หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

(1) Duffie, J.A. and Beckman, W.A., Solar Energy Thermal Processes, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1974.

(2) ASHARE, ASHARE Guide and Data Book-Fundamentals and Equipment, ASHARE, Inc., New York, 1963.

(3) Exell, R.H.B. and Kornsakoo, Sommai, " The Design and Development of a Solar Powered Refrigerator ", research report No.62, AIT, 1976.

(4) Poopisint, Anant, " A Simulation of An Intermittent Absorption Solar Refrigeration ", M.S. Thesis, Chulalongkorn University, 1976.

(5) Perry, J., Chemical Engineers' Handbook, Fourth Edition, McGraw Hill Co., New York, 1963.

(6) McCabe, W.L. and Smith, J.C., Unit Operation of Ch.E., McGraw Hill Co., International Edition, Tokyo, 1967.

(7) Foust, A.S.; Wenzel, L.A.; Clump, C.W.; Maus, L. and Anderson, L.B., Principles of Unit Operation, John Wiley and Sons, International Edition, Japan, 1960.

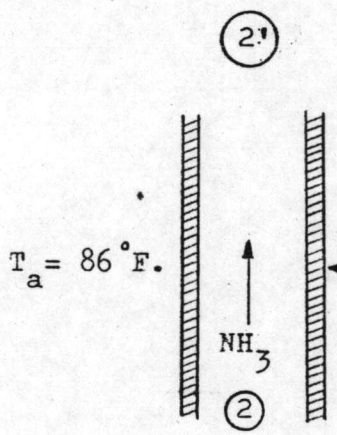
(8) Smith, J.M. and Van Ness,H.C., Intro. to Chemical Engineering Thermodynamics, McGraw Hill Co., New York, 1959.

ภาคผนวก ก.

การคำนวณ rectifying column

ในการคำนวณ rectifying column นี้ คิดว่าการสูญเสียความร้อนทางผิวท่อของ rectifying column เป็นแบบ natural convection ดังนั้นจึงใช้สมการ (4.3.1) $h = 0.28 \left(\frac{\Delta T_{lm}}{L}\right)^{\frac{1}{4}}$ ในการคำนวณ ซึ่งสมการนี้จะใช้ได้ในช่วงค่า X จาก 10^3 ถึง 10^9

ซึ่งจากสมการ (4.3.2) ค่า $X = \frac{L^3 \rho^2 g \beta \Delta T_{lm}}{\mu^2} \left(\frac{C_p \mu}{k}\right)$



H_v = 588 B.T.U./lb.of vapour

P = 170 psia.

T = 130°F

H_v = 600 B.T.U./lb.of vapour

P = 170 psia.

T = 150°F

ความดันและอุณหภูมิของจุดที่ ② มาจากรูปที่ 4-2 และจากรูปที่ 4-1 ซึ่งเป็น P - T - X diagram ของสารละลายแอมโมเนีย เมื่อรู้ความดันและอุณหภูมิก็จะทราบค่า enthalpy ของ saturated vapour (H_v) ที่จุดนี้ซึ่งเท่ากับ 600 บี.ที.ยูต่อปอนด์ ที่จุด ② กำหนดให้ไอของแอมโมเนียมีอุณหภูมิ 130 °ฟ. ความดันจะเท่ากับจุดที่ ② ซึ่งเท่ากับ 170 ปอนด์ต่อตร.นิ้วสมบูรณ์ และจาก P - T - X diagram จะได้ค่า H_v = 588 บี.ที.ยูต่อปอนด์

กำหนดให้อุณหภูมิของห้อง (T_a) = 86 °ฟ.

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_H - \Delta T_L}{\ln\left(\frac{\Delta T_H}{\Delta T_L}\right)}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(150-86) - (130-86)}{\ln(\frac{150-86}{130-86})}$$

$$= 53.37 \text{ °ฟ.}$$

กำหนดให้ความยาวของ rectifying column (L) เท่ากับ 2.5 ฟุต

$$h = 0.28 \left(\frac{53.37}{2.5}\right)^{\frac{1}{4}}$$

$$= 0.601 \text{ บี.ที.ยู/ตร.ฟุต.ชม. °ฟ}$$

ปริมาณความร้อนที่สูญเสียไประหว่างจุด ② ถึง ②' = 600 - 588 บี.ที.ยูต่อปอนด์

= 12 บี.ที.ยูต่อปอนด์

และจาก P - T - X diagram (รูปที่ 4-1) จะได้ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่จุด ② และจุด ②' ตามลำดับ เท่ากับ 99.2 % และ 99.6 % โดยน้ำหนักซึ่งจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย ที่จุด ②' สูงมากมีไอน้ำปนมาเพียงเล็กน้อย ดังนั้น ในการคำนวณจะไม่กำหนึงถึงปริมาณของไอน้ำ ก็อถือว่าเป็นไอแอมโมเนียบริสุทธิ์ เนื่องจาก ต้องการระเหยแอมโมเนีย 2 ปอนด์ต่อชั่วโมง

ปริมาณความร้อนที่สูญเสียไประหว่างจุด ② ถึง ②' = 12x2 บี.ที.ยูต่อชม.

= 24 บี.ที.ยูต่อชม.

ปริมาณความร้อนที่เสียไป = $hA\Delta T_{lm}$

$$24 = 0.601 \times A \times 53.37$$

$$A = \frac{24}{0.601 \times 53.37}$$

$$= 0.748 \text{ ตร.ฟุต}$$

$$A = \pi d_0 L$$

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

$$= \frac{0.748}{\pi \times 2.5}$$

$$= 0.095 \text{ ฟุต}$$

ต้องหาค่า x ว่าจะอยู่ในช่วงที่สมการ (4.3.1) ใช้ได้หรือไม่

$$x = \frac{L^3 \rho^2 g \beta \Delta T_{lm}}{\mu 2} \left(\frac{C_p \mu}{k}\right)$$

$$= \frac{(2.5)^3 (0.068)^2 (4.17 \times 10^8)(1/580.25)(53.37)}{(0.019 \times 2.42)^2} \left(\frac{0.25 \times 0.019 \times 2.42}{0.016}\right)$$

$$= 9.4 \times 10^8$$

ซึ่งค่า x นี้ อยู่ระหว่าง $10^3 - 10^9$

แสดงว่า สมการ (4.3.1) ใช้ได้กับสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณนี้ ดังนั้น ใช้ท่อเหล็กขนาด 1 นิ้ว (schedule No. 40) ยาว 2.5 ฟุต เป็น rectifying column

สัญญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณ rectifying column

A = heat transfer area, ft^2.

C_p = air specific heat, B.T.U. / lb. °F.

d_0 = tube diameter, ft.

g = gravitational acceleration, $ft./hr^2$.

h = heat transfer coefficient, $B.T.U./ft^2.hr.°F.$

H_v = enthalpy of vapour, B.T.U./lb.

k = air thermal conductivity, B.T.U./ft.hr.°F.

L = tube length, ft.

ΔT = temperature difference, °F.

ρ = air density, $lb./ft^3$.

β = coefficient of volumetric expansion, 1/°R.

μ = air viscosity, lb/ft.hr.

ภาคผนวก ข.

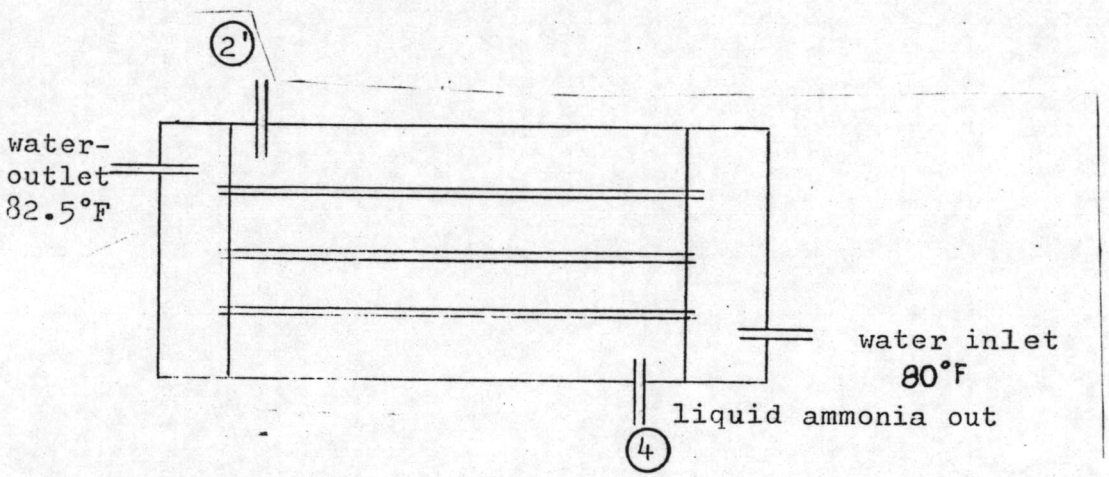
การคำนวณเครื่องควบแน่น

T = 130°F

P = 170 psia.

X_V = 0.996

H_v = 588 BTU/lb.of vapour



T_v = 87°F

P = 170 psia.

X_l = 0.997

H_l = 60 BTU/lb. of NH_3

กำหนดให้เครื่องควบแน่นเป็นแบบ shell & tube มีขนาดและการเรียงของ tube ตามรูปที่ 4 - 3 และรูปที่ 4 - 4 คือ tube เรียงเป็น 3 แถว ตามแนวดิ่ง แถวที่ 1 และแถวที่ 3 มี 1 ท่อ ส่วนแถวที่ 2 อยู่ตรงกลางมี 3 ท่อ และสภาวะที่จุด ④ และ ②' ได้มาจากรูปที่ 4 - 2 และจาก P - T - X diagram (รูปที่ 4 - 1)

เครื่องควบแน่นที่จะออกแบบนี้จะต้องกลั่นตัวแอมโมเนียได้ 2 ปอนด์ต่อชั่วโมง ปริมาณความร้อนที่ต้องเอาออกจากเครื่องควบแน่น = (588-60) x 2 ปอนด์ต่อชั่วโมง

= 1,056 ปอนด์ต่อชั่วโมง

กำหนดให้

น้ำเข้าคอนเดนเซอร์มีอุณหภูมิ ($T_{in.}$) = 80 °ฟ.

น้ำออกจากคอนเดนเซอร์มีอุณหภูมิ ($T_{out.}$) = 82.5 °ฟ.

และสมมุติว่า T_w = 86.9 °ฟ.

T^* ของน้ำ = $\frac{82.5 + 80}{2}$ = 81.25 °ฟ.

และกำหนดให้ความยาวของ tube ในเครื่องควบแน่น = 4 ฟุต

<u>การคำนวณ shell side</u>

จากสมการที่ (4.4.2) $T_f = T_v - \frac{3}{4}(T_v - T_w)$

$= 87 - \frac{3}{4}(87 - 86.9)$

$= 86.9$ °ฟ.

ที่อุณหภูมิ T_f = 86.9 °ฟ แอมโมเนียเหลวมีคุณสมบัติดังนี้คือ

k_f = 0.29 บี.ที.ยูต่อฟุต.ชม. °ฟ.

μ_f = 0.1 2.42 ปอนด์ต่อฟุต.ชม.

ρ_f = 37.12 ปอนด์ต่อลบ.ฟุต

λ = 500 บี.ที.ยูต่อปอนด์

จากสมการที่ (4.4.1) $h = 0.725\left[\frac{\rho_f^2 \cdot g \cdot \lambda \cdot k_f^3}{n^{2/3} d_o \mu_f (T_v - T_w)}\right]^{1/4}$

เมื่อแทนค่าต่าง ๆ เข้าไปจะได้

$$h_{0,2} = 0.725\left[\frac{(37.12)^2(4.17\times10^8)(500)(0.29)^3}{(3^{2/3})(0.07)(0.1\times2.42)(87-86.9)}\right]^{1/4}$$

$= 4,841.42$ บี.ที.ยูต่อตร.ฟุต.ชม. °ฟ.

$$h_{0,1} = 0.725\left[\frac{(37.12)^2(4.17\times10^8)(500)(0.29)^3}{(1)^{2/3}(0.07)(0.1\times2.42)(87-86.9)}\right]^{1/4}$$

$= 5,814.18$ บี.ที.ยูต่อตร.ฟุต.ชม. °ฟ.

$$h_{0,avg.} = \frac{2h_{0,1} + 3h_{0,2}}{5}$$

$$= \frac{(2x5,814.18) - (3x4,841.42)}{5}$$

$$= 5,230.52 \text{ บี.ที.ยูต่อตร.ฟุต.ชม.°ฟ.}$$

การคำนวณ tube side

$$Q = m^0_{H_2O} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$m^0_{H_2O} = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T}$$

$$= \frac{1056}{1 \times (82.5 - 80)}$$

$$= 422.4 \text{ ปอนด์ต่อชม.}$$

ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน 1 ท่อ $(m^0_{H_2O,1}) = \frac{422.4}{5} = 84.48$ ปอนด์ต่อชม.

น้ำที่อุณหภูมิ T^* = 81.25 °ฟ มีคุณสมบัติดังนี้

μ = 0.86 x 2.42 ปอนด์ต่อฟุต.ชม.

C_p = 1 บี.ที.ยูต่อปอนด์.°ฟ.

k = 0.355 บี.ที.ยูต่อฟุต.ชม.°ฟ.

$$Re = \frac{4\, m^0_{H_2O,1}}{\pi \cdot d_i \cdot \mu}$$

$$= \frac{4 \times 84.48}{\pi \times (0.62/12)(0.86 \times 2.42)}$$

$$= 997.6$$

จะเห็นได้ว่า $Re < 2,100$ ดังนั้นการไหลของน้ำจะอยู่ใน larminar region

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

$$Pr = \frac{1 \times (0.86 \times 2.42)}{0.355}$$

$$= 5.862$$

$$Re.Pr.\frac{d_i}{l} = 997.6 \times 5.862 \times \frac{0.62/12}{4}$$

$$= 75.23$$

เพราะว่า $Re < 2,100$, $Re.Pr.\frac{di}{l} > 10$, $d_i < 1$ นิ้ว, และ $\Delta T < 100$°ฟ.

ดังนั้นสมการ (4.4.4), $Nu = 1.86Pe.^{1/3} (\frac{d_i}{l})^{1/3} (\frac{\mu}{\mu_w})^{0.14}$ ใช้ได้

แทนค่าในสมการที่ (4.4.4) จะได้

$$Nu = 1.86 (75.23)^{1/3} (\frac{0.86 \times 2.42}{0.85 \times 2.42})^{0.14}$$

$$= 7.86$$

$$Nu = \frac{h_i d_i}{k}$$

$$h_i = \frac{Nu \times k}{d_i}$$

$$= \frac{7.86 \times 0.355}{(0.62/12)}$$

$$= 53.86 \quad \text{บี.ที.ยู/ชั่วโมง.ตร.ฟุต.°ฟ.}$$

คำนวณหาค่า T_w เพื่อดูว่าเท่ากับที่เราสมมุติหรือไม่

จากสมการ (4.4.8)

$$\Delta T_i = \frac{(1/h_i)(T_v - T^*)}{1/h_i + d_i/d_o h_o}$$

$$= \frac{(1/53.86)(87 - 81.25)}{(1/53.86) + 0.62/(0.84 \times 5,230.52)}$$

$$= 5.71\text{°ฟ.}$$

จากสมการที่ (4.4.7) $T_w = T^* + \Delta T_i$

$$T_w = 81.25 + 5.71$$

$$= 86.96 \text{ °ฟ}$$

จะเห็นว่า T_w ที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับที่เราสมมุติมาก และเพื่อที่จะให้แน่ใจว่าค่าต่าง ๆ ที่เรากำหนดเข้าไปนี้ถูกต้อง ก็ต้องคำนวณย้อนกลับไปหาอัตราการกลั่นตัวของแอมโมเนียจากสมการที่ (4.4.9)

$$U_o = \frac{1}{1/h_o + d_o/d_i h_i}$$

$$= \frac{1}{(1/5{,}230.52) + 0.84/(0.62 \times 53.86)}$$

$$= 39.58 \text{ บี.ที.ยูตอตร.ฟุต.ชม. °ฟ.}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(87 - 80) - (87 - 82.5)}{\ln \frac{(87 - 80)}{(87 - 82.5)}}$$

$$= 5.65 \text{ °ฟ.}$$

$$Q. = m^0_{NH_3} \times \lambda = U_o \times A \times \Delta T_{lm}$$

$$m^0_{NH_3} = \frac{U_o \times A \times \Delta T_{lm}}{\lambda}$$

$$= \frac{(39.58) \times 5 \times \pi (0.84/12) \times 4 \times 5.65}{500}$$

$$= 1.966 \text{ ปอนด์ต่อชม.}$$

จะเห็นได้ว่าอัตราการกลั่นตัวของแอมโมเนียที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับ อัตราการกลั่นตัวของแอมโมเนียที่เราต้องการมาก แสดงว่าขนาดเครื่องควบแน่นที่ออกแบบขึ้นมา และสภาวะต่าง ๆ ที่กำหนดเข้าไปนั้น มีความเหมาะสมกัน ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่า เครื่องควบแน่นที่ออกแบบมานี้ สามารถใช้งานตามที่ต้องการได้

ในการสร้างเครื่องควบแน่นจะใช้ท่อเหล็กขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว (schedule No. 40) จำนวน 5 ท่อ ยาว ท่อละ 4 ฟุต วางเรียงอยู่ภายใน shellขนาด 3 นิ้ว (schedule No.40) ยาว 50 นิ้ว ซึ่งมีการเรียงของท่อ และรายละเอียดอื่น ๆ ตามรูปที่ 4-3 และรูปที่ 4-4

สัญญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณเครื่องควบแน่น

C_p = specific heat, B.T.U./lb.°F.

d_i = inside diameter of tube, ft.

d_o = outside diameter of tube, ft.

g = gravitational acceleration, ft/hr^2.

h_i = heat transfer coefficient, based on inside diameter of tube, $B.T.U./ft^2.hr.°F.$

h_o = heat transfer coefficient, based on outside diameter of tube, $B.T.U./ft^2.hr.°F.$

H_v = enthalpy of vopour, B.T.U./lb.

H_L = enthalpy of liquid, B.T.U./lb.

k_f = thermal conductivity of condensate, at reference temp., B.T.U./ft.hr.°F.

l = length of condenser, ft.

$m^0_{H_2O}$ = water flow rate, lb./hr.

n = number of tube on one stack

Q = heat flow rate, B.T.U./hr.

$T_{in.}$ = water inlet temperature, °F.

$T_{out.}$ = water outlet temperature, °F.

T_v = temperature of condensing vapour, °F.

T_w = temperature of outside surface of tube wall, °F.

T^* = mean bulk temperature, °F.

ΔT = temperature difference, °F.

U_0 = overall heat transfer coefficient, base on outside diameter of the tube, $B.T.U./ft^2.hr.°F.$

สัญญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณเครื่องควบแน่น (ต่อ)

V = velosity of fluid, ft./hr.

Nu = Nusselt number, $\frac{hd}{k}$, dimensionless

Pe = Peclet number, Re.Pr., dimensionless

Pr = Prandtl number, $\frac{C_p . \mu}{k}$, dimensionless

Re = Reynolds number, $\frac{\rho V d}{\mu}$, dimensionless

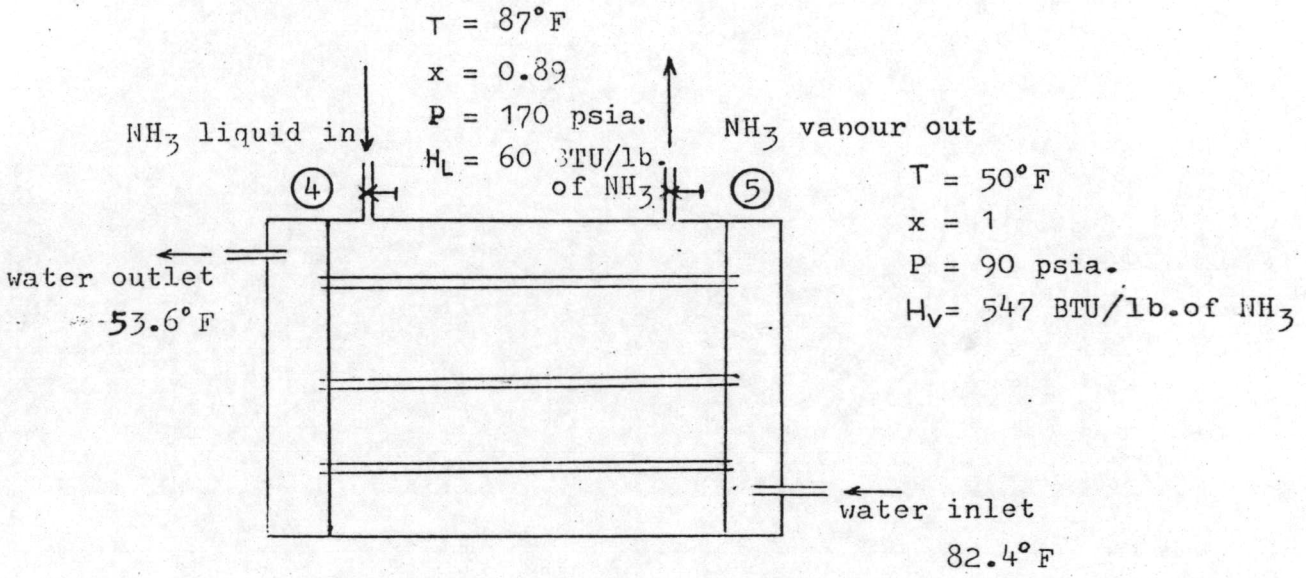
μ_f = viscosity of condensate, at reference temp, lb./ft.hr.

ρ_f = density of condensate, at reference temp., lb./ft^3.

λ = heat of vaporization of condensate, B.T.U./lb.

ภาคผนวก ค.

การคำนวณอีแวปอเรเตอร์



ต้องการให้อีแวปอเรเตอร์ ระเหยแอมโมเนียได้ 2 ปอนด์ต่อชั่วโมง และต้องการให้น้ำเย็นที่ออกจากอีแวปอเรเตอร์มีอุณหภูมิประมาณ 53.6 °ฟ. และสภาวะแอมโมเนียที่เข้าและออกจากอีแวปอเรเตอร์ จะได้จากรูปที่ 4 - 1 และรูปที่ 4 - 2

จาก ASHRAE Guide and Data Book [2] พบว่าค่า over all heat transfer coefficient ของอีแวปอเรเตอร์ แบบ double - pipe cooler จะอยู่ระหว่าง 50 ถึง 150 บี.ที.ยูต่อตร.ฟุต.ชม.°ฟ.

กำหนดให้อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกอีแวปอเรเตอร์ เท่ากับ 82.4 °ฟ. และ 53.6 °ฟ.

ปริมาณความร้อนที่อีแวปอเรเตอร์ดึงออกจากน้ำ = (547-60) x 2 บี.ที.ยูต่อชม.

= 974 บี.ที.ยูต่อชม.

$$Q = m^{0}_{H_2O} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$\dot{m}^{0}_{H_2O} = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T}$$

$$= \frac{974}{1 \times (82.4 - 53.6)}$$

$$= 33.82 \text{ ปอนด์ต่อชม.}$$

ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอีแวปอเรเตอร์ เท่ากับ 33.82 ปอนด์ต่อชั่วโมง

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm}$$

ในการคำนวณจะใช้ค่า $U = 50$ บี.ที.ยูต่อตร.ฟุต. °ฟ. ซึ่งเป็นค่าต่ำสุด

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_H - \Delta T_L}{\ln \frac{\Delta T_H}{\Delta T_L}}$$

$$= \frac{(82.4 - 50) - (53.6 - 50)}{\ln \frac{(82.4 - 50)}{(53.6 - 50)}}$$

$$= 13.1 \text{ °ฟ.}$$

$$A = \frac{974}{50 \times 13.1} \text{ ตร.ฟุต}$$

$$= 1.48 \text{ ตร.ฟุต}$$

ถ้าใช้ท่อขนาด ½ นิ้ว (schedule No. 40) เป็น tube ให้น้ำไหลผ่าน

$$A = \pi d l$$

$$l = \frac{A}{\pi d}$$

$$= \frac{974}{\pi \times \frac{0.62}{12}}$$

$$= 9.09 \text{ ฟุต}$$

เพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาด เพราะค่า overall heat transfer coefficient ที่นำมาใช้ในการคำนวณนั้นเป็นของ double-pipe evaporator ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับ shell และ tube อีแวปอเรเตอร์ที่จะสร้างขึ้น ดังนั้นในการออก-

แบบอีแวปอเรเตอร์ จะใช้ safety factor เท่ากับ 100 %

ดังนั้นความยาวของ tube = 2 x 9.09 ฟุต

= 18.18 ฟุต

ในการสร้างอีแวปอเรเตอร์จะใช้ท่อเหล็กขนาด ½ นิ้ว (schedule No. 40) จำนวน 5 ท่อ ยาวท่อละ 4 ฟุต วางเรียงอยู่ภายใน shell ขนาด 3 นิ้ว (schedule No. 40) ยาว 50 นิ้ว ซึ่งมีการเรียงของท่อ และรายละเอียดอื่น ๆ ตามรูปที่ 4 - 3 และรูปที่ 4 - 4

สัญญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณอีแวปอเรเตอร์

A = heat transfer area, ft^2.

C_p = specific heat, B.T.U./lb. °F.

d = tube diameter, ft.

H_L = enthalpy of saturated liquid, B.T.U./lb.

H_V = ehthalpy of saturated vapour, B.T.U./lb.

l = tube length, ft.

$\dot{m}_{H_2O}$ = water flow rate, lb./hr.

Q = heat flow rate, B.T.U./hr.

ΔT = temperature difference, °F.

U = overall heat transfer coefficient, B.T.U./ft^2.hr. °F.

ภาคผนวก ง.

การ Calibrate Rotameter

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลผ่าน rotameter [7] เป็นดังนี้

$$W = C_R S_2 \sqrt{\frac{2gV_f(\rho_f-\rho)\rho}{S_f}}$$

เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$W = C_R S_2 \sqrt{\frac{2gV_f}{S_f}} \cdot \sqrt{(\rho_f-\rho)\rho}$$

ซึ่ง $C_R S_2 \sqrt{\frac{2gV_f}{S_f}}$ จะมีค่าคงที่เมื่อลูกลอยของ rotameter อยู่ในระดับเดียวกัน ไม่ว่าจะเปลี่ยนจากน้ำไป เป็นสารละลายของแอมโมเนียหรือของไหลตัวอื่น ๆ

ให้ $R = C_R S_2 \sqrt{\frac{2gV_f}{S_f}}$

$$W = R\sqrt{(\rho_f-\rho)\rho}$$

$$\therefore R = \frac{W}{\sqrt{(\rho_f-\rho)\rho}}$$

สัญญลักษณ์ที่ใช้

W = mass flow rate of the fluid, lb./hr.

V_f = volume of the float, ft^3.

ρ_f = density of the float, $lb./ft^3$.

ρ = density of the fluid, $lb./ft^3$.

R = constant

แทนค่า ρ_{H_2O} = 62.4 ปอนด์ต่อลบ.ฟุต

ρ_f = 686.4 ปอนด์ต่อลบ.ฟุต

$$\therefore R = \frac{W}{\sqrt{(686.4-62.4)(62.4)}}$$

$$= \frac{W}{197.3}$$

$$R = 0.005\ W$$

การ calibrate rotameter ทำโดยการให้น้ำไหลผ่าน rotameter จับเวลาและปริมาณของน้ำที่ไหลผ่าน rotameter ที่ rotameter reading ต่าง ๆ เมื่อทราบค่าอัตราการไหลของน้ำที่ rotameter reading ต่าง ๆ ก็สามารถจะคำนวณหา ค่า R ที่ rotameter reading ต่าง ๆ ได้

ตารางที่ ง. - 1 แสดงค่า R ที่ rotameter reading ต่าง ๆ

rotameter reading(%)	อัตราการไหลของน้ำ ปอนด์./ชม.	R
100	296.3	1.48
90	220.2	1.10
80	198.4	0.99
70	169.3	0.85
60	146.2	0.73

ตารางที่ ง. – 2 ความหนาแน่นของสารละลายแอมโมเนียที่ 20 °ซ.[5]

% NH_3 โดยน้ำหนัก	ความหนาแน่นของสารละลาย NH_3 กรัมต่อลบ.ซม.
1	0.9939
2	0.9895
4	0.9811
8	0.9651
12	0.9501
16	0.9362
20	0.9229
24	0.9101
28	0.8980
30	0.8920
32	0.8890
36	0.8770
40	0.8650
45	0.8490
50	0.8320
60	0.7960
70	0.7550

จากอัตราการไหลของน้ำที่ rotameter reading ต่าง ๆ เราสามารถนำไปคำนวณหาอัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียในน้ำได้ เพราะว่าที่ rotameter reading เท่ากับ R มีค่าคงที่ เมื่อรู้ความหนาแน่นของสารละลายแอมโมเนียในน้ำ เราก็สามารถคำนวณหา อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนียในน้ำได้จากสูตร

$$W = R\sqrt{(686.4 - \rho)\rho}$$

ตารางที่ ง. - 3 อัตราการไหลของสารละลายแอมโมเนีย (ปอนด์ต่อชั่วโมง) ที่ rotameter reading ต่าง ๆ ที่ 68 °ฟ.

rotameter reading % / %NH_3 โดยน้ำหนัก	100	90	80	70	60
1	291.2	216.5	194.8	167.3	143.7
2	290.7	216.0	194.4	166.9	143.4
4	289.5	215.2	193.7	166.3	142.8
8	287.4	213.6	192.2	165.1	141.8
12	285.4	212.1	190.9	163.9	140.8
16	283.5	210.7	189.6	162.8	139.8
20	281.6	209.3	188.4	161.8	138.9
24	279.9	208.0	187.2	160.7	138.0
28	278.2	206.7	186.1	159.8	137.2
30	277.3	206.1	185.5	159.3	136.8
32	276.9	205.8	185.2	159.0	136.6
36	275.2	204.5	184.1	158.0	135.7
40	273.4	203.2	182.9	157.0	134.9
45	271.1	201.5	181.4	155.7	133.7
50	268.6	199.6	179.7	154.3	132.5
60	263.2	195.6	176.1	151.2	129.8

ภาคผนวก จ.

การ calibrate เครื่องควบแน่น

Calibrate เครื่องควบแน่นได้โดยให้ความร้อนกับแอมโมเนีย ทำให้แอมโมเนีย ระเหยเข้าไปในเครื่องควบแน่น และจะกลั่นตัวเป็นของเหลวในเครื่องควบแน่น จดน้ำหนักของแอมโมเนียบนตาชั่งทุกๆครั้งที่ระดับของแอมโมเนียในหลอดแก้วของเครื่องควบแน่นเพิ่มขึ้น 0.1 เซนติเมตร ซึ่งจะปรากฏผลการ calibrate เครื่องควบแน่นตามตารางที่ จ.- 1

ตารางที่ จ.- 1 การ calibrate เครื่องควบแน่น

นน.NH_3 บนตาชั่ง (กรัม)	นน. NH_3 ใน เครื่องควบแนน (กรัม)	ระดับNH_3 ในหลอดแกว (ซม.)
6,500	0	-
6,380	120	0.6
6,360	140	0.7
6,340	160	0.8
6,300	200	0.9
6,280	220	1.0
6,250	250	1.1
6,200	300	1.2
6,160	340	1.3
6,120	380	1.4
6,080	420	1.5

นน.NH_3 บนตาชั่ง (กรัม)	นน. NH_3 ในเครื่องควบแน่น (กรัม)	ระดับ NH_3 ในหลอดแก้ว (ซม.)
6,040	460	1.6
6,000	500	1.7
5,970	530	1.8
5,940	560	1.9
5,920	580	2.0
5,900	600	2.1
5,880	620	2.2
5,850	650	2.3
5,820	680	2.4
5,800	700	2.5
5,780	720	2.6
5,760	740	2.7
5,740	760	2.8
5,710	790	2.9
5,680	820	3.0
5,660	840	3.1
5,620	880	3.2
5,580	920	3.3
5,540	960	3.4
5,500	1,000	3.5
5,480	1,020	3.6
5,450	1,050	3.7
5,410	1,090	3.8

นน. NH_3 บนตาชั่ง (กรัม)	นน. NH_3 ในเครื่องควบแน่น (กรัม)	ระดับ NH_3 ในหลอดแก้ว (ซม.)
5,380	1,120	3.9
5,320	1,180	4.0
5,280	1,220	4.1
5,240	1,260	4.2
5,200	1,300	4.3
5,140	1,360	4.4
5,100	1,400	4.5
5,060	1,440	4.6
5,020	1,480	4.7
4,970	1,530	4.8
4,930	1,570	4.9
4,900	1,600	5.0
4,870	1,630	5.1
4,840	1,660	5.2
4,820	1,680	5.3
4,800	1,700	5.4
4,770	1,730	5.6
4,740	1,760	5.7
4,720	1,780	5.8
4,700	1,800	5.9
4,640	1,860	6.0
4,620	1,900	6.1
4,590	1,930	6.2
4,560	1,960	6.3
4,540	1,980	6.4
4,500	2,020	6.5
4,520	2,040	6.6

ประวัติ

นาย สุทธิ อรุณวัฒนางค์กูล เกิดวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2496 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ ได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เมื่อปีการศึกษา 2518