หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 2

# ทฤษฎี

คำจำกัดความ

1. ความชื้นสัมพัทธ์ (RELATIVE HUMIDITY) หมายถึง อัตราส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณความชื้นที่มีจริงในอากาศ ต่อ ปริมาณความชื้นสูงสุดที่อากาศมีได้

%R.H. = ACTUAL PARTIAL PRESSURE OF WATER VAPOUR IN SPACE
SATURATION PRESSURE OF PURE WATER AT THE SAME TEMPERATURE

2. อัตราส่วนของความชื้น (HUMIDITY RATIO) ในส่วนผสมของไอน้ำ และอากาศแห้งนั้น คือ น้ำหนักของไอน้ำต่อน้ำหนักของอากาศแห้ง เราเรียกว่า อัตราส่วนของความชื้น หรืออาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าความชื้นจำเพาะ (SPECIFIC HUMIDITY)

3. อากาศแห้ง หมายถึง อากาศที่ปราศจากความชื้น และ ฝุ่นละอองซึ่งส่วนประกอบของอากาศแห้งโดยปริมาตรจะประกอบไปด้วยไนโตรเจน 78.084% ออกซิเจน20.9476% อาร์กอน0.934% คาร์บอนไดออกไซด์0.0001% ไฮโดรเจน0.00005% และส่วนประกอบอื่นอีกเช่นคริปตรอนซีออน และ โอโซน 0.0002 % น้ำหนักโมเลกุลของอากาศแห้งมีค่าประมาณเท่ากับ 28.9

4. อากาศชื้น หมายถึง อากาศที่ประกอบด้วยอากาศแห้งกับไอน้ำ ปริมาณไอน้ำในอากาศชื้นจะแปรเปลี่ยนจากศูนย์ไปถึงค่าสูงสุดซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิ และความดัน

5. เอนทาลพีของอากาศชื้น (THE MOIST AIR ENTHALPY) คือ ผลรวมของเอนทาลพีของอากาศแห้ง และ เอนทาลพีของไอน้ำอิ่มตัว ใช้บอกถึงปริมาณความร้อนรวมและสัดส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมที่เรียกกลับคืนมาใช้งาน ต่อ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมที่มีอยู่สูงสุด บอกถึงสมรรถนะของ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรวม อาจเรียกได้ว่า(ENTHALPY EFFECTIVENESS)

6. EXCHANGER HEAT TRANSFER EFFECTIVENESS หมายถึง สัดส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจริงต่อ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่มีอยู่สูงสุด ใช้บอกสมรรถนะของการส่งผ่านความร้อน ในกรณีที่อัตราความจุความร้อนของของไหลเท่ากับอัตราต่ำสุดของความจุความร้อนของของไหลอาจเรียกเป็น ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ (TEMPERATURE EFFECTIVENESS)

7. EXCHANGER MASS TRANSFER EFFECTIVENESS หมายถึง สัดส่วนของอัตราการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้นจริงต่อ อัตราการถ่ายเทความชื้นที่มีอยู่สูงสุดใช้บอกถึงสมรรถนะของการส่งผ่านความชื้น ในกรณีที่อัตราความจุมวลของของไหลเท่ากับอัตราต่ำสุดของความจุมวลของของไหลอาจเรียกเป็นประสิทธิภาพเชิงความชื้น (MOISTURE EFFECTIVENESS)

8. WATER VAPOUR PERMEABILITYหมายถึงผลคูณระหว่างอัตราการซึมของไอน้ำผ่านวัสดุในทิศทางตั้งฉากกับผิวต่อหน่วยพื้นที่ต่อผลต่างความดันไอน้ำที่ผิวคูณกับความหนาของวัสดุภายใต้สภาวะคงที่มีหน่วยเป็น$g/day/m^2 mm_{Hg}.cm$

9. AIR RESISTANCE หมายถึงอัตราการไหลของอากาศ ผ่านกระดาษซึ่งจะหาได้โดยการจับเวลาในการอัดอากาศจำนวน 100 มิลลิลิตรผ่านกระดาษ มีหน่วยเป็น วินาที ต่อ 100 มิลลิลิตร

10. THE EQUIVALENT DIAMETER หมายถึง อัตราส่วนของแรงเฉื่อย ต่อ แรงเสียดทานของของไหล ซึ่งแรงเฉื่อยจะขึ้นกับพื้นที่หน้าตัด แต่ แรงเสียดทานจะขึ้นกับความยาวรอบรูปของรูปร่างท่อ

## การส่งผ่านความร้อน

ในการนำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นมีครีบมาใช้เพื่อนำเอาความร้อนรวมที่สูญเสียไปในระบบระบายอากาศกลับคืนมา ความร้อนรวมจะมีทั้งความร้อนสัมผัส และ ความร้อนแฝง ซึ่งทฤษฎีที่จะนำมาใช้ในการคำนวณความร้อนนั้นก็คือการส่งผ่านความร้อน และ มวล การส่งผ่านความร้อนนั้นมี 3 วิธี คือ

1. การนำความร้อน
2. การพาความร้อน
3. การแผ่รังสีความร้อน

สำหรับการส่งผ่านโดยการแผ่รังสีความร้อนนั้น จะไม่นำมาพิจารณากับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเนื่องจากการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำดังนั้นจึงนำเอาการนำความร้อน และ การพาความร้อนมาใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งถ่ายความร้อนเท่านั้น

<u>การนำความร้อน</u> สมการฟูเรีย [7] จะอธิบายถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อน ดังนี้

$$q = kA\,dT/dX \qquad \text{.....(2.1)}$$

โดย $q$ = ความร้อนที่ส่งผ่านเนื่องจากการนำความร้อน KJ/hr

$k$ = ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ KJ/m/hr/$^{\circ}$K

$A$ = พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน $m^2$

$dT/dX$ = ความชันของอุณหภูมิในทิศทางการไหลของความร้อน $^{\circ}$K/m

<u>การพาความร้อน</u> สมการการเย็นตัวของนิวตัน[7]จะอธิบายถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการพาความร้อน ดังนี้

$$q = hA(t_w - t_b) \qquad \text{.....(2.2)}$$

โดย $q$ = ความร้อนที่ส่งผ่านเนื่องจากการพาความร้อน KJ/hr

$h$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน KJ/$m^2$/hr/$^{\circ}$K

$t_w$ = อุณหภูมิที่ผนังวัสดุที่สัมผัสของไหล $^{\circ}$K

$t_b$ = อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทางเข้ากับทางออก $^{\circ}$K

$A$ = พื้นที่ผิววัสดุที่สัมผัสกับของไหล $m^2$

<u>สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด(U)</u>

เมื่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นมีครีบนำมาใช้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศร้อนชื้นกับอากาศเย็นแห้ง ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด ซึ่งจะหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมดซึ่งมีความสัมพันธ์กับความต้านทานการนำ และ การพาความร้อน

$$\frac{1}{U_h} = \frac{1}{\eta_{f,h} h_h} + \frac{t}{(A_p/A_h)k} + \frac{1}{(A_c/A_h)\eta_{f,c} h_h} \qquad \text{...(2.3)}$$

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{\eta_{f,c} h_c} + \frac{t}{(A_p/A_c)k} + \frac{1}{(A_h/A_c)\eta_{f,h} h_h} \qquad \text{...(2.4)}$$

เมื่อ $U_h$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมดด้านอากาศร้อน

$U_c$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมดด้านอากาศเย็น

$A_p$ = พื้นที่ของแผ่นกั้นอากาศร้อนและเย็น

$A_h$ = พื้นที่ผิวสัมผัสอากาศร้อน

$= A_p + f * A_f$

$A_c$ = พื้นที่ผิวสัมผัสอากาศเย็น

$= A_p + f * A_f$

$f$ = ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน

$$= \frac{\tanh(mb)}{mb}$$

$$m = \sqrt{\frac{2h_h}{k_p t}}$$

$b$ = ระยะครึ่งหนึ่งของระยะห่างของแผ่นกั้นอากาศ 2 แผ่น

$t$ = ความหนาของแผ่นกั้นอากาศ

$k_p$ = ค่าสภาพการนำความร้อนของแผ่นกระดาษ

$n_f$ = ประสิทธิภาพรวมของครีบในการถ่ายเทความร้อน

$= (A_p + f * A_f)/(A_p + A_f)$

$h_c$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านอากาศเย็น

$h_h$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านอากาศร้อน

<u>ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อก</u>

(LOGARITHMATIC MEAN TEMPERATURE DIFFERENCE)

ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อกจะมีวิธีการหาได้ต่างกัน ซึ่งได้แก่ การไหลแบบของไหลไหลไปทิศทางเดียวกัน( PARALLEL FLOW) การไหลแบบของไหลไหลสวนทางกัน (COUNTER FLOW ) และการไหลแบบของไหลไหลขวางตัดกัน (CROSS FLOW) สำหรับผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อกของการไหลทั้ง 2 แบบแรกในท่อสองชั้นนั้นจะหาได้จาก

$$\Delta T_{ln} = [(T_{o,h} - T_{o,c}) - (T_{i,h} - T_{i,c})] / \ln\{(T_{o,h} - T_{o,c})/(T_{i,h} - T_{i,c})\} \quad \ldots (2.5)$$

ส่วนการไหลแบบของไหลไหลขวางตัดกันแบบของไหลไม่ผสมกันนั้นNusselt[8] ได้หาค่าแฟคเตอร์แก้ไขค่าผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อกซึ่งค่าแฟคเตอร์นี้ขึ้นกับ

$(T_{oa}-T_{ea})/\Delta T_{lm}$ และ $(WCp)_c/(WCp)_h$

โดยที่ $\Delta T_{lm}$ = ผลต่างของอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยแบบล็อก

$(WCp)_c/(WCp)_h$ = อัตราส่วนของความจุความร้อนน้อยต่อความจุความร้อนมาก

กรณีที่ $(WCp)_c/(WCp)_h = 1$ จะได้ $\Delta T_{lm} = (T_{oa}-T_{ea})$ หรือ $(T_{ea}-T_{ra})$

$T_{oa}$ = อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$T_{ea}$ = อุณหภูมิอากาศภายในห้องที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$T_{ea}$ = อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$T_{ra}$ = อุณหภูมิอากาศภายในห้องก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

<u>การพาความร้อน แบบการไหลราบเรียบ</u>

เมื่อของไหลไหลในท่อกลมแนวนอนที่สภาวะ STEADY STATE และของไหลเป็น INCOMPRESSIBLE และ ความหนืดคงที่

$$V_r = V_{max}(1-r^2/r_o^2) \quad \text{.....(2.6)}$$

โดย $V_{max}$ = ความเร็วที่ตรงกลางท่อ

$r_o$ = ตำแหน่งที่อยู่ตรงผิวท่อ

$V_r$ = ความเร็วในแนวรัศมีของท่อกลม

$r$ = ตำแหน่งใดๆในแนวรัศมี

สำหรับวิธีการหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะใช้วิธีไดเมนชั่นนอลแอนนาไลซิส โดยจัดกลุ่มตัวแปรที่มีผลต่อการพาความร้อนเช่น $k_a, h_h, d_h$ ฯลฯ และพบว่าฟังก์ชั่นแสดงการพาความร้อนโดยบังคับในรูปของกลุ่มไม่มีหน่วยเป็นดังนี้

$$Nu = \varphi(Re, Pr) = cRe^mPr^n \quad \text{.....(2.7)}$$

เมื่อ Nu = นัสเซลท์นัมเบอร์

Re = เรย์โนลด์นัมเบอร์

$= \varrho vd/\mu$

Pr = แพรนด์เทิลนัมเบอร์

$= \mu C_p/k_a$

และ $\varrho$ = ความหนาแน่นของอากาศ

v = ความเร็วของของอากาศ

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อกลม หรือ เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิค(dh)

$\mu$ = ความหนืดไดนามิคของอากาศ

$C_p$ = ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ

$k_a$ = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ

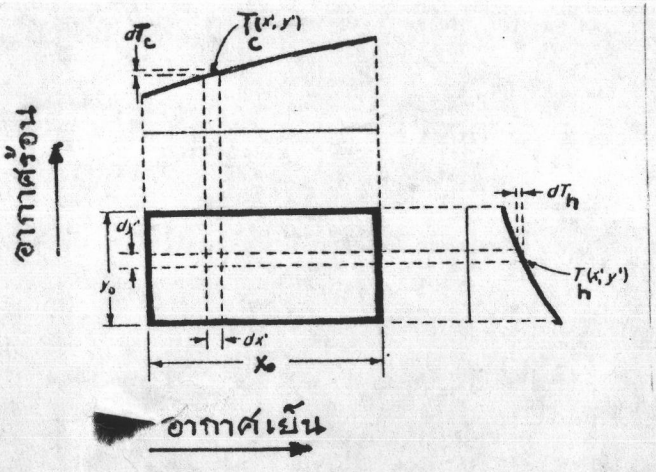
m = 0.8 สำหรับการไหลในท่อกลมแบบ เทอร์บูแลน

n = 0.4 ในกรณีของไหลในท่อเป็นตัวรับความร้อน

n = 0.3 ในกรณีของไหลในท่อเป็นตัวให้ความร้อน

<u>การวิเคราะห์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดไหลขวางตัดกันแบบของไหลไม่ผสมกัน</u>

ในการส่งผ่านความร้อนแบบของไหลไหลขวางตัดกันโดยของไหลไม่ผสมกันนั้นจะพิจารณาโดยใช้วิธีของMASON,J.L.[6]ซึ่งใช้บอกค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนวิธีการเอ็นทียูประสิทธิผล(ε-Ntu)จะวิเคราะห์โดยใช้การสมดุลย์ของความร้อนในการหาค่าความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้




จากรูป เมื่อพิจารณาแผ่นวัสดุที่มีพื้นที่ $x_o y_o$ และ coordinate direction x',y' อุณหภูมิของของไหลซึ่งเย็นและร้อนเป็นฟังก์ชั่นของ coordinates และสามารถเขียนได้ว่า $T_c(x',y')$ และ $T_h(x',y')$ ตามลำดับ ที่จุดใดๆของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถเขียนสมดุลย์ของความร้อนได้ว่า

$$(dq)_h = U_h(T_h-T_c)dx'dy' \quad \text{.....(2.8)}$$

$$(dq)_c = U_c(T_h-T_c)dx'dy' \quad \text{.....(2.9)}$$

คิดที่พื้นที่ $x_o y_o$ ในช่วงความยาว สมดุลย์ความร้อนจะได้ว่า

$$(dq)_h = -\frac{(WCp)_h \partial T_h}{x_o \partial y'} dx'dy' \quad \text{.....(2.10)}$$

$$(dq)_c = \frac{(WCp)_c}{y_o}\frac{\partial T_c}{\partial x'}\,dx'dy' \quad .....(2.11)$$

สมการที่(2.8) = สมการที่(2.10) $\dfrac{U_h x_o (T_h - T_c)}{(WCp)_h} = -\dfrac{\partial T_h}{\partial y'}$ ....(2.12)

สมการที่(2.9) = สมการที่(2.11) $\dfrac{U_c y_o (T_h - T_c)}{(WCp)_c} = \dfrac{\partial T_c}{\partial x'}$ ....(2.13)

differentiate สมการ (2.12) และ (2.13) เทียบกับ x' และ y'แล้วรวมกัน

$$\frac{U_h x_o}{(WCp)_h}\frac{\partial (T_h - T_c)}{\partial x'} + \frac{U_c y_o}{(WCp)_c}\frac{\partial (T_h - T_c)}{\partial y'} = -\frac{\partial^2 (T_h - T_c)}{\partial x'\partial y'} \quad ....(2.14)$$

ให้ $T_h - T_c = \theta'$

$x = x'/x_o$

$y = y'/y_o$

แทนลงใน (2.14)

$$\frac{U_h x_o y_o \partial\theta'}{(WCp)_h \partial x} + \frac{U_c x_o y_o \partial\theta'}{(WCp)_c \partial y} = -\frac{\partial^2\theta'}{\partial x \partial y} \quad .....(2.15)$$

ให้ $A_p = x_o y_o$

$Ntu_h = U_h x_o y_o/(WC_p)_h$ .....(2.16)

$Ntu_c = U_c x_o y_o/(WCp)_c$ .....(2.17)

$\theta_o = \theta(x_o = 0, y_o = 0)$

$\theta = \theta'/\theta_o$

$$(Ntu_h)\frac{\partial\theta}{\partial x} + (Ntu_c)\frac{\partial\theta}{\partial y} + \frac{\partial^2\theta}{\partial x\partial y} = 0 \quad .....(2.18)$$

Laplace transform -

$$\mathcal{L}_x\mathcal{L}_y\left[(Ntu_h)\frac{\partial\theta}{\partial x}\right] = (Ntu_h)[r.g_{xy}(r,s) - g_y(0,s)] \quad .....(2.19)$$

$$\mathcal{L}_x\mathcal{L}_y\left[(Ntu_c)\frac{\partial\theta}{\partial y}\right] = (Ntu_c)[s.g_{xy}(r,s) - g_x(r,0)] \quad .....(2.20)$$

$$\mathcal{L}_x\mathcal{L}_y\frac{\partial\theta}{\partial x\partial y} = r.s.g_{xy}(r,s) - r.g_x(r,0) - s.g_y(0,s) + \theta(0,0) \quad .....(2.21)$$

โดย $\theta(0,0) = 1$ แล้วจัดเทอมใน(2.18)

$$[(Ntu_h)r+(Ntu_c)s+r.s]g_{xy}(r,s)=(Ntu_h+s)g_y(0,s)+(Ntu_c+r)g_x(r,0) - 1 \quad \text{.....(2.22)}$$

boundary condition $(Ntu_c)\theta(x,0) = -\frac{\partial\theta(x,0)}{\partial x}$

$$(Ntu_h)\theta(0,y) = -\frac{\partial\theta(0,y)}{\partial y}$$

$$\theta(x,y) = e^{-(Ntu_h)y+(Ntu_c)x}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(Ntu_h)(Ntu_c)xy^n}{(n!)^2} \quad \text{.....(2.23)}$$

$$q = U_h A_p \theta_o \int\int \theta(x,y)dxdy \quad \text{.....(2.24)}$$

ความร้อนสูงสุด $q_{max} = (WCp)_h(T_{oa}-T_{ra})$

เมื่อ $\varepsilon_t = q/q_{max}$ และ $(WCp)c/(WCp)h = 1$

$$\varepsilon_t = (T_{oa}-T_{aa})/(T_{oa}-T_{ra}) \quad \text{.....(2.25)}$$

และ ความสัมพันธ์ของ $\varepsilon_t$ กับ $Ntu_h$

$$\varepsilon_h = \frac{1}{R(Ntu_h)}\sum_{n=0}^{\infty}[1-e^{-Ntu_h}\sum_{m=0}^{\infty}\frac{(Ntu)_h^m}{m!}]\{1-e^{-R(Ntu_h)}\sum_{m=0}^{\infty}[\frac{R(Ntu_h)}{m!}]^m\} \quad \text{..(2.26}$$

โดยที่ $R = (WCp)_c/(WCp)_h = 1$ เมื่อความจุความร้อนของอากาศร้อนและเย็นเท่ากัน

$\varepsilon_t$ = ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิในการทำให้อากาศเย็นลง

$Ntu_h$ = พารามิเตอร์ของการถ่ายเทความร้อน$=(U_h A_h)/(WC_p)_h$

การเปรียบเทียบตัวแปรทางด้านการถ่ายเทความร้อนกับการถ่ายเทมวล

| ตัวแปรทางด้านการถ่ายเทความร้อน | | ตัวแปรทางด้านการถ่ายเทมวล | |
|---|---|---|---|
| $Nu$ | $= h_H d_H / k_a$ | $Sh$ | $= h_m d_H / K_a$ |
| $Pr$ | $= C_p \mu / k_a$ | $Sc$ | $= C_m \mu / K_a$ |
| $Re$ | $= \varrho v d_H / \mu$ | $Re$ | $= \varrho v d_H / \mu$ |
| $Gz$ | $= RePrd_H / l$ | $Gz_m$ | $= ReScd_H / l$ |
| | $= \varrho AvC_p / (k_a l)$ | | $= \varrho AvC_m / (K_a l)$ |
| $St$ | $= h_H / (\varrho v C_p)$ | $St_m$ | $= h_m / (\varrho v C_m)$ |
| $\alpha$ | $= k_a / (\varrho C_p)$ | $D$ | $= K_a / (\varrho C_m)$ |
| $C_p$ | $= (\partial Q / \partial T)_P$ | $C_m$ | $= (\partial M / \partial P)_T = M_w Q / RT$ |
| $Ntu_H$ | $= (U_H A_H / (WC_p)_H$ | $Ntu_m$ | $= U_m A_p / C_m$ |
| $\varepsilon_t$ | $= (T_{oa} - T_{aa}) / (T_{oa} - T_{ra})$ | $\varepsilon_m$ | $= (\omega_{oa} - \omega_{aa}) / (\omega_{oa} - \omega_{ra})$ |
| $h_H$ | | $h_m$ | |
| $k_a$ | | $K_a$ | |
| $U_H$ | | $U_m$ | |
| $dT$ | | $dP$ | |

การถ่ายเทมวล

การส่งผ่านมวลในระบบของของผสมระหว่างอากาศแห้งกับไอน้ำจะเกิดจากการพิจารณาว่าอากาศชื้นเป็นมวลที่เกิดการเปลี่ยนความดันย่อย โดยแยกว่าทั้งอากาศแห้งและไอน้ำเป็นก๊าซสัมบูรณ์ (PERFECT GAS)

1. ความสัมพันธ์ของก๊าซสัมบูรณ์ของอากาศแห้งและไอน้ำ

$$PV = nRT \quad \text{.....(2.27)}$$

อากาศแห้ง $P_a V = n_a RT$ .....(2.28)

ไอน้ำ $P_w V = n_w RT$ .....(2.29)

2. กฎของดาลตัน กล่าวว่า เมื่อก๊าซที่แตกต่างกันอยู่ในที่เดียวกัน ก๊าซแต่ละชนิดจะมีเต็มในขอบเขตที่สามารถจะมีได้ทั้งหมด ราวกับว่าไม่มีก๊าซชนิดอื่นอยู่ในขอบเขตนั้น ความดันของก๊าซแต่ละชนิดจะเรียกว่าความดันย่อย และผลบวกของความดันย่อยของก๊าซแต่ละชนิด จะเรียกว่าความดันรวม

การวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนความชื้น

ในการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนความชื้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรวม จะแยกกันจากการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนความร้อน แต่จะนำมาวิเคราะห์ในลักษณะคล้ายคลึงกันของพารามิเตอร์ต่างๆเช่น ค่า สภาพการนำความร้อนมีสมการคล้ายคลึงกับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของความชื้นในกระดาษเป็นต้น ส่วนค่าอื่นที่เปรียบเทียบไว้แล้วข้างต้น ก็สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้เช่นกัน

สัมประสิทธิ์การซึมผ่านความชื้น

(PERMEABILITY COEFFICIENT)

จากความคล้ายคลึงกันของสภาพการนำความร้อน ซึ่งหาค่าได้จากกฎของฟูเรีย(FOURIER'S LAW)กับ สัมประสิทธิ์การซึมผ่านความชื้นซึ่งหาค่าได้จากกฎของฟิค(Fick's Law)จะนำมาใช้หาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านความชื้นของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนรวมดังสมการต่อไปนี้

$$G = \frac{-DM_w dp_w}{RT\ dx} = \frac{-K_a dp_w}{dx} \quad \text{.....(2.29)}$$

เมื่อ G เป็น อัตราการไหลของไอน้ำในอากาศ ( kg/sec./m^2)

$$K_a = \frac{DM_w}{RT} \quad \text{.....(2.30)}$$

$K_a$ = สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของไอน้ำในอากาศ ( kg/m/sec/mmHg)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ของไอน้ำในอากาศ ( m^2 / sec )

R = ค่าคงที่ของแก๊สสัมบูรณ์ ($mm_{Hg}$ $m^3$ / kmol/° K)

$M_w$ = น้ำหนักของไอน้ำ ( kg/kmol )

T = อุณหภูมิของอากาศ (° K )

สมการที่ (2.29) เป็นกฎของฟิคที่ใช้ในการสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของไอน้ำในอากาศจากสมการที่ (2.30)จะหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำในอากาศภายใต้ความดันบรรยากาศ สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำในกระดาษก็สามารถใช้สมการที่ (2.29) โดยการนำแผ่นกระดาษมากั้นไอน้ำแล้ววัดผลต่างของน้ำหนักของไอน้ำที่หายไปเปรียบเทียบกับความหนาของกระดาษโดยให้อัตราการไหลของไอน้ำคงที่

016222

<u>สัมประสิทธิ์การส่งผ่านมวลทั้งหมดในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรวม</u>

ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพเชิงความชื้น(HUMIDITY EFFECTIVENESS) กับ $Ntu_m$ เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบของไหลไหลขวางตัดกันและไม่ผสมกันค่าความจุมวลความร้อนจะใช้ค่าความจุมวลความชื้นแทนซึ่งค่าความจุมวลความชื้นหาค่าได้จากสมการที่(2.33) ค่า Ntu แทนด้วย $Ntu_m$ ดังสมการ(2.34)

$$C_m = \frac{M_w Q}{RT_H} = \frac{18 \times Q_H (m^3/sec)}{62.3 \times \Gamma_H (^\circ C + 273.15)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2.33)$$

$$Ntu_m = \frac{U_m A_p}{C_m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.34)$$

$$U_m = \frac{1}{A_p \left[ \frac{1}{h_{mH}(A_p + fmA_f)} + \frac{t}{K_{pp}A_p} + \frac{1}{h_{mc}(A_p + fmA_f)} \right]} \quad \ldots(2.35)$$

เมื่อ $U_m$ = ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลทั้งหมด

$h_{mH}$ , $h_{mc}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความชื้นในอากาศร้อน และในอากาศเย็น

$f_m$ = ประสิทธิภาพของครีบในการถ่ายเทความชื้น = $\frac{\tanh(mb)}{mb}$

$m = \sqrt{\frac{2h_{mH}}{Kp_p t}}$

b = ระยะครึ่งหนึ่งของระยะห่างของแผ่นกั้นอากาศ 2 แผ่น

$Kp_p$ = สัมประสิทธิ์การซึมผ่านความชื้นในกระดาษ

$A_p$ = พื้นที่แผ่นเรียบของตัวแลกเปลี่ยนความชื้น

$A_f$ = พื้นที่ครีบ

t = ความหนาของแผ่นเรียบ

<u>ประสิทธิภาพเชิงความชื้น</u> ($\varepsilon_m$)

การถ่ายเทมวลจะหาค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความชื้นได้ทำนองเดียวกับการถ่ายเทความร้อน โดยใช้ค่าอัตราส่วนความชื้น($\omega$) แทน T ลงในสมการที่ (2.25) ซึ่งจะเป็นค่าประสิทธิภาพเชิงความชื้น

$$\varepsilon_m = (\omega_{o,a} - \omega_{a,a}) / (\omega_{o,a} - \omega_{r,a}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.36)$$

ประสิทธิภาพเชิงเอนทาลพี ($\varepsilon_1$)

เมื่ออากาศมีการถ่ายเทความร้อนและความชื้นจึงทำให้เอนทาลพีของอากาศเปลี่ยนไป และสามารถหาประสิทธิภาพได้โดยใช้ค่าเอนทาลพีของอากาศ (h) แทน อุณหภูมิ(T)ลงในสมการที่(2.25)ก็จะได้ประสิทธิภาพเชิงเอนทาลพีดังนี้

$$\varepsilon_1 = (h_{oa}-h_{ma}) / (h_{oa}-h_{ra}) \quad \text{.....(2.37)}$$

ปริมาณความร้อนที่ประหยัดได้

การนำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นมีครีบมาใช้กับการระบายอากาศ โดยนำเอาอากาศในห้องที่จะระบายทิ้งซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นต่ำมาแลกเปลี่ยนกับอากาศภายนอกห้องซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูงในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ สำหรับปริมาณความร้อนที่สามารถประหยัดได้ในการปรับอากาศร้อนและชื้นให้เป็นอากาศเย็นและแห้งนั้นจะแยกออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. ความร้อนสัมผัส (sensible heat recovery)
2. ความร้อนแฝง (latent heat recovery)
3. ความร้อนรวม (total heat recovery)

ปริมาณความร้อนสัมผัสที่ประหยัดได้หาได้จากสมการที่ (2.34)

$$q_s = (WCpa)_h(T_{oa}-T_{ra}) \quad \text{.....(2.38)}$$

ปริมาณความร้อนแฝงที่ประหยัดได้หาได้จากสมการที่ (2.39)

$$q_l = W[(h_{fg}+CpvT_{oa})\omega_{oa} - (h_{fg}+CpvT_{ma})\omega_{ma}] \quad \text{....(2.39)}$$

ปริมาณความร้อนรวมที่ประหยัดได้หาได้จากสมการที่ (2.40)

$$q_t = q_s + q_l \quad \text{.....(2.40)}$$