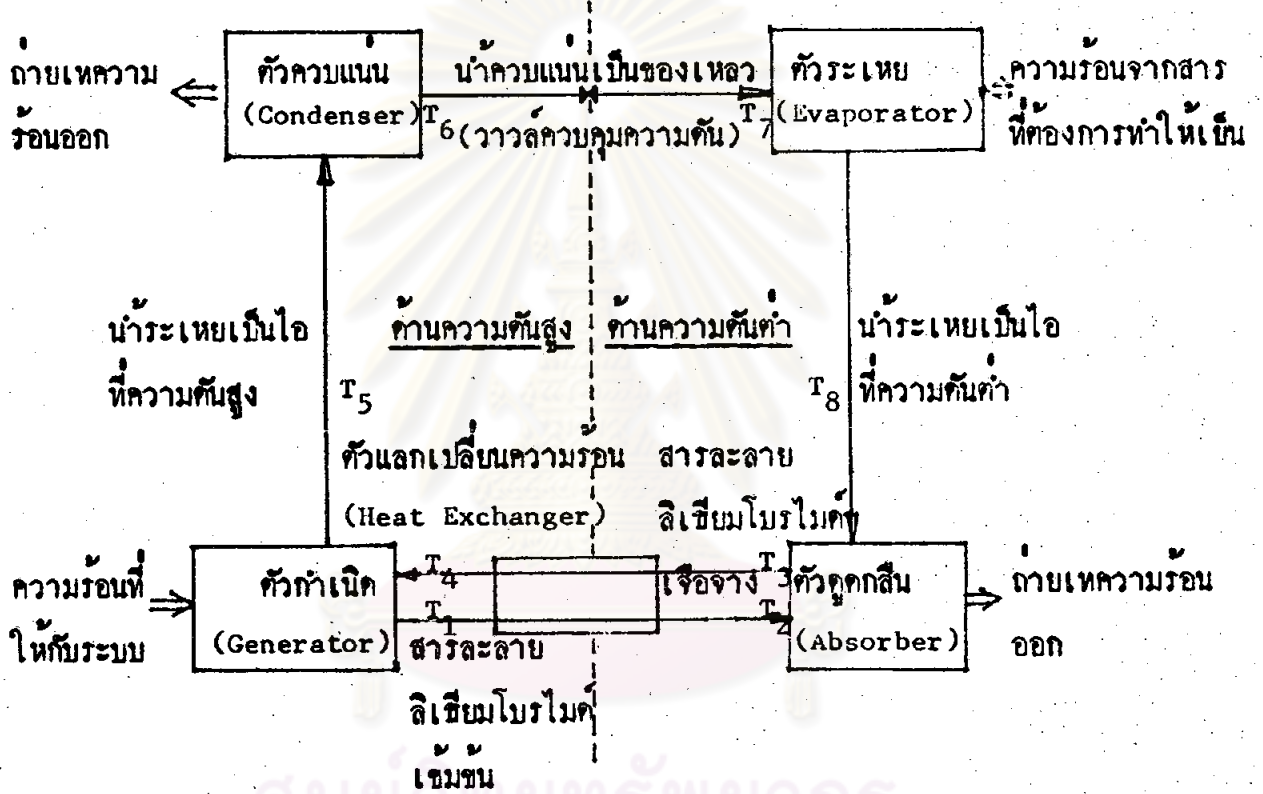
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



การคำนวณในการออกแบบสร้าง

ในการออกแบบสร้าง ต้องคำนวณหาอัตราการไหลของมวลและทราบปริมาณความร้อนที่จะเกิดขึ้นในแต่ละจุดก่อน โดย

กำหนดให้มีขนาด 1/2 ตันความเย็น



เพื่อสามารถคำนวณค่าต่างๆได้ในการออกแบบต้องกำหนดสิ่งต่อไปนี้คือ (7)

- 1 ที่จุดทางที่กำหนดอุณหภูมิ ถือว่าสารทำความเย็นและสารดูดกลืนอยู่ในภาวะสมดุลย์
- 2 ที่จุดทางสมดุลย์ให้ความดันลคไม่มี ยกเว้นจากจุด 1 ไปจุด 2 และจากจุด 6 ไปจุด 7
- 3 สมมุติให้อุณหภูมิแตกต่างกันระหว่าง T_2 กับ T_3 เท่ากับ $10^\circ F$
- 4 ความดันที่ตัวควบแน่นและตัวระเหยเท่ากับความดันไอของน้ำที่อุณหภูมินั้น
- 5 ค่าเอนทัลปีของสารละลายลิเทียมโบรไมด์คิดจากรูปที่ 16 ส่วนของน้ำคิดจาก steam table ของ(23)

ตำแหน่ง	อุณหภูมิ (°F)	ความดัน (mmHg)	ตารางที่ 3		ค่าเอนทาลปี (Btu/lb)
			อัตราส่วนของลิเซียม โบรไมด์โดยน้ำหนัก	อัตราการไหลต่อ การไหลของน้ำ (lb/lbH ₂ O)	
T ₁	160	36.1	0.59	13.75	-43
T ₂	96	6.3	0.59	13.75	-72
T ₃	86	6.3	0.55	14.75	-77
T ₄	140	36.1	0.55	14.75	-50
T ₅	160	36.1	0.00	1.00	1130.20
T ₆	90	36.1	0.00	1.00	58
T ₇	40	6.3	0.00	1.00	8
T ₈	40	6.3	0.00	1.00	1079

การคำนวณ

- กำหนดอุณหภูมิของตัวระเหย = 40°F
- กำหนดอุณหภูมิที่ออกจากตัวดูดกลืน (ของสารละลายเจือจาง) = 86°F
- กำหนดอุณหภูมิที่ออกจากตัวความเย็น (ของสารทำความเย็น) = 90°F
- กำหนดอุณหภูมิที่ตัวกำเนิด = 160°F

สมการมวล

สมการมวลทั้งหมดที่ตัวกำเนิด

เมื่อ
แทนค่า m_4 ได้
โดยที่
ดังนั้น

$$m_4 = m_1 + m_5$$

$$m_4 X_s = m_1 X_{ab}$$

$$m_1 X_{ab} = m_1 X_s + m_5 X_s$$

$$m_5 = m_r$$

$$\frac{m_1}{m_5} = \frac{X_s}{X_{ab} - X_s} = \frac{m_{ab}}{m_r}$$

$$\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_5} = \frac{\dot{m}_{ab}}{\dot{m}_r} = \frac{0.55}{0.59 - 0.55}$$

$$= 13.75$$

$$\frac{\dot{m}_4}{\dot{m}_5} = \frac{\dot{m}_1 + \dot{m}_5}{\dot{m}_5} = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_5} + 1$$

$$= 13.75 + 1$$

$$= 14.75$$

โดยที่

$$\dot{m}_s = \dot{m}_r + \dot{m}_{ab}$$

สมการพลังงาน

สมการพลังงานทั้งหมดที่ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน

$$\dot{m}_s h_3 + \dot{m}_{ab} h_1 = \dot{m}_s h_4 + \dot{m}_{ab} h_2$$

$$h_4 = h_3 + \left[\frac{\dot{m}_{ab} (h_1 - h_2)}{\dot{m}_s} \right]$$

$$= -77 + \left[\frac{13.75(-43 - (-72))}{14.75} \right]$$

$$= -50 \text{ Btu/lb}$$

จากรูปที่ 16 ที่ 36.1 mmHg และที่ -50 Btu/lb

$$T_4 = 140^\circ\text{F}$$

สมการพลังงานที่ตัวระเหย

เพื่อหาอัตราการไหลของสารทำความเย็น(น้ำ)ที่สามารถทำความเย็นได้ 1/2 คันความเย็น

หรือ 6,000 บีทียู/ชม.

ดังนั้น

$$q_{\text{ref}} = \dot{m}_r (h_8 - h_6)$$

$$\dot{m}_r = \frac{6,000}{1079 - 58}$$

$$= 5.88 \text{ lb/hr}$$

ดังนั้นสามารถหา \dot{m}_{ab} และ \dot{m}_s ได้

โดย

$$\begin{aligned}\dot{m}_{ba} &= \left(\frac{\dot{m}_{ab}}{\dot{m}_r} \right) \dot{m}_r \\ &= 13.75 \times 5.88 \\ &= 80.85 \text{ lb/hr} \\ \dot{m}_s &= \dot{m}_{ab} + \dot{m}_r \\ &= 80.85 + 5.88 \\ &= 86.73 \text{ lb/hr}\end{aligned}$$

สมทูลย์พลังงานที่หัวกำเนิด

$$\begin{aligned}q_{\text{sup}} &= \dot{m}_r h_5 + \dot{m}_{ab} h_1 - \dot{m}_s h_4 \\ &= 5.88(1130.2) + 80.85(-43) - 86.73(-50) \\ &= 7,512.53 \text{ Btu/hr}\end{aligned}$$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ในการทำความเย็น (cop) คือ

$$\begin{aligned}\text{COP} &= \frac{q_{\text{ref}}}{q_{\text{sup}}} \\ &= \frac{6,000}{7,512.53} \\ &= 0.799\end{aligned}$$

สมทูลย์พลังงานที่หัวแลกเปลี่ยนความร้อน

$$\begin{aligned}q_{1-2} &= \dot{m}_{ab} (h_1 - h_2) \\ &= 80.85(-43 - (-72)) \\ &= 2344.65 \text{ Btu/hr} \\ &= \text{ความร้อนที่ถ่ายเทจากสารละลายยาเคมีเชื่อมโมรไมค์เข้มข้นสู่สารละลายยาเคมีเชื่อมโมรไมค์เจือจาง}\end{aligned}$$

สมทูลย์พลังงานที่หัวควบแน่น

$$q_{5-6} = \dot{m}_r (h_5 - h_6)$$

$$\begin{aligned}
 &= 5.88(1130.2 - 58) \\
 &= 6304.54 \text{ Btu/hr} \\
 &= \text{ความร้อนที่ตองระบายออกสู่น้ำหล่อเย็น}
 \end{aligned}$$

สมดุลพลังงานที่หัวคอกกลืน

คิดจากสมดุลพลังงานทั้งหมดของระบบ
 ความร้อนที่ให้แก่ระบบ = ความร้อนที่ได้รับจากระบบ

$$\begin{aligned}
 q_{sup} + q_{ref} &= q_{5-6} + q_{ab} \\
 q_{ab} &= q_{sup} + q_{ref} - q_{5-6} \\
 &= 7,512.53 + 6,000 - 6,304.54 \\
 &= 7,207.99 \text{ Btu/hr} \\
 &= \text{ความร้อนที่ตองระบายออกสู่น้ำหล่อเย็น}
 \end{aligned}$$



การออกแบบหัวกำเนิด

ภายในหัวกำเนิดจะเกิดการเดือดของสารละลายซึ่งการเดือดจะเกิดขึ้นได้เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่หัวกำเนิดนี้เพียงพอ จาก(24) Bergles และ Rohsenow ได้เสนอสมการสำหรับการเดือดขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองกับพื้นผิวของวัสดุต่าง ซึ่งได้ทำการทดลองกับน้ำในช่วงความดัน 15-2,000 psia.

$$q''_{lb} = 15.60 p^{1.156} (T_w - T_{sat})^{2.3/p} \quad (1)$$

และ Mc Adams ได้เสนอสมการเช่นเดียวกันในช่วงความดัน 30-90 psia. คือ

$$q'' = 0.074 \Delta T_{sat}^{3.86} \quad (\Delta T_{sat} = T_{wall} - T_{sat} \text{ } ^\circ F) \quad (2)$$

ซึ่งไม่มีความดันเป็นตัวแปรในสมการเช่นในสมการที่ 1

Jens และ Lottz ได้เสนอสมการในช่วงความดันสูงระหว่าง 500-2000 psia คือ

$$\Delta T_{sat} = \frac{60(q''/10^6)^{1/4}}{e^{p/900}} \quad (3)$$

จากสมการข้างาไม่มีสมการใดที่แสดงถึงการเดือดของสารละลายเชิงเดี่ยวแบบโรโมคท์ที่ความเข้มข้น 55 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการออกแบบนี้จึงใช้สมการ (1) เป็นหลักในการคำนวณเนื่องจากอยู่ในช่วงความดันต่ำกว่าและมีความดันเป็นตัวแปรในสมการ

ในการออกแบบกำหนดให้ $T_{\text{wall}} = 175 \text{ } ^\circ\text{F}$

จากรูปที่ 16 ได้ $T_{\text{sat}} = 145 \text{ } ^\circ\text{F}$

ความดันในระบบคำนวณความดันสูง

$$P = 0.698 \text{ psia}$$

$$q_{1b}'' = 15,60(0.698)^{1.156}(175-145)^{2.3}/(0.698)^{0.0234}$$

$$= 27,460.19 \text{ Btu/hr}\cdot\text{ft}^2$$

เมื่อความร้อนที่จะต้องให้แก่วัสดุ = 7,512.53 Btu/hr

ดังนั้นพื้นที่ที่ต้องการในการถ่ายเทความร้อนให้กับตัวทำเนิก

$$= 0.274 \text{ ft}^2$$

ในการสร้างไรท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้วแบบ 18 BWG

จะไรท่อยาว = 2.6 ft

คิศาความปลอดภัย (safety factor) 1.5

ดังนั้นจะไรท่อในการสร้างยาว = 3.9 ft

ซึ่งจะจัดเป็นเกลียวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้วสูง 6 นิ้วภายในตัวถังของตัวทำเนิก

การออกแบบความสูงของหน้าสารจากตัวทำเนิก

จาก(21) ความดันตกทั้งหมดในการไหลแบบ 2 สถานะ คือสถานะของเหลวและก๊าซ

$$\Delta P = -\left(\frac{dP}{dL}\right)(L_2-L_1) \left[\frac{1+A(X_1+X_2)}{2} \right] + AC(X_2-X_1)$$

$$+ \frac{L_2-L_1}{X_2-X_1} \frac{\sin\phi}{AV} \ln\left(\frac{1+AX_2}{1+AX_1}\right)$$

เมื่อ

จากรูปที่ 16 ที่ 160°F , 55%LiBr ได้ $P = 50\text{mmHg}$

ดังนั้น

$$\Delta P = 50 - 36.1 \text{ mmHg}$$

$$= 13.9 \text{ mmHg}$$

$$= 38.71 \text{ lb/ft}^2$$

$$-\left(\frac{dP}{dL}\right)_{L_1} = \frac{fG^2V'}{2g_c D_e}$$

$$G = \frac{86.73 \text{ lb}}{\text{hr}} \left| \frac{4}{\pi \left(\frac{1.1}{12}\right)^2} \right. \text{ft}^2$$

$$= 13,133 \text{ lb/hr.ft}^2$$

$$f = 0.2 \text{Re}^{-0.2}$$

$$= 0.2(226.3)^{-0.2}$$

$$= 0.068$$

$$v' = 1/104.21 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

$$D_e = 1.1/12 \text{ ft}$$

$$g_c = 4.17 \times 10^8 \text{ ft.lb/hr}^2 \text{lb}_f$$

$$\begin{aligned} -\left(\frac{dP}{dL}\right)_{L_1} &= \frac{0.068 \times (13133)^2 \times 1/104.21}{2 \times (4.17 \times 10^8) \times (1.1/12)} \\ &= 1.47 \times 10^{-3} \text{ lb}_f/\text{ft}^3 \end{aligned}$$

$$A = \left(\frac{v''}{v'} - 1 \right)$$

$$= \left(\frac{468.1}{1/104.21} - 1 \right)$$

$$= 48,779.7$$

$$C = \frac{G^2 v'}{g_c}$$

$$= \frac{(13,133)^2 \times 1/104.21}{4.17 \times 10^8}$$

$$= 3.97 \times 10^{-3} \text{ lb}_f/\text{ft}^2$$

$$L_2 - L_1 = L$$

$$38.71 = (1.47 \times 10^{-3})L \left[1 + (4.88 \times 10^4) \frac{0.068}{2} \right] + (4.88 \times 10^4) (3.97 \times 10^{-3})(0.068) + \frac{L \sin 90^\circ}{0.068 (4.88 \times 10^4)(1/104.21)}$$

$$0.068 (4.88 \times 10^4)(1/104.21)$$

$$\ln \left(\frac{1 + (4.88 \times 10^4)(0.068)}{1 + (4.88 \times 10^4)(0)} \right)$$

$$= 2.44L + 13.17 + 0.26L$$

$$L = 9.46 \text{ ft}$$

คิดค่าความปลอดภัย 3.5

$$L = 2.7 \text{ ft}$$

$$\approx 32 \text{ inches}$$

การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

จาก(25)สำหรับการไหลแบบเป็นระเบียบ (laminar flow) ในท่อแนวดิ่งที่มีอุณหภูมิผนังท่อสม่ำเสมอ

โดยที่ $Re = 297.91$

$$T_w = \frac{86 + 140}{2} = 113^\circ\text{F}$$

โดยวิธี trial&error กำหนดให้ใช้ท่อทองแดง O.D.=1/4", I.D.=0.214"

สำหรับชนิด 26BWG ยาว 9 ft

เมื่อ $N_{Gr} = 3.64 \times 10^3$

$$N_{Pr} = 21.65$$

$$\text{ดังนั้น } N_{Gr} N_{Pr} \frac{D}{L} = (3.64 \times 10^3) \times 21.65 \times \frac{0.214}{12}$$

$$= 156.15$$

$$\text{Graetz modulus} = \frac{WC_{pb}}{k_b L}$$

$$= \frac{80.85 \times 0.445}{0.199 \times 9}$$

$$= 20.09$$

จากรูป 9-19 หน้า 234 ของ (25)

ได้ Nusselt modulus สำหรับท่อตรง $(Nu_s) = 4.6$

ดังนั้นสำหรับการไหลแบบเป็นระเบียบในขดท่อ (laminar flow in coil) โดยให้ขดท่อโค้งมี

กรณี 3/2 นี้ จาก(26)

$$\left(\frac{Nu_{coil}}{Nu_{straight I}} \right) = \frac{0.1979 K^{1/2}}{\phi}$$

$$K = Re \sqrt{r_w/R}$$

$$= 297.91 \sqrt{0.214/3}$$

$$= 79.57$$

$Pr \gg 1$

$$\phi = \frac{2}{11} \left[1 + \sqrt{\frac{1+77}{4 Pr^2}} \right]$$

$$= 0.367$$

$$Nu_s = 4.6$$

$$\left(\frac{Nu}{Nu_s} \right)_{coil} = \frac{0.1979 (79.565)^{1/2} \times 4.6}{0.367}$$

$$= 22.13$$



$$\left(\frac{Nu_c}{Nu_s} \right)_{II} = \left(\frac{Nu_c}{Nu_s} \right)_{I} \frac{1}{1 + \frac{37.05}{\phi} \left[\frac{1-17\phi}{40} \left(\frac{1+13}{10\phi} \right) \frac{1}{10Pr} \right] K^{-1/2}}$$

$$= \frac{22.13 \times 1.275}{4.6}$$

$$= 6.13$$

$$Nu_c = 6.13 \times 4.6$$

$$= 28.20$$

$$= \frac{h_a D}{k_b}$$

$$h_a = \frac{28.20 \times 0.199}{0.214/12}$$

$$= 314.68 \text{ Btu/hr.ft}^2 \cdot \text{F}$$

$$Q = h_a A \Delta T_a$$

$$2343 = 314.68 \times A \left[\frac{(160-113) + (96-113)}{2} \right]$$

$$A = 0.496 \text{ ft}^2$$

คิดค่าความปลอดภัย (safety factor) 1.5

$$A = 0.744 \text{ ft}^2$$

ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/4" แบบ 26 BWG

$$L = \frac{0.744}{\pi \times 2.14/12}$$

$$= 13.3 \text{ ft}$$

$$\approx 14 \text{ ft}$$

ซึ่งจะใช้ท่อทองแดงนี้สามท่อวางขนานกันโดยยาวทั้งหมด 14 ฟุต

การออกแบบตัวความเย็น

จาก (26) หน้า (12-17) - (12-28)

$$\text{เมื่อ } \frac{q}{A} = h(T_{\text{sat}} - T_w)$$

โดยที่ สำหรับท่อร้อนเรียงในแนวตั้ง

$$h = 0.728 \left[1 + \frac{0.2 \text{CAT}(n-1)}{h_{fg}} \right] \left[\frac{g \rho (\rho - \rho') k^3 h'_{fg}}{n D^4 \Delta T} \right]^{1/4}$$

สำหรับไอร้อนยิ่งยวด (superheated vapor)

$$h'_{fg} = h''_{fg}$$

$$= C_v (T_v - T_{\text{sat}}) + h_{fg} + \frac{3C(T_{\text{sat}} - T_w)}{8}$$

$$C_v = 0.45 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$$h'_{fg} = 0.45(160-90) + 1042.78 + \frac{3(0.998)(90-86)}{8}$$

$$= 1075.78 \text{ Btu/hr ft}^2 \cdot \text{F}$$

$$h = 0.728 \left[1 + \frac{0.2(0.998)(90-86)(5-1)}{1042.78} \right]$$

$$\left[\frac{(4.17 \cdot 10^8) 1/0.016099 (1/0.016099 - 1/468.1) (0.364)^3}{(1075.78) 5 (1/2 \times 12) (1.85) (90-86)} \right]^{1/4}$$

$$= 0.728(1.0030625)(2411.9045)$$

$$= 1,761.24 \text{ Btu/hr ft}^2 \cdot \text{F}$$

$$\frac{6304.54}{A} = 1,761.24(90-86)$$

$$A = 0.89 \text{ ft}^2$$

คิดค่าความปลอดภัย 1.5 ดังนั้นจะได้

$$A = 1.34 \text{ ft}^2$$

ไซ้ทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 1/2 นิ้ว 18 BWG

จะได้ความยาวของท่อ = 10.24 ft

การออกแบบตัวตุ๊กตีสัน

กำหนดให้ อุณหภูมิของน้ำเข้า = 80°F

อุณหภูมิของน้ำออก = 84°F

จาก (26) หน้า 7-151 การถ่ายเทความร้อนในรศทของน้ำในสภาวะปั่นป่วน (turbulent)

$$\text{NuPr}^{-0.4} = 0.021 \text{Re}^{0.85} \left(\frac{r_w}{R} \right)^{0.1}$$

$$\text{Nu} = \frac{h_{lm} D}{k_b}$$

$$\text{Pr} = \frac{\mu C_p}{k}$$

$$= 2.1054 \frac{\text{lb}}{\text{hr.ft}} \left| \frac{1 \text{Btu}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \right| \left| \frac{\text{hr.ft.}^\circ\text{F}}{0.358 \text{Btu}} \right|$$

$$= 5.881$$

$$\text{Re} = \frac{DG}{\mu}$$

$$= 15,246.424$$

$$r_w = 1/4 / 2 \text{ in.}$$

$$R = 5/2 \text{ in.}$$

$$\text{Nu} = 0.021(15,246.424)^{0.85} (0.25/5)^{0.1} (5.881)^{0.4}$$

$$= 113.655$$

$$h_{lm} = \frac{113.655 \times 0.358}{1/4 \times 12}$$



$$= 1953.05 \text{ Btu/hr.ft}^2 \cdot \text{F}$$

$$Q = h_{lm} A \Delta T_{lm}$$

$$7,200 = 1953.05 \times A \left[\frac{(96-84) - (86-80)}{\ln \frac{96-84}{86-80}} \right]$$

$$A = 0.43 \text{ ft}^2$$

คิดค่าความปลอดภัย 1.5 ดังนั้นจะได้

$$A = 0.645 \text{ ft}^2$$

ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 1/4 นิ้ว 26BWG 4 ท่อชกวางขนานกัน

การออกแบบตัวระเหย

กำหนดให้ อุณหภูมิของน้ำที่ถูกทำให้เย็นเข้า = 62

อุณหภูมิของน้ำที่ถูกทำให้เย็นออก = 57

$$(26) ; \quad \text{NuPr}^{-0.4} = 0.021 \text{Re}^{0.85} \frac{r_w}{R}^{0.1}$$

$$\text{Pr} = \frac{m C_p}{k}$$

$$= \frac{2.783}{0.351}$$

$$= 7.929$$

$$\text{Re} = \frac{DG}{\mu}$$

$$= 15,379.09$$

$$r_w = 1/4 / 2 \text{ in.}$$

$$R = 10/2 \text{ in.}$$

$$\text{Nu} = 0.021 (15,379.09)^{0.85} (0.25/10)^{0.1} (7.929)^{0.4}$$

$$= 120.39$$

$$= \frac{h_{lm} D}{k_b}$$

$$h_{lm} = \frac{120.39 \times 0.351}{1/4 \times 12}$$

$$= 2028.33 \text{ Btu/hr.ft}^2 \cdot \text{F}$$

$$Q = h_{lm} A \Delta T_{lm}$$

$$6000 = 2028.33 \times A \left[\frac{(62-40) - (57-40)}{\ln \frac{62-40}{57-40}} \right]$$

$$A = 0.170 \text{ ft}^2$$

คิดค่าความปลอดภัย 1.5

$$A = 0.255 \text{ ft}^2$$

ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 1/4 นิ้ว 26 BWG 2 ท่อวางขนานกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการคำนวณ 5.2.4

การทดลองที่ 5

$$Re = \frac{D \dot{m}}{\mu A} = \frac{0.214 \text{ ft}}{12} \left| \frac{1}{2.5 \times 10^{-4}} \text{ ft}^2 \right| \left| \frac{1}{2.081} \frac{\text{hr} \cdot \text{ft}}{\text{lb}} \right| \left| \frac{19.8}{2} \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right|$$

$$= 339.35$$

From (26)

$$K = Re \sqrt{r_w / R} = 339.35 \sqrt{0.214 / 5}$$

$$= 70.21$$

$$Pr = \frac{\mu C}{k_p} = \frac{2.081 \text{ lb}}{\text{hr} \cdot \text{ft}} \left| \frac{1}{0.359} \frac{\text{hr} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ\text{F}}{\text{Btu}} \right| \left| \frac{0.99868 \text{ Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}} \right|$$

$$= 5.789$$

 $Pr \geq 1$

$$\phi = \frac{2}{11} \left[1 + \sqrt{\frac{1 + 77 \cdot \frac{1}{Pr^2}}{4}} \right]$$

$$= 0.410$$

$$\left(\frac{Nu_c}{Nu_s} \right)_f = 0.1979 \frac{K^{\frac{1}{2}}}{\phi}$$

$$= 4.022$$

$$\left(\frac{Nu_c}{Nu_s} \right)_f = \left(\frac{Nu_c}{Nu_s} \right)_f \cdot \frac{1}{1 + \frac{37.05}{\phi} \left[\frac{1}{40} - \frac{17\phi}{120} + \left(\frac{1}{10\phi} + \frac{13}{30} \right) \frac{1}{10Pr} \right] K^{\frac{1}{2}}}$$

$$= 5.23$$

From (25) $Nu_s = 1.49$

$$Nu_s = 7.79$$

$$= \frac{h_a D}{k_b}$$

$$h_a = \frac{Nu_c k_b}{D}$$

$$= 156.82 \text{ Btu/ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{hr}$$

$$\begin{aligned} Q &= h_a \Delta T_a \\ &= 156.82 \times 0.255 \times 3.21 \\ &= 128.37 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PART NO.:
09815-15000
REV. B

COEFFICIENTS
A= 7105.75
B= 717.71

COEFFICIENTS
A= 3352.11
B= 0.68

=====
SELECT PROGRAM.
=====

SUMS OF SQUARES
REG= 1.06 08
RES= 1.20 90
TOTAL=2.26 98

SUMS OF SQUARES
REG= 1.41
RES= 0.68
TOTAL= 2.09

ENTER DATA

X(I)
Y(I)
4.90
11215.89

MEAN SQUARES
REG= 1.06 08
RES= 1.20 90
20063281.58

MEAN SQUARES
REG= 1.41
RES= 0.11

15.70
15738.05

STD ERROR
OF EST=4479.21

STD ERROR
OF EST= 0.34

12.90
13504.04

R = 0.47
F RATIO= 5.27

R = 0.68
F RATIO= 12.54

13.90
13098.15

16.70
22974.84

PARABOLIC
MODEL

EXPONENTIAL
MODEL

2.20
3799.61

COEFFICIENTS
A= 1966.15
B= 2191.54
C= -76.30

COEFFICIENTS
A= 6403.68
B= 0.07

5.90
15509.73

SUMS OF SQUARES
REG= 1.21 08
RES= 1.05 08
TOTAL=2.26 08

SUMS OF SQUARES
REG= 1.00
RES= 1.09
TOTAL= 2.09

9.10
19355.33

MEAN SQUARES
REG= 60610208.42
RES= 20977803.62

MEAN SQUARES
REG= 1.00
RES= 0.18

ADD OR DELETE?

N= 8.00

X VARIABLE
MEAN= 10.16
S.D.= 5.42

STD ERROR
OF EST=4500.15

STD ERROR
OF EST= 0.43

Y VARIABLE
MEAN= 14399.46
S.D.= 5683.43

R = 0.54
F RATIO= 2.99

R = 0.48
F RATIO= 5.50

WHICH MODEL?

- 1=LINEAR
- 2=PARABOLIC
- 3=POWER
- 4=EXPONENTIAL
- 5=LOGARITHMIC
- 6=HYPERBOLIC
- 7=LINEAR (VAR)
- 8=ALL

8.00*

แสดงกราฟโมเดลใน 5.2.1

```

100 !!!!! .TOYS !!!!!
110 ! LEAST SQUARE [ Y = A0+A1X ]
120 ! Y = TOTAL B.T.U
130 ! X = TEMPERATURE
140 ! A1= BYX
150 ! A2= BXY
160 DIM Y(10),X(10),YY(10),XX(10),XY(10),V(20)
170 OPEN#1:"LP01",SEQUENTIAL,VARIABLE 218,OUTPUT
180 N=8
190 FOR I=1 TO N
200 READ Y(I) ::SUMY=SUMY+Y(I)
210 YY(I) = Y(I)*Y(I) :: SUMYY = SUMYY+YY(I)
220 NEXT I
230 DATA 9.33,9.66,9.51,9.48,10.04,8.24,9.64,9.87
240 FOR J=1 TO N
250 READ X(J) :: SUMX = SUMX+X(J)
260 XX(J) = X(J)*X(J) :: SUMXX = SUMXX+XX(J)
270 NEXT J
280 DATA 1.59,2.75,2.56,2.63,2.82,0.79,1.78,2.21
290 !
300 FOR II=1 TO N
310 SUMXY = SUMXY + X(II)*Y(II)
320 NEXT II
330 !-----!
340 A1=(N*SUMXY-SUMX*SUMY)/(N*SUMXX-SUMX*SUMX)
350 A2=(N*SUMXY-SUMX*SUMY)/(N*SUMYY-SUMY*SUMY)
360 XBAR = SUMX/N ::YBAR = SUMY/N
370 A0 = YBAR-A1*XBAR
380 Y1 = A0+(A1*X1)
390 R=SQR(A1*A2)
400 PRINT#1:CHR$(12)&CHR$(27)&"PD"&CHR$(27)&CHR$(92)&CHR$(10)&CHR$(10)
410 PRINT#1:TAB(10);"THE COEFFICIENT OF CORRELATION [ r ] ="&STR$(R)
420 PRINT#1:CHR$(10) ::PRINT#1:" "
430 PRINT#1:TAB(10);"A0 = "&STR$(A0)
440 PRINT#1:CHR$(10) ::PRINT#1:" "
450 PRINT#1:TAB(10);"A1 = "&STR$(A1)
460 PRINT#1:CHR$(27)&"PJ"&CHR$(27)&CHR$(92)&CHR$(10)&CHR$(10)&CHR$(10)
470 PRINT#1:TAB(15);"Y1 = "&STR$(A0)&"+"&STR$(A1)&"X1"
480 PRINT#1:CHR$(10) ::PRINT#1:" "
490 HD1$=" 1 2 3 4 5 6"
500 HD1$=HD1$&" "
510 HD2$="I-----I-----I-----I-----I-----I"
520 HD2$=HD2$&"-----I-----I-----I-----I Y1"
530 HD3$="RATIO IS 1 COLUMN : 1"
540 PRINT#1:CHR$(27)&"PD"&CHR$(27)&CHR$(92)&CHR$(10)&CHR$(10)
550 PRINT#1:TAB(8);HD1$ ::PRINT#1:TAB(3);"X1";TAB(8);HD2$
560 FOR X1=1 TO 20
570 Y1 = A0+(A1*X1)
580 V(X1)=INT(Y1)
590 PRINT#1:TAB(8);CHR$(124);TAB(LEN(HD1$)+7);CHR$(124)
600 PRINT#1:TAB(3);STR$(X1);TAB(8);"I";
610 PRINT#1:TAB(9);RPT$(" ",V(X1)-1)&"* [ "&STR$(Y1)&" ]";
620 PRINT#1:TAB(LEN(HD1$)+7);CHR$(124)
630 NEXT X1
640 PRINT#1:TAB(8);CHR$(124) ::PRINT#1:TAB(8);HD2$ ::PRINT#1:TAB(8);HD1$
650 PRINT#1:CHR$(10)&CHR$(10) ::PRINT#1:TAB(3);HD3$
660 !
670 !!!!!!!!!!!!!!! CLOSE FILES !!!!!!!!!!!!!!!
680 CLOSE#1
690 STOP
700 !!!!!!!!!!!!!!! END PROGRAM !!!!!!!!!!!!!!!

```

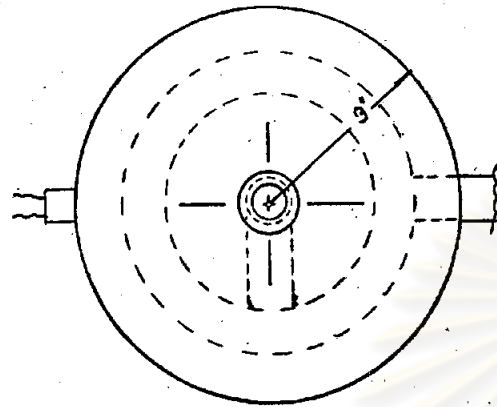
โปรแกรมของกราฟรูปที่ 14

```

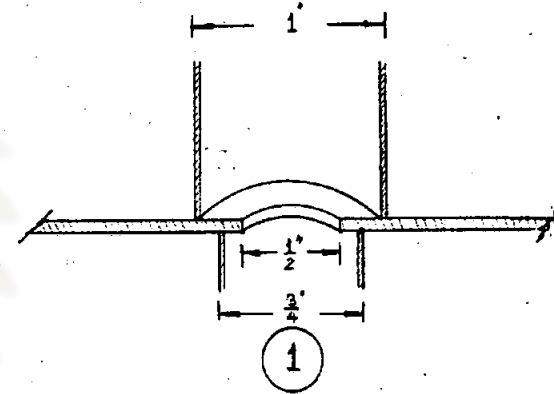
100 !!!!! .TOY4 !!!!!
110 ! LEAST SQUARE [ Y = A0+A1X ]
120 ! Y = MOVEMENT
130 ! X = TEMPERATURE
140 ! A1= BYX
150 ! A2= BXY
160 DIM Y(10),X(10),YY(10),XX(10),XY(10),V(200)
170 OPEN#1:"LP01",SEQUENTIAL,VARIABLE 213,OUTPUT
180 N=8
190 FOR I=1 TO N
200 READ Y(I) ::SUMY=SUMY+Y(I)
210 YY(I) = Y(I)*Y(I) :: SUMYY = SUMYY+YY(I)
220 NEXT I
230 DATA 52.79,70.96,58.54,60.31,104.66,17.74,74.50,93.31
240 FOR J=1 TO N
250 READ X(J) :: SUMX = SUMX+X(J)
260 XX(J) = X(J)*X(J) :: SUMXX = SUMXX+XX(J)
270 NEXT J
280 DATA 167.90,178.70,167.90,167.90,178.70,156.20,167.90,175.10
290 !
300 FOR II=1 TO N
310 SUMXY = SUMXY + X(II)*Y(II)
320 NEXT II
330 !-----
340 A1=(N*SUMXY-SUMX*SUMY)/(N*SUMXX-SUMX*SUMX)
350 A2=(N*SUMXY-SUMX*SUMY)/(N*SUMYY-SUMY*SUMY)
360 XBAR = SUMX/N :: YBAR = SUMY/N
370 A0 = YBAR-A1*XBAR
380 Y1 = A0+(A1*X1)
390 R=SQR(A1*A2)
400 PRINT#1:CHR$(12)&CHR$(27)&"PD"&CHR$(27)&CHR$(92)&CHR$(10)&CHR$(10)
410 PRINT#1:TAB(10);"THE COEFFICIENT OF CORRELATION [ r ] ="&STR$(R)
420 PRINT#1:CHR$(10) ::PRINT#1:" "
430 PRINT#1:TAB(10);"A0 = "&STR$(A0)
440 PRINT#1:CHR$(10) ::PRINT#1:" "
450 PRINT#1:TAB(10);"A1 = "&STR$(A1)
460 PRINT#1:CHR$(27)&"PJ"&CHR$(27)&CHR$(92)&CHR$(10)&CHR$(10)
470 PRINT#1:TAB(15);"Y1 = "&STR$(A0)&"+"&STR$(A1)&"X1"
480 PRINT#1:CHR$(10) ::PRINT#1:" "
490 HD1$=" 1 2 3 4 5 6"
500 HD1$=HD1$&" 7 8 9 10 11"
510 HD2$="I-----I-----I-----I-----I-----I"
520 HD2$=HD2$&"-----I-----I-----I-----I-----I Y1"
530 HD3$="RATIO IS 1 COLUMN : 1"
540 PRINT#1:CHR$(27)&"PD"&CHR$(27)&CHR$(92)&CHR$(10)&CHR$(10)
550 PRINT#1:TAB(8);HD1$ ::PRINT#1:TAB(3);"X1";TAB(8);HD2$
560 FOR X1=155 TO 180
570 Y1 = A0+(A1*X1)
580 V(X1)=INT(Y1)
590 PRINT#1:TAB(8);CHR$(124)
600 PRINT#1:TAB(3);STR$(X1);TAB(8);"I";
610 PRINT#1:TAB(9);RPT$(" ",V(X1)-1)&"* [ "&STR$(Y1)&" ]"
620 NEXT X1
630 PRINT#1:TAB(8);CHR$(124) ::PRINT#1:TAB(8);HD2$ ::PRINT#1:TAB(8);HD1$
640 PRINT#1:CHR$(10) ::PRINT#1:TAB(8);HD3$
650 !
660 !!!!!!! CLOSE FILES !!!!!!!
670 CLOSE#1
680 STOP
690 !!!!!!! END PROGRAM !!!!!!!

```

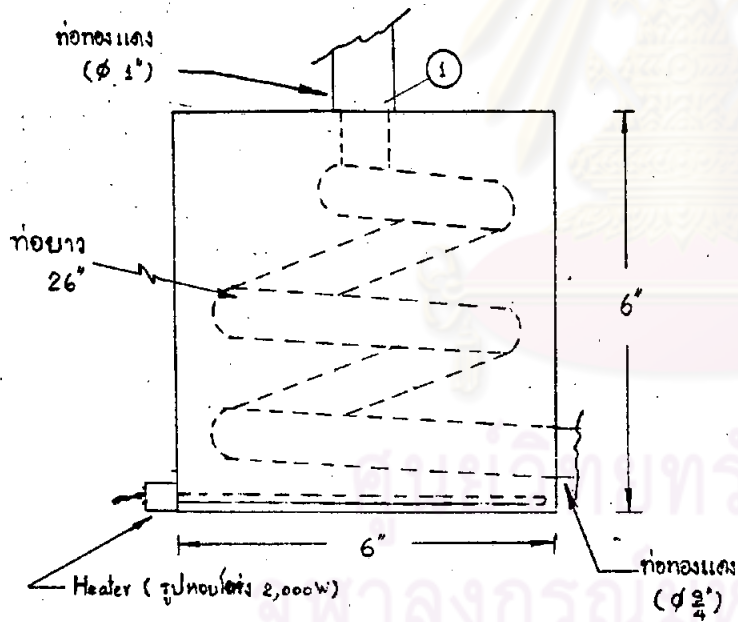
โปรแกรมของกราฟรูปที่ 16



รูปด้านบน

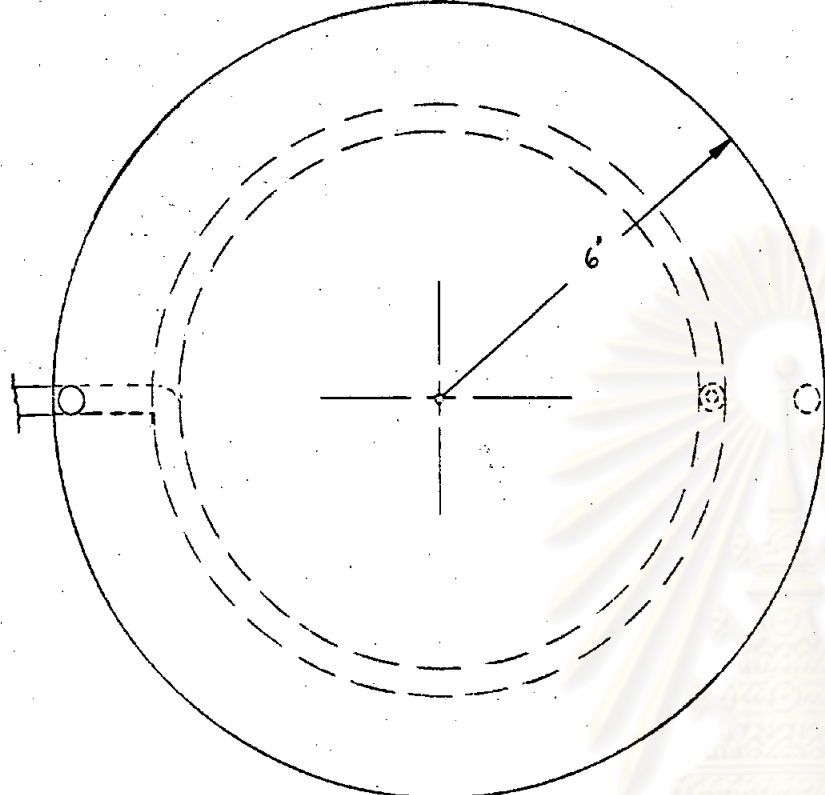


รูปขยาย ที่จุด 1

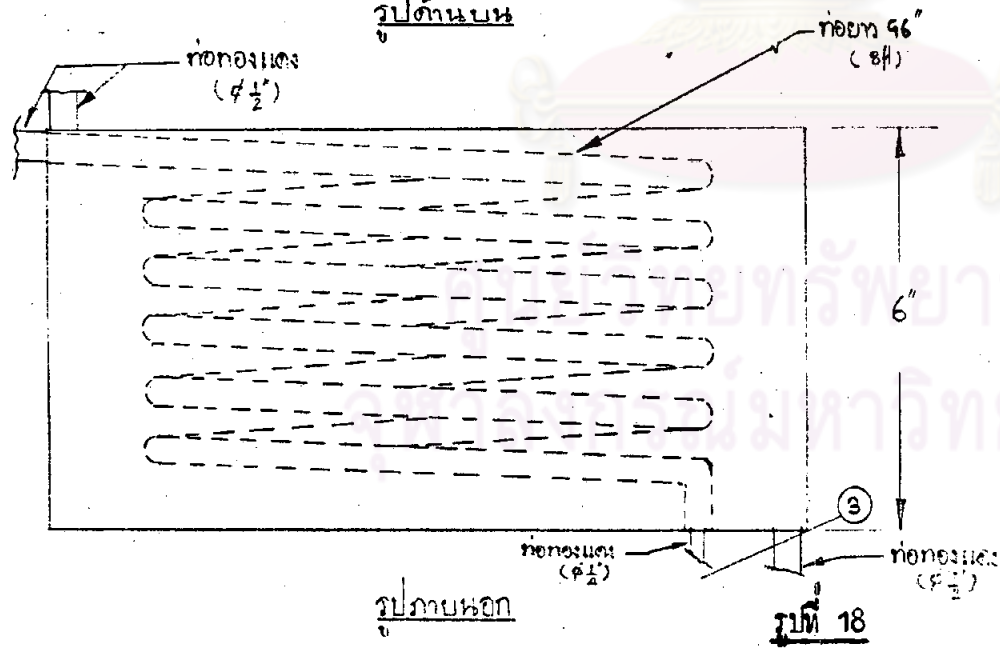


รูปภายนอก

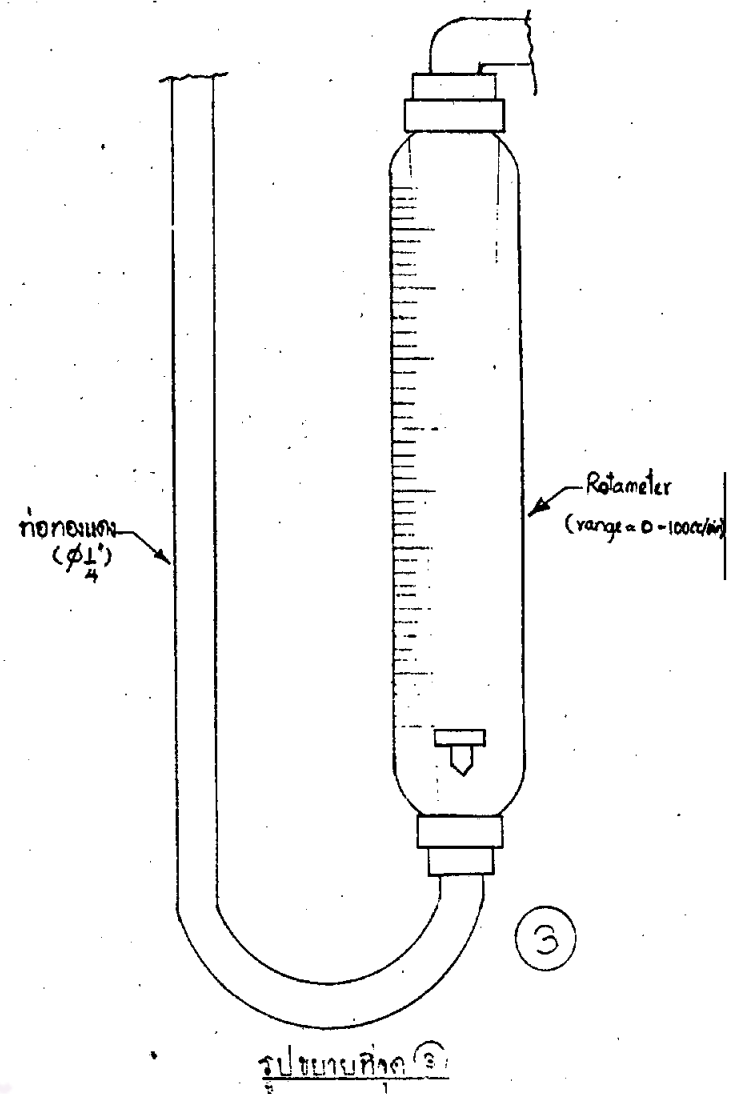
GENERATOR



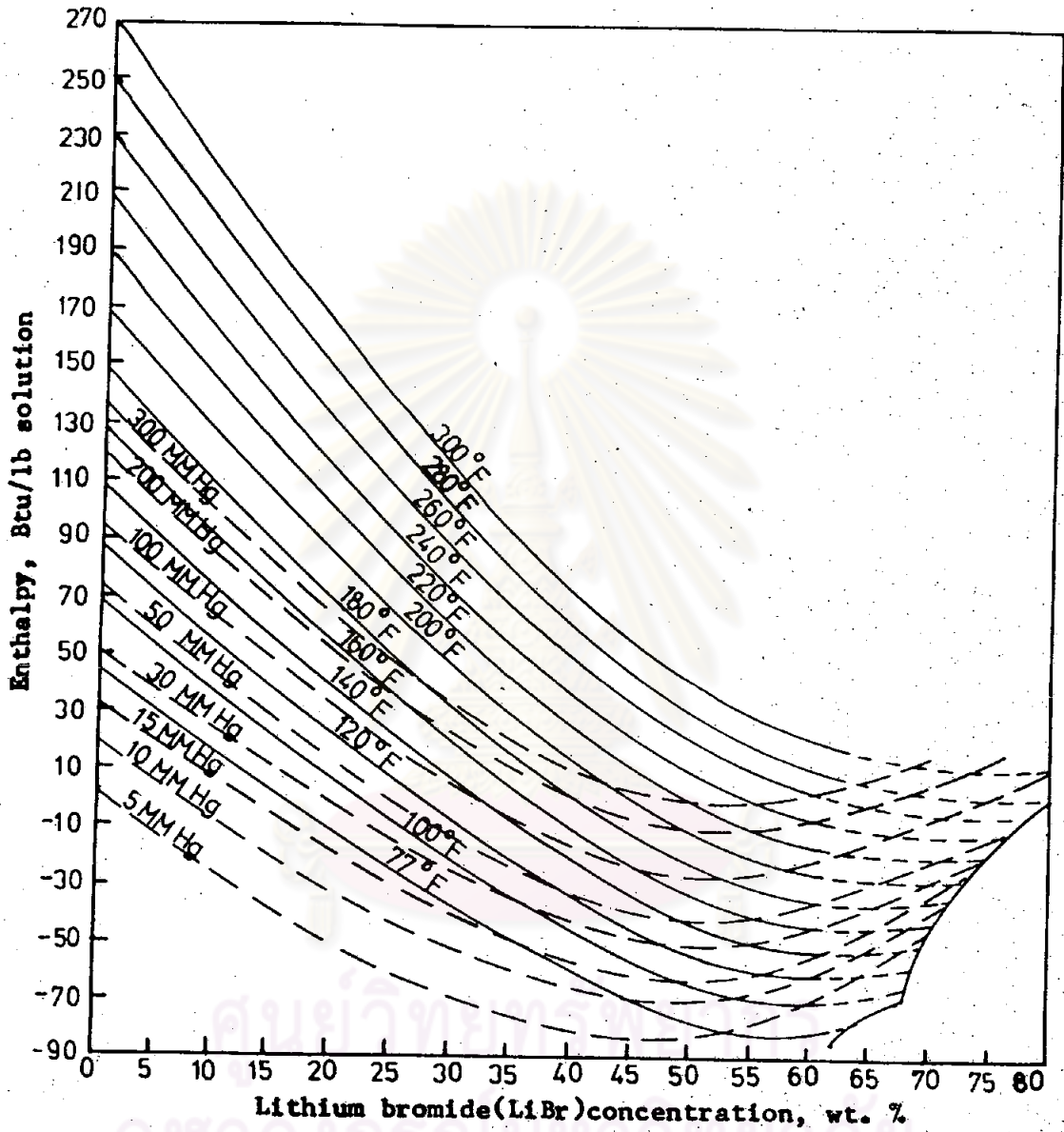
รูปด้านบน



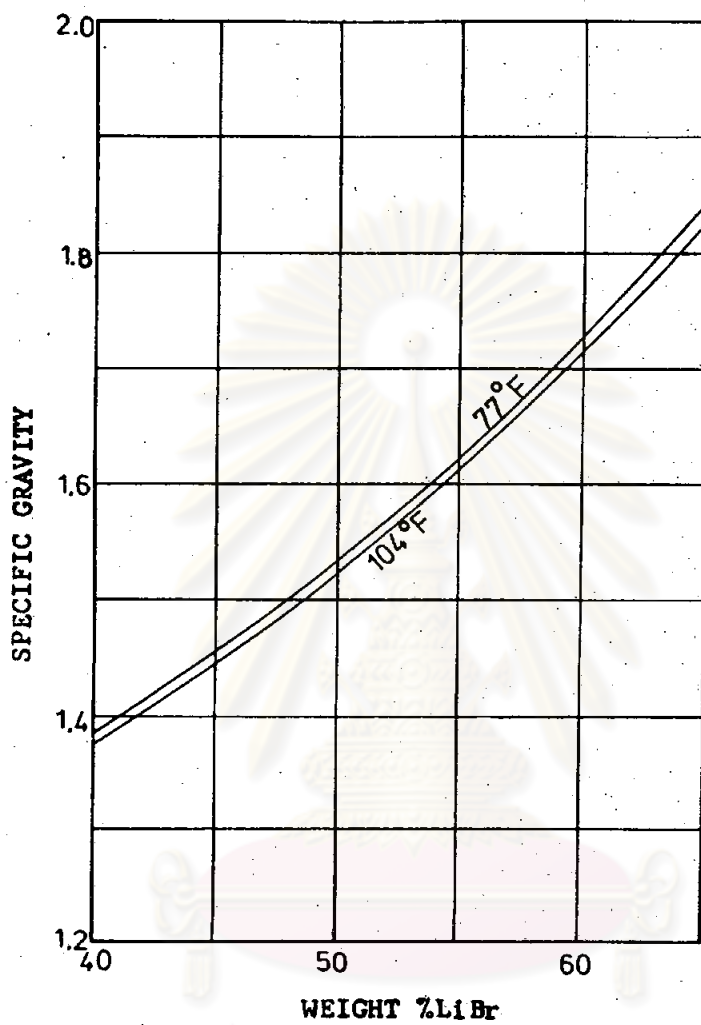
รูปด้านนอก



CONDENSER

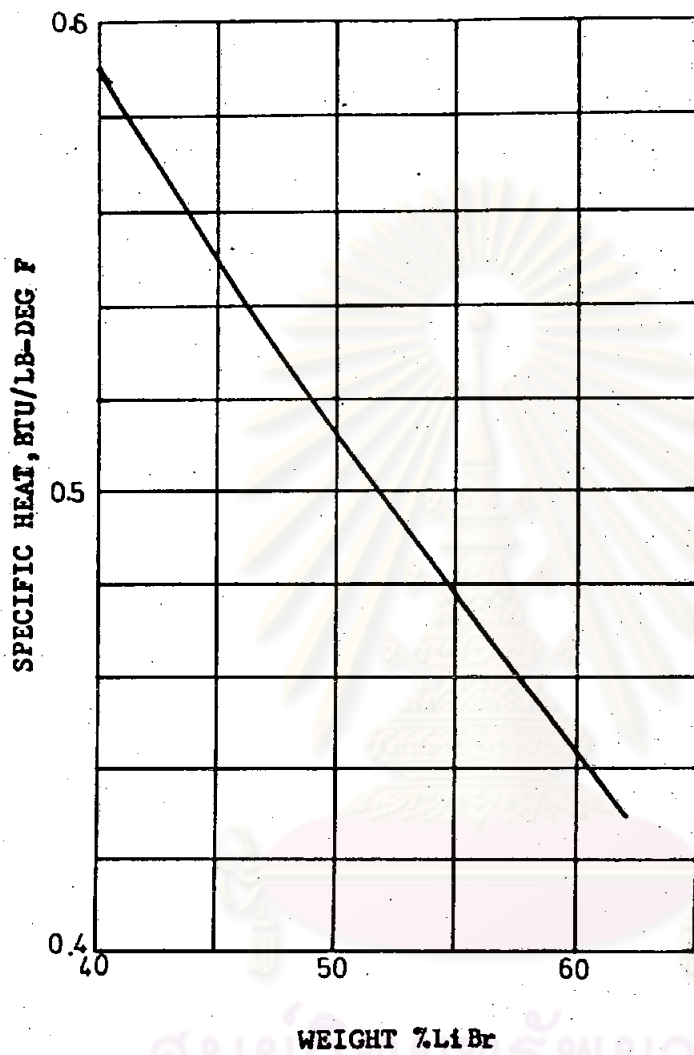


รูปที่ 19 กราฟแสดงค่าระหว่าง เอนทัลปี, ความเข้มข้น, อุณหภูมิ ของสารละลายลิเทียมโบรไมด์-น้ำ (1)



รูปที่ 20 กราฟแสดงค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายลิเทียมโบรไมด์-น้ำ (1)

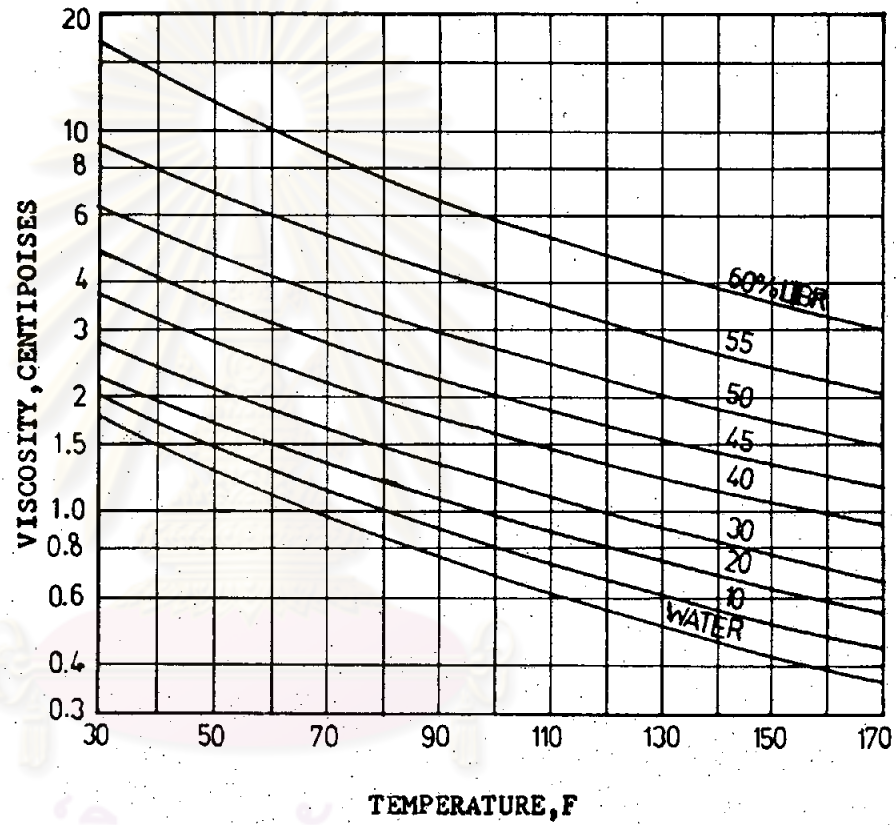
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 21

กราฟแสดงค่าความร้อนจำเพาะของสารละลายลิเทียมโบรไมด์-น้ำ (1)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 22 กราฟแสดงค่าความหนืดของสารละลายลิเซียมโบรไมด์-น้ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ (1)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประวัติผู้เขียน

นาย วิสุทธิ เลี่ยมสกุล เกิดเมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2504 ที่จังหวัดพิษณุโลก ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีพ.ศ. 2525 ได้เริ่มทำงานที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เมื่อปีพ.ศ. 2526 และได้รับทุนไปศึกษาต่อที่ประเทศอังกฤษในปีพ.ศ. 2528 ปัจจุบันเป็นนักวิชาการ 4 ประจำห้องปฏิบัติการ วิศวกรรมเคมีและกระบวนการ ของสถาบันฯ.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย