บทที่ 2

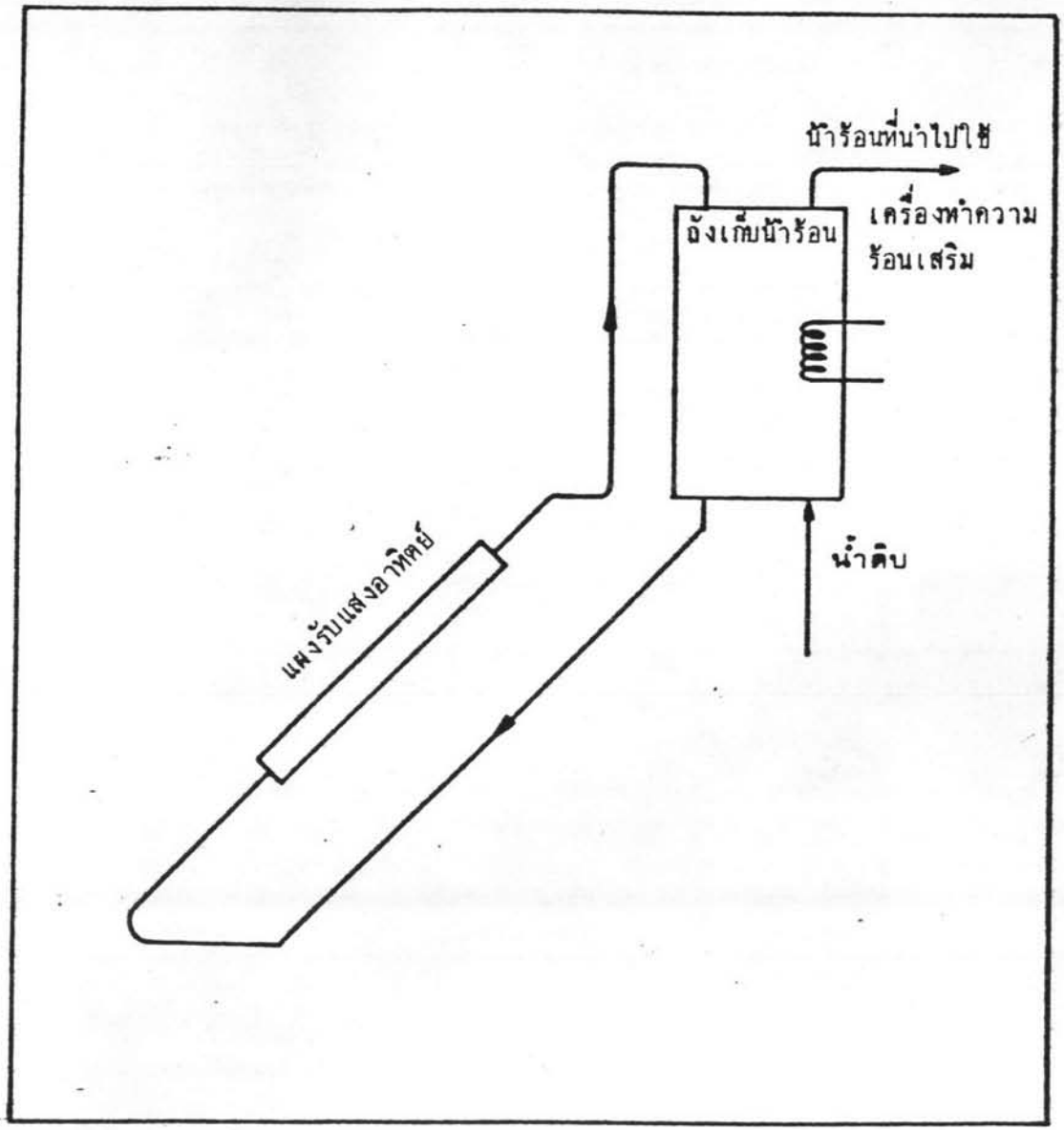
ลักษณะระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และการจำลองปัญหา

2.1 ลักษณะทั่ว ๆ ไปของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

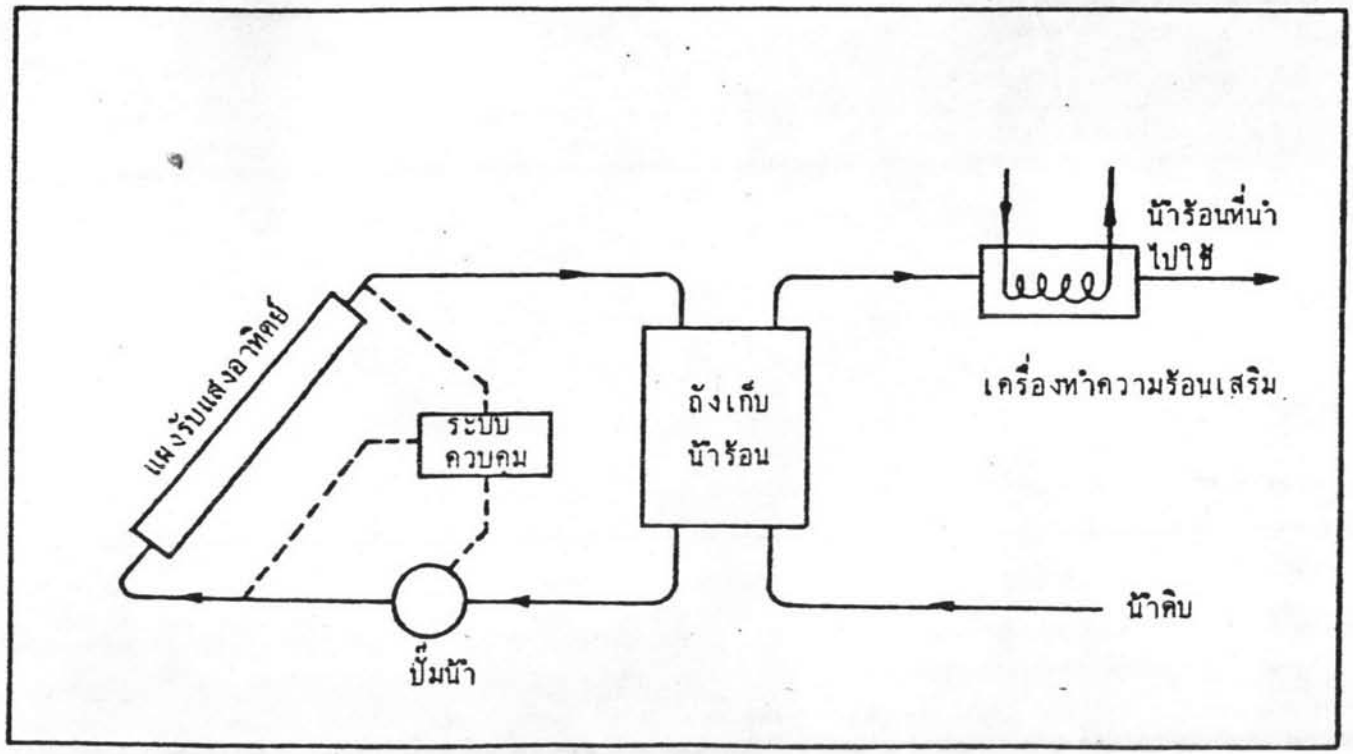
ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบตามลักษณะการหมุนเวียนของน้ำในระบบคือ

- การไหลเวียนของน้ำเป็นแบบธรรมชาติ (THERMOSYPHON)
- การไหลเวียนของน้ำเป็นแบบบังคับ (FORCED CIRCULATION)

ในรูป 2.1 แสดงถึงระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยที่การไหลเวียนของน้ำเป็นแบบธรรมชาติ ชิ้นส่วนประกอบที่สำคัญคือ แผงรับแสงอาทิตย์ ถังเก็บน้ำร้อน และท่อเชื่อมแผงรับแสงอาทิตย์กับถังเก็บน้ำร้อน ในระบบนี้ถังเก็บน้ำร้อนต้องตั้งอยู่สูงกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ ลักษณะการทำงานของระบบอธิบายได้ดังนี้น้ำจากก้นถังเก็บน้ำร้อนซึ่งเป็นส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำสุดไหลเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ทางด้านล่าง รับพลังงานจากแผงรับแสงอาทิตย์ อุณหภูมิของน้ำก็จะสูงขึ้น ความหนาแน่นของน้ำก็จะลดลง น้ำร้อนจึงลอยตัวขึ้นทางด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์ไหลผ่านท่อเข้าถังเก็บน้ำร้อนในขณะเดียวกันน้ำจากก้นถังเก็บน้ำร้อนซึ่งเย็นกว่าจะไหลเข้าทางด้านล่างของแผงรับแสงอาทิตย์มาแทนที่น้ำร้อนซึ่งขยายตัวไหลเข้าถัง การหมุนเวียนเกิดขึ้นต่อเนื่องโดยธรรมชาติตราบเท่าที่มีพลังงานแสงอาทิตย์เพียงพอ ในกรณีถ้าต้องการใช้น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอก็อาจติดตั้งเครื่องทำความร้อนเสริมเข้าไปได้ ในรูปที่ 2.2 แสดงระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยระบบหมุนเวียนของน้ำใช้พลังงานภายนอก ลักษณะของระบบประกอบด้วยชิ้นส่วนที่เพิ่มจากระบบที่น้ำหมุนเวียนโดยธรรมชาติคือ ปั๊มน้ำและระบบควบคุม การทำงานเริ่มต้นจากถังเก็บน้ำร้อนโดยน้ำจากถังจะไหลเข้าปั๊มและถูกส่งไปยังแผงรับแสงอาทิตย์ น้ำเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วไหลออกจากแผงรับแสงอาทิตย์เป็นน้ำร้อนไหลเข้าสู่ถังเก็บ ระบบควบคุมจะทำงานต่อเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ต่ำกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าแผงรับแสงอาทิตย์โดยระบบควบคุมจะสั่งให้ปั๊มหยุดทำงาน สำหรับการนำเอาน้ำร้อนไปใช้น้ำร้อนจะไหลออกจากส่วนบนของถังเก็บน้ำร้อน และมีน้ำเย็นเข้ามาทดแทนทางด้านล่าง เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ก็ติดตั้งเครื่องทำความร้อนเสริมไว้ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลเวียนของน้ำเป็นธรรมชาติ



รูปที่ 2.2 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ การไหลเวียนของน้ำใช้พลังงานภายนอก

2.2 วิธีการจำลองปัญหาระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

การจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์และการวิเคราะห์ระบบโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นวิธีการที่เหมาะสมและมีประสิทธิผลมากสำหรับการวิเคราะห์การทำงานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีตัวแปรเปลี่ยนไปตามเวลาได้แก่ ข้อมูลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิบรรยากาศ ฯลฯ ในการวิเคราะห์ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ผู้ออกแบบจะเลือกระบบย่อยและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบระบบย่อยนั้น ๆ แล้วนำระบบย่อยมาต่อเข้าด้วยกัน ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่พิจารณาในที่นี้จะเป็นระบบย่อยที่ต่อเข้าด้วยกันเป็นระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ลักษณะที่สำคัญอันหนึ่งของระบบพลังงานแสงอาทิตย์คือระบบย่อยเป็น module module จะทำให้การจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ หรือการจำลองระบบง่ายขึ้นระบบย่อยสามารถอธิบายได้โดยทางคณิตศาสตร์โดยไม่คำนึงถึงระบบย่อยอื่น ๆ เลย และการจำลองปัญหาของระบบที่ต้องการระบบย่อยมาต่อกันข้อมูลสามารถถ่ายทอดให้แก่กันได้

โปรแกรม TRNSYS [7] เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จำลองฟังก์ชั่นระบบย่อยของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้แก้สมการพลังงานและสมการที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบ โครงสร้างของโปรแกรม TRNSYS ประกอบด้วยโปรแกรมหลักและโปรแกรมย่อย โปรแกรมหลักจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน โปรแกรมย่อยจะเขียนขึ้นแทนระบบจริง ๆ เช่น แผงรับแสงอาทิตย์ ถังเก็บน้ำร้อน ฯลฯ นอกจากนี้โปรแกรมย่อยได้เขียนขึ้นสำหรับงานที่จำเป็นสำหรับการจำลองปัญหาซึ่งประกอบด้วยการอ่านข้อมูลของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ การอินทิเกรตทางคณิตศาสตร์และการพิมพ์ผลเป็นต้น

ผู้ใช้จะระบุระบบย่อยที่ต้องใช้และวิธีการที่ระบบย่อยมาต่อกันให้กับโปรแกรม TRNSYS ค่าที่ใส่เข้าไปจะเหมือนกับระบบจริงเช่น อุณหภูมิ อัตราการไหลของน้ำดิบเข้าระบบ ลักษณะการต่อร่วมกันของข้อมูลที่ใส่เข้าไป และผลที่ได้ออกมาจะเรียกว่า INFORMATION DIAGRAM ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้เข้าใจต่อการใส่ข้อมูล นอกจากนี้โปรแกรม TRNSYS ยังระบุพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบไว้หลายแบบตามแต่จะเลือกนำมาใช้ในการจำลองปัญหา เช่น ข้อมูลที่ใส่ในระบบย่อยสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์จะมีอยู่ 4 แบบ แบบที่ 1 ค่า U_L และ τ เป็นค่าคงที่แบบที่ 2 ค่า U_L เป็นฟังก์ชั่นที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแผงรับแสงอาทิตย์เป็นต้น เมื่อเทคนิคทางด้านคอมพิวเตอร์สำหรับการหาคำตอบสมการดิฟเฟอเรนเชียลและสมการพีชคณิต ของระบบเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (DISCRETE) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาต้องเป็นแบบไม่ต่อเนื่องด้วย เมื่อทราบว่าวิธีการหาคำตอบของระบบที่ขึ้นอยู่กับเวลาเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นฟังก์ชันที่แปรตามเวลารวมทั้งข้อมูลอัตราการ

แผ่รังสีของดวงอาทิตย์และอุณหภูมิบรรยากาศ เมื่อนำไปรวมกับระบบจะต้องเป็นข้อมูลรายชั่วโมง หรือนาที แล้วแต่ช่วงที่ต้องการระบบจะถูกคำนวณโดยโปรแกรมหลักและโปรแกรมย่อย จนกระทั่งสมการดิฟเฟอเรนเชียลและสมการพีชคณิตอยู่ในช่วงค่าผิดพลาดที่กำหนด (TOLERANCE) ตัวแปรของระบบจะถูกพิมพ์ผลหรือพลอตเป็นกราฟออกมา วิธีการอินทิเกรตสำหรับโปรแกรม TRNSYS จะใช้วิธี MODIFIER-EULER วิธีการคำนวณอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ในการแก้สมการดิฟเฟอเรนเชียลของการเปลี่ยนแปลงตัวแปรตาม T ของระบบระหว่างเวลา $(t-\Delta t)$ และเวลา t

ที่เวลา t ค่าของตัวแปรตาม T^P จะทำนายจาก T_o และ $(\frac{dT}{dt})_o$

$$T^P = T_o + (\Delta t) \left(\frac{dT}{dt}\right)_o \qquad (1)$$

เมื่อ T^P เป็นค่าทำนายของตัวแปรตามที่เวลา t

T_o เป็นค่าของตัวแปรตามที่เวลา $(t-\Delta t)$

Δt เป็นช่วงเวลาที่จะหาคำตอบของสมการ

$(\frac{dT}{dt})_o$ เป็นค่าของอนุพันธ์ ของตัวแปรตามที่เวลา $(t-\Delta t)$

ค่าทำนายของตัวแปรตาม T^P จะนำไปหาค่า T^C โดยที่ค่า $(\frac{dT}{dt})$ เป็นฟังก์ชั่นของ t และ T^P คำตอบของสมการพีชคณิตของโมเดล

$$\frac{dT}{dt} = f\ (t,\ T^P,\ \text{คำตอบของสมการพีชคณิต}) \qquad (2)$$

ค่าที่ถูกต้องของตัวแปรตาม T^C ได้จากการใช้ TRAPEZOIDAL RULE

$$T^C = T_o + \frac{\Delta t}{2} \left[\left(\frac{dT}{dt}\right)_o + \frac{dT}{dt}\right] \qquad (3)$$

ถ้า $\frac{2\ (T^C - T^P)}{(T^C + T^P)} > \varepsilon$ เมื่อ ε เป็นค่า ERROR TOLERANCE

แล้ว T^P จะให้เท่ากับ T^C ถ้าไม่ได้ค่า ERROR TOLERANCE ตามที่กำหนดสมการ (2) และ (3) จะคำนวณซ้ำอีกจนกว่าจะได้ ERROR-TOLERANCE ตามต้องการ เมื่อคำนวณในช่วงเวลานั้นสมบูรณ์ วิธีการทั้งหมดก็จะคำนวณซ้ำอีกในช่วงเวลาต่อไป

2.3 โมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบย่อย

2.3.1 แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบ

ลักษณะโดยทั่วไป

โมเดลที่อธิบายสมรรถนะทางความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์โดยการไหลของของไหลแบบบังคับมีอยู่หลายแบบโมเดลของ HOTTEL[1] WHILLER[2] และ BLISS[3] หรือที่เขียนด้วยคำย่อเป็น HWB จะเหมาะสมในการจำลองปัญหาเพราะง่ายต่อการคำนวณ

ลักษณะทางคณิตศาสตร์

โมเดลของ HWB ได้อธิบายพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ , Q_u^o ไว้ดังนี้

$$Q_u^o = AF_R [H_T \tau\alpha - U_L (T_i - T_a)] = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (4)$$

เมื่อ $$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{AU_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{F' U_L A}{\dot{m} C_p} \right) \right] \quad (5)$$

โดยที่

A – พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

F_R – สัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ไปใช้

H_T – พลังงานแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดต่อหน่วยพื้นที่ที่ได้รับบนระนาบเอียงต่อหน่วยเวลา

τ – ค่าการผ่านทะลุของกระจกปิด

U_L – สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานความร้อนแบบทั้งหมด ต่อหน่วยพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

T_i – อุณหภูมิของน้ำที่เข้าแผงรับแสงอาทิตย์

T_a – อุณหภูมิบรรยากาศ

α – ค่าการดูดกลืนรังสีของแผ่นดูดแสงอาทิตย์

$\dot{m}$ – อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์

T_o – อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์

F' – สัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

สัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของแผงรับแสง , F' หาได้จากสมการของ BLISS[3] หรือของ DUFFIE และ BECKMAN[4]

สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานความร้อนทั้งหมดของแผงรับแสงอาทิตย์, U_L หาได้จากสมการของ DUFFIE และ BECKMAN[4] หรือหาได้จากสูตรที่พัฒนาโดย KLIEN[10] ดังต่อไปนี้

$$U_L = \frac{3.6}{\frac{N}{\frac{C}{T_p}\left(\frac{T_p - T_a}{N+f}\right)^{0.33}} + \frac{1}{h_w}} + \frac{(T_p^2 + T_a^2)(T_p - T_a)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0.05N(1-\varepsilon_p)} + \frac{2N + f - 1}{\varepsilon_g} - N} + U_{be} \quad (6)$$

เมื่อ $h_w = 20.52 + 13.68\ W$ $\left(\frac{\text{กิโลจูล}}{\text{ชั่วโมง-ม}^2\text{-องศาเคลวิน}}\right)$

$$f = (1-0.04\ h_w + 0.0005\ h_w^2)\ (1+0.091N)$$

$$C = 365.9\ (1-0.00883s + 0.0001298s^2)$$

โดยที่

U_L - สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานความร้อนทั้งหมดต่อหน่วยพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

N - จำนวนของกระจกปิด

T_p - อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดแสงอาทิตย์

T_a - อุณหภูมิบรรยากาศ

U_{be} - สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ทางด้านล่างและขอบของแผงรับแสงอาทิตย์

W - ความเร็วลม

s - มุมเอียงของระนาบ

ε_p - ค่าการปล่อยรังสีของแผ่นดูด

ε_g - ค่าการปล่อยรังสีของกระจกปิด

โดยทั่วไปค่าการผ่านทะลุของกระจก N ชั้น, τ เป็นฟังก์ชั่นของมุมที่รังสีตรงและรังสีกระจายตกกระทบพื้นผิวกระจก ถ้ามุมตกกระทบของรังสีกระจายประมาณค่าเฉลี่ยเป็นมุมไม่เกิน 60 องศา (แนะนำโดย HOTTEL และ WOERTZ[1]) ค่าของ τ คำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้คือ

$$\tau = H_{B/H_T}\ [\tau'_{\theta_T} e^{KL/\cos(\theta_1)}] + H_{D/H_T}\ [\tau^1_{60} e^{-KL/\cos(\theta_2)}] \quad (7)$$

เมื่อ τ'_x เป็นค่าการผ่านทะลุของกระจก N ชั้นสำหรับรังสีที่ตกบนพื้นผิวเอียงเป็นมุม x โดยไม่คำนึงถึงค่าการดูดรังสีของกระจก ค่าของ τ'_x หาได้จาก DUFFIE และ BECKMAN[4]

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และ $\theta_1 = SIN^{-1} [SIN (\theta_T)/n_g]$

$\theta_2 = SIN^{-1} [SIN(60)/n_g]$

โดยที่ H_B – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงต่อหน่วยพื้นที่ที่ได้รับบนระนาบเอียง ต่อหน่วยเวลา

H_T – พลังงานแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดต่อหน่วยพื้นที่ที่ได้รับบนระนาบเอียง ต่อหน่วยเวลา

H_D – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายต่อหน่วยพื้นที่ที่ได้รับบนระนาบเอียง ต่อหน่วยเวลา

KL – ผลคูณของสัมประสิทธิ์การสูญหาย ของรังสีในเนื้อกระจกกับความหนาของกระจกปิด

τ – ค่าการผ่านทะลุของกระจกปิด

θ_T – มุมตกกระทบ ของพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงบนระนาบเอียง

n_g – ดรรชนีหักเหรังสีของกระจก

สมการที่ 4 จะใช้ได้ต่อเมื่อของไหลถูกปั๊มผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ ในเวลากลางคืนหรือในช่วงที่มีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ต่ำ Q_u^0 จะมีค่าเป็นศูนย์หรือติดลบ ปั๊มก็จะปิด ในทางปฏิบัติอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิที่ทางออกของแผงรับแสงอาทิตย์, T_o จะควบคุมการทำงานของปั๊มด้วย เมื่อปั๊มปิด T_o จะคำนวณได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดแสงอาทิตย์

$$T_o = T_p = \frac{H_T \tau \alpha}{U_L} + T_a \qquad (8)$$

วิธีการควบคุมปั๊มแสดงได้ดังนี้คือ

ปั๊มเปิดเมื่อ $T_o > T_i$

ปั๊มปิดเมื่อ $T_o \leq T_i$ (9)

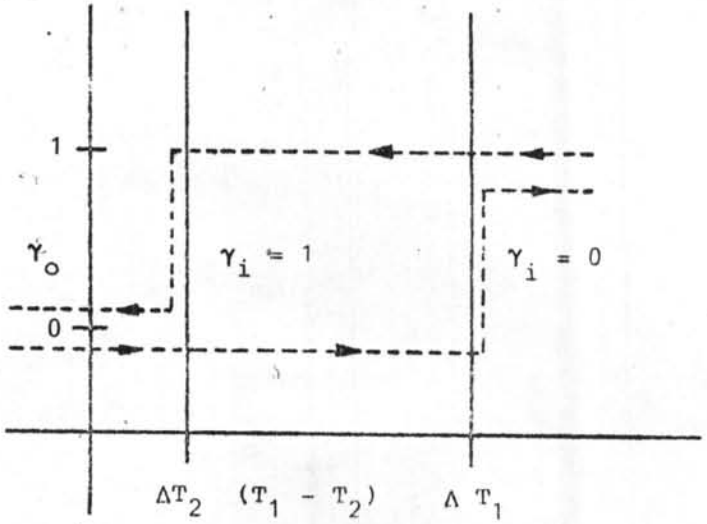
2.3.2 การควบคุมการปิดเปิดปั๊มพร้อมด้วย HYSTERESIS

ลักษณะโดยทั่วไป

การควบคุมจะกำหนดเป็นฟังก์ชั่น γ_o ซึ่งมีค่าเป็น 0 หรือ 1 ค่าของ γ_o จะเป็นฟังก์ชั่นของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงกับต่ำ T_1 และ T_2 เปรียบเทียบกับความแตกต่างของอุณหภูมิ DEAD BAND ΔT_1 และ ΔT_2 ค่าของ γ_o ใหม่ จะขึ้นอยู่กับ $\gamma_i = 0$ หรือไม่ก็ $\gamma_i = 1$ การควบคุมโดยปกติจะใช้ γ_o ต่อกับ γ_i เพื่อที่จะให้ได้ผล HYSTERESIS

ลักษณะทางคณิตศาสตร์

ฟังก์ชั่นควบคุมแสดงไว้ตามรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.3 ลักษณะฟังก์ชั่นควบคุมการทำงานของปั๊ม

อธิบายในเชิงคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

ถ้า $\gamma_i = 1$ และ $\Delta T_2 \leq (T_1 - T_2)$, $\gamma_o = 1$

ถ้า $\gamma_i = 1$ และ $\Delta T_2 > (T_1 - T_2)$, $\gamma_o = 0$

ถ้า $\gamma_i = 0$ และ $\Delta T_1 \leq (T_1 - T_2)$, $\gamma_o = 1$

ถ้า $\gamma_i = 0$ และ $\Delta T_1 > (T_1 - T_2)$, $\gamma_o = 0$

โดยที่

ΔT_1 - UPPER DEAD BAND

ΔT_2 - LOWER DEAD BAND

T_1 - ค่าของอุณหภูมิสูงที่ใส่เข้าไป

T_2 - ค่าของอุณหภูมิต่ำที่ใส่เข้าไป

γ_i - ฟังก์ชั่นควบคุมที่ใส่เข้าไป

γ_o - ฟังก์ชั่นควบคุมที่ออกมา

ในการทำงานปกติค่า $(T_1 - T)$ จะมีค่าใกล้เคียงกับ UPPER DEAD BAND และ LOWER DEAD BAND γ_o บางครั้งอาจจะปิดเปิดหลาย ๆ ครั้งในแต่ละช่วงของเวลา (STEP TIME) ที่กำหนด ที่เกิดขึ้นเช่นนี้เพราะว่า T_1 และ T_2 ที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละครั้งอาจจะเป็นไปตามหรือไม่เป็นไปตามเงื่อนไขในการควบคุม เมื่อการควบคุมมีการสั่นเกิดขึ้นอาจจะเป็นสาเหตุให้การจำลองปัญหาผิดพลาดได้

2.3.3 ปั๊ม

ลักษณะโดยทั่วไป

โมเดลของปั๊มจะระบุอัตราการไหลสูงสุดที่ปั๊มสามารถส่งไปได้ อัตราการไหลที่ออกจากปั๊มหาได้โดยใส่ฟังก์ชั่นควบคุมการทำงานที่อยู่ในช่วง 0-1 ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ฟังก์ชั่นควบคุมการทำงานจะเป็น 0 หรือ 1 อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าปั๊มจะเท่ากับอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากปั๊ม

ลักษณะทางคณิตศาสตร์

$$M_o^o = \gamma M^o_{max} \quad (10)$$

$$T_o = T_i \quad (11)$$

โดยที่

M^o_{max} - อัตราการไหลสูงสุด

M^o_o - อัตราการไหลของน้ำที่ออกจากปั๊ม

γ - ฟังก์ชั่นควบคุมการทำงาน

T_i - อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าปั๊ม

T_o - อุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากปั๊ม

2.3.4 การทำงานของเครื่องทำความร้อนเสริม

ลักษณะโดยทั่วไป

การปิดและการเปิดเครื่องทำความร้อนเสริมเป็นโมเดลที่มีการควบคุมแบบเทอร์โมสถิตย์อยู่ภายในเครื่องทำความร้อนเสริมซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่จะนำไปใช้ให้มีอุณหภูมิเท่าที่กำหนดไว้ ขณะที่เครื่องทำความร้อนเสริมเปิดทำงานถ้าความต้องการความร้อนน้อยกว่าหรือเท่ากับความจุสูงสุดในเครื่องทำความร้อนเสริม อุณหภูมิของน้ำที่ออกมาจะเท่ากับอุณหภูมิที่กำหนดไว้ ถ้าความต้องการความร้อนมากกว่าความจุสูงสุดในเครื่องทำความร้อนเสริมอุณหภูมิของน้ำที่ออกมาจะคำนวณได้จากอุณหภูมิของน้ำที่เข้า และความจุสูงสุดในเครื่องทำความร้อนเสริม ขณะที่เครื่องทำความร้อนเสริมปิด อุณหภูมิของน้ำที่เข้าจะลดลงจนถึงความแตกต่างของอุณหภูมิ DEAD BAND เครื่องทำความร้อนเสริมก็จะเปิดทำงาน สังเกตว่าความจุสูงสุดของเครื่องทำความร้อนเสริมคืออัตราความ

ร้อนสูงสุดที่สามารถเพิ่มให้แก่น้ำได้

ลักษณะทางคณิตศาสตร์

ถ้า $\gamma = 0$ และ $(T_{set} - T_i) > T$, $\gamma = 1$

ถ้า $\gamma = 0$ และ $(T_{set} - T_i) \leq T$, $\gamma = 0$

ถ้า $\gamma = 1$ และ $T_o < T_{set}$, $\gamma = 1$

ถ้า $\gamma = 1$ และ $T_o \geq T_{set}$, $\gamma = 0$

$$\dot{Q}_{aux} = \dot{M}_i C_{pf} (T_{Set} - T_i) \quad (12)$$

$$T_o = (\dot{Q}_{max} / \dot{M}_i c_{pf}) + T_i \qquad \dot{Q}_{aux} > \dot{Q}_{max} \quad (13)$$

$$T_o = (\dot{Q}_{aux} / \dot{M}_i C_{pf}) + T_i \qquad \dot{Q}_{aux} \leq \dot{Q}_{max} \quad (14)$$

$$\dot{M}_o = \dot{M}_i \quad (15)$$

โดยที่

C_{pf} – ความร้อนจำเพาะของน้ำ

$\dot{M}_i$ – อัตราการไหลมวลของน้ำที่เข้าเครื่องทำความร้อนเสริม

$\dot{M}_o$ – อัตราการไหลมวลของน้ำที่ออกจากเครื่องทำความร้อนเสริม

$\dot{Q}_{max}$ – ความจุความร้อนสูงสุดของเครื่องทำความร้อนเสริม

$\dot{Q}_{aux}$ – อัตราความร้อนที่ต้องการ (พลังงานเสริม)

T_i – อุณหภูมิของน้ำที่เข้าเครื่องทำความร้อนเสิรม

T_o – อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องทำความร้อนเสริม

T_{set} – อุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนเสริมที่ตั้งไว้

ΔT – ความแตกต่างของอุณหภูมิ

γ – ฟังก์ชั่นควบคุมการทำงานของเครื่องทำความร้อนเสริมมีค่าเป็น 0 หรือ 1

2.3.5 หน่วยแปลงค่าพลังงานแสงอาทิตย์

ลักษณะโดยทั่วไป

แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบโดยทั่วไปจะติดตั้งเป็นมุมเอียงกับแนวระดับเพราะพลังงานแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดที่ตกบนพื้นผิวเอียงจะมากกว่าบนระนาบระดับ แต่โดยที่ข้อมูลพลัง-

งานวัดค่าการแผ่รังสีบนระนาบระดับเมื่อเป็นเช่นนี้จำเป็นต้องประมาณการแผ่รังสีที่ตกบนพื้นที่ผิวเอียงจากการวัดการแผ่รังสีบนระนาบระดับ การประมาณการแผ่รังสีบนพื้นผิวเอียงจะกระทำไม่ได้โดยตรง รังสีตรงและรังสีกระจายของพลังงานแสงอาทิตย์บนระนาบระดับจะต้องมีการประมาณค่า ซึ่งหาได้จากสมการของ LIU และ JORDAN[8]

ลักษณะทางคณิตศาสตร์

พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงและรังสีกระจายบนระนาบระดับ, H_b และ H_d แสดงได้ดังนี้

$$\frac{Hd}{H} = 1.0045 + 2.613\, k_t^3 - 3.5227\, k_t^2 + 0.04349 k_t \qquad (16)$$

เมื่อ $K_t = \frac{H}{H_o}$

$$H_o = (1 + 0.033 \cos (360n/365))(S_c \cos(\theta_h))$$

$$H_b = H - H_d$$

โดยที่

H_d – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา

H – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา

H_o – พลังงานแสงอาทิตย์ที่บรรยากาศนอกโลกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา

H_b – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา

S_c – ค่าคงที่สุริยะ

อัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงบนแผงรับแสงอาทิตย์เอียงกับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงบนระนาบระดับ R_b หาได้จากความสัมพันธ์ [4]

$$R_d = \cos [\theta_h]/\cos [\theta_t]$$

เมื่อ $\cos[\theta_h] = \cos[\phi] \cos [\delta] \cos [\omega] + \sin [\phi] \sin [\delta]$

$$\cos[\theta_t] = \cos[s] \sin [\delta] \sin [\phi] - \sin [\delta]\cos[\phi]\sin[s]\cos [\gamma] + \cos[\delta] \sin [\phi] \sin [\delta] \cos [\omega] + \cos [\omega] \cos [\delta] \sin [\gamma] \sin [\omega]$$

$$\delta = 23.45 [(284 + n)\ 360/365)]$$

$$\omega = 15\ [\text{เที่ยงวัน–จำนวนชั่วโมงของวัน}]$$

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่

ϕ – ละติจูดหรือเส้นรุ้ง (องศา)

n – จำนวนวันของปี

δ – มุมเดคคลีเนชั่น (องศา)

ω – มุมเนื่องจากเวลา

s – มุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์

γ – มุมแอสซิมุธของแผงรับแสงอาทิตย์

θ_h – มุมตกกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงบนระนาบระดับ

θ_t – มุมตกกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีบนระนาบเอียง

อัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายบนระนาบเอียง ต่อพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายบนระนาบระดับ R_d ประมาณไว้ดังนี้

กำหนดให้พื้นโดยรอบไม่มีคุณสมบัติในการดูดพลังงานแสงอาทิตย์แต่มีคุณสมบัติทางสะท้อนแสงเพียงพออย่างเดียว สมการคำนวณอัตราพลังงานแสงอาทิตย์แบบทั้งสองคือ

$$H_T = H_b R_b + H_d R_d + H R_r \qquad (18)$$

เมื่อ $R_r = \rho (1 - \cos(s))/2$

$R_d = (1+\cos(s))/2$

พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงและพลังงานแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดบนระนาบเอียงหาได้จาก

$$H_B = H_b R_b \qquad (19)$$

$H_{DT} = H_d R_d + H R_r$

โดยที่

H_T – พลังงานแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบเอียงต่อหน่วยเวลา

H_b – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา

H_d – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบระดับต่อหน่วยเวลา

H – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบระดับต่อหน่วยเวลา

R_b – อัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงบนระนาบเอียงกับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรง บนระนาบระดับ

R_d – อัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายบนระนาบเอียงกับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายบนระนาบระดับ

R_r – อัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีสะท้อนบนระนาบเอียงกับพลังงานแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดบนระนาบระดับ

ρ – คุณสมบัติการสะท้อนของพื้นโดยรอบระนาบ

s – มุมเอียงของระนาบ

H_B – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบเอียง ต่อหน่วยเวลา

H_{DT} – พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบเอียงต่อหน่วยเวลา

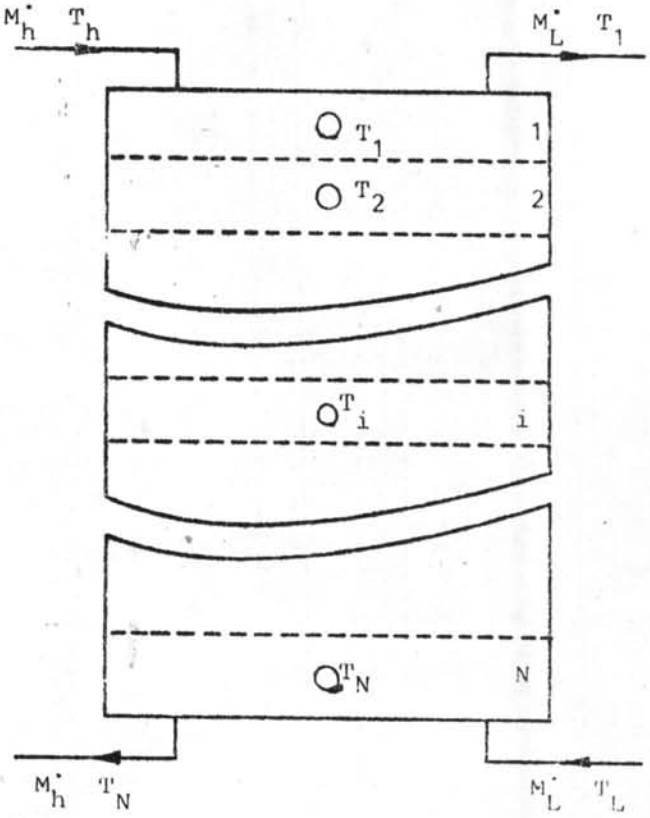
2.3.7 ถังเก็บน้ำร้อน

ลักษณะทั่วไป

สมรรถนะของถังเก็บน้ำร้อนเนื่องจากการแบ่งชั้นของน้ำภายในถังตามระดับอุณหภูมิ การจำลองปัญหาจะสมมุติฐานว่า ชั้นความร้อนของน้ำภายในถังมีทั้งหมดNชั้น ถ้า N=1 ผลของการแบ่งชั้นไม่มี ถังเก็บน้ำร้อนที่แบ่งชั้นความร้อนของน้ำภายในถังออกเป็น 3 ชั้น[10]จะให้ผลถูกต้องพอประมาณ ถ้ากำหนดให้มีการแบ่งชั้นความร้อนของน้ำภายในถังมากขึ้นสมการดิฟเฟอเรนเชียลก็จะเพิ่มขึ้นตาม ทำให้การแก้สมการเพื่อหาอุณหภูมิของน้ำในแต่ละชั้นได้ยากขึ้นและน้ำร้อนที่ไหลออกจากแผงไหลเข้าถังในชั้นของความร้อนที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน การนำน้ำร้อนออกไปใช้และน้ำที่ผ่านปั๊มไปเข้าแผงรับแสงอาทิตย์จะมาจากส่วนบนและส่วนล่างของถังเก็บน้ำร้อนตามลำดับ

ลักษณะทางคณิตศาสตร์

ให้ β และ γ เป็นฟังก์ชั่นควบคุมการไหลของน้ำจากแผงรับแสงอาทิตย์เข้าสู่ถังเก็บน้ำร้อน และน้ำจากถังเก็บที่นำออกไปใช้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เป็นลักษณะการแบ่งชั้นของน้ำในถังเก็บน้ำร้อนตามระดับอุณหภูมิ สมการพลังงานของน้ำในชั้นที่ i อาจเขียนได้ดังนี้



รูปที่ 2.4 ลักษณะการแบ่งชั้นความร้อนของน้ำภายในถัง

$$(MC_{pf})_i \frac{dT_i}{dt} = \gamma_i C^0_h (T_h - T_i) + \sum_{j-1}^{i-1} \gamma_j C^0_h (T_{i-1} - T_i) + \beta_i C^0_L (T_L - T_i) + \sum_{k=(N+i-1)}^{N} \beta_k C^0_k (T_{i+1} - T_i) + UA_i (T_{ENV} - T_i) \quad (20)$$

$$Q^0_{ENV} = \sum_{i=1}^{N} UA_i (T_i - T_{ENV}) \quad (21)$$

$$Q^0_{TANK} = C^0_h (T_1 - T_2) \quad (22)$$

โดยที่

A_i - พื้นที่ผิวโดยรอบของชั้นที่ i ของน้ำภายในถัง

C^0_h - ความจุความร้อนของน้ำที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์และที่ไหลเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ $(\dot{M}^0_h C_{pf})$

C^0_L - ความจุความร้อนของน้ำที่ไหลเข้าถังเท็มน้ำร้อนและที่ดึงออกไปใช้ $(\dot{M}^0_L C_{pf})$

C_{pf} – ความร้อนจำเพาะของน้ำ

i – ชั้นความร้อนของน้ำภายในถัง i=1 หมายถึง ชั้นความร้อนของน้ำภายในถังที่ร้อนที่สุด

M_i – มวลของน้ำในชั้นความร้อนที่ i ของถังเก็บน้ำร้อน

M_L – อัตราการไหลมวลของน้ำที่นำออกไปใช้ และอัตราการไหลของน้ำดันที่ไหลกลับเข้าถังเก็บน้ำร้อน

M_h – อัตราการไหลของน้ำที่เข้าและออกจากแผงรับแสงอาทิตย์

N – จำนวนชั้นความร้อนของน้ำภายในถัง

Q_{TANK} – อัตราที่ความร้อนสัมผัสออกจากถังเก็บน้ำร้อนไปยังภาระ (LOAD)

Q_{ENV} – อัตราพลังงานที่สูญเสียสู่บรรยากาศรอบ ๆ ถัง

H – ความสูงของถัง

T_{ENV} – อุณหภูมิบรรยากาศรอบ ๆ ถัง

T_i – อุณหภูมิในชั้นความร้อนที่ i ของน้ำภายในถัง

T_h – อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์เข้าถังเก็บน้ำร้อน

T_L – อุณหภูมิของน้ำดันที่เข้ามาแทนที่และอุณหภูมิของน้ำที่นำออกไปใช้

U – สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนระหว่างถังเก็บน้ำร้อนกับบรรยากาศรอบ ๆ ถังต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

V – ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน

ΔE – การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในถัง

ρ_b – ความหนาแน่นของน้ำ

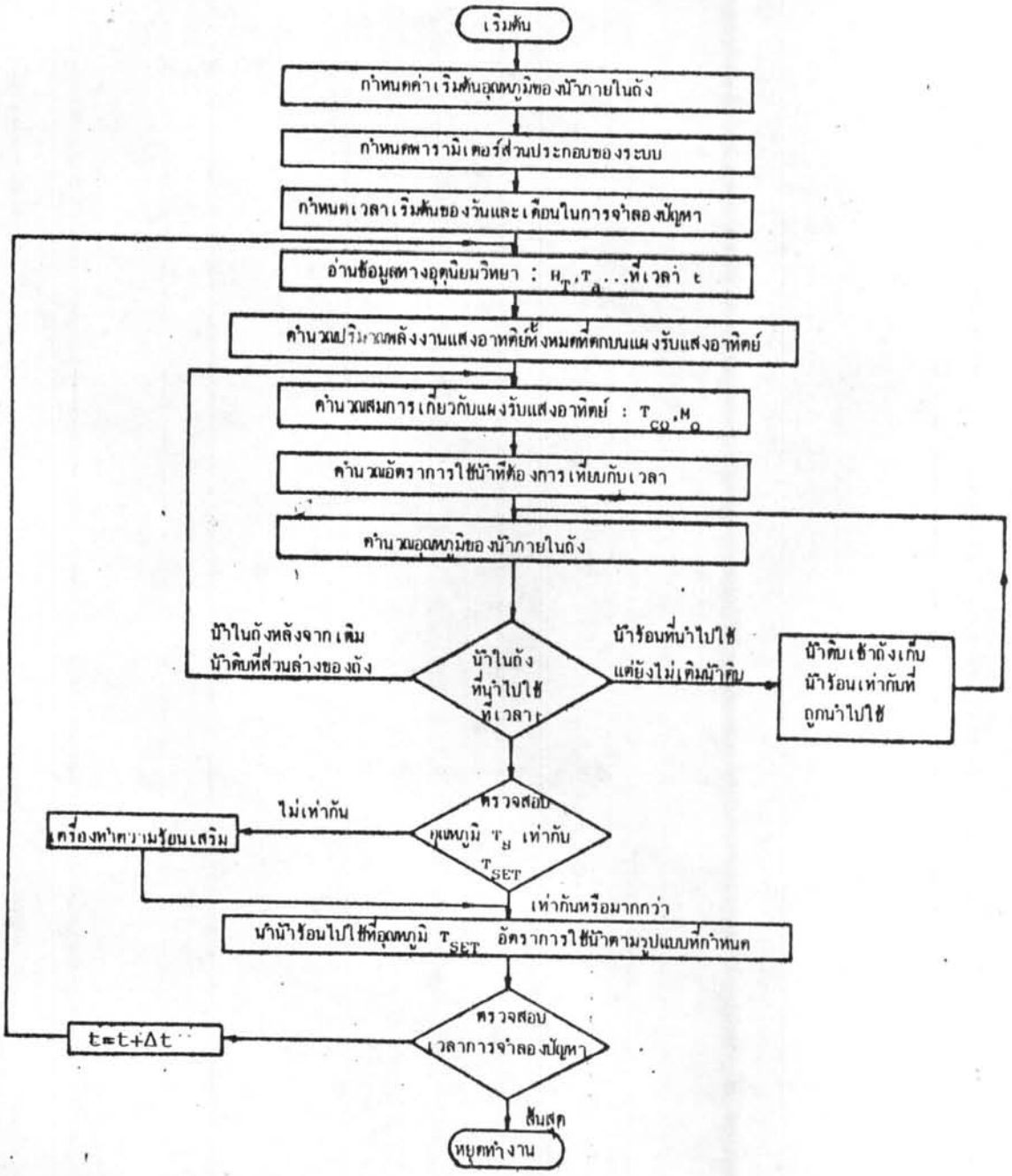
t – เวลา

2.4 โครงร่างของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองปัญหาระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องรู้ถึงการกระทำร่วมกันของส่วนประกอบของระบบ การจำลองปัญหาโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นวิธีการแทนส่วนประกอบของระบบแต่ละส่วนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ตามลำดับแล้วนำมารวมกันเป็นระบบ ระบบที่ได้อาจจะเป็นสมการพีชคณิต สมการดิฟเฟอเรนเชียลหรือสมการอินทิกรัล ซึ่งสามารถใช้คำนวณผลลัพธ์ของตัวแปรที่ได้จากระบบจริงที่เป็น

ฟังก์ชั่นของเวลา เช่น อุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้จากระบบ ฯลฯ การจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์จะหาคำตอบได้รวดเร็วเมื่อใช้คอมพิวเตอร์ ไดอะแกรมของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้แสดงเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. กำหนดค่าเริ่มต้นอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน, T_S
2. กำหนดพารามิเตอร์ของส่วนประกอบของระบบ
3. กำหนดเวลาเริ่มต้นของการจำลองปัญหา
4. อ่านข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่เป็นฟังก์ชั่นของเวลา H_T, T_a เป็นต้น
5. คำนวณปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกบนแผงรับแสงอาทิตย์
6. คำนวณสมการเกี่ยวกับแผงรับแสงอาทิตย์
7. คำนวณอัตราการใช้น้ำร้อนเทียบกับเวลาตามรูปแบบการใช้น้ำที่กำหนด
8. คำนวณอุณหภูมิของน้ำภายในถัง, T_S
9. ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำภายในถัง, T_S กับอุณหภูมิที่กำหนดในการนำน้ำร้อนไปใช้ว่าเท่ากันหรือไม่ ถ้าไม่เท่ากันก็ใช้พลังงานเสริม ถ้าเท่ากันหรือมากกว่าก็สามารถนำน้ำร้อนไปใช้และน้ำดิบเข้ามาแทนที่เท่ากับที่นำออกไปใช้พร้อมกันนี้น้ำจากส่วนล่างของถังก็ผ่านเข้าไปในแผงรับแสงอาทิตย์
10. ตรวจสอบเวลาสุดท้ายของการจำลองปัญหา ถ้ายังไม่ถึงเวลาสุดท้าย $t = t + \Delta t$ แล้วกลับไปลำดับที่ 4



รูปที่ 2.5 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนคำนวณของคอมพิวเตอร์