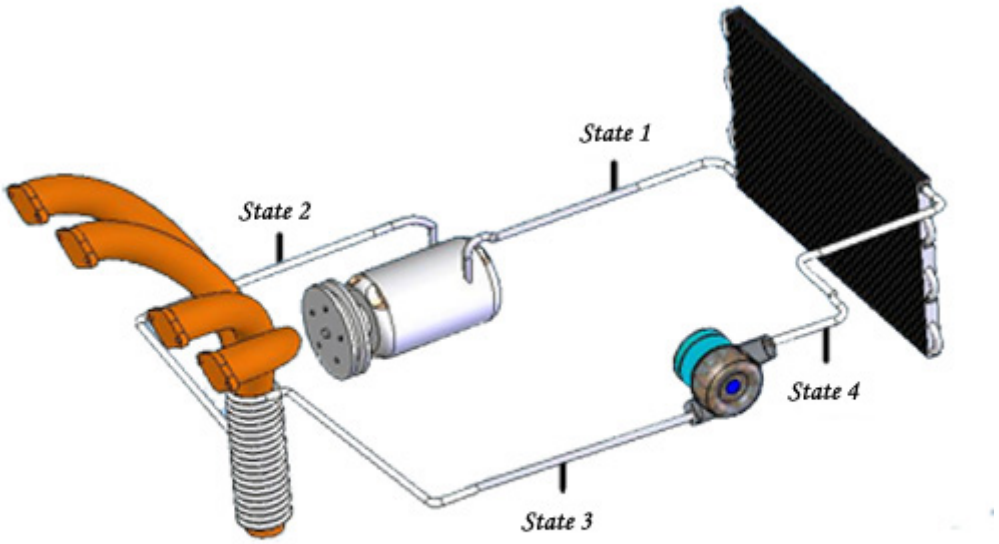
บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

3.1 บทนำ

การคำนวณและการออกแบบนั้นจะต้องอาศัยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องหลายๆ ทฤษฎีด้วยกัน เช่น ทฤษฎีการไหลของของไหลภายในท่อ ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ดังได้แสดงไว้แล้วในบทที่ 2



รูปที่ 3.1 สภาวะของวัฏจักรการทำงาน

3.2 การเลือกสารทำงาน

สารทำงานที่ใช้จะต้องมีค่า $C_p(kJ/kg-K)$ สูง และค่า $R(kJ/kg-K)$ ต่ำ และเป็นสารที่หาได้ง่ายตามท้องตลาดด้วย สารทำงานที่เลือกก็คือ Freon-12 (CCL_2F_2) ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้คือ มีค่า $C_p = 0.616$ (kJ/kg-K) ค่า $R = 0.06876$ (kJ/kg-K)

3.3 การออกแบบ Boiler

$$Q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \qquad \text{... (3.1)}$$

$$R_{total} = R_{convect} + R_{cyl} + R_{convect\,2}$$

$$R_{rotal} = \frac{1}{2\pi r_i L h_{\infty 1}} + \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi L k} + \frac{1}{2\pi r_2 L h_{\infty 2}}$$

คำนวณภายนอกท่อ หุ้มด้วยฉนวนอย่างดี ไม่มีลมไหลผ่าน

$$Nu = \frac{hD}{k} = 3.66$$

D is the tube inside radius

$$\mathrm{Re} = \frac{u_m D}{\upsilon} = \frac{0x0.6x10^{-2}}{47.5x10^{-6}} = 0 \qquad \text{(Laminar Flow)}$$

$$\upsilon = 47.56x10^{-6}\, m^2/s \qquad ,k = 0.04498 w/(m.k)$$

$$h = \frac{3.66x0.04498}{0.6x10^{-2}} \frac{w/(m.k)}{m} = 27.43\, w/(m^2.^{\circ}C)$$

คำนวณภายในท่อ สาร R-12

$$v(m^3) = \frac{m}{\rho} \frac{(kg)}{(kg/m^3)} \qquad \dot{Q}_v(m^3/s) = \frac{\dot{m}}{\rho} \frac{(kg/s)}{(kg/m^3)}$$

สาร R-12 ที่ 120 $^{\circ}C$ (393 K) $P_i = 320kPa$ $\rho = 971.35\, kg/m^3$

จะได้ $h_i = 267.36kJ/kg$, $s_i = 0.9358kJ/kg.k$, $v_i = 0.08236m^2/s$

จาก $W = \dot{m}(h_i - h_{es})$

$$2kW = \dot{m}(267.36 - 238.38)$$

$$\dot{m} = 0.069kg/s$$

จะได้ $Q_v = \frac{0.069}{971.35}$

$$Q_v = 7.1\times10^{-5}\, m^3/s$$

คิดประสิทธิภาพ Turbine เป็น 80%

$$\eta_{turbine} = \frac{W_a}{W_s} = \frac{h_i - h_e}{h_i - h_{es}}$$

$$0.8 = \frac{267.36 - h_e}{267.36 - h_{es}}$$

$$s_i = s_{es} = 0.9358kJ/kg.k$$

$$P_e = 0.1MPa$$

$$\therefore h_{es} = 238.38kJ/kg.k$$

จะได้

$$0.8 = \frac{267.36 - h_e}{267.36 - 238.38}$$

$$h_e = 244.18kJ/kg$$

$$\therefore T_e = 83°C \qquad P_e = 0.1MPa \qquad \dot{m} = 0.069kg/s$$

จากสมการของแบร์นูลี (Bernoulli's Equation)

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_1 = V_2$$

$$\because V = \frac{Q_v}{A} = \frac{7.1\times10^{-5}}{\frac{\pi(0.006^2)}{4}}\frac{m^3/s}{m^2} = 2.51m/s$$

จากตาราง 3.1 จะได้

$$V = u_m = 2.51m/s \qquad ,k = 0.063W/m.K$$

$$\mathrm{Re} = \frac{u_m D}{v}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{2.51\times0.6\times10^{-2}}{0.145\times10^{-6}} = 1.038\times10^5$$

$10^4 < \mathrm{Re} < 5\times10^5$ เป็น Laminar Flow

$$\therefore h_{R-12} = \frac{3.66\times0.063}{0.6\times10^{-2}} = 38.43w/(m^2.°C)$$

$$Q = \frac{T_{\infty1} - T_{\infty2}}{R_{total}}$$

$$R_{convect,air} = \frac{1}{2\pi r_o L h_{\infty1}} = \frac{1}{2\pi\times0.005\times L\times27.43} = \frac{1.16}{L}$$

$$R_{Al} = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi LK} = \frac{\ln(0.005/0.003)}{2\pi L(228)} = \frac{0.00036}{L}$$

$$R_{convect,R12} = \frac{1}{2\pi r_o L h_{\infty2}} = \frac{1}{2\pi\times0.003\times L\times38.43} = \frac{1.38}{L}$$

$$R_{total} = \frac{3.04}{L}$$

$$Q = 0.069kg/s(267.36 - 244.18)kJ/kg = 159w$$

จาก

$$Q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

$$159 = \frac{(250 - 120)}{\frac{3.04}{L}}$$

$$L = 3.72m$$

ท่ออลูมิเนียม 1 รอบ

มีความยาว $= 2\pi r$ แทนค่าจะได้

$$2\pi \times 0.03 = 0.188m$$

$$\frac{3.72}{0.188} = 19.78 = 20 \text{ รอบ}$$

Table 3.1 Physical properties of gases atmospheric pressure

$T.K$	$\rho, \frac{kg}{m^3}$	$C_p, \frac{kJ}{kg.°C}$	$v, \frac{m^2}{s}$	$k, \frac{W}{m.K}$	$\alpha, \frac{m^2}{s} \times 10^7$	Pr	β, K^{-1}
Dichlorodifluoromethane (Freon-12), CCl_2F_2							
-50	1546.75	0.8750	0.310 x 10^{-6}	0.067	0.501	6.2	0.310 x 10^{-6}
-40	1518.71	0.8847	0.279	0.069	0.514	5.4	
-30	1489.56	0.8956	0.253	0.069	0.526	4.8	
-20	1460.57	0.9073	0.235	0.071	0.539	4.4	
-10	1429.48	0.9203	0.221	0.073	0.550	4.0	
0	1397.45	0.9345	0.214	0.073	0.557	3.8	
10	1364.30	0.9496	0.203	0.073	0.560	3.6	
20	1330.18	0.9659	0.198	0.073	0.560	3.5	
30	1295.10	0.9835	0.194	0.071	0.560	3.5	
40	1257.13	1.0019	0.191	0.069	0.555	3.5	
50	1215.96	1.0216	0.190	0.067	0.545	3.5	

3.4 การคำนวณและการเลือกขนาดของ Turbine

State 3

$T_3 = 120°C$ $P_3 = 320kPa$

$h_3 = 267.36\,kJ/kg$ $s_3 = 0.9358\,kJ/kg - K$

State 4

คิดประสิทธิภาพ Turbine เป็น 80%

$$\eta_{turbine} = \frac{W_a}{W_s} = \frac{h_i - h_e}{h_i - h_{es}}$$

$$0.8 = \frac{267.36 - h_4}{267.36 - h_{es}}$$

$s_4 = s_3 = 0.9358kJ / kg.k$

$P_4 = 100kPa$

$\therefore h_{es} = 238.38kJ / kg.k$

จะได้

$$0.8 = \frac{267.36 - h_4}{267.36 - 238.38}$$

$h_4 = 244.18kJ / kg$

$\therefore T_4 = 83°C$

$W_T = 0.069(267.36 - 244.18)$

$= 1.6kw$

3.5 การคำนวณและการเลือกขนาดของ Compressor

State 1

$T_1 = 70°C$ $P_1 = 100kPa$

$h_1 = 235.46kJ/kg$ $s_1 = 0.9276kJ/kg-K$

State 2

คิดประสิทธิภาพ Compressor เป็น 80%

$$\eta_{compressor} = \frac{W_a}{W_s} = \frac{h_i - h_e}{h_i - h_{es}}$$

$$0.8 = \frac{235.46 - h_2}{235.46 - h_{es}}$$

$s_2 = s_1 = 0.9276kJ/kg.k$

$P_2 = 320kPa$

$\therefore h_{es} = 263.9kJ/kg.k$

จะได้

$$0.8 = \frac{235.46 - h_2}{235.46 - 263.9}$$

$h_2 = 258.21kJ/kg$

$\therefore T_2 = 107°C$

$W_C = 0.069(258.21 - 235.46) = 1.57kw$

3.6 การคำนวณและการออกแบบ Condenser

State 4

$T_4 = 83^oC \qquad h_4 = 244.18\,{}^{kj}\!/_{kg} \qquad P_4 = 100kPa$

State 1

$P_1 = 100kPa \quad T_1 = 70^oC \qquad h_1 = 235.46\,{}^{kj}\!/_{kg}$

$m^\circ = 0.069kJ/s$

From

$$Q = m^\circ(h_1 - h_4)$$
$$= 0.069(235.46 - 244.18)$$
$$= 0.6kW$$
$$= 600W$$

Air at 1 atm and 308 K

จะได้ $\rho = 1.1486\,kg/m^3 \qquad C_p = 1.0062\,kj/kg.^oC$

$\mu = 1.997x10^{-5}\,kg/m.s \qquad P_r = 0.706$

From Figure 3.1 we have

$\frac{A_{\min}}{A_{fr}} = \sigma = 0.534 \qquad D_h = 0.3633$ cm

$u = 22$ m/s จากความเร็วเฉลี่ยของรถที่วิ่ง 80 km/h

Then

$$G = \frac{\rho u A_{fr}}{A_{\min}} = \frac{\rho u}{\sigma} = \frac{(1.1486)(22)}{0.534} = 47.32kg(m^2.s)$$

And

$$\mathrm{Re} = \frac{GD_h}{\mu} = \frac{(47.32)(0.3633x10^{-2})}{1.997x10^{-5}}$$

$$\mathrm{Re} = 8.6x10^{-3}$$

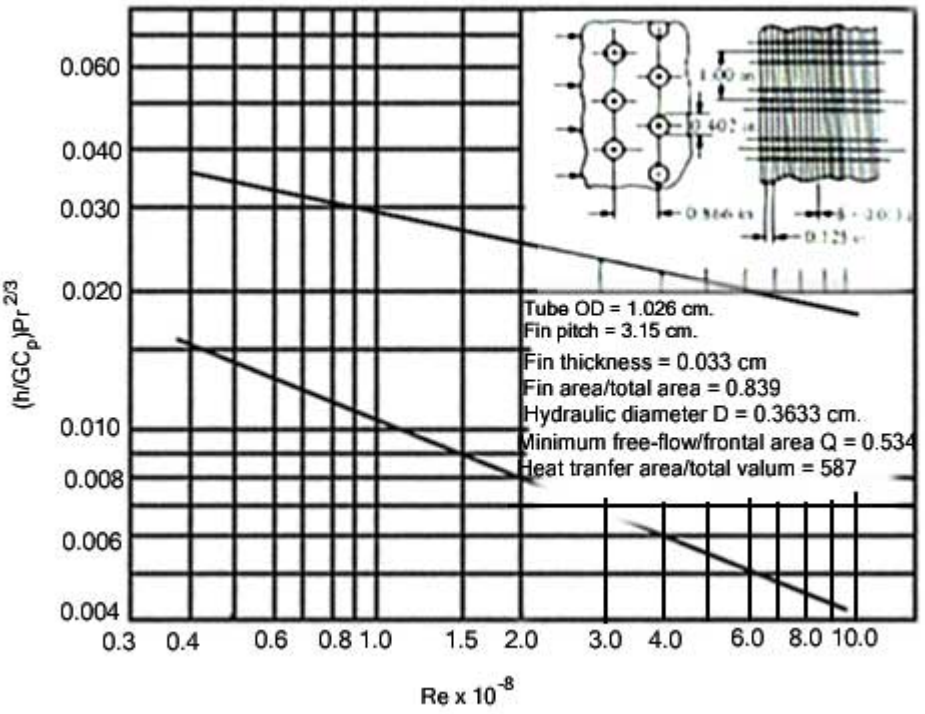


Figure3.2 Heattranfer and friction factor for flow across plate-fined circular tube matrix (From Kays and London [10].)

From Fig.3.2, for $\mathrm{Re} = 8.6x10^{-3}$, we obtain

$$\frac{h}{GC_p}\mathrm{Pr}^{2/3} = 0.0045$$

$$h = 0.0045\frac{GC_p}{\mathrm{Pr}^{2/3}} \qquad = 0.0045\frac{(47.32)(1006.2)}{0.706}$$

$$= 303.48 W/(m^2.^{\circ}C)$$

From

$$Q = \eta' a h \theta_0$$

But

$$\eta' = \beta\eta + 1 - \beta \qquad , \beta = \frac{a_f}{a} \qquad , a_f = 2\pi(r_o^2 - r_i^2)$$

$$, a = 2\pi(r_o^2 - r_i^2) + 2\pi r_i(1-t) \qquad , \theta_0 = 83 - 70 = 13, \qquad \text{Q= 600 w}$$

และให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์

$$\therefore Q = 2\pi(r_o^2 - r_i^2)\eta h\theta_o + 2\pi(r_o^2 - r_i^2) + 2\pi r_i(1-t)h\theta_o - 2\pi(r_o^2 - r_i^2)h\theta_o$$

จะได้

$$600 = 2\pi(r_o^2 - 0.5^2)(0.9)(303.48)(13) + 2\pi(r_o^2 - 0.5^2) + 2\pi(0.5)(1-0.1)(303.48)(13)$$
$$- 2\pi(r_o^2 - 0.5^2)(303.48)(13)$$

$$600 = 22309.8(r_o^2 - 0.5^2) + 6.28(r_o^2 - 0.5^2) + 22309.8 - 24788.67(r_o^2 - 0.5^2)$$

$$600 = 22309.8r_o^2 + 5577.45 + 6.28r_o^2 + 1.57 + 22309.8 - 24788.67r_o^2 - 6197.17$$

$$600 = -2472.6r_o^2 + 21691.65$$

$$-21091.65 = -2472.6r_o^2$$

$$r_o^2 = 8.5$$

$$r_o = 2.91 \cong 3 \text{ cm}$$

$$L = r_o - r_i \qquad = 3.0 - 0.5 = 2.5cm$$

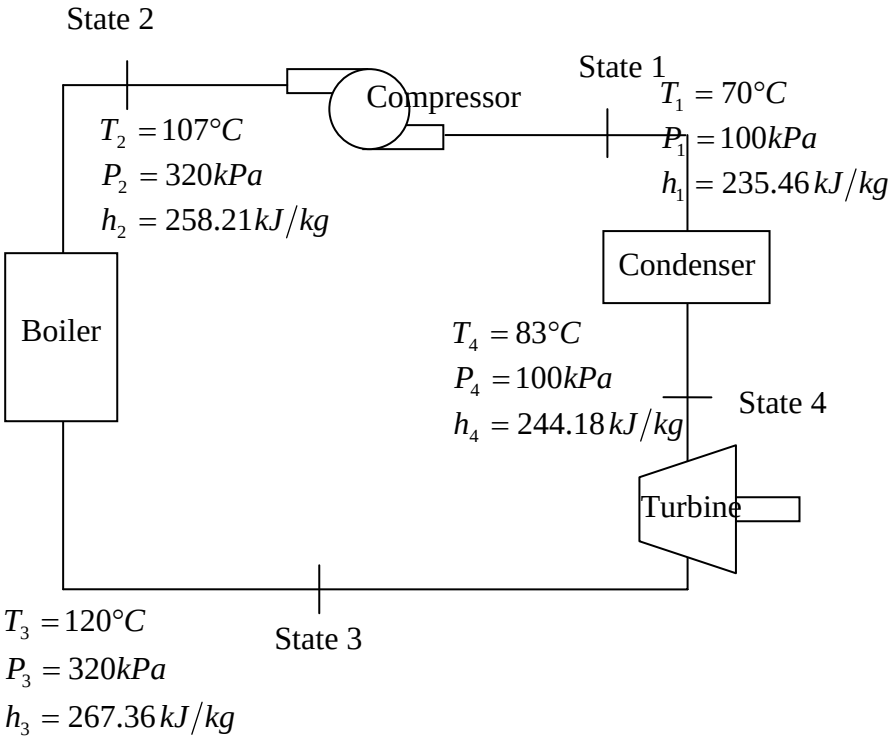
หาพื้นที่ทั้งหมดของคอนเด็นเซอร์

$$a = 2\pi(r_o^2 - r_i^2) + 2\pi r_i(1-t)$$

$$= 2\pi(3^2 - 0.5^2) + 2\pi(0.5)(1-0.1)$$

$$= 54.97 + 2.82 = 57.8cm^2$$

$$a = 0.58 \qquad m^2$$



รูปที่ 3.3 วัฏจักรการทำงานที่สภาวะต่างๆ