

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและหลักการ

เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นราบ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะดูดซับพลังงานจากรังสีอาทิตย์ และแปลงพลังงานจากรังสีอาทิตย์ให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อนและถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับน้ำ ทำให้น้ำนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น และไหลสู่ถังเก็บสะสมความร้อน น้ำเมื่อได้รับความร้อนทำให้โมเลกุลของน้ำขยายตัว ดังนั้นความหนาแน่นของน้ำร้อนจึงน้อยลง ทำให้น้ำร้อนลอยตัวสูงกว่าน้ำเย็น ดังนั้นน้ำในถังเก็บสะสมความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำจะจมอยู่ก้นถัง และน้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะลอยอยู่ส่วนบนของถัง จึงเกิดการแบ่งชั้นของอุณหภูมิของน้ำในถังที่ระดับความสูงต่างๆ ซึ่งสามารถทำนายพฤติกรรมของน้ำในระบบผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของถังเก็บสะสมความร้อน และตัวเก็บรังสีอาทิตย์

1. รังสีอาทิตย์

ดวงอาทิตย์ เป็นกลุ่มก๊าซร้อนรูปทรงกลมที่มีความหนาแน่นสูงประมาณ 100 เท่าของความหนาแน่นของน้ำ ดวงอาทิตย์เปรียบเสมือนวัตถุดำที่มีอุณหภูมิประสิทธิภาพ 5,777 เคลวิน มีก๊าซเป็นส่วนประกอบ ปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดปฏิกิริยาหนึ่งที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์คือปฏิกิริยาฟิวชั่น ซึ่งเป็นการรวมตัวของไฮโดรเจน เกิดเป็นฮีเลียม ซึ่งมีมวลน้อยกว่าไฮโดรเจน มวลที่หายไปนั้นคือมวลที่เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงาน ซึ่งเกิดขึ้นภายในดวงอาทิตย์และถ่ายเทมาที่ผิวของดวงอาทิตย์ และแผ่ออกจากผิวดวงอาทิตย์สู่อวกาศ และตกกระทบมายังโลก พลังงานจากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลก (Extraterrestrial Radiation, G_0) มีค่าไม่คงที่ ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลักที่สำคัญคือการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ รังสีอาทิตย์ที่แผ่มายังโลกจะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปของคลื่นสั้นและคลื่นแสงอุลตราไวโอเล็ต รังสีอาทิตย์ขณะที่ตกผ่านชั้นบรรยากาศมาที่ผิวโลก บางส่วนจะถูกดูดกลืน บางส่วนถูกสะท้อนกลับสู่อวกาศทำให้รังสีกระจาย ทำให้ค่ารังสีตรงที่ตกกระทบที่พื้นผิวโลกมีน้อยลง [6]

2. ประเภทของรังสีอาทิตย์

รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นโลกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ [6]

1. รังสีตรง (Beam of Direct Radiation) คือ รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกลงบนผิวรับรังสี มีทิศทางแน่นอนที่เวลาหนึ่งเวลาใด ทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์

2. รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) คือ รังสีอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนจากบรรยากาศของโลกและวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับรังสี รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางของท้องฟ้า

3. รังสีรวม (Total or Global Radiation) คือ ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายที่ตกกระทบผิวรับรังสี ในกรณีที่ผิวรับรังสีเป็นแผ่นราบที่วางเอียงกับแนวระดับ รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและผิวโลก เรียกรังสีรวมนี้ว่า Total Radiation สำหรับกรณีที่ผิวรับรังสีเป็นแผ่นราบที่วางในแนวระดับ รังสีรวมจะมาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้าไม่มีส่วนที่มาจากผิวโลก เรียกรังสีรวมในกรณีนี้ว่า Global Radiation

3. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นราบ

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่มีความสัมพันธ์กับรังสีดวงอาทิตย์ โดยเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน และมีการถ่ายเทความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไปยังของไหลหรือน้ำ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นรานั้นถูกออกแบบเพื่อใช้ในงานที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 100 องศาเซลเซียส โดยทำหน้าที่รับรังสีอาทิตย์รวม (Total Radiation) ที่ตกกระทบโดยไม่จำเป็นต้องมีระบบติดตามดวงอาทิตย์ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นราบประกอบด้วย ผิวดูดกลืนรังสีอาทิตย์สีดำทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอาทิตย์ แผ่นปิดใสเหนือผิวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ทำหน้าที่ช่วยลดการสูญเสียความร้อนสู่บรรยากาศโดยการพาและการแผ่รังสีความร้อน และฉนวนด้านข้างทำหน้าที่ลดการสูญเสียความร้อนจากการนำความร้อน [6]

รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนโดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่ของแผ่นดูดกลืนมีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่างค่าพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบและการสูญเสียเชิงแสงกับค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้กับสิ่งแวดล้อมโดยการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรด พลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์คือผลต่างระหว่างค่ารังสีอาทิตย์ที่ดูดกลืนกับความร้อนที่สูญเสีย [6]

ความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์สามารถหาได้ตามสมการที่ 2.1

$$Q_u = A_c F_R [G_T (\tau \alpha)_e - U_L (T_f - T_a)] \quad (2.1)$$

เมื่อ Q_u คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (KW)

A_c คือ พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m^2)

- F_R คือ ค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Collector heat removal factor)
- G_T คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (W/m^2)
- $(\tau\alpha)_c$ คือ ผลคูณของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านและดูดกลืนรังสี
- U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
- T_{fi} คือ อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าสู่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$)
- T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ($^\circ C$)

เมื่อพิจารณาสมการความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ถ่ายเทให้แก่ น้ำ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตามสมการที่ 2.2

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad (2.2)$$

- เมื่อ T_{fo} คือ อุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$)
- C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ ($kJ/kg \text{ } ^\circ C$)
- \dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

ดังนั้น อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถหาได้ตามสมการ 2.3

$$T_{fo} = T_{fi} + \frac{A_c F_R [G_T (\tau\alpha)_c - U_L (T_{fi} - T_a)]}{C_p \dot{m}} \quad (2.3)$$

3.1 การปรับแก้ผลของอัตราการไหล

ในกรณีอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป จำเป็นจะต้องมีการปรับแก้ค่า F_R $(\tau\alpha)_c$ และ $F_R U_L$ เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งาน โดยสมมติให้ผลกระทบของอัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปเพียงอย่างเดียวที่ทำให้เกรเดียนต์อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง กำหนดอัตราส่วน r เพื่อใช้เป็นค่าปรับแก้ดังนี้ [6]

$$r = \frac{F_R U_L \Big|_{use}}{F_R U_L \Big|_{test}} = \frac{F_R (\tau\alpha)_n \Big|_{use}}{F_R (\tau\alpha)_n \Big|_{test}} \quad (2.4)$$

จากสมการ 2.4

$$r = \frac{\frac{\dot{m} C_p}{A_c F' U_L} [1 - \exp(-A_c F' U_L / \dot{m} C_p)] \Big|_{use}}{\frac{\dot{m} C_p}{A_c F' U_L} [1 - \exp(-A_c F' U_L / \dot{m} C_p)] \Big|_{test}} \quad (2.5)$$

โดยที่

$$F' U_L = - \frac{\dot{m} C_p}{A_c} \ln [1 - (A_c F_R U_L / \dot{m} C_p)] \quad (2.6)$$

- เมื่อ r คือ อัตราส่วนเพื่อใช้เป็นค่าปรับแก้
- F_R คือ ค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Collector heat removal factor)
- U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
- $(\tau\alpha)_e$ คือ ผลคูณของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านและดูดกลืนรังสี
- C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ ($J/kg \text{ } ^\circ C$)
- \dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
- A_c คือ พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m^2)
- F' คือ ค่าแฟกเตอร์ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสี (Collector efficiency factor)

ปรับแก้ค่าโดยนำค่า r ไปคูณกับ $F_R (\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$

3.2 การต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นราบแบบอนุกรม

การต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นราบแบบอนุกรมจะทำให้อุณหภูมิของน้ำที่นำไปใช้ประโยชน์มีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมกัน N ตัว จะแตกต่างจากสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตัวเดียว เนื่องจากเมื่อน้ำผ่านเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตัวแรกแล้ว อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตัวที่ 2 สูงกว่าตัวแรก ดังนั้นประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตัวที่ 2 ต่ำกว่าตัวแรก ในทำนองเดียวกันกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตัวต่อไปซึ่งต่ออนุกรมกัน ทำให้ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลดลงตามลำดับ ซึ่งในการคำนวณหาอุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบอนุกรม N ตัว จะต้องคำนวณสมรรถนะของตัวเก็บรังสีที่นำมาต่ออนุกรมกัน โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีคุณสมบัติเหมือนกันจำนวน N ตัว ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ 2.7 [5]

$$T_{fo} = T_{fi} + \frac{A_c [G_T (F_R(\tau\alpha)_e) - F_R U_L (T_{fi} - T_a)]}{\dot{m} C_p} \quad (2.7)$$

$$\text{เมื่อ } F_R(\tau\alpha)_e = F_{R1}(\tau\alpha)_{e1} \left[\frac{1 - (1-K)^N}{NK} \right]$$

$$F_R U_L = F_{R1} U_{L1} \left[\frac{1 - (1-K)^N}{NK} \right]$$

$$K = \left[\frac{A_{c1} F_{R1} U_{L1}}{\dot{m} C_p} \right]$$

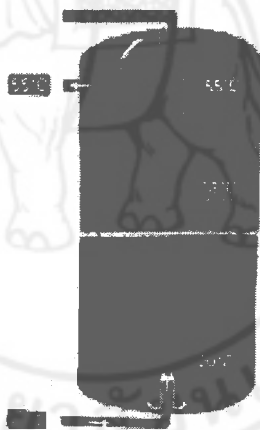
$$N = \text{จำนวนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ต่อกันแบบอนุกรม}$$

4. ถังเก็บสะสมความร้อนชนิดที่มีการแบ่งชั้นอุณหภูมิของน้ำ (Stratification)

ถังเก็บสะสมความร้อน เป็นอุปกรณ์การเก็บพลังงานงานอย่างหนึ่งที่นิยมใช้ โดยตัวกลางเก็บความร้อนที่นิยมใช้คือ น้ำ น้ำเป็นวัสดุอุดมคติในการกักเก็บพลังงานความร้อน เนื่องจากน้ำเป็นทั้งตัวกลางและสารที่เก็บพลังงานความร้อน เป็นการลดการสูญเสียความร้อนในระหว่างการส่งถ่ายพลังงานจากตัวกลางมายังสารที่เก็บพลังงานความร้อน การเก็บสะสมพลังงาน

ความร้อนของน้ำนั้นจะเก็บในลักษณะการเก็บพลังงานความร้อนแบบสัมผัส (Sensible heat) คือ ใช้คุณสมบัติเกี่ยวกับความจุความร้อนของตัวเก็บพลังงาน หรือน้ำ โดยอุณหภูมิของตัวเก็บพลังงาน หรือน้ำจะเปลี่ยนในระหว่างการประจุความร้อนเข้า-ออก น้ำมีคุณสมบัติในการเก็บสะสมพลังงานได้ดี โดยพลังงานความร้อนที่สามารถทำให้น้ำ 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส คือ 4,187 จูล นอกจากนี้น้ำยังมีคุณสมบัติไม่เป็นสารอันตราย ไม่ติดไฟ ฉะนั้นระบบเก็บสะสมพลังงานส่วนใหญ่จึงนิยมใช้น้ำเป็นสารทำงาน [6]

ถังเก็บสะสมความร้อนโดยทั่วไปจะมีการแบ่งชั้นของน้ำที่มีอุณหภูมิต่างกัน ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติ โดยอาศัยหลักการ เมื่อน้ำที่ได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ความหนาแน่นลดลง ดังนั้นน้ำที่มีอุณหภูมิสูงจึงลอยสู่ด้านบนของน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้เกิดการแบ่งชั้นของอุณหภูมิออกเป็นชั้น (Node) ต่างๆ จนกระทั่งถึงกันถึงซึ่งเป็นจุดที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดดังภาพ 6



ภาพ 6 ถังเก็บสะสมความร้อนที่มีการแบ่งชั้นอุณหภูมิของน้ำ [7]

คุณสมบัติของถังเก็บสะสมความร้อนที่ดีคือต้องทำให้อุณหภูมิของน้ำร้อนที่เข้าและบรรจุน้อยที่สุด โดยพิจารณาจากคุณสมบัติดังนี้คือ

1. ความจุความร้อนต่อปริมาตร
2. ช่วงของอุณหภูมิสูงสุดในการทำงาน ซึ่งอุณหภูมิเกิดจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในระบบ

3. ความร้อนเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ต้องมีความสัมพันธ์กับผลต่างของอุณหภูมิ
4. อุณหภูมิที่กักเก็บต้องแบ่งออกเป็นชั้นของระดับอุณหภูมิ
5. ความร้อนที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงต้องเพียงพอต่อกำลังงานที่ต้องการ
6. ดังกักเก็บหรือโครงสร้างโดยละเอียดมีส่วนร่วมในการกักเก็บความร้อนของระบบ
7. ต้นทุนในการสร้าง

ถังเก็บสะสมความร้อนแบบแบ่งชั้นอุณหภูมิ มีการรับและสูญเสียพลังงานในถังน้ำร้อนดังภาพ 7 จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของถังเก็บสะสมความร้อนแบบแบ่งชั้นอุณหภูมิของ Duffie and Beckman [5] สามารถแสดงเป็นสมการโดยใช้ Euler Integration ซึ่งเป็นการเขียนข้อกำหนดของผลต่างของอุณหภูมิภายในถังเก็บสะสมความร้อน ณ จุดสุดท้ายของช่วงเวลา que เพิ่มขึ้น ดังนี้

$$\begin{aligned} \dot{T}_{s,i} &= T_{s,i} + \frac{\Delta t}{m_i} \left[\left(\frac{UA}{C_p} \right) (T_a' - T_{s,i}) + F_i^C \dot{m}_c (T_{co} - T_{s,i}) + F_i^L \dot{m}_L (T_{L,r} - T_{s,i}) \right. \\ &\quad \left. + \begin{cases} \dot{m}_{m,i} (T_{s,i+1} - T_{s,i}) & \text{ถ้า } \dot{m}_{m,i} > 0 \\ \dot{m}_{m,i+1} (T_{s,i} - T_{s,i+1}) & \text{ถ้า } \dot{m}_{m,i+1} < 0 \end{cases} \right] \end{aligned} \quad (2.4)$$

เมื่อ	F_i^C	คือ ฟังก์ชันการควบคุมการไหลเข้าของน้ำจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์
	F_i^L	คือ ฟังก์ชันการควบคุมการไหลกลับของน้ำ
	T_{co}	คือ อุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($^{\circ}\text{C}$)
	$T_{L,r}$	คือ อุณหภูมิของน้ำที่ไหลกลับหลังจากการใช้งาน ($^{\circ}\text{C}$)
	$T_{s,i}$	คือ อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมความร้อนที่โหนด i ($^{\circ}\text{C}$)
	$\dot{T}_{s,i}$	คือ อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมความร้อนที่โหนด i ที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาใดๆ ($^{\circ}\text{C}$)
	Δt	คือ ช่วงเวลาใดๆ
	\dot{m}_c	คือ อัตราการไหลเข้าของน้ำจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (kg/s)
	\dot{m}_L	คือ อัตราการไหลออกของน้ำไปใช้ประโยชน์ (kg/s)
	$\dot{m}_{m,i}$	คือ อัตราการไหลสุทธิไปโหนด i จากโหนด $i-1$ (kg/s)
	m_i	คือ มวลของน้ำในถังเก็บสะสมความร้อน (kg)
	UA	คือ ผลคูณของสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมและพื้นที่ของถังเก็บสะสมความร้อน ($\text{W}/^{\circ}\text{C}$)

ฟังก์ชันการควบคุม F^C ; น้ำที่เข้าสู่ถังเก็บสะสมความร้อน โดยน้ำจะไหลไปยังโหนดที่มีความหนาแน่น หรืออุณหภูมิของน้ำในถังใกล้เคียงกัน

$$F_i^C = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } i = 1 \text{ และ } T_{co} > T_{s,i} \\ 1 & \text{ถ้า } T_{s,i-1} \geq T_{co} > T_{s,i} \\ 0 & \text{ถ้า } i = 0 \text{ หรือถ้า } i = N+1 \\ 0 & \text{ในกรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

เมื่อ N คือ จำนวนโหนดภายในถังกักเก็บความร้อน ฟังก์ชันการไหลกลับหลังจากใช้งาน F^L ; เข้าสู่ถังเก็บสะสมความร้อน โดยน้ำจะไหลกลับไปยังโหนดความหนาแน่น หรืออุณหภูมิของน้ำในถังใกล้เคียงกัน

$$F_i^L = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } i = N \text{ และ } T_{L,r} < T_{s,N} \\ 1 & \text{ถ้า } T_{s,i+1} \geq T_{L,r} > T_{s,i} \\ 0 & \text{ถ้า } i = 0 \text{ หรือถ้า } i = N+1 \\ 0 & \text{ในกรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

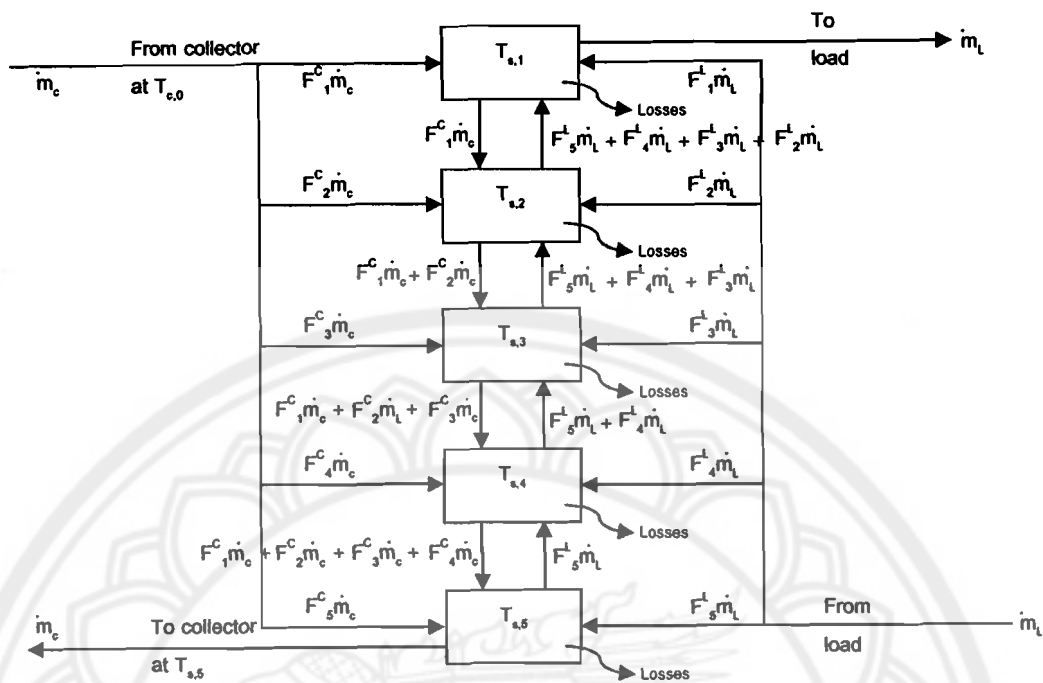
เมื่อ $T_{s,N}$ คือ อุณหภูมิของน้ำในถังกักเก็บความร้อนที่โหนด N ($^{\circ}\text{C}$)

อัตราการไหลสุทธิระหว่างโหนด

$$\dot{m}_{m,1} = 0$$

$$\dot{m}_{m,i} = \dot{m}_C \sum_{j=1}^{i-1} F_j^C - \dot{m}_L \sum_{j=i+1}^N F_j^L$$

$$\dot{m}_{m,N+1} = 0$$



ภาพ 7 แสดงการรับและสูญเสียพลังงานในถังน้ำร้อนที่โหนด 1 – 5

บททวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการแบ่งชั้นอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมความร้อนมีความสำคัญดังที่กล่าวมาแล้ว จึงมีผู้ที่ทำการศึกษาวิจัย และนำความรู้ด้านการแบ่งชั้นของอุณหภูมิของน้ำมาพัฒนาระบบกักเก็บความร้อนของถังเก็บสะสมความร้อนมากมาย ซึ่งผู้วิจัยได้นำงานวิจัยดังกล่าวมาใช้ในการอ้างอิงพอสั่งเขปดังนี้

Mi-Soo Shin, et al. [8] ได้ทำการศึกษาการทดสอบเชิงคณิตศาสตร์ในการออกแบบระบบการกักเก็บความร้อนแบบแบ่งชั้นอุณหภูมิ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงกลไกการแบ่งชั้นของอุณหภูมิของถังกักเก็บความร้อน และนำไปออกแบบถังที่สภาวะการใช้งานที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาการไหลของของเหลวภายในถัง โดยใช้ Patankars SIMPLE algorithm ทำการทดสอบความใช้ได้ของโปรแกรมโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้อาจจากการทดลองในสเกลของห้องปฏิบัติการ การศึกษาระบบของการแบ่งชั้นอุณหภูมิถูกนำมาเป็นส่วนสำคัญของการออกแบบและหาค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ขนาดของถัง, เวลาในการใช้ภาระ, รูปร่างของการแพร่กระจาย, แบบจำลองของการปั่นป่วน และ ความเร็วของอัตราการไหลเข้า หรือ Fr.No. พิจารณาประสิทธิภาพของถังที่ได้รับผลกระทบจากการไหลวนและการปั่นป่วน

แบบจำลองที่เสนอ กำหนดให้มีการผสมระหว่างน้ำร้อนและน้ำเย็นน้อยที่สุด เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะของระบบการกักเก็บโดยมีสมมติฐานของการไหลแบบ uniform plug-type สมการของอุณหภูมิโดยไม่มีการการพาความร้อนในการผสมของน้ำ และให้ความเร็วคงที่ในทิศทางตามแนวแกนของถัง ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho T)}{\partial t} + u \frac{\partial(T)}{\partial x} = \nabla \cdot \left(\frac{k}{C_p} \nabla T \right)$$

เมื่อ	ρ	=	ความหนาแน่นของสารทำงาน (kg/m ³)
	u	=	ความเร็วตามแนวแกน (ms ⁻¹)
	T	=	อุณหภูมิ (°C)
	k	=	พลังงานจลน์ของการไหลแบบปั่นป่วน
	C_p	=	ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg °C)

โดยทั่วไปในระบบกักเก็บความร้อนขนาดใหญ่จะมีสมรรถนะในการกักเก็บดีกว่าขนาดเล็ก ส่วนการเพิ่มเวลาของภาระ (Loading Time) นั้น การแบ่งชั้นอุณหภูมิจะต่ำลง ในขณะที่มีการถ่ายเทความร้อนโดยการพาและการแพร่กระจายของอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นพบว่า การแพร่กระจายในรูปโค้ง (Curve type) ให้สมรรถนะของการแบ่งชั้นอุณหภูมิได้ดีกว่าการกระจายแนวราบ (Flat type) สำหรับถังกักเก็บความร้อนขนาดใหญ่ ผลกระทบของ Fr.No. หรือความเร็วของอัตราการไหลเข้าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อการแบ่งชั้นของอุณหภูมิเมื่อเปรียบเทียบกับถังที่มีขนาดเล็ก การคำนวณผลแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองชนิด plug flow สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินสมรรถนะของระบบการกักเก็บโดยให้สภาวะอ้างอิงของการแบ่งชั้นอุณหภูมิที่ดีที่สุด หรือมีการผสมน้อยที่สุด ในกรณีของระบบขนาด Full Scale ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองกับการทดลองไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบในขนาดห้องปฏิบัติการ และความสัมพันธ์ของการลดลงของการถ่ายเทความร้อนโดยเพิ่มการไหลของน้ำในระบบ Full Scale แบบจำลองแบบปั่นป่วน 2 แบบซึ่งมีค่าคงที่ K-E และ RNG K-E ไม่แตกต่างในการศึกษา

Y.M. Han, et al. [9] ได้ทำการศึกษา และรวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับการแบ่งชั้นของอุณหภูมิในถังชนิดต่างๆ รวมทั้งที่มาของปัญหาด้านประสิทธิภาพในการกักเก็บพลังงาน และประโยชน์ของการแบ่งชั้นอุณหภูมิ ตลอดจนการออกแบบโครงสร้างของถังตามทฤษฎีเพื่อใช้ในการทำนายการแบ่งชั้นอุณหภูมิของน้ำในถัง การเปรียบเทียบผลจากการออกแบบกับการทดลองจริง

การพัฒนาวิธีการทำนายเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและนำไปใช้ในการออกแบบถังที่ใช้การแบ่งชั้นของอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพ เพื่อแนะนำรายละเอียดของถังชนิดแบ่งชั้นอุณหภูมิ รวมถึงการใช้งาน ส่วนประกอบโครงสร้างของถัง ตลอดจนการทำนายเพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดของถัง เพื่อให้มีการพัฒนา และนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

Zalman Lavan and James Thomson [10] ทำการศึกษาการแบ่งชั้นอุณหภูมิของน้ำร้อนของระบบกักเก็บความร้อน ในถังพลาสติกทรงกระบอกขนาด 300 ลิตร และ 1900 ลิตร โดยปรับเปลี่ยน อัตราส่วนของความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง ความแตกต่างของอุณหภูมิ น้ำเข้า-ออก จากถังเก็บสะสมความร้อน และอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำไปยังถังเก็บสะสมความร้อน รวมทั้งศึกษาผลกระทบของโครงสร้างทางเข้า-ออกของน้ำ พบว่าการแบ่งชั้นอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมความร้อนจะดีขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของถังเก็บสะสมความร้อน เพิ่มความแตกต่างของอุณหภูมิ น้ำร้อนที่เข้าถังและน้ำเย็นที่ออกจากถังเก็บสะสมความร้อนซึ่งหมายถึงอุณหภูมิของน้ำชั้นล่างสุดของถังเก็บสะสมความร้อน และเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางของทางที่น้ำเข้า-ออกจากถังเก็บสะสมความร้อน นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำจะทำให้การแบ่งชั้นของอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมความร้อนลดลง จากการศึกษาสามารถนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบถังสะสมความร้อนที่เหมาะสม

Cristofari, et al. [11] ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำและการแยกชั้นของอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมความร้อนจำนวน 10 ชั้น โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบขนาด 2 ตารางเมตร และถังเก็บสะสมความร้อนชนิดที่มีการแบ่งชั้นอุณหภูมิขนาด 150 ลิตร ซึ่งจากการทดลอง พบว่า หากกำหนดให้มีอัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ $2.65 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ จะทำให้เกิดการแบ่งชั้นของอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมความร้อน และมีอุณหภูมิของน้ำสูงสุดถึง 71.2°C แต่หากกำหนดให้มีอัตราการไหลเชิงมวลสูงขึ้น $30 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ จะไม่เกิดการแบ่งชั้นของอุณหภูมิของน้ำ และมีอุณหภูมิของน้ำต่ำกว่าถังเก็บน้ำร้อนชนิดที่มีการแบ่งชั้นของอุณหภูมิ คือเท่ากับ 69.7°C ในช่วงเวลาเดียวกัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อน พบว่าระบบทำน้ำร้อน ที่ประกอบด้วยถังเก็บสะสมความร้อนชนิดที่มีการแบ่งชั้นของอุณหภูมิมีสสมรรถนะสูงกว่าระบบทำน้ำร้อนที่ใช้ถังเก็บสะสมความร้อนชนิดที่ไม่มีการแบ่งชั้นอุณหภูมิ โดยพิจารณาจากพลังงานที่ประหยัดได้ ซึ่งระบบทำน้ำร้อน ที่ประกอบด้วยถังเก็บสะสมความร้อนชนิดที่มีการแบ่งชั้นอุณหภูมิจะประหยัดพลังงานได้ถึง 5.25 % ในหนึ่งปี เมื่อเทียบกับระบบที่ประกอบด้วยถังเก็บน้ำร้อนชนิดที่ไม่มีการแบ่งชั้นของอุณหภูมิ

M. Mazloumi, M.Naghashzadegan and K. Javaherdeh [12] ได้ทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนโดยใช้ LiBr และน้ำ โดยใช้ Parabolic trough เป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และใช้ถังเก็บสะสมความร้อนชนิดแบ่งชั้นอุณหภูมิที่มีน้ำเป็นตัวเก็บสะสมความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยสมมุติให้อุณหภูมิเริ่มต้นของถังเก็บสะสมความร้อนอุณหภูมิที่ไหลเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม พบว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลดลงมีแนวโน้มทำให้การแบ่งชั้นของอุณหภูมิในถังเก็บสะสมความร้อนมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มสมรรถนะของระบบโดยรวม และเมื่อเวลาของการใช้งานเพิ่มขึ้นจะทำให้การแบ่งชั้นของอุณหภูมิในถังเก็บสะสมความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีที่สูงทำให้การแบ่งชั้นอุณหภูมิของถังเก็บสะสมความร้อนมีแนวโน้มจะผสมเข้ากันทั้งถัง (Well-mixed situation) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเพิ่มอัตราการไหลให้สูงขึ้น และลดขนาดถังให้เล็กลง แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และขนาดของถังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังเก็บสะสมความร้อนชนิดแบ่งชั้นอุณหภูมิ

พิสิฐฐ์ สงวนตระกูล [13] ทำการพัฒนาโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้กับโรงฆ่าสัตว์ โดยโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกอบด้วยชุดสมการของตัวเก็บรังสีอาทิตย์, ถังเก็บน้ำร้อน, ข้อมูลสภาพอากาศ ลักษณะการใช้ความร้อนของโรงฆ่าสัตว์ และค่าใช้จ่ายเริ่มต้นทางเศรษฐศาสตร์ และนำข้อมูลต่างๆ เหล่านี้ไปคำนวณหาค่าสัดส่วนของพลังงานที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ต่อภาระงานทั้งหมด (Solar fraction), ปริมาณความร้อนที่ใช้ในระบบเดิมและความร้อนที่ใช้เสริม, ปริมาณแก๊สที่ใช้ในระบบเดิมและปริมาณแก๊สที่ใช้เสริม และค่าใช้จ่ายทางด้านเศรษฐศาสตร์ และได้ทำการทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยการเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ที่ได้กับโปรแกรม TRNSYS พบว่าค่าสัดส่วนของพลังงานที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ต่อภาระงานทั้งหมดที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม TRNSYS 14.00 – 16.28 %

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น จะเห็นได้ว่าถังเก็บน้ำร้อนชนิดแบ่งชั้นอุณหภูมิในระบบผลิตความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ได้มีการศึกษาเพื่อพัฒนา และเพิ่มสมรรถนะของถังเก็บสะสมความร้อนให้มีประโยชน์สูงสุด รวมทั้งมีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษา แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวยังไม่รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีอาทิตย์ ขนาดของถัง อัตราการไหลเข้าออกของน้ำ และการต่อตัวเก็บรังสีชนิดแผ่นราบแบบอนุกรม งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาอิทธิพลและความสัมพันธ์ของปัจจัยที่กล่าวมาต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำที่ตำแหน่งต่างๆในถังเก็บสะสมความร้อนชนิดแบ่งชั้นอุณหภูมิ

โดยการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ และถังเก็บสะสมความร้อน เพื่อใช้ในการทำนายอุณหภูมิของน้ำในตำแหน่งต่างๆของถังเก็บสะสมความร้อน และนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น นอกจากนี้โปรแกรมที่ได้ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อ รวมทั้งใช้ประโยชน์ในการทำนายอุณหภูมิของน้ำเพื่อออกแบบดังต่อไป

