รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชุติมา จารุศิริพจน์, "การทดสอบสมรรถนะของฮีทไปป์ไร้วิกค์แบบทองแดงและฟรีออนเพื่อการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.

ชุมพล สุริยฉาย, "การออกแบบและสร้างฮีทไปป์" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

ปรีชา กอบเกื้อชัยพงษ์ "การสร้างและทดสอบสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ที่อุณหภูมิต่ำ" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเคมี, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.

พิชัย ตั้งสถาพรพาณิชย์, "การสร้างและทดสอบสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์และพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณออกแบบ" วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.

วันชัย โกมลภมร, "สมรรถนะของฮีทไปป์แบบไหลครบวงจร" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, "การสร้างฮีทไปป์และการทดสอบสมรรถนะของฮีทไปป์" รายงานฉบับสมบูรณ์ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทสาขาวิชาการ, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2526.

สุจินดา นิลจันทร์, "การจำลองแบบเชิงจลน์ของฮีทไปป์" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.

สมใจ พิเชียรโสภณ, "การศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะและการสร้างแบบจำลองของฮีทไปป์" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

ภาษาอังกฤษ

ASHRAE Handbook of Equipment, American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers ,Inc., 1983.

ASHRAE Handbook of Fundamentals, American Society of Heating ,Refrigerating and Airconditioning Engineers, Inc., 1981.

ASHRAE, Thermophysical Properties of Refrigerants, 1976.

Bertoni,G., Kosnik, M., and McDonald, T.W., "Performance of a Two-Phase Thermosiphon Air-to-Air Heat Exchanger", ASHRAE Transactions ,V.91, Pt.2A, pp. 209-215,1985.

Bird,R.B., Stewart,W.E. and Lightfoot,E.N., Transport Phenomena,John Wiley,1960.

Brown,R.,Ganapathy,V.and Glass,J.,"Design of Air-Cooled Exchangers", Chem.Eng.,March,17,1978.

Carnes,L., "Air-to-Air Heat Recovery Systems for Research Laboratories," ASHRAE Transactions,V.90, Pt.2A, pp. 327-340, 1984.

Chaudoume,S., "Modelization and Optimization of Heat Pipe Heat Exchanger ,"5th IHPC,1983.

Downing,R.C.,"Refrigerant Equations", ASHRAE Transactions, V.80,Pt.2,1974.

Dunn,P. and Reay,D.A., Heat Pipes, Pergamon Press, 2nd ed., 1978.

Gersey,G.O., Shapiro,H.N., and Pate, M.B., "Gravity-Assisted Heat Pipes Using Micro-Fin Tubes for Applications in Air-to-Air Heat Exchangers", ASHRAE Transactions, V.96, Pt.2, pp. 148-157, 1990.

Heat Exchanger Design Hanbook,Hemisphere Publishing Corporation,2,1983.

Holman,J.P.,Heat Transfer, 5th ed.,McGraw-Hill,1981.

Huang, B.J., and Tsuei, J.T., "A Method of Analysis for Heat Pipe Heat Exchangers, "Int. J. Heat Mass Transfer, V.28, 3, 553-562, 1985.

JAR.,Thermophysical Properties of Refrigerants,R22,1975.

Krishnan,K.N. and Rao,K.S., "Analysis and Design of a Heat Pipe Heat Exchanger," 5th IHPC,1983.

Larkin, B.S., Turnbull, J.E., and Gowe, R.S., "Thermosiphon Heat Exchanger for Use in Animal Shelters, "Can,Agric. Eng.,17:2 pp.85-89, Dec.,1975.

Larkin, B.S., and Turnbull, J.E., "Effects of Poultry Dust on Performance of a Thermosiphon Heat Recovery System, Can. Agric.Eng., 19:1, pp.37-39, June ,1977.

Lee, Y., and Bedrossian, A., "The Charaeteristies of Heat Exchangers, Using Heat Pipes or Thermosiphous" ,Int. J. Heat Mass Transfer,V.21,pp.221-229, 1978.

Lee,Y. and Clements,B.R.,"An Analysis of Heat Exchangers Using Finned Two-Phase Closed Thermosyphons", 5th IHPC, 1983.

Kays, W.M., and London, A.L., Compact Heat Exchangers, 2nd ed., McGraw-Hill, 1964.

Martin,J.J.,"Correlations and Equations Used in Calculating the Thermodynamic Properties of Freon Refrigerants", ASME,1959.

Mathur, G.D., and McDonald T.W., "Simulation Program for a Two-Phase Thermosiphon-Loop Heat Exchanger", ASHRAE Transactions,V. 92,Pt.2A, pp.473-485, 1986.

————. "Evaporator Performance of Finned Air-to-Air Two-Phase Thermosiphon Loop Heat Exchangers", "ASHRAE Transactions,V.93,Pt.2,pp.247-257,1987.

————. " Hysteresis in Two-Phase Thermosiphon Loop Heat Exchangers",ASHRAE Transactions,V.93,Pt.2,pp.275-281 ,1987.

————. "Evaporator Performance of Two-Phase Thermosiphon Loop Heat Exchangers Under Constant Heat Flux Boudary Conditions",ASHRAE Transactions,V.94,Pt.1, pp.404-411,1988.

Mathur, G.D., "Indirect Evaporative Cooling Using Two-Phase Thermosiphon Loop Heat Exchangers", ASHRAE Transactions,V.96, Pt.1,pp. 1241-1244, 1990.

McAdams,W.H.,Heat Transmission,3rd ed.,McGraw-Hill,New York,1954.

McKetta,J.J.,Heat Transfer Design Methods,Marcel Dekker,1992.

Ozisik,M.N.,Heat Transfer a Basic Approach,McGraw-Hill,1989.

Raza, S., and McDonald, T.W., "Effect of Unequal Evaporator Heating and Charge Distribution on the

Performance of a Two-Phase Thermosiphon Loop Heat Exchanger", ASHRAE Transactions, V.90, Pt.2A, pp.431-440 ,1984.

Reay, D.A., Heat Recovery Systems: A Directory of Equipment and Techniques, Pergamon Press, 1978.

Roshenow and Hartnett, Handbook of Heat Transfer, McGraw-Hill, New York, 1973.

Saunders, E.A.D, Heat Exchangers Selection, Design & Construction, Logman Scientific & Technical, 1988.

Scofield, C.M., "The Heat Pipe Used for Dry Evaporative Cooling", ASHRAE Transactions ,V.92, Pt.2A, pp.371-381, 1986.

Stauder, F.A., and McDonald. T.W., "Experimental Study of a Two-Phase Thermosiphon-Loop Heat Exchanger", ASHRAE Transactions ,V.92, Pt.2A, pp. 486-496, 1986.

Sun, T.H. and Prager, R.C., "Analysis and Applications of the Heat Pipe Heat Exchanger", Proceedings of the 13th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, V.2, 1978.

Westwater, J.W., Zinn, J.C. and Brodbeck, K.J., "Correlation of Pool Boiling Curves for the Homologous Group : Freons", Transactions of the ASME Journal of Heat Transfer ,V.111, pp.204-207, 1989

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อน

การสอบเทียบเพื่อหาเส้นความสัมพันธ์(Calibration curve) ระหว่างความเร็วลมในท่อกับความดันลดของชุดทดสอบสมรรถนะ ได้ทำการวัดค่าความเร็วและความดันที่อุณหภูมิห้องเฉลี่ย 30°C แต่ในขณะที่ทำการทดสอบสมรรถนะอุณหภูมิลมที่ใช้ได้เปลี่ยนไปซึ่งทำให้คุณสมบัติของอากาศเปลี่ยนแปลงไปด้วย เป็นผลให้อัตราการไหลที่แท้จริงเปลี่ยนไปเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องคำนวณหาอัตราการไหลที่เป็นจริงในระหว่างการทดสอบก่อนที่จะคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อน ในตัวอย่างนี้เป็นกรณีที่ความเร็วลมทั้งสองด้านเท่ากัน คือ 1 m/s (ที่ 30°C) สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

1.การคำนวณความเร็วลมด้านคอยล์ควบแน่น

ข้อมูลจากการทดลอง

อุณหภูมิเข้า T_{ci} = 19.17°C

อุณหภูมิออก T_{co} = 27.43°C

อุณหภูมิเฉลี่ย $T_{bc} = \frac{T_{ci}+T_{co}}{2} = 23.30 \cong 23$°C

อากาศมีคุณสมบัติที่ 23 °C ดังนี้

ρ_2 = 1.1962 kg/m^3

C_{p2} = 1005.668 J/kg.°C

μ_2 = 1.943×10^{-5} kg/m.s

แต่ที่อุณหภูมิ 30°C อากาศมีคุณสมบัติ ดังนี้

ρ_1 = 1.1666 kg/m^3

$$\mu_1 = 1.988\times10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

หาความเร็วที่ถูกต้องของอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ย $T_b = 23.30\ ^{\circ}C$

จาก

$$\Delta P = 4f \left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{U^2}{2}\right)(\rho)(g/g_c)$$

เมื่อ $\Delta P_1 = \Delta P_2$ ดังนั้น $u_1^2 f_1 \rho_1 = u_2^2 f_2 \rho_2$

จาก Blasius's formula สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อกลม

$$f = \frac{0.0791}{Re^{1/4}}$$

$$Re_1 = \frac{Du_1\rho_1}{\mu_1} = \frac{0.39\times1\times1.1666}{1.9885\times10^{-5}}$$

$$Re_1 = 22880.262$$

$$f_1 = \frac{0.0791}{(22880.262)^{1/4}} = 6.432\times10^{-3}$$

$$Re_2 = \frac{Du_2\rho_2}{\mu_2} = \frac{0.39\times u_2\times1.962}{1.943\times10^{-5}}$$

$$f_2 = \frac{0.0791}{(24005.249\times u_2)^{1/4}}$$

$$u_2^2 = \frac{u_1^2 f_1 \rho_1}{f_2 \rho_2} = \frac{1^2\times6.432\times10^{-3}\times1.166}{\frac{0.0791}{(24005.24\times u_2)^{1/4}} \times 1.1962}$$

$$u_2 = 0.9926 \text{ m/s}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราการไหลของอากาศ

$$W_2 = u_2 \rho_2 A = 0.9926 \times 1.1962 \times 0.1195$$

$$W_2 = 0.1419 \quad kg/s$$

ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อน (Q_c)

$$Q_c = W_2 C_{p2} \Delta T_c = 0.1419 \times 1005.668 \times 8.27$$

$$Q_c = 1180 \quad W$$

2. การคำนวณความเร็วลมด้านคอยล์ระเหย

ข้อมูลจากการทดลอง

อุณหภูมิเข้า $T_{h1} = 35.87\ ^\circ C$

อุณหภูมิออก $T_{ho} = 28.07\ ^\circ C$

อุณหภูมิเฉลี่ย $T_{bh} = \frac{T_{h1}+T_{ho}}{2} = 31.97^\circ C \cong 32^\circ C$

คุณสมบัติของอากาศที่ $32^\circ C$

$\rho_2 = 1.1595 \quad kg/m^3$

$C_{p2} = 1006.03 \quad J/kg.^\circ C$

$\mu_2 = 1.9922 \times 10^{-5} \quad kg/m.s$

จากการคำนวณในทำนองเดียวกันกับด้านคอยล์ควบแน่น คำนวณค่าต่างๆได้ดังนี้

$u_2 = 1.0024 \quad m/s \quad (W_2 = 0.1388 \quad kg/s)$

$Q_h = 1090 \quad W$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

หา $(\Delta T)_{lm} = \dfrac{(T_{hi}-T_{co})-(T_{ho}-T_{ci})}{\ln\left(\dfrac{T_{hi}-T_{co}}{T_{ho}-T_{ci}}\right)}$

$(\Delta T)_{lm} = 8.69\ ^{\circ}C$

$Q(\text{เฉลี่ย}) = 0.5(Q_c+Q_h) = 1135\ W$

จาก $Q = UA(\Delta T)_{lm}$

$UA = \dfrac{Q}{(\Delta T)_{lm}}$

$UA = \dfrac{1135}{88.67}$

$UA = 131\ W/^{\circ}C$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิผล

การคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศในระหว่างการทดสอบจะทำเหมือนกับการคำนวณในภาคผนวก ก ดังนั้นจากข้อมูลในภาคผนวก ก จะได้ว่า

W_c = 0.1419 kg/s

W_h = 0.1388 kg/s

สำหรับประสิทธิผลในรูปความร้อนสัมผัส (Sensible heat effectiveness)

$$C_c = (W_c)(C_{pc}) = (0.1419)(1005.668) = 142.704 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$C_h = (W_h)(C_{ph}) = (0.1388)(1006.03) = 139.637 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$C_{min} = C_h = 139.637 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

เมื่อการไหลเป็นแบบสวนทางกัน ประสิทธิผลคำนวณได้ดังนี้

กรณีด้านคอยล์ควบแน่น

$$\varepsilon_c = \frac{C_c\,(T_{co}-T_{ci})}{C_{min}(T_{hi}-T_{ci})}$$

$$= \frac{142.704(27.43 - 19.17)}{139.637\,(35.87 - 19.17)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$= \quad 0.505 \quad \text{หรือ } 50.5\ \%$$

กรณีด้านคอยล์ระเหย

$$\varepsilon_h = \frac{C_h(T_{h_i}-T_{h_o})}{C_{min}\,(T_{h_i}-T_{c_i})} = \frac{(T_{h_i}-T_{h_o})}{(T_{h_i}-T_{c_i})} \text{ เมื่อ } C_{min} = C_h$$

$$= \frac{(35.87 - 28.07)}{(35.87 - 19.17)} = 0.467 \text{ หรือ } 46.7\ \%$$

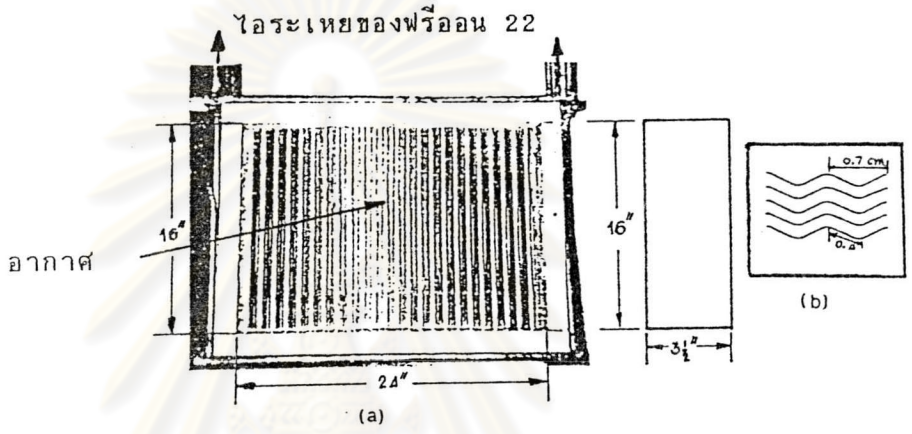
ประสิทธิผลเฉลี่ยของเครื่อง $\varepsilon = \frac{\varepsilon_c+\varepsilon_h}{2} = 48.6\ \%$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การคำนวณหาความต้านทานความร้อน(Thermal Resistance)

1)การคำนวณหาพื้นที่ถ่ายเทความร้อน



คอยล์ระเหย

จำนวนครีบต่อนิ้ว	13
จำนวนครีบต่อท่อ(N_f)	208 (13x16)
ความหนาของครีบ(t)	0.33 mm.
จำนวนท่อทั้งหมด(N_T)	96
เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกท่อ(D_o)	9.525 mm.
เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ(D_i)	8.705 mm.
จำนวนแถวของท่อ(N_r)	4 (24x24x24x24)
ความยาวท่อ(H)	400 mm.(16")

เนื่องจากครีบมีรูปร่างแบบคลื่น(wavy fin) จึงต้องคำนวณหาความยาวเชิงประสิทธิผล ได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูป a

ความยาวครีบ(L) 24 inch (24x2.54 cm)

ความกว้างครีบ(W) 3.5 inch (3.5x2.54 cm)

จากรูป b จะได้ว่า

ความยาวเชิงประสิทธิผลของครีบ(L_{eff}) $= \frac{(24x2.54)x(2x.4)}{0.7}$

$= 70$ cm (27 inch)

พื้นที่ของครีบ(A_f) $= 2xN_f x(WxL_{eff} - \frac{\pi D_o^2 N_T}{4})$

$A_f = 2x208x(3.5x27x.0254^2 - \frac{\pi(9.525x10^{-3})^2 x96)}{4}$

$= 22.517 \ m^2$

พื้นที่ของท่อส่วนที่ไม่ได้ติดครีบ(bare tube), A_b

$A_b = N_T x(\pi D_o H - N_f \delta \pi D_o)$

$A_b = 96x(\pi x9.525x10^{-3}x.4 - 208x.33x10^{-3}x\pi x9.525x10^{-3})$

$= 0.951 \ m^2$

ดังนั้นพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด (A_T)

$= A_f + A_b$

$A_T = (22.517+0.951) = 23.468 \ m^2$

พื้นที่ภายในท่อทั้งหมด(A_i) $= \pi D_i H N_T$

$= \pi(8.705x10^{-3}x0.4x96)$

$A_i = 1.05 \ m^2$

พื้นที่หน้าตัดของการไหลอิสระต่ำสุด (A_{min})

$A_{min} = (HL_{eff}) - N_p D_o (H - N_f \delta) - (\delta L_{eff} N_f)$

เมื่อ N_p คือ จำนวนท่อในแถวแรก = 24

$A_{min} = (0.4x0.7) - (24x9.525x10^{-3})(0.4 - 208x0.33x10^{-3})$

$-(0.33x10^{-3}x0.7x208)$

$A_{min} = 0.1562 \ m^2$

2) คำนวณหาความต้านทานความร้อนด้านคอยล์ระเหย

$$R_1 = \frac{1}{h_{oh}A_{oh}}$$

เมื่อ $$h_{oh} = \frac{(\eta_{fh}A_f h_{fh} + A_b h_{bh})}{(A_f + A_b)}$$

ความยาวของครีบในหนึ่งท่อ(ระยะครึ่งหนึ่งระหว่างท่อ)

$$l_f = \frac{(0.0254-0.009525)}{2}$$

$$=0.007938 \text{ m.}$$

หาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มของครีบ(h_f)

$$\frac{h_f}{C_{p\infty}u_\infty\rho_\infty} = 0.036\left(\frac{l_f u_\infty \rho_\infty}{\mu_\infty}\right)^{-0.2}(Pr)^{-2/3}$$

พิจารณาคุณสมบัติของอากาศที่ 32 °C.

$C_{p\infty}$ = 1006.03 J/kg.°C μ_∞ = 1.99×10^{-5} kg/m.s

k_a = 0.02624 W/m.°C ρ_∞ = 1.159 kg/m^3

u_h = 4 m/s

$$Pr = \frac{(1006.03\times1.99\times10^{-5})}{0.02624}$$

$$= 0.76$$

ดังนั้น

$$h_{fh} = \frac{(0.036\times1006.03\times4\times1.159)}{\left(\frac{7.938\times10^{-3}\times4\times1.159}{1.99\times10^{-5}}\right)^{0.2}\times(0.76)^{2/3}}$$

$$h_{fh} = 44.783 \quad W/m^2.°C$$

หาประสิทธิผลของครีบ

$$\eta_{fh} = \frac{\tanh ml_f}{ml_f}$$

$$ml_f = l_f\sqrt{\frac{2h_f}{k_f\delta}}$$

$$=7.938\times10^{-3}\times\ \frac{2\times44.783}{204\times.33\times10^{-3}}$$

$$= 0.2895$$

$$\eta_{fh} = \frac{\tanh\ 0.2895}{0.2895} = 0.97$$

หา h_{bh} จาก

$Nu = C_z\ B\ Re^m\ Pr^n$ เมื่อ n=1/3 สำหรับอากาศ

C_z=0.89 สำหรับจำนวนท่อ 4 แถว

$W_h = (24\times16\times.0254^2\times4\times1.159) = 1.1485$ kg/s

$$G_{maxh} = \frac{W_h}{A_{min}} = \frac{1.1485}{0.1562} = 7.353 \text{ kg/m}^2\text{ s}$$

$$Re_h = \frac{D_o G_{maxh}}{\mu} = \frac{9.525\times10^{-3}\times7.353}{1.99\times10^{-5}} = 3519$$

$$h_b = \frac{B\times0.89\times k_a\times Re^m\times Pr^{1/3}}{D_o}$$

$$=\frac{B\times0.89\times0.02624\times3519^m\times0.76^{1/3}}{9.525\times10^{-3}}$$

$$=2.2375B(3519^m)$$

เมื่อ B =0.025 และ m=1.35

$$h_b = 2.2375\times0.025\times3519^{1.35}$$

$$= 3431 \quad W/m^2.{}^\circ C$$

ดังนั้น

$$h_{oh} = \frac{(0.97\times22.517\times44.783) + (0.951\times3431)}{23.468}$$

$$= 180.715 \quad W/m^2.{}^\circ C$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$R_1 = \frac{1}{180.715 \times 23.468}$$

$$R_1 = 2.3579 \times 10^{-4} \quad ^\circ C/W$$

หา R_2 จาก

$$R_2 = \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k_{cop} L_h N_T} = \frac{\ln(9.525 \times 10^{-3}/8.705 \times 10^{-3})}{2\pi \times 384 \times .4 \times 96}$$

$$R_2 = 9.715 \times 10^{-7} \quad ^\circ C/W$$

หา R_3 จาก

$$R_3 = \frac{1}{h_{ih} A_{ih}}$$

$$h_{ih} = \frac{C_{pl}(Q_h/A_{ih})^{0.67}}{h_{fg}(pr_l)^{1.7} C_{sf}} \left(\frac{1}{\mu_l h_{fg}} \sqrt{\frac{g_c \sigma}{g(\rho_l - \rho_v)}} \right)^{-0.33}$$

คุณสมบัติของฟรีออน 22 ที่ 32 °C.

$\rho_l = 1162.6$ kg/m^3 $\quad \rho_v = 53.671$ kg/m^3

$h_{fg} = 175100$ J/kg $\quad \mu_l = 1.68 \times 10^{-4}$ kg/m.s

$k_l = .08$ W/m.C $\quad \sigma = 6.4 \times 10^{-3}$ N/m

$C_{pl} = 1.257 \times 10^3$ J/kg.C

$g_c = 1$ kg.m/(N.s^2) $\quad g = 9.81$ m/s^2

$$Pr_l = \frac{1.257 \times 10^3 \times 1.68 \times 10^{-4}}{0.08}$$

$$= 2.64$$

เมื่อ $Q_h = 2119$ W

$C_{sf} = .0054$

$$h_{ih} = \frac{1.257 \times 10^3 \times (2119/1.05)^{0.67}}{175100 \times 2.64^{1.7} \times 0.0054} \times \left(\frac{1}{1.68 \times 10^{-4} \times 175100} \sqrt{\frac{1 \times 6.4 \times 10^{-3}}{9.81 \times (1162.6 - 53.671)}} \right)^{-0.33}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

h_{ib} = 1361.11 $W/m^2\ ^\circ C$

$R_3 = \dfrac{1}{1361.11 \times 1.05} = 6.997 \times 10^{-4}\ ^\circ C/W$

3) คำนวณหาความต้านทานความร้อนด้านคอยล์ควบแน่น

หา R_5 จาก

$$R_5 = \frac{1}{h_{ic} A_{ic}}$$

เมื่อ $h_{ic} = 1.47 k_l \left(\dfrac{h_{fg} A_{ic} g \rho_l^2}{4 Q_c L_c \mu_l} \right)^{1/3}$

คุณสมบัติของฟรีออน 22 ที่ อุณหภูมิ 28 $^\circ C$.

ρ_l = 1178.9 kg/m^3 h_{fg} = 179.284 J/kg

$\mu_l = 1.744 \times 10^{-4}$ kg/m.s k_l = 0.084 $W/m.^\circ C$

Q_c = 1955 W

$$h_{ic} = 1.47 \times 0.084 \times \left(\frac{179.2 \times 10^3 \times 1.05 \times 9.81 \times 1178.9^2}{4 \times 1955 \times 0.4 \times 1.744 \times 10^{-4}} \right)^{1/3}$$

h_{ic} = 2068.754 $W/m^2.^\circ C$

$R_5 = \dfrac{1}{2068.754 \times 1.05}$

$R_5 = 4.6 \times 10^{-4}\ ^\circ C/W$

ส่วนความต้านทานความร้อน R_6 และ R_7 หาได้เช่นเดียวกันกับคอยล์ระเหย (ใช้คุณสมบัติของอากาศที่ 28 $^\circ C$) ผลการคำนวณจะได้เท่ากับ 9.715×10^{-7} และ $2.3146 \times 10^{-4}\ ^\circ C/W$ ตามลำดับ

ผลรวมของความต้านทานความร้อนทั้งมีค่าเท่ากับ

$$\Sigma R = R_1 + R_2 + R_3 + R_5 + R_6 + R_7$$

$$\Sigma R = 2.3579 \times 10^{-4} + 9.715 \times 10^{-7} + 6.997 \times 10^{-4} + 4.6 \times 10^{-4} + 9.715 \times 10^{-7} + 2.3146 \times 10^{-4}$$

$= 1.6816 \times 10^{-3}$ $^{\circ}C/W$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมหาได้จาก

$$U_o A_T = \frac{1}{\Sigma R}$$

$$U_o = \frac{1}{A_T \Sigma R} = \frac{1}{23.468 \times 1.6289 \times 10^{-3}}$$

$$U_o = 26.16 \quad W/m^2.^{\circ}C$$

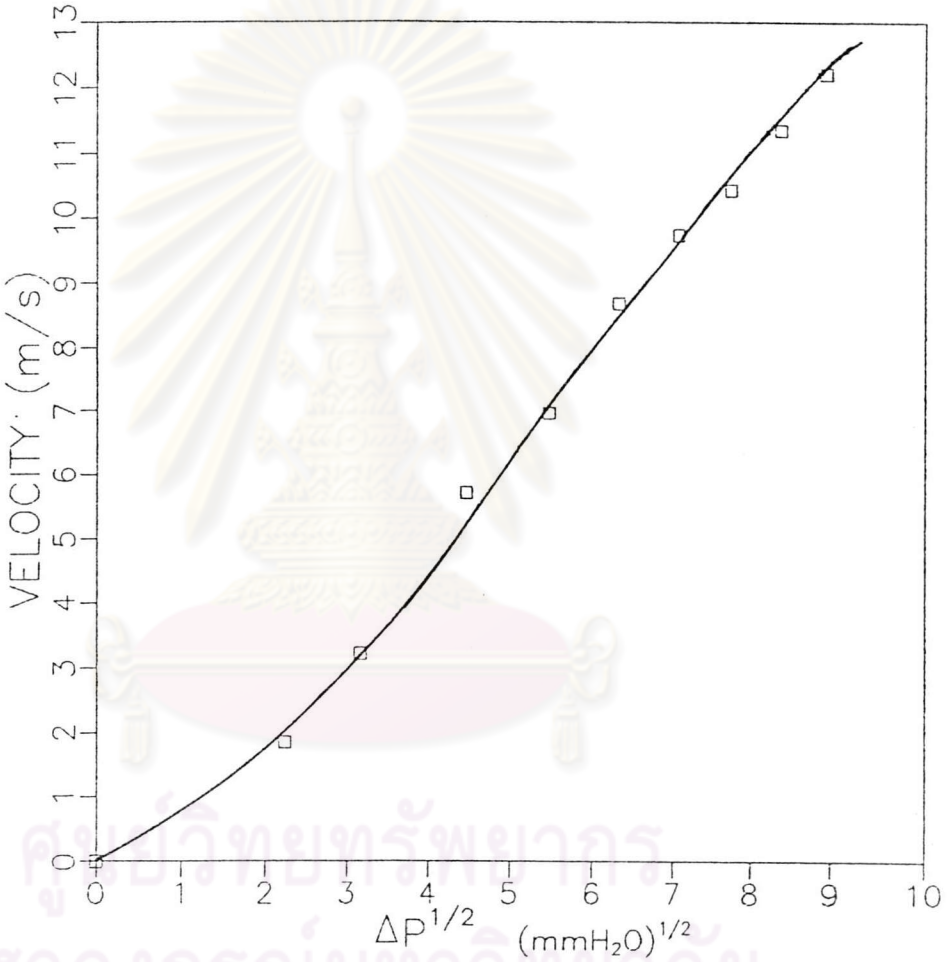
อนึ่ง $U_i A_i = \frac{1}{\Sigma R}$

$$U_i = \frac{1}{A_i \Sigma R} = \frac{1}{1.05 \times 1.6289 \times 10^{-3}}$$

$$= 584.7 \quad W/m^2.^{\circ}C$$

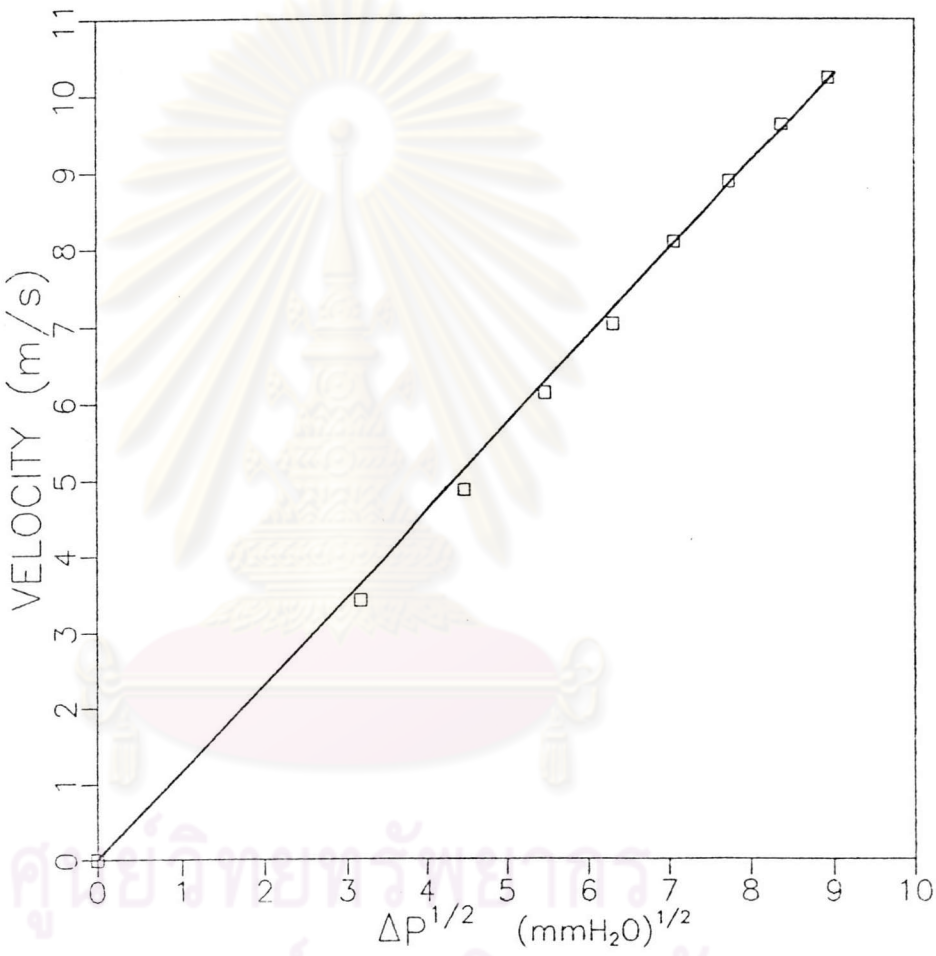
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง



รูปที่ ง.1 Calibration curve ความเร็วกับความดันลดด้านควบแน่น ที่อุณหภูมิ 30 °C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง.2 Calibration curve ความเร็วกับความดันลดด้านระเหย ที่อุณหภูมิ 30 °C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ตาราง จ.1 คุณสมบัติของอากาศที่ความดันบรรยากาศ(J.P.Holman,1981)

T, K	ρ kg/m³	c_p, kJ/ kg °C	μ, kg/m·s × 10⁶	ν, m²/s × 10⁶	k, W/ m °C	α, m²/s × 10⁴	Pr
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.751
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.018609	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.488	9.49	0.02227	0.13161	0.722
300	1.1774	1.0057	1.983	16.84	0.02624	0.22160	0.706
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	31.71	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.462	7.14	464.0	0.149	6.540	0.710
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441	0.730

† From *Natl. Bur. Stand. (U.S.) Circ.* 564, 1955

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง จ.2 คุณสมบัติของฟรีออน 22 ที่สภาวะอิ่มตัว(JAR.,1975)

温度 Temperature		圧力 Pressure		比容積 Specific Volume		密度 Density		比エンタルピ Specific Enthalpy			比エントロピ Specific Entropy		温度 Temp.
°C	K	kgf/cm²		m³/kg		g/cm³		kcal/kg			kcal/kg·K		°C
		絶対 Absolute	ゲージ Gauge	液体* Liquid*	蒸気 Vapour	液体 Liquid	蒸気 Vapour	液体 Liquid	蒸気 Vapour	潜熱 Latent	液体 Liquid	蒸気 Vapour	
t	T	P		v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	$h''-h'$	s'	s''	t
−30	243.15	1.0715	0.6383	0.000726276	0.13526	1.3769	0.0073940	91.94	144.91	54.97	0.9699	1.1914	−30
−29	244.15	1.1432	0.7100	0.000732783	0.13331	1.3719	0.0076917	92.20	144.17	51.97	0.9709	1.1909	−29
−28	245.15	1.2172	0.7840	0.000738964	0.12532	1.3709	0.0079847	92.46	144.22	51.76	0.9711	1.1904	−28
−27	246.15	1.2937	0.8605	0.000743105	0.12376	1.3679	0.0081151	92.73	144.32	51.59	0.9722	1.1899	−27
−26	247.15	1.3727	0.9395	0.000753259	0.11573	1.3644	0.0086411	92.99	144.43	51.44	0.9733	1.1895	−26
−25	248.15	1.4542	1.0210	0.000753433	0.11162	1.3618	0.0089770	93.26	144.53	51.28	0.9743	1.1890	−25
−24	249.15	1.5383	1.1051	0.000761328	0.10725	1.3587	0.0093231	93.52	144.63	51.11	0.9754	1.1885	−24
−23	250.15	1.6250	1.1918	0.000763765	0.10331	1.3557	0.0096794	93.78	144.73	50.95	0.9764	1.1881	−23
−22	251.15	1.7144	1.2812	0.000773933	0.099563	1.3526	0.0100446	94.05	144.83	50.78	0.9775	1.1876	−22
−21	252.15	1.8065	1.3733	0.000781153	0.095935	1.3495	0.0104224	94.32	144.93	50.61	0.9785	1.1872	−21
−20	253.15	1.9014	1.4682	0.000787274	0.092667	1.3466	0.0107912	94.58	147.01	52.45	0.9796	1.1868	−20
−19	254.15	2.0992	1.5660	0.000794447	0.089383	1.3432	0.0111712	94.85	147.13	52.28	0.9806	1.1863	−19
−18	255.15	2.0999	1.6667	0.000796621	0.086534	1.3401	0.0115623	95.11	147.23	52.12	0.9817	1.1859	−18
−17	256.15	2.2036	1.7704	0.000804796	0.083514	1.3370	0.0119644	95.38	147.33	51.95	0.9827	1.1855	−17
−16	257.15	2.3103	1.8771	0.000814971	0.080722	1.3339	0.0123781	95.65	147.43	51.78	0.9837	1.1851	−16
−15	258.15	2.0201	1.9869	0.000751152	0.077357	1.3304	0.0129228	95.92	147.52	51.60	0.9848	1.1847	−15
−14	259.15	2.1330	2.0998	0.000751332	0.074644	1.3275	0.0133987	96.19	147.62	51.43	0.9858	1.1843	−14
−13	260.15	2.2491	2.2159	0.000755513	0.072053	1.3243	0.0138859	96.45	147.72	51.27	0.9868	1.1839	−13
−12	261.15	2.3685	2.3353	0.000759697	0.069574	1.3211	0.0143846	96.72	147.81	51.09	0.9878	1.1835	−12
−11	262.15	2.4912	2.4580	0.000754882	0.067174	1.3178	0.0148943	96.99	147.91	50.92	0.9889	1.1831	−11
−10	263.15	2.6173	2.5841	0.000760059	0.065124	1.3146	0.0153954	97.26	148.00	50.74	0.9899	1.1827	−10
− 9	264.15	2.7469	2.7137	0.000762257	0.062933	1.3114	0.0159280	97.53	148.09	50.56	0.9909	1.1823	− 9
− 8	265.15	2.8799	2.8467	0.000768447	0.060934	1.3081	0.0164619	97.81	148.18	50.37	0.9919	1.1819	− 8
− 7	266.15	3.0165	2.9833	0.000776639	0.059017	1.3048	0.0169973	98.08	148.26	50.20	0.9929	1.1816	− 7
− 6	267.15	3.1567	3.1235	0.000784833	0.057238	1.3015	0.0174941	98.35	148.37	50.02	0.9940	1.1812	− 6
− 5	268.15	3.3005	3.2673	0.000777028	0.055173	1.2982	0.0181125	98.62	148.46	49.84	0.9950	1.1808	− 5
− 4	269.15	3.4482	3.4150	0.000777226	0.053538	1.2949	0.0186723	98.90	148.55	49.65	0.9960	1.1804	− 4
− 3	270.15	3.5996	3.5664	0.000777425	0.051713	1.2916	0.0193337	99.17	148.64	49.47	0.9970	1.1801	− 3
− 2	271.15	3.7549	3.7217	0.000777627	0.050082	1.2882	0.0199967	99.45	148.72	49.27	0.9980	1.1797	− 2
− 1	272.15	3.9141	3.8809	0.000778830	0.048512	1.2849	0.0206613	99.72	148.81	49.09	0.9990	1.1794	− 1
0	273.15	4.0774	4.0442	0.000780035	0.047031	1.2815	0.0212776	100.00	148.90	48.90	1.0000	1.1790	0
1	274.15	4.2447	4.2115	0.000782253	0.045567	1.2781	0.0219555	100.28	148.98	48.70	1.0010	1.1787	1
2	275.15	4.4161	4.3829	0.000788452	0.044146	1.2747	0.0226252	100.56	149.07	48.51	1.0020	1.1783	2
3	276.15	4.5917	4.5585	0.000788664	0.042797	1.2712	0.0233166	100.83	149.15	48.32	1.0030	1.1780	3
4	277.15	4.7715	4.7383	0.000788878	0.041497	1.2678	0.0240098	101.11	149.24	48.13	1.0040	1.1776	4
5	278.15	4.9556	4.9224	0.000790994	0.040244	1.2643	0.0248468	101.39	149.32	47.93	1.0050	1.1773	5
6	279.15	5.1442	5.1110	0.000793113	0.039038	1.2608	0.0256617	101.67	149.40	47.73	1.0060	1.1770	6
7	280.15	5.3372	5.3040	0.000795334	0.037871	1.2573	0.0264005	101.96	149.48	47.52	1.0070	1.1766	7
8	281.15	5.5346	5.5014	0.000797757	0.036747	1.2538	0.0272213	102.24	149.56	47.32	1.0080	1.1763	8
9	282.15	5.7367	5.7035	0.000797983	0.035653	1.2503	0.0280040	102.52	149.64	47.12	1.0090	1.1760	9
10	283.15	5.9434	5.9102	0.000800211	0.034617	1.2467	0.0288468	102.81	149.72	46.91	1.0100	1.1756	10
11	284.15	6.1548	6.1216	0.000804442	0.033637	1.2431	0.0297056	103.09	149.80	46.71	1.0110	1.1753	11
12	285.15	6.3710	6.3378	0.000809676	0.032532	1.2395	0.0305645	103.38	149.87	46.49	1.0119	1.1750	12
13	286.15	6.5920	6.5588	0.000810912	0.031593	1.2359	0.0313556	103.67	149.95	46.28	1.0129	1.1747	13
14	287.15	6.8179	6.7847	0.000811151	0.030769	1.2323	0.0322469	103.95	150.02	46.07	1.0139	1.1744	14
15	288.15	7.0488	7.0156	0.000813393	0.029730	1.2286	0.0333446	104.24	150.09	45.85	1.0149	1.1740	15
16	289.15	7.2849	7.2516	0.000818637	0.028751	1.2249	0.0344423	104.53	150.17	45.64	1.0159	1.1737	16
17	290.15	7.5258	7.4926	0.000818895	0.028229	1.2212	0.0353625	104.82	150.24	45.42	1.0169	1.1734	17
18	291.15	7.7721	7.7389	0.000821155	0.027336	1.2175	0.0365651	105.11	150.31	45.20	1.0179	1.1731	18
19	292.15	8.0238	7.9904	0.000823419	0.026556	1.2138	0.0377501	105.41	150.39	44.97	1.0189	1.1728	19
20	293.15	8.2804	8.2472	0.000826666	0.025722	1.2100	0.0388577	105.70	150.44	44.74	1.0199	1.1725	20
21	294.15	8.5426	8.5094	0.000829005	0.025233	1.2062	0.0394878	105.99	150.51	44.52	1.0209	1.1722	21
22	295.15	8.8102	8.7770	0.000833179	0.024539	1.2024	0.0407806	106.29	150.58	44.29	1.0219	1.1719	22
23	296.15	10.083	9.050	0.000881617	0.023132	1.1945	0.0431961	106.59	150.64	44.05	1.0239	1.1713	23
24	297.15	10.362	9.329	0.000883737	0.022178	1.1946	0.0441143	106.88	150.70	43.82	1.0239	1.1713	24
25	298.15	10.647	9.614	0.000883951	0.022267	1.1907	0.0443153	107.18	150.76	43.58	1.0248	1.1709	25
26	299.15	10.937	9.904	0.000884259	0.021336	1.1868	0.0455592	107.48	150.82	43.34	1.0258	1.1706	26
27	300.15	11.233	10.200	0.000884561	0.021343	1.1829	0.0468860	107.78	150.88	43.10	1.0267	1.1703	27
28	301.15	11.535	10.502	0.000884926	0.020755	1.1789	0.0481859	108.09	150.94	42.85	1.0277	1.1700	28
29	302.15	11.842	10.809	0.000885116	0.020737	1.1749	0.0494689	108.39	151.00	42.61	1.0287	1.1697	29
30	303.15	12.154	11.123	0.000885410	0.019866	1.1708	0.0508850	108.69	151.05	42.36	1.0297	1.1694	30
31	304.15	12.476	11.443	0.000885708	0.019141	1.1668	0.0522744	109.00	151.10	42.10	1.0307	1.1691	31
32	305.15	12.802	11.769	0.000886010	0.018432	1.1626	0.0538671	109.31	151.16	41.85	1.0317	1.1688	32
33	306.15	13.135	12.102	0.000886317	0.018139	1.1585	0.0551133	109.61	151.21	41.60	1.0327	1.1685	33
34	307.15	13.473	12.440	0.000886629	0.017559	1.1543	0.0566630	109.92	151.25	41.33	1.0336	1.1682	34
35	308.15	13.819	12.786	0.000886946	0.017193	1.1501	0.0581862	110.23	151.30	41.07	1.0346	1.1679	35
36	309.15	14.170	13.137	0.000887257	0.016741	1.1459	0.0597732	110.55	151.35	40.80	1.0356	1.1675	36
37	310.15	14.528	13.495	0.000887596	0.016333	1.1416	0.0613340	110.86	151.39	40.53	1.0366	1.1673	37
38	311.15	14.893	13.860	0.000887926	0.015976	1.1373	0.0629886	111.17	151.43	40.26	1.0376	1.1670	38
39	312.15	15.264	14.231	0.000888253	0.015652	1.1330	0.0646675	111.49	151.47	39.98	1.0386	1.1667	39
40	313.15	15.641	14.610	0.000888636	0.015345	1.1286	0.0664601	111.81	151.51	39.70	1.0396	1.1664	40

* この値を1000倍すると ℓ/kgになる。 This value multiplied by 1000 yields the value in ℓ/kg.

ภาคผนวก ฉ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

โปรแกรม 1

```
5  REM ***** PROGRAM 1: design by LEAST SQUARES METHOD:*****
10  CLS : REM HEAT EXCHANGER DESIGN FOR ENERGY RECOVERY SYSTEM
12 DIM A(100), Y(100)
15 DEFINT T, Y
20 LOCATE 2, 10: COLOR 12, 9: PRINT "AIR CONDITIONING CONDITIONS FOR COOLING LOAD DESIGN": COLOR 7, 0
40 LOCATE 4, 10: INPUT "INDOOR TEMPERATURE(C)    :", Fi
60 LOCATE 6, 10: INPUT " OUTDOOR TEMPERATURE (C) :", Fhi
80 LOCATE 8, 10: INPUT " EXHAUST TEMPERATURE (C) :", Fci
100 LOCATE 10, 10: INPUT "EXHAUST MASS FLOWRATE(kg/s):", Wc
120 LOCATE 12, 10: INPUT "SUPPLY MASS FLOWRATE(kg/s)  :", Wh
140 LOCATE 14, 10: INPUT "PERCENTAGE FOR RECOVERY(%)  :", P
150 CLS : REM INPUT PROPERTY OF AIR
170 Tf = (Fhi + Fi) / 2
180 Tbh = Tf
200 GOSUB 9200
240 Cpi = Cpout
420 REM calculation to determined  sensible heat of supply stream
440 Hs = Wh * Cpi * (Fhi - Fi): REM sensible heat (W)
450 Qr = (P / 100) * Hs: REM required to heat recovery(W)
455 Qh = Qr
470 Qc = Qr
480 CLS : REM calculation to determined logarithaic temperature difference(DTm)
490 Tbh = Fhi
495 Tbc = Fci
498 GOSUB 9200
500 DTc = Qr / (Wc * Cpexh)
520 Fco = Fci + DTc
540 DTh = Qr / (Wh * Cpout)
560 Fho = Fhi - DTh
580 DT1 = Fhi - Fco
600 DT2 = Fho - Fci
620 IF DT1 = DT2 THEN 680
640 DTm = (DT1 - DT2) / LOG(DT1 / DT2)
660 GOTO 720
680 DTm = (DT1 + DT2) / 2
700 CLS
720 LOCATE 5, 20: COLOR 4, 10: PRINT "GIVEN PARAMETER FOR DESIGN": COLOR 7, 0
740 LOCATE 7, 10: INPUT " ASSUME HEAT TRANSFER AREA(m^2)  :", A(0)
760 LOCATE 9, 10: INPUT "TUBE LENGTH(m)                   :", H
765 LOCATE 11, 10: INPUT "NUMBER OF ROWS                   :", NR
780 D = .009525: REM OUT SIDE DIAMETER OF TUBE(m)
790 Di = .008705: REM INSIDE DIAMETER OF TUBE(m)
795 s = 13: REM NUMBER OF FINS PER INCH (fins/in.)
820 x = .00033: REM FIN THICKNESS(m)
840 ST = .0254: REM TRANSVERSE PITCH(m)
860 SD = .0254: REM DIAGONAL PITCH(m)
880 Ef = .95: REM FIN EFFICIENCY
1000 CLS
1020 NF = (100 * H * s) / 2.54: REM number of fins
1040 SL = SQR(SD ^ 2 - (ST / 2) ^ 2)
1070 FOR i = 0 TO 100
```

```
1060 NT = A(i) / (3.141 * D * (H - (NF * x)) + 2 * NF * Ef * ((ST * SL) - (3.141 * D ^ 2 / 4)))
1150 Y = NT / NR
1160 L = Y * ST
1180 W = NR * SL
1200 Amin = (L * H) - Y * D * (H - (NF * x)) - (NF * L * x)
1210 Tbh = (Fbi + Fbo) / 2
1215 Tbc = (Fci + Fco) / 2
1220 GOSUB 9200
1240 Gmaxc = Wc / Amin
1260 Gmaxh = Wh / Amin
1280 Rec = (D * Gmaxc) / Vexh
1300 Reh = (D * Gmaxh) / Vout
1320 Rer = Reh / Rec
1330 IF Rec > 190 AND Rec < 3200 THEN 1540
1350 LOCATE 8, 14: PRINT "Rec="; Rec
1355 LOCATE 10, 10: PRINT " OVER RANGE RENOLD NUMBER": GOTO 6060
1540 CLS : REM SELECT CORRELATION OF FIT-EXPERIMENT METHOD
1560 U = .122 * (Rec ^ .641) * (Rer ^ .238)
1580 A(i + 1) = Qr / (U * DTm)
1620 fb = (A(i) - A(i + 1)) / A(i + 1)
1660 E1 = .00001
1680 Afb = ABS(fb)
1900 IF Afb <= E1 THEN GOTO 3020
2040 A(i) = A(i + 1)
2060 NEXT i
3000 REM **********PROGRAME CALCULATE PRESSURE DROP *********************
3020 f = 18.93 * ((D * .2049 * Gmaxc) / (.3048 * .6721 * Vexh)) ^ (-.316) * (ST / D) ^ (-.927) * (ST / SL) ^ .515
3040 DP = (f * NR * (.2049 ^ 2) * Gmaxc ^ 2) / (Dexh * 32.1739 * 144 * .0624)
3050 IF DP > .028 THEN PRINT "DP="; DP: GOTO 750
3050 REM  A/C AND H/E DESIGN CONDITIONS
3065 LPRINT "            HEAT EXCHANGER DESIGN CONDITONS              "
3067 LPRINT "            ================================             "
3070 LPRINT "_____________________________________________________"
3080 LPRINT "    "
3090 LPRINT "   CONDITIONS                              DIMENSIONS    "
4000 LPRINT "_____________________________________________________"
4002 LPRINT ""
4005 LPRINT " TEMPERATURE INDOOR(deg.C)                    "; Fi
4010 LPRINT " TEMPERATURE OUTDOOR(deg.C)                   "; Fbi
4020 LPRINT " EXHAUSTED TEMPERATURE (deg.C)                "; Fci
4030 LPRINT " MASS FLOW RATE OF HOT SIDE(kg/s)             "; Wh
4040 LPRINT " MASS FLOW RATE OF COLD SIDE(kg/s)            "; Wc
4050 LPRINT " ENERGY RECOVERY DESIRED (%)                  "; P
4060 LPRINT "_____________________________________________________"
4070 LPRINT " "
4080 LPRINT " "
5000 REM prin specification of heat exhager
5005 LPRINT "            RESULTS OF HEAT EXCHANGER DESIGN             "
5010 LPRINT "            ================================             "
5062 LPRINT "_____________________________________________________"
5063 LPRINT "
5064 LPRINT "   PARAMETER                          VALUE          "
5067 LPRINT "_____________________________________________________"
5068 LPRINT "
5070 LPRINT USING " OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT    ##.##  W/SQ.M.deg.C."; U
5080 LPRINT USING " PRESSURE DROP                        #.####  psi"; DP
```

```
5120 LPRINT USING " NUMBER OF ROWS                              ##"; NR
5140 LPRINT USING " NUMBER OF TUBES                             ###"; NT
5170 LPRINT USING " LENGTH OF EACH TUBE                          #.##  m"; H
5180 LPRINT USING " DIMENSIONS OF HEAT EXCHANGER(WxLxH) ##.###x##.###x##.### m"; W; L; H
5220 LPRINT USING " TRANSVERSE PITCH                             #.#### m"; ST
5260 LPRINT USING " DIAGONAL PITCH                               #.#### m"; SD
5300 LPRINT USING " OUTSIDE DIAMETER OF TUBE                     #.####^^^^ m"; D
5340 LPRINT USING " FIN  SPACING                                 ## fins/in."; s
5380 LPRINT USING " FIN  THICKNESS                               #.####^^^^m"; x
5420 LPRINT USING " TOTAL NUMBER OF FINS                        #### "; NF
5460 LPRINT USING " AREA OF HEAT TRANSFER                       ### SQ.M."; A(i)
5490 LPRINT "_____________________________________________________"
6060 END
9190 REM property of air
9200 IF Tbh = 17 THEN Dout = 1.22448: Cpout = 1005.62: Vout = 1.884E-05
9210 IF Tbc = 17 THEN Dexh = 1.22448: Cpexh = 1005.62: Vexh = 1.884E-05
9220 IF Tbh = 18 THEN Dout = 1.219772: Cpout = 1005.628: Vout = 1.893E-05
9230 IF Tbc = 18 THEN Dexh = 1.219772: Cpexh = 1005.628: Vexh = 1.893E-05
9240 IF Tbh = 19 THEN Dout = 1.215064: Cpout = 1005.636: Vout = 1.903E-05
9250 IF Tbc = 19 THEN Dexh = 1.215064: Cpexh = 1005.636: Vexh = 1.903E-05
9260 IF Tbh = 20 THEN Dout = 1.21035: Cpout = 1005.644: Vout = 1.913E-05
9270 IF Tbc = 20 THEN Dexh = 1.21035: Cpexh = 1005.644: Vout = 1.913E-05
9280 IF Tbh = 21 THEN Dout = 1.2056: Cpout = 1005.652: Vout = 1.923E-05
9290 IF Tbc = 21 THEN Dexh = 1.2056: Cpexh = 1005.652: Vexh = 1.923E-05
9300 IF Tbh = 22 THEN Dout = 1.2009: Cpout = 1005.66: Vout = 1.933E-05
9310 IF Tbc = 22 THEN Dexh = 1.2009: Cpexh = 1005.66: Vexh = 1.933E-05
9320 IF Tbh = 23 THEN Dout = 1.1962: Cpout = 1005.668: Vout = 1.943E-05
9330 IF Tbc = 23 THEN Dexh = 1.1962: Cpexh = 1005.668: Vexh = 1.943E-05
9340 IF Tbh = 24 THEN Dout = 1.1915: Cpout = 1005.676: Vout = 1.953E-05
9350 IF Tbc = 24 THEN Dexh = 1.1915: Cpexh = 1005.676: Vexh = 1.953E-05
9360 IF Tbh = 25 THEN Dout = 1.1868: Cpout = 1005.684: Vout = 1.963E-05
9370 IF Tbc = 25 THEN Dexh = 1.1868: Cpexh = 1005.684: Vexh = 1.963E-05
9380 IF Tbh = 26 THEN Dout = 1.1821: Cpout = 1005.692: Vout = 1.973E-05
9390 IF Tbc = 26 THEN Dexh = 1.1821: Cpexh = 1005.692: Vexh = 1.973E-05
9400 IF Tbh = 27 THEN Dout = 1.1774: Cpout = 1005.7: Vout = 1.983E-05
9410 IF Tbc = 27 THEN Dexh = 1.1774: Cpexh = 1005.7: Vexh = 1.983E-05
9420 IF Tbh = 28 THEN Dout = 1.1738: Cpout = 1005.766: Vout = 1.984E-05
9430 IF Tbc = 28 THEN Dexh = 1.1738: Cpexh = 1005.766: Vexh = 1.984E-05
9440 IF Tbh = 29 THEN Dout = 1.1702: Cpout = 1005.832: Vout = 1.986E-05
9450 IF Tbc = 29 THEN Dexh = 1.1702: Cpexh = 1005.832: Vexh = 1.986E-05
9460 IF Tbh = 30 THEN Dout = 1.1666: Cpout = 1005.898: Vout = 1.988E-05
9470 IF Tbc = 30 THEN Dexh = 1.1666: Cpexh = 1005.898: Vexh = 1.988E-05
9480 IF Tbh = 31 THEN Dout = 1.163: Cpout = 1005.964: Vout = .0000199
9490 IF Tbc = 31 THEN Dexh = 1.163: Cpexh = 1005.964: Vexh = .0000199
9500 IF Tbh = 32 THEN Dout = 1.1595: Cpout = 1006.03: Vout = 1.992E-05
9510 IF Tbc = 32 THEN Dexh = 1.1595: Cpexh = 1006.03: Vexh = 1.992E-05
9520 IF Tbh = 33 THEN Dout = 1.1559: Cpout = 1006.096: Vout = 1.994E-05
9530 IF Tbc = 33 THEN Dexh = 1.1559: Cpexh = 1006.096: Vexh = 1.994E-05
9540 IF Tbh = 34 THEN Dout = 1.1522: Cpout = 1006.162: Vout = 1.995E-05
9550 IF Tbc = 34 THEN Dexh = 1.1522: Cpexh = 1006.162: Vexh = 1.995E-05
9560 IF Tbh = 35 THEN Dout = 1.1487: Cpout = 1006.228: Vout = 1.997E-05
9570 IF Tbc = 35 THEN Dexh = 1.1487: Cpexh = 1006.228: Vexh = 1.997E-05
9580 IF Tbh = 36 THEN Dout = 1.1451: Cpout = 1006.294: Vout = 1.999E-05
9590 IF Tbc = 36 THEN Dexh = 1.1451: Cpexh = 1006.294: Vexh = 1.999E-05
9600 IF Tbh = 37 THEN Dout = 1.1415: Cpout = 1006.36: Vout = 2.001E-05
9610 IF Tbc = 37 THEN Dexh = 1.1415: Cpexh = 1006.36: Vexh = 2.001E-05
9620 IF Tbh = 38 THEN Dout = 1.1379: Cpout = 1006.426: Vout = 2.003E-05
```

```
9630 IF Tbc = 38 THEN Dexh = 1.1379: Cpexh = 1006.426: Vexh = 2.003E-05
9640 IF Tbh = 39 THEN Dout = 1.1343: Cpout = 1006.492: Vout = 2.005E-05
9650 IF Tbc = 39 THEN Dexh = 1.1343: Cpexh = 1006.492: Vexh = 2.005E-05
9660 IF Tbh = 40 THEN Dout = 1.1308: Cpout = 1006.558: Vout = 2.006E-05
9670 IF Tbc = 40 THEN Dexh = 1.1308: Cpexh = 1006.558: Vexh = 2.006E-05
9680 RETURN
9690 END
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรม 2

```
5  REM***PROGRAM 2 ::design by HEAT CONDUCTANCE MODEL::*******
10  CLS : REM HEAT EXCHANGER DESIGN FOR ENERGY RECOVERY SYSTEM
12 DIM A(100)
15 DEFINT T, Y
20 LOCATE 2, 10: COLOR 12, 9: PRINT "AIR CONDITIONING CONDITIONS FOR COOLING LOAD DESIGN": COLOR 7, 0
40 LOCATE 4, 10: INPUT "INDOOR  TEMPERATURE (C)          :", Fi
60 LOCATE 6, 10: INPUT " OUTDOOR TEMPERATURE (C)         :", Fhi
80 LOCATE 8, 10: INPUT " EXHAUST TEMPERATURE (C)         :", Fci
100 LOCATE 10, 10: INPUT "EXHAUST MASS FLOWRATE(kg/s)    :", Wc
120 LOCATE 12, 10: INPUT "SUPPLY MASS FLOWRATE(kg/s)     :", Wh
140 LOCATE 14, 10: INPUT "PERCENTAGE FOR RECOVERY(%)     :", P
160 CLS : REM INPUT PROPERTY OF AIR
170 Tf = (Fhi + Fi) / 2
180 Tbh = Tf
200 GOSUB 9200
240 Cpf = Cpout
420 REM CALCULATION FOR DETERMINED SENSIBLE HEAT OF COOLING LOAD
440 Hs = Wh * Cpf * (Fhi - Fi): REM SENSIBLE HEAT (W)
460 Qr = (P / 100) * Hs: REM HEAT RECOVERY
465 Qh = Qr
470 Qc = Qr
480 CLS : REM CALCULATION DETERMINED OF LOGARITHMIC DIFFERENCE (DTm)
490 Tbh = Fhi
500 Tbc = Fci
510 GOSUB 9200
520 DTc = Qr / (Wc * Cpexh)
530 Fco = Fci + DTc
540 DTh = Qr / (Wh * Cpout)
560 Fho = Fhi - DTh
580 DT1 = Fhi - Fco
600 DT2 = Fho - Fci
620 IF DT1 = DT2 THEN 680
640 DTm = (DT1 - DT2) / LOG(DT1 / DT2)
660 GOTO 720
680 DTm = (DT1 + DT2) / 2
700 CLS
720 LOCATE 5, 20: COLOR 4, 10: PRINT "GIVEN PARAMETER FOR DESIGN": COLOR 7, 0
740 LOCATE 7, 10: INPUT " ASSUME HEAT TRANSFER AREA(m^2)  :", A(0)
750 LOCATE 9, 10: INPUT " TUBE LENGTH(m)                  :", H
755 LOCATE 11, 10: INPUT " NUMBER OF ROWS                  :", NR
760 D = .009525: REM OUT SIDE DIAMETER OF TUBE(m)
770 Di = .008705: REM INSIDE DIAMETER OF TUBE(m)
780 S = 13: REM NUMBER OF FINS PER INCH (fins/in.)
820 x = .00033: REM FINS THICKNESS(m)
840 ST = .0254: REM TRANSVERSE PITCH(m)
860 SD = .0254: REM DIAGONAL PITCH(m)
880 Ef = .95: REM FIN EFFICIENCY
1000 CLS
1020 NF = (100 * H * S) / 2.54: REM number of fins
1040 SL = SQR(SD ^ 2 - (ST / 2) ^ 2)
1050 FOR i = 0 TO 100
1060 NT = A(i) / (3.141 * D * (H - (NF * x)) + 2 * NF * Ef * ((ST * SL) - (3.141 * D ^ 2 / 4)))
1080 Y = NT / NR: REM number of tube on first row
```

```
1160 L = Y * ST
1180 W = NR * SL
1200 Amin = (L * H) - Y * D * (H - (NF * x)) - (NF * L * x)
1210 Thh = (Fhi + Fho) / 2
1215 Tbc = (Fci + Fco) / 2
1220 GOSUB 9200
1240 Gmaxc = Wc / Amin
1260 Gmaxh = Wh / Amin
1280 Rec = (D * Gmaxc) / Vexh
1300 Reh = (D * Gmaxh) / Vout
1320 Rer = Reh / Rec
1800 REM SELECT CORRELATION OF CONDUCTANCE MODEL METHOD
2000 GOSUB 7000
2020 A(i + 1) = Qr / (Ucal * DTm)
2200 DA = (A(i) - A(i + 1)) / A(i + 1)
2220 ADA = ABS(DA)
2240 E1 = .001
2270 IF ADA <= E1 THEN GOTO 3020
2280 A(i) = A(i + 1)
3000 NEXT i
3010 REM **********PROGRAME CALCULATE PRESSURE DROP ********************
3020 f = 18.93 * ((D * .2049 * Gmaxc) / (.3048 * .6721 * Vexh)) ^ (-.316) * (ST / D) ^ (-.927) * (ST / SL) ^ .515
3040 DP = (f * NR * (.2049 ^ 2) * Gmaxc ^ 2) / (Dexh * 32.1739 * 144 * .0624)
3060 IF DP > .028 THEN PRINT "DP="; DP: GOTO 750
3080 REM PRINT A/C AND H/E CONDITIONS
3090 LPRINT "         HEAT EXCHANGER DESIGN CONDITIONS                    "
4000 LPRINT "         ================================                    "
4005 LPRINT "_____________________________________________________________"
4008 LPRINT "                                                             "
4010 LPRINT "  CONDITIONS                                DIMENSIONS       "
4015 LPRINT "_____________________________________________________________"
4018 LPRINT "                                                             "
4020 LPRINT "  TEMPERATURE INDOOR (deg.C)                 "; Fi
4025 LPRINT "  TEMPERATURE OUTDOOR(deg.C)                 "; Fhi
4030 LPRINT "  EXHAUSTED TEMPERATURE (deg.C)              "; Fci
4035 LPRINT "  MASS FLOW RATE OF HOT SIDE(kg/s)           "; Wh
4040 LPRINT "  MASS FLOW RATE OF COLD SIDE(kg/s)          "; Wc
4050 LPRINT "  ENERGY RECOVERY DESIRED (%)                "; P
4050 LPRINT "_____________________________________________________________"
4070 LPRINT "                                                             "
4080 LPRINT "                                                             "
5050 REM print specification of heat exhager
5055 LPRINT "              RESULT OF HEAT EXCHANGER DESIGN                "
5058 LPRINT "              ===============================                "
5062 LPRINT "_____________________________________________________________"
5063 LPRINT "                                                             "
5064 LPRINT "   PARAMETERS                                VALUE           "
5067 LPRINT "_____________________________________________________________"
5068 LPRINT "                                                             "
5070 LPRINT USING " OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT     ##.## W/SQ.M.deg.C"; Ucal
5080 LPRINT USING " PRESSURE DROP                          #.#### psi"; DP
5120 LPRINT USING " NUMBER OF ROWS                        ##"; NR
5140 LPRINT USING " NUMBER OF TUBES                       ###"; NT
5160 LPRINT USING " LENGTH OF EACH TUBE                    #.##"; H
5180 LPRINT USING " DIMENSIONS OF HEAT EXCHANGER(WxLxH)    #.###x#.###x#.### m"; W; L; H
5220 LPRINT USING " TRANSVERSE PITCH                       #.#### m"; ST
```

```
5260 LPRINT USING " DIAGONAL PITCH                    #.#### m"; SD
5300 LPRINT USING " OUTSIDE DIAMETER OF TUBE          #.###^^^^ m"; D
5340 LPRINT USING " FIN SPACING                       ## fins/in."; S
5380 LPRINT USING " FIN THICKNESS                     #.####^^^^ m"; x
5420 LPRINT USING " TOLTAL NUMBER OF FINS             ####"; NF
5460 LPRINT USING " AREA OF HEAT TRANSFER             ### SQ.M."; A(i)
5490 LPRINT "_____________________________________________________"
6060 END
7000 CLS : REM SUBPROGRAM FOR DETERMINED PROPERTY OF FREON-22
7120 Fbc = (Fci + Fco) / 2
7140 Fbh = (Fhi + Fho) / 2
7142 Tbc = Fbc
7144 Tbh = Fbh
7145 FKh = Fbh + 273.15: REM degree K
7150 FKc = Fbc + 273.15: REM degree K
7155 GOSUB 8540
7157 GOSUB 8540
7160 AL = 32.76: BL = 54.634409#: CL = 36.74892: DL = -22.2925657#: EL = 20.4732886#: FC = 664.5
7180 FRh = (1.8 * Fbh) + 32 + 459.69: REM degree R
7200 FRc = (1.8 * Fbc) + 32 + 459.69
7220 Dlh = 16.019 * (AL + BL * (1 - (FRh / FC)) ^ (1 / 3)
    + CL * (1 - (FRh / FC)) ^ (2 / 3) + DL * (1 - (FRh / FC)) + EL * (1 - (FRh / FC)) ^ (4 / 3)): REM kg/m^3
7240 Dlc = 16.019 * (AL + BL * (1 - (FRc / FC)) ^ (1 / 3)
    + CL * (1 - (FRc / FC)) ^ (2 / 3) + DL * (1 - (FRc / FC)) + EL * (1 - (FRc / FC)) ^ (4 / 3)): REM kg/m^3
7260 Visb = .001 * (EXP(-3.39554 + (532.855 / FKh))): REM kg/m-s
7280 Visc = .001 * (EXP(-3.39554 + (532.855 / FKc))): REM kg/m-s
7300 klh = .2167 + (2.89265E-04 * FKh) - (8.47273E-06 * FKh ^ 2) + (3.35706E-08 * FKh ^ 3) - (4.46379E-11 * FKh ^ 4)
7320 klc = .2167 + (2.89265E-04 * FKc) - (8.47273E-06 * FKc ^ 2) + (3.35706E-08 * FKc ^ 3) - (4.46379E-11 * FKc ^ 4)
7340 Cph = 1000 * (-14.0445 + (.16393 * FKh) - (5.96758E-04 * FKh ^ 2) + (7.34454E-07 * FKh ^ 3)): REM J/kg-C
7360 sh = .075692 * (1 - (FKh / 369.3)) ^ 1.4: REM Surface tension (N/m)
7365 Kout = .02624: REM air outdoor(W/m-C)
7366 Kexh = .02624: REM air exhaust(W/m-C)
7380 REM AREA OF FIN AND AREA OF BARE
7400 Af = 2 * NT * NF * ((ST * SL) - (3.141 * D ^ 2 / 4)): REM area of fin
7420 Ab = 3.141 * NT * D * (H - (NF * x)): REM area of bare tube
7440 lf = (SL - D) / 2: REM fin length
7460 Ac = L * H: REM CROSS-SECTION AREA OF COIL
7480 Uh = Wh / (Dout * Ac)
7500 Uc = Wc / (Dexh * Ac)
7520 Prh = (Cpout * Vout) / Kout
7540 Prc = (Cpexh * Vexh) / Kexh
7560 REM FILM OF FIN
7580 hfh = .036 * (Cpout * Uh * Dout) * ((lf * Uh * Dout) / Vout) ^ (-.2) * (Prh ^ (-2 / 3))
7600 hfc = .036 * (Cpexh * Uc * Dexh) * ((lf * Uc * Dexh) / Vexh) ^ (-.2) * (Prc ^ (-2 / 3))
7620 REM FIN EFFICIENCY
7640 ka = 204: REM W/m-C thermal conductivity of Aluminum
7650 kcop = 384: REM W/m-C thermal conductivity of Copper
7660 mlh = lf * SQR(2 * hfh / (x * ka))
7680 mlc = lf * SQR(2 * hfc / (x * ka))
7700 nfh = ((EXP(mlh) - EXP(-mlh)) / (EXP(mlh) + EXP(-mlh))) / mlh
7720 nfc = ((EXP(mlc) - EXP(-mlc)) / (EXP(mlc) + EXP(-mlc))) / mlc
7740 REM bar film
7750 GOSUB 8400
7760 B = .025
7780 M = 1.35
7800 hbh = B * (Kout / D) * Z * (Reh ^ M) * (Prh ^ (1 / 3))
7820 hbc = B * (Kexh / D) * Z * (Rec ^ M) * (Prc ^ (1 / 3))
7840 REM outside film
7860 hoh = ((nfh * Af * hfh) + (Ab * hbh)) / (Af + Ab)
7880 hoc = ((nfc * Af * hfc) + (Ab * hbc)) / (Af + Ab)
```

```
7900 REM conduction
8000 R2 = LOG(D / Di) / (2 * 3.14159 * kcop * H * NT)
8020 R5 = R2
8040 REM inside of tube  film
8060 Cfs = .0054
8070 Ao = Af + Ab
8080 Ai = 3.14159 * Di * H * NT: REM inside area
8100 gc = 1: REM kg-m/N-s^2
8120 g = 9.81: REM m/s^2
8140 Prl = (Cph * Vish) / klh
8160 hih = (1 / (4184 * LHh * Prl ^ 1.7 * Cfs)) * (Cph * (Qh / Ai) ^ .67)
     * ((1 / (4184 * Vish * LHh)) ^ (-.33)) * ((SQR((gc * sh) / (g * (Dlh - Dvap)))) ^ (-.33))
8180 hic = 1.47 * klc * ((4184 * LHc * Ai * g * Dlc ^ 2) / (4 * Qc * H * Visc)) ^ (1 / 3)
8200 REM resistance of heat flow
8220 R1 = 1 / (hoh * Ao)
8240 R3 = 1 / (hih * Ai)
8260 R4 = 1 / (hic * Ai)
8280 R6 = 1 / (hoc * Ao)
8300 R = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6
8340 Ucal = 1 / (R * Ao)
8360 RETURN
8400 REM RATIO FOR STAGGERED TUBES
8410 IF NR = 1 THEN Z = .68: RETURN
8420 IF NR = 2 THEN Z = .75: RETURN
8430 IF NR = 3 THEN Z = .83: RETURN
8440 IF NR = 4 THEN Z = .89: RETURN
8450 IF NR = 5 THEN Z = .92: RETURN
8460 IF NR = 6 THEN Z = .95: RETURN
8470 IF NR = 7 THEN Z = .97: RETURN
8480 IF NR = 8 THEN Z = .98: RETURN
8490 IF NR = 9 THEN Z = .99: RETURN
8500 IF NR >= 10 THEN Z = 1: RETURN
8520 END
8530 REM PROPERTY OF R-22
8540 IF Tbh = 10 THEN Dvap = 28.888: LHh = 46.91
8550 IF Tbc = 10 THEN LHc = 46.91
8560 IF Tbh = 11 THEN Dvap = 29.756: LHh = 46.71
8570 IF Tbc = 11 THEN LHc = 46.71
8580 IF Tbh = 12 THEN Dvap = 30.645: LHh = 46.49
8590 IF Tbc = 12 THEN LHc = 46.49
8600 IF Tbh = 13 THEN Dvap = 31.556: LHh = 46.28
8610 IF Tbc = 13 THEN LHc = 46.28
8620 IF Tbh = 14 THEN Dvap = 32.489: LHh = 46.07
8630 IF Tbc = 14 THEN LHc = 46.07
8640 IF Tbh = 15 THEN Dvap = 33.444: LHh = 45.85
8650 IF Tbc = 15 THEN LHc = 45.85
8660 IF Tbh = 16 THEN Dvap = 34.423: LHh = 45.64
8670 IF Tbc = 16 THEN LHc = 45.64
8680 IF Tbh = 17 THEN Dvap = 35.425: LHh = 45.42
8690 IF Tbc = 17 THEN LHc = 45.42
8700 IF Tbh = 18 THEN Dvap = 36.451: LHh = 45.2
8710 IF Tbc = 18 THEN LHc = 45.2
8720 IF Tbh = 19 THEN Dvap = 37.501: LHh = 44.97
8730 IF Tbc = 19 THEN LHc = 44.97
8740 IF Tbh = 20 THEN Dvap = 38.577: LHh = 44.74
8750 IF Tbc = 20 THEN LHc = 44.74
```

```
8760 IF Tbh = 21 THEN Dvap = 39.678: LHh = 44.52
8770 IF Tbc = 21 THEN LHc = 44.52
8780 IF Tbh = 22 THEN Dvap = 40.806: LHh = 44.29
8790 IF Tbc = 22 THEN LHc = 44.29
8800 IF Tbh = 23 THEN Dvap = 41.961: LHh = 44.05
8810 IF Tbc = 23 THEN LHc = 44.05
8820 IF Tbh = 24 THEN Dvap = 43.143: LHh = 43.82
8830 IF Tbc = 24 THEN LHc = 43.82
8840 IF Tbh = 25 THEN Dvap = 44.353: LHh = 43.58
8850 IF Tbc = 25 THEN LHc = 43.58
8860 IF Tbh = 26 THEN Dvap = 45.592: LHh = 43.34
8870 IF Tbc = 26 THEN LHc = 43.34
8880 IF Tbh = 27 THEN Dvap = 46.86: LHh = 43.1
8890 IF Tbc = 27 THEN LHc = 43.1
8900 IF Tbh = 28 THEN Dvap = 48.159: LHh = 42.85
8910 IF Tbc = 28 THEN LHc = 42.85
8920 IF Tbh = 29 THEN Dvap = 49.489: LHh = 42.61
8930 IF Tbc = 29 THEN LHc = 42.61
8940 IF Tbh = 30 THEN Dvap = 50.85: LHh = 42.36
8950 IF Tbc = 30 THEN LHc = 42.36
8960 IF Tbh = 31 THEN Dvap = 52.244: LHh = 42.1
8970 IF Tbc = 31 THEN LHc = 42.1
8980 IF Tbh = 32 THEN Dvap = 53.671: LHh = 41.85
8990 IF Tbc = 32 THEN LHc = 41.85
9000 IF Tbh = 33 THEN Dvap = 55.133: LHh = 41.6
9010 IF Tbc = 33 THEN LHc = 41.6
9020 IF Tbh = 34 THEN Dvap = 56.63: LHh = 41.33
9030 IF Tbc = 34 THEN LHc = 41.33
9040 IF Tbh = 35 THEN Dvap = 58.162: LHh = 41.07
9050 IF Tbc = 35 THEN LHc = 41.07
9060 IF Tbh = 36 THEN Dvap = 59.732: LHh = 40.8
9070 IF Tbc = 36 THEN LHc = 40.8
9080 IF Tbh = 37 THEN Dvap = 61.34: LHh = 40.53
9090 IF Tbc = 37 THEN LHc = 40.53
9100 IF Tbh = 38 THEN Dvap = 62.986: LHh = 40.26
9110 IF Tbc = 38 THEN LHc = 40.26
9120 IF Tbh = 39 THEN Dvap = 64.673: LHh = 39.98
9130 IF Tbc = 39 THEN LHc = 39.98
9140 IF Tbh = 40 THEN Dvap = 66.401: LHh = 39.7
9150 IF Tbc = 40 THEN LHc = 39.7
9160 RETURN
9170 END
9190 REM property of air
9200 IF Tbh = 17 THEN Dout = 1.22448: Cpout = 1005.62: Vout = 1.884E-05
9210 IF Tbc = 17 THEN Dexh = 1.22448: Cpexh = 1005.62: Vexh = 1.884E-05
9220 IF Tbh = 18 THEN Dout = 1.219772: Cpout = 1005.628: Vout = 1.893E-05
9230 IF Tbc = 18 THEN Dexh = 1.219772: Cpexh = 1005.628: Vexh = 1.893E-05
9240 IF Tbh = 19 THEN Dout = 1.215064: Cpout = 1005.636: Vout = 1.903E-05
9250 IF Tbc = 19 THEN Dexh = 1.215064: Cpexh = 1005.636: Vexh = 1.903E-05
9260 IF Tbh = 20 THEN Dout = 1.21035: Cpout = 1005.644: Vout = 1.913E-05
9270 IF Tbc = 20 THEN Dexh = 1.21035: Cpexh = 1005.644: Vout = 1.913E-05
9280 IF Tbh = 21 THEN Dout = 1.2056: Cpout = 1005.652: Vout = 1.923E-05
9290 IF Tbc = 21 THEN Dexh = 1.2056: Cpexh = 1005.652: Vexh = 1.923E-05
9300 IF Tbh = 22 THEN Dout = 1.2009: Cpout = 1005.66: Vout = 1.933E-05
9310 IF Tbc = 22 THEN Dexh = 1.2009: Cpexh = 1005.66: Vexh = 1.933E-05
```

```
9320 IF Tbh = 23 THEN Dout = 1.1962: Cpout = 1005.668: Vout = 1.943E-05
9330 IF Tbc = 23 THEN Dexh = 1.1962: Cpexh = 1005.668: Vexh = 1.943E-05
9340 IF Tbh = 24 THEN Dout = 1.1915: Cpout = 1005.676: Vout = 1.953E-05
9350 IF Tbc = 24 THEN Dexh = 1.1915: Cpexh = 1005.676: Vexh = 1.953E-05
9360 IF Tbh = 25 THEN Dout = 1.1868: Cpout = 1005.684: Vout = 1.963E-05
9370 IF Tbc = 25 THEN Dexh = 1.1868: Cpexh = 1005.684: Vexh = 1.963E-05
9380 IF Tbh = 26 THEN Dout = 1.1821: Cpout = 1005.692: Vout = 1.973E-05
9390 IF Tbc = 26 THEN Dexh = 1.1821: Cpexh = 1005.692: Vexh = 1.973E-05
9400 IF Tbh = 27 THEN Dout = 1.1774: Cpout = 1005.7: Vout = 1.983E-05
9410 IF Tbc = 27 THEN Dexh = 1.1774: Cpexh = 1005.7: Vexh = 1.983E-05
9420 IF Tbh = 28 THEN Dout = 1.1738: Cpout = 1005.766: Vout = 1.984E-05
9430 IF Tbc = 28 THEN Dexh = 1.1738: Cpexh = 1005.766: Vexh = 1.984E-05
9440 IF Tbh = 29 THEN Dout = 1.1702: Cpout = 1005.832: Vout = 1.986E-05
9450 IF Tbc = 29 THEN Dexh = 1.1702: Cpexh = 1005.832: Vexh = 1.986E-05
9460 IF Tbh = 30 THEN Dout = 1.1666: Cpout = 1005.898: Vout = 1.988E-05
9470 IF Tbc = 30 THEN Dexh = 1.1666: Cpexh = 1005.898: Vexh = 1.988E-05
9480 IF Tbh = 31 THEN Dout = 1.163: Cpout = 1005.964: Vout = .0000199
9490 IF Tbc = 31 THEN Dexh = 1.163: Cpexh = 1005.964: Vexh = .0000199
9500 IF Tbh = 32 THEN Dout = 1.1595: Cpout = 1006.03: Vout = 1.992E-05
9510 IF Tbc = 32 THEN Dexh = 1.1595: Cpexh = 1006.03: Vexh = 1.992E-05
9520 IF Tbh = 33 THEN Dout = 1.1559: Cpout = 1006.096: Vout = 1.994E-05
9530 IF Tbc = 33 THEN Dexh = 1.1559: Cpexh = 1006.096: Vexh = 1.994E-05
9540 IF Tbh = 34 THEN Dout = 1.1522: Cpout = 1006.162: Vout = 1.995E-05
9550 IF Tbc = 34 THEN Dexh = 1.1522: Cpexh = 1006.162: Vexh = 1.995E-05
9560 IF Tbh = 35 THEN Dout = 1.1487: Cpout = 1006.228: Vout = 1.997E-05
9570 IF Tbc = 35 THEN Dexh = 1.1487: Cpexh = 1006.228: Vexh = 1.997E-05
9580 IF Tbh = 36 THEN Dout = 1.1451: Cpout = 1006.294: Vout = 1.999E-05
9590 IF Tbc = 36 THEN Dexh = 1.1451: Cpexh = 1006.294: Vexh = 1.999E-05
9600 IF Tbh = 37 THEN Dout = 1.1415: Cpout = 1006.36: Vout = 2.001E-05
9610 IF Tbc = 37 THEN Dexh = 1.1415: Cpexh = 1006.36: Vexh = 2.001E-05
9620 IF Tbh = 38 THEN Dout = 1.1379: Cpout = 1006.426: Vout = 2.003E-05
9630 IF Tbc = 38 THEN Dexh = 1.1379: Cpexh = 1006.426: Vexh = 2.003E-05
9640 IF Tbh = 39 THEN Dout = 1.1343: Cpout = 1006.492: Vout = 2.005E-05
9650 IF Tbc = 39 THEN Dexh = 1.1343: Cpexh = 1006.492: Vexh = 2.005E-05
9660 IF Tbh = 40 THEN Dout = 1.1308: Cpout = 1006.558: Vout = 2.006E-05
9670 IF Tbc = 40 THEN Dexh = 1.1308: Cpexh = 1006.558: Vexh = 2.006E-05
9680 RETURN
9690 END
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชีวประวัติ

นาย วีรชาติ นามพรหม เกิดวันที่ 24 ตุลาคม 2508 จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษา ปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีการศึกษา 2530 และทำงานเป็นหัวหน้าควบคุมกระบวนการผลิตที่ บริษัท สยามเรชิ่นและเคมีภัณฑ์ จำกัด ถึงปี 2532

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย