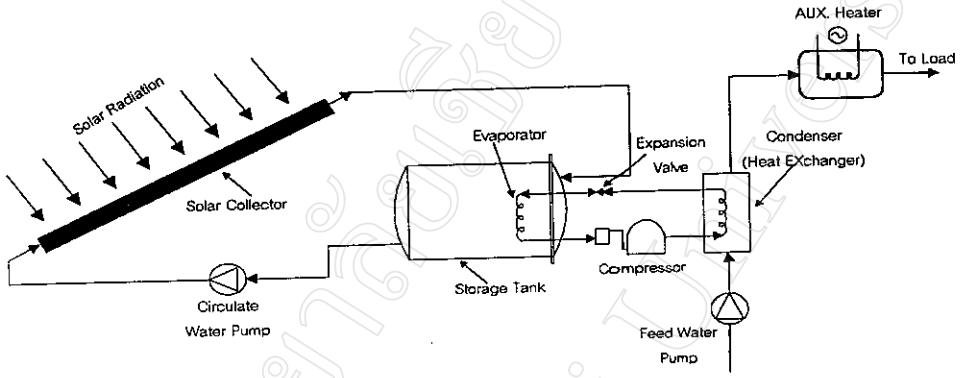
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

การทำน้ำร้อนจากระบบแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อนประกอบไปด้วย 2 ระบบคือการรับความร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์และระบบปั๊มความร้อน เพิ่มคุณภาพความร้อนจากระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์และนำไปใช้ในการให้ความร้อนแก่น้ำร้อนที่มาใช้ประโยชน์ลักษณะของภาพดังแสดงในรูป 2.1



รูป 2.1 วงจรการทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อน

2.1 ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ

ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์มาเป็นความร้อนให้แก่ของไหลทำงาน ที่ขณะใดๆอัตราความร้อนที่ได้จากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบซึ่งใช้สมการที่สภาวะคงตัว เขียนสมการให้อยู่ในรูปของอุณหภูมิของไหลเข้า(T_{fi}) คือ

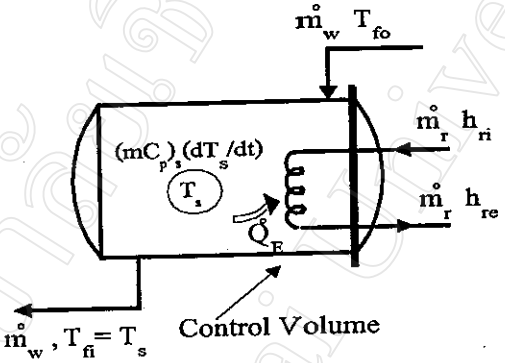
$$Q_U = A_c F_R \left[G_T(\tau\alpha) - U_L(T_{fi} - T_a) \right] \qquad (2.1)$$

เมื่อ
Q_U = อัตราความร้อนที่ได้จากตัวรับรังสี
A_C = พื้นที่ของตัวรับรังสี
F_R = ตัวประกอบการส่งถ่ายความร้อน
G_T = รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบนระนาบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์
$\tau\alpha$ = ผลคูณประสิทธิผลค่าส่งผ่านและดูดกลืนของตัวรับรังสี แสงอาทิตย์สู่สิ่งแวดล้อม
U_L = ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมจากผิวดูดรังสีแสงอาทิตย์สู่สิ่งแวดล้อม
T_{fi} = อุณหภูมิของไหลเข้า
T_a = อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม

2.2 การดึงความร้อนที่ถังโดยใช้ปั๊มความร้อน

เมื่อของไหลทำงานหรือน้ำรับความร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ก็จะไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำร้อน ที่มีอีวาปอเรเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการดึงความร้อนออก ซึ่งจากกฎอนุรักษ์พลังงานเมื่อพิจารณา ที่ถังเก็บน้ำร้อนดังแสดงในรูป 2.2 สามารถเขียนเป็นสมการโดยสมมุติอุณหภูมิน้ำในถังมีค่าสม่ำเสมอและไม่คิดการสูญเสียความร้อนได้ดังนี้

$$\dot{Q}_U = \dot{Q}_E + \left(mC_p\right)_s \frac{dT_S}{dt} \tag{2.2}$$



รูป 2.2 ถังเก็บน้ำร้อนซึ่งมีอีวาปอเรเตอร์จากปั๊มความร้อนอยู่ภายใน

โดย

$$\dot{Q}_U = \left(\dot{m}C_p\right)_w \left(T_{fo} - T_s\right) \tag{2.3}$$

และ

$$\dot{Q}_E = \left(UA\right)_e \left(T_S - T_E\right) \tag{2.4}$$

เมื่อ Q_E = คืออัตราความร้อนที่อีวาปอเรเตอร์ ได้รับ

$\dot{m}_w$ = อัตราการไหลของน้ำร้อน

C_{pw} = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำร้อน

$(UA)_e$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่ พื้นที่ของอีวาปอเรเตอร์

T_{fo} , T_S = อุณหภูมิน้ำที่ทางเข้าและออกของถังเก็บ

T_E = อุณหภูมิของอีวาปอเรเตอร์

แทนในสมการ (2.2) จะได้

$$\left(\dot{m}C_p\right)_w\left(T_{fo}-T_S\right)=\left(UA\right)_e\left(T_S-T_E\right)+\left(mC_p\right)_s\frac{dT_S}{dt} \qquad (2.5)$$

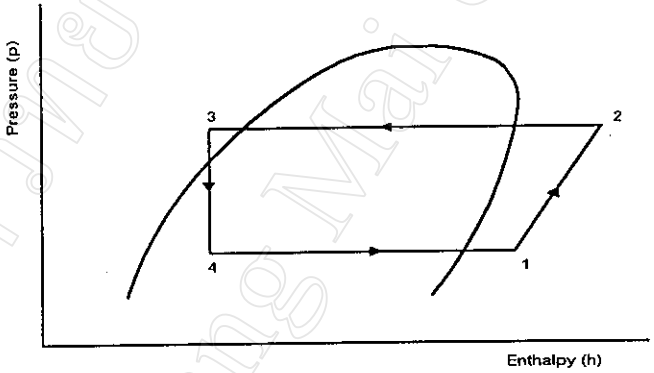
สมการดังกล่าวสามารถจัดในรูปสมการเชิงเลข ได้เป็น

$$T_S{}^{+} = T_S + \frac{\Delta t}{\left(m C_p\right)_s}\left[\left(\dot{m} C_p\right)_w \left(T_{fo} - T_S\right) - \left(U A\right)_e \left(T_S - T_E\right)\right] \qquad (2.6)$$

Ts^{+} คืออุณหภูมิของน้ำในถังเมื่อเวลาผ่านไป Δt

2.3 ระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump)

ปั๊มความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเพิ่มความร้อนที่มีคุณภาพต่ำให้เป็นความร้อนที่มีคุณภาพสูงได้ซึ่งมีหลักการทำงานและอุปกรณ์เหมือนกับระบบการทำความเย็นต่างกันตรงระบบปั๊มความร้อนจะนำความร้อนจากระบบไปใช้งานส่วนระบบการทำความเย็นจะนำความเย็นที่ได้จากระบบไปใช้งาน



รูป 2.3 แสดงกระบวนการที่เกิดขึ้นในวัฏจักร ปั๊มความร้อนแบบอัดไอ
(Cengel, Y A. and Boles, M A. ,1989)

กระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในวัฏจักรของระบบปั๊มความร้อนเขียนเป็นแผนภาพดังรูป 2.3 กำลังงานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ คือช่วงจากตำแหน่ง ที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ 2 ได้จาก

$$W_{Comp} = m_r(h_2 - h_1) \qquad (2.7)$$

หากพิจารณาให้การอัดไอที่คอมเพรสเซอร์ เป็นกระบวนการ โพลีทรอปิค(Polytropic Process)จะได้ความสัมพันธ์ของความดันและอุณหภูมิดังนี้

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{n}{n-1}} \tag{2.8}$$

และจะได้กำลังงานที่คอมเพรสเซอร์คือ

$$\dot{W}_{Comp} = \frac{n}{n-1} mR(P_1V_1)\left(\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right) \tag{2.9}$$

อัตราความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ ในช่วงตำแหน่งที่ 2 ถึงตำแหน่งที่ 3 ตามรูป 2.3 คือ

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_r(h_2 - h_3) \tag{2.10}$$

และช่วงตำแหน่งที่ 4 ถึงตำแหน่งที่ 1 เป็นอัตราความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาปอเรเตอร์ คือ

$$\dot{Q}_E = \dot{m}_r(h_1 - h_4) \tag{2.11}$$

สารทำงานเมื่อผ่านอุปกรณ์ลดความดันคือช่วงที่ 3 ถึง 4 จะได้

$$h_3 = h_4 \tag{2.12}$$

ดังนั้นสามารถหางานที่คอมเพรสเซอร์จาก ผลต่างการถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์และอีวาปอเรเตอร์

$$\dot{W}_{Comp} = \dot{Q}_C - \dot{Q}_E \tag{2.13}$$

เมื่อ $\dot{m}_r$ = คืออัตราการไหลของสารทำงาน

m = คือมวลของก๊าซที่เป็นสารทำงาน

n = คือค่าดัชนีโพลีทรอปิค

R = คือค่าคงที่เฉพาะของก๊าซที่เป็นสารทำงาน

T_1, T_2 = คืออุณหภูมิของสารทำงานที่ตำแหน่ง 1 และ 2

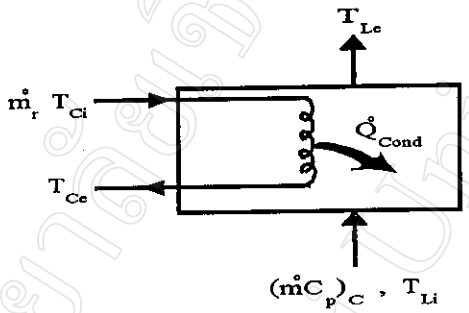
h_1, h_2, h_3, h_4 = คือเอนทาลปีของสารทำงานที่ตำแหน่ง 1 ,2 ,3 และ4

การวัดสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนใช้ค่า Coefficient of Performance (COP_h) ในการบอกประสิทธิภาพ ของระบบปั๊มความร้อน โดยสามารถหาได้ดังนี้

$$COP_h = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{W}_{Comp}} \tag{2.15}$$

2.4 การถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์

เนื่องจากต้องการทำให้น้ำร้อนขึ้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์จึงนำน้ำมาผ่าน คอนเดนเซอร์ เพื่อระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ น้ำจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นและนำไปใช้งานได้ต่อไป



รูป 2.4 การถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์

การถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์เพื่อระบายความร้อนให้น้ำป้อน ดังรูป 2.4 คำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_C = \left(\dot{m}C_p\right)_C \left(T_{Li} - T_{Lo}\right) \tag{2.16}$$

กรณีที่ผนังของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนบางมากจะสามารถหาค่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมได้ดังนี้

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_o A_o} + \frac{1}{h_i A_i} \tag{2.17}$$

เมื่อ $\dot{m}_C$ = อัตราการไหลของน้ำร้อนใช้งาน

C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำร้อน

T_{Li} , T_{Lo} = อุณหภูมิน้ำที่ทางเข้าและออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

A_o , A_i = พื้นที่การถ่ายเทความร้อนที่ด้านนอกและด้านในท่อ

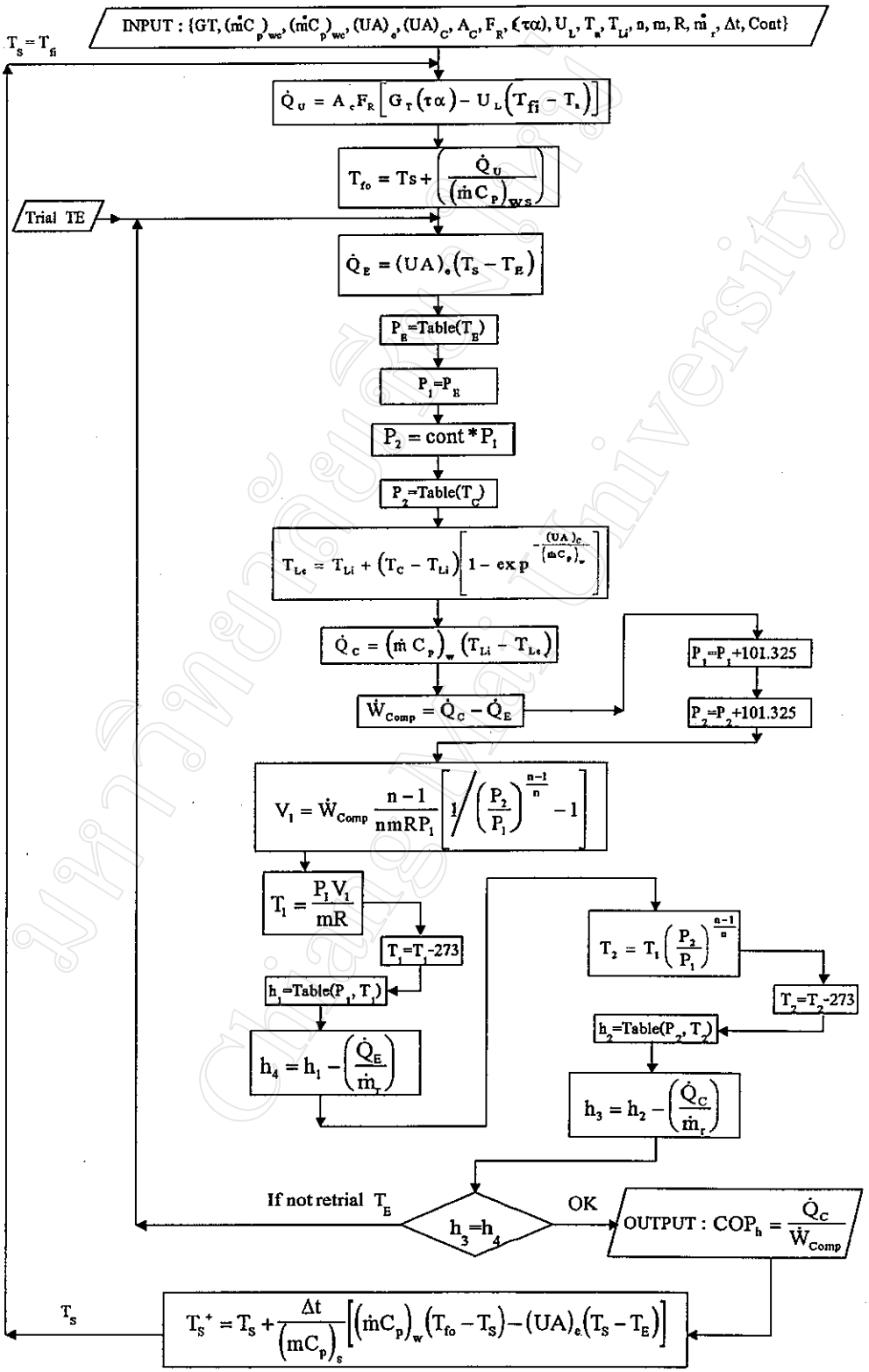
h_o , h_i = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ด้านนอกและด้านในท่อ

อุณหภูมิน้ำที่ทางออกของคอนเดนเซอร์สามารถคำนวณได้จาก

$$T_{Lo} = T_{Li} + \left(T_C - T_{Li}\right)\left[1 - \exp^{-\frac{\left(UA\right)_C}{\left(\dot{m}C_p\right)_C}}\right] \qquad (2.18)$$

จากระบบหลักการทำงานและทฤษฎี ที่กล่าวมาเขียนเป็นขั้นตอนการคำนวณระบบทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อนได้ดังใน รูป 2.5 ดังนี้

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



รูป 2.5 ขั้นตอนการใช้สูตรคำนวณระบบทำน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อน