

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการ

ระบบทำความเย็นแบบระเหยเป็นกระบวนการทาง อะไดบาติก (Adiabatic Saturation Process) เป็นกระบวนการไหลแบบคงที่ (Steady Flow) ซึ่งเป็นกระบวนการไม่มีความร้อน และงานเข้ามาเกี่ยวข้อง พลังงานจลน์และพลังงานศักย์จะไม่นำมาคิดในกระบวนการนี้

3.1 ทฤษฎีพลังงาน

สมการส่วนผสมของไอน้ำระหว่างอากาศกับน้ำสามารถแยกได้เป็น [21]

3.1.1 กฎอนุรักษ์มวล

โดยพิจารณาถึงสมดุลมวล (อัตราการไหลมวลอากาศแห้งคงที่)

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a \quad (3.1)$$

โดยที่

$\dot{m}_{a1}$ = อัตราการไหลมวลอากาศแห้งทางเข้า, กิโลกรัม

$\dot{m}_{a2}$ = อัตราการไหลมวลอากาศแห้งทางออก, กิโลกรัม

$\dot{m}_a$ = อัตราการไหลมวลอากาศแห้ง, กิโลกรัม

อัตราการไหลของไอน้ำในอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีอัตราเท่ากับอัตราการระเหย $\dot{m}_e$

$$\dot{m}_{v2} - \dot{m}_{v1} = \dot{m}_e \quad (3.2)$$

โดยที่

$\dot{m}_{v1}$ = อัตราการไหลของไอน้ำในอากาศทางเข้า, กิโลกรัม

$\dot{m}_{v2}$ = อัตราการไหลของไอน้ำในอากาศทางออก, กิโลกรัม

$\dot{m}_e$ = อัตราการระเหยของไอน้ำในอากาศ, กิโลกรัม

หารสมการที่ (3.2) ด้วย $\dot{m}_a$ จะได้

$$\frac{\dot{m}_{v2}}{\dot{m}_a} - \frac{\dot{m}_{v1}}{\dot{m}_a} = \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}_a} \quad (3.3)$$

จาก

$$\omega = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_a} \quad (3.4)$$

จัดรูปแบบสมการที่ (3.3) ใหม่จะได้ $\omega_2 - \omega_1 = \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}_a}$ (3.5)

โดยที่

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \text{สัดส่วนความชื้นอากาศที่ทางเข้า} \\ \omega_2 &= \text{สัดส่วนความชื้นอากาศที่ทางออก} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\dot{m}_e = \dot{m}_a (\omega_2 - \omega_1) \quad (3.6)$$

3.1.2 กฎการอนุรักษ์พลังงาน

โดยพิจารณาถึงสมดุลพลังงาน จากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์

$$Q - W = \Delta H + \Delta E_k + \Delta W_p \quad (3.7)$$

Q = อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อน

W = งาน, กิโลจูล

ΔH = ผลต่างของเอนทาลปี, กิโลจูล

ΔE_k = ผลต่างของพลังงานศักย์, กิโลจูล

ΔW_p = เป็นผลต่างของพลังงานจลน์, กิโลจูล

ในกรณีที่ไม่มี การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ (ΔE_k) พลังงานจลน์ (ΔW_p) และงาน (W) เกิดขึ้น ดังนั้น ΔE_k , ΔW_p และ W มีค่าเท่ากับ ศูนย์จะได้

$$Q = \Delta H \quad (3.8)$$

$$\sum \dot{m}_i h_i = \sum \dot{m}_e h_e + q \quad (3.9)$$

$$\dot{m}_{a1} h_1 + \dot{m}_e h_w = \dot{m}_{a2} h_2 + q \quad (3.10)$$

แทนค่า $\dot{m}_e$ จากสมการที่ (3.6) ในสมการที่ (3.10)

$$\dot{m}_{a1} h_1 + (\omega_2 - \omega_1) h_w = \dot{m}_{a2} h_2 + q \quad (3.11)$$

หาร $\dot{m}_a$ ตลอดสมการจะได้

$$h_1 + (\omega_2 - \omega_1) h_w = h_2 + \frac{q}{\dot{m}_a} \quad (3.12)$$

จาก $h = h_a + \omega h_g$ และจัดรูปสมการที่ (3.12) จะได้

$$(\dot{m}_{a1} + \omega_1 \dot{m}_{g1}) + (\omega_2 - \omega_1) \dot{m}_w = (\dot{m}_{a2} + \omega_2 \dot{m}_{g2}) + \frac{q}{\dot{m}_a} \quad (3.13)$$

หรือในกรณีพิจารณาเป็น Ideal Gas สามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{q}{\dot{m}_a} = C_{p_a} (T_{db,1} - T_{db,2}) + \omega_1 (h_{g,1} - h_{g,wb}) - \omega_2 (h_{g,2} - h_{g,wb}) \quad (3.14)$$

เมื่อ $T_{db,1}$ = อุณหภูมิของอากาศแห้งทางเข้า, องศาเซลเซียส

$T_{db,2}$ = อุณหภูมิของอากาศแห้งทางออก, องศาเซลเซียส

$h_{g,1}$ = เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิทางเข้า

$h_{g,2}$ = เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิทางออก

$h_{g,wb}$ = เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้า, กิโลกรัม/กิโลกรัม
อากาศแห้ง

ω_1 = สัดส่วนความชื้นอากาศที่ทางเข้า

ω_2 = สัดส่วนความชื้นอากาศที่ทางออก

$\dot{m}_a$ = อัตราการไหลของอากาศแห้ง, กิโลกรัม

$\dot{m}_{v2}$ = อัตราการไหลของไอน้ำที่ทางออก, กิโลกรัม

$\dot{m}_{v1}$ = อัตราการไหลของไอน้ำที่ทางเข้า, กิโลกรัม

$\dot{m}_e$ = อัตราการไหลของการระเหยของน้ำ, กิโลกรัม

โดยอัตราการไหลของอากาศแห้ง ($\dot{m}_a$) มีค่าเท่ากับ

$$\dot{m}_a = \rho VA \quad (3.15)$$

โดย ρ = ความหนาแน่นของอากาศที่ทางเข้า, กิโลกรัม/กิโลเมตร³

V = ความเร็วอากาศ, เมตร/วินาที

A = พื้นที่หน้าตัดทางอากาศเข้า, ตารางเมตร

ความเร็วอากาศ [22] มีค่าเท่ากับ

$$V = \sqrt{2g\Delta H \left(\frac{\rho_w}{\rho_a} - 1 \right)} \quad (3.16)$$

โดย V = ความเร็วอากาศ, เมตร/วินาที

g = แรงโน้มถ่วงของโลก, เมตร/วินาที²

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ, กิโลกรัม/เมตร³

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ, กิโลกรัม/เมตร³

ΔH = ค่า Average pressure head (m – H₂O)

ความชื้นในอากาศ (W) จะสามารถหาจากแผนภูมิความชื้น (Psychometric Chart) หรือคำนวณได้จากสมการ [23] ต่อไปนี้

ความชื้นในอากาศ (W)

$$W = \frac{(2501 - 2.381T_{wb})W_s - (T_{db} - T_{wb})}{2501 + 1.805T_{db} - 4.186T_{wb}} \quad (3.17)$$

โดย W = ความชื้นในอากาศ, กิโลกรัม/กิโลกรัมอากาศ

W_s = ความชื้นอิ่มตัวในอากาศ, กิโลกรัม/กิโลกรัมอากาศ

โดยความชื้นอิ่มตัวในอากาศ (W_s) สามารถหาได้จาก

$$W_s = 0.62198 \frac{P_{ws}}{P - P_{ws}} \quad (3.18)$$

โดย P_{ws} = ความดันไอน้ำอิ่มตัว (P_a)

P = ความดันบรรยากาศ (P_a)

สามารถหาความดันไอน้ำอิ่มตัว (P_{ws}) ได้จาก

$$\ln(P_{ws}) = \frac{C_1}{T} + C_2 + C_3 \times T + C_4 \times T^2 + C_5 \times T^3 + C_6 \times \ln(T) \quad (3.19)$$

โดย T = อุณหภูมิสัมบูรณ์, เคลวิน

ค่าคงที่ $C_1 = -5800.2206$

$C_2 = 1.3914993$

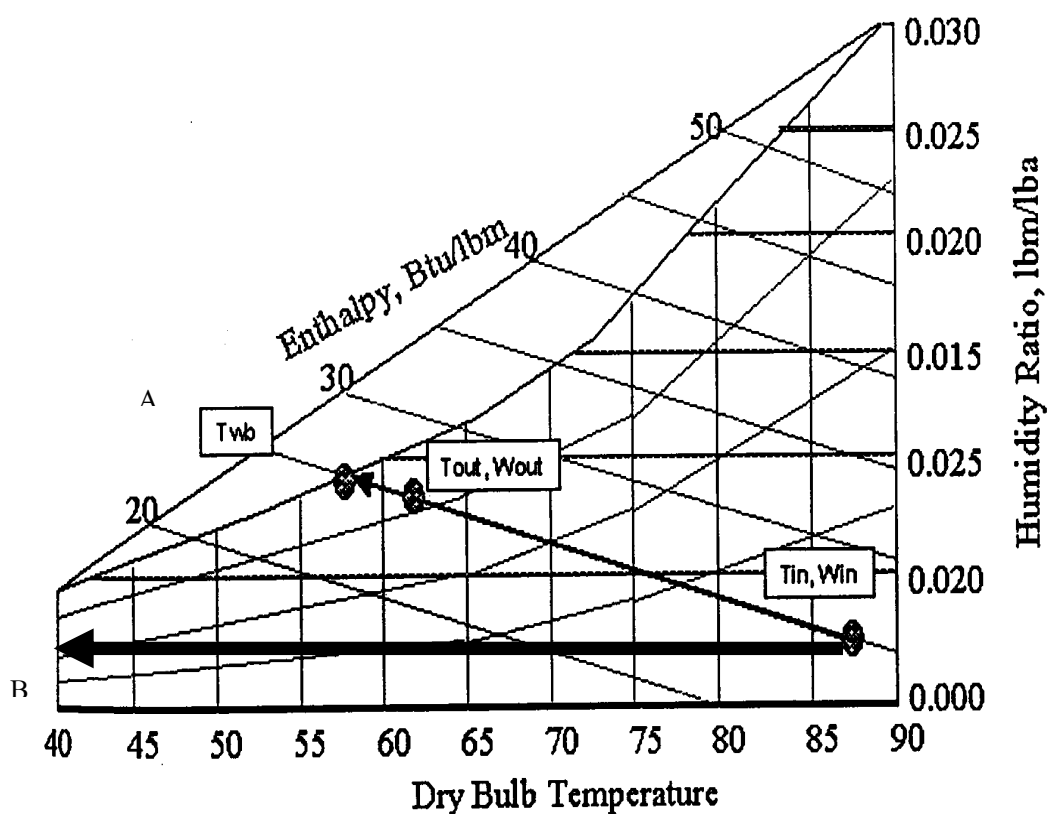
$$C_3 = -0.048640239$$

$$C_4 = 0.41764768 \times 10^{-4}$$

$$C_5 = -0.14452093 \times 10^{-7}$$

$$C_6 = 6.549673$$

ลักษณะของระบบ Direct Evaporative Cooling บนแผนภูมิ Psychrometric [24]



รูปที่ 3.1 ลักษณะของระบบ Direct Evaporative Cooling บนแผนภูมิ Psychrometric

กระบวนการ Psychrometric ของการทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (เส้น A) เป็นกระบวนการที่ทำให้อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำโดยความร้อนที่ แต่จะเห็นว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่ออุณหภูมิกระเปาะแห้งจะลดลง กระบวนการนี้จะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น น้ำที่ปล่อยมาที่แผงจับน้ำ จะระเหยทำให้อากาศอิ่มตัวส่วน (เส้น B) เป็นกระบวนการให้ความเย็นสัมผัส จะเป็นกระบวนการที่ค่าความชื้นคงที่เมื่ออุณหภูมิกระเปาะแห้งจะลดลง

ขนาดของ แผงซับน้ำ [25]

$$A_{\text{pad}} = \frac{V}{1.27} \quad (3.20)$$

โดย V = ปริมาตรอากาศ, เมตร³/วินาที

1.27 = ค่าคงที่ปริมาตรอากาศ, เมตร³/เมตร².วินาที

3.2 ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย

การวัดประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหยเป็นประสิทธิภาพอิ่มตัว (Saturating Efficiency) เป็นการหาอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกที่สามารถวัดได้จากระบบทำความเย็นแบบระเหยสามารถเขียนในรูปสมการดังนี้

$$\varepsilon = \frac{T_{\text{db},1} - T_{\text{db},2}}{T_{\text{db},1} - T_{\text{wb},1}} \quad (3.21)$$

เมื่อ ε = ประสิทธิภาพของการทำความเย็นแบบระเหย

$T_{\text{db},1}$ = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางเข้า(องศาเซลเซียส)

$T_{\text{db},2}$ = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางออก(องศาเซลเซียส)

$T_{\text{wb},1}$ = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางเข้า(องศาเซลเซียส)

$T_{\text{wb},2}$ = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศออก(องศาเซลเซียส)