

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาการวิเคราะห์ระบบผลิตน้ำ ร้อนรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดจำเป็นต้องเข้าใจถึงทฤษฎีในเรื่องการออกแบบ การควบคุม หลักการทำงานของระบบฯ และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัด

2.1 รังสีอาทิตย์

2.1.1 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)

แสงจากดวงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ (Thermonuclear reaction) หรือ ปฏิกิริยาหลอมตัวทางนิวเคลียร์ในดวงอาทิตย์ เมื่อแสงอาทิตย์เดินทางมาถึงนอกชั้นบรรยากาศของโลกจะมีความเข้มแสงโดยเฉลี่ยประมาณ 1,350 วัตต์ต่อตารางเมตร แต่กว่าจะลงมาถึงพื้นโลก พลังงานบางส่วนสูญเสียไปเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆ ที่ห่อหุ้มโลก เช่น ชั้นโอโซน ชั้นไอน้ำ ชั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ให้ความเข้มแสงลดลง เหลือประมาณ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร หรือประมาณร้อยละ 70

2.1.2 ประเภทรังสีของอาทิตย์

ก. รังสีตรง(Beam Radiation or Direct Radiation .I) รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกลงบนผิวรับรังสี มีทิศทางที่แน่นอน ณ เวลาหนึ่งเวลาใด ทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์

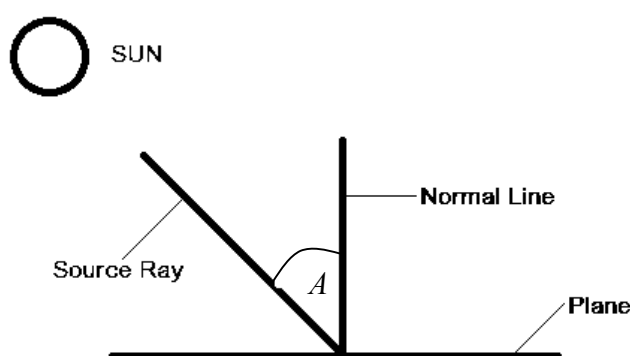
ข. รังสีกระจาย(Diffuse or Scattered Radiation .D) เป็นรังสีที่ได้รับจาก ดวงอาทิตย์โดยการสะท้อนตลอดจนการกระจายของแสงเมื่อผ่านบรรยากาศทิศทางของการตกกระทบของรังสีกระจายที่จุดใดจุดหนึ่งย่อมไม่แน่นอน เราจึงไม่สามารถรวมรังสีกระจายรังสีเหล่านี้ให้อยู่ที่จุดเดียวได้ ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายเรียกว่า รังสีรวม (Total Radiation or Global Radiation) รังสีรวมนี้จะมีค่าแตกต่างกันไปตามส่วนต่างๆ ของโลกและแต่ละค่าจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา สำหรับประเทศไทย ค่าเฉลี่ยสูงสุดต่อวันของค่ารังสีรวมมีค่าประมาณ 20 MJ/m^2 โดยมากอยู่ในช่วงฤดูร้อนและค่าเฉลี่ยต่ำสุดต่อวันมีค่าประมาณ 15 MJ/m^2 ในช่วงหน้าฝน ส่วนค่ารังสีกระจายมีค่าเฉลี่ยต่อวันประมาณ 8.4 MJ/m^2

2.1.3 รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับพื้นผิวระนาบ แสงของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับพื้นผิวระนาบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดค่ามุม โดยสามารถคำนวณหาค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบได้จากสมการ

$$I = K \cdot \cos A$$

เมื่อ I คือ ค่าความเข้มแสงของดวงอาทิตย์
 K คือ ค่าคงที่
 A คือ ค่ามุมของแสงที่ตกกระทบเป็นสัดส่วนกับค่ามุมโคไซน์

จากสมการดังกล่าวจะสังเกตได้ว่าความเข้มแสงมีค่ามากที่สุดที่ค่ามุมเท่ากับศูนย์ ($\cos 0 = 1$) ซึ่งหมายถึง รังสีของดวงอาทิตย์ที่แนวตั้งฉากกับผิวรับรังสี (Normal Line)

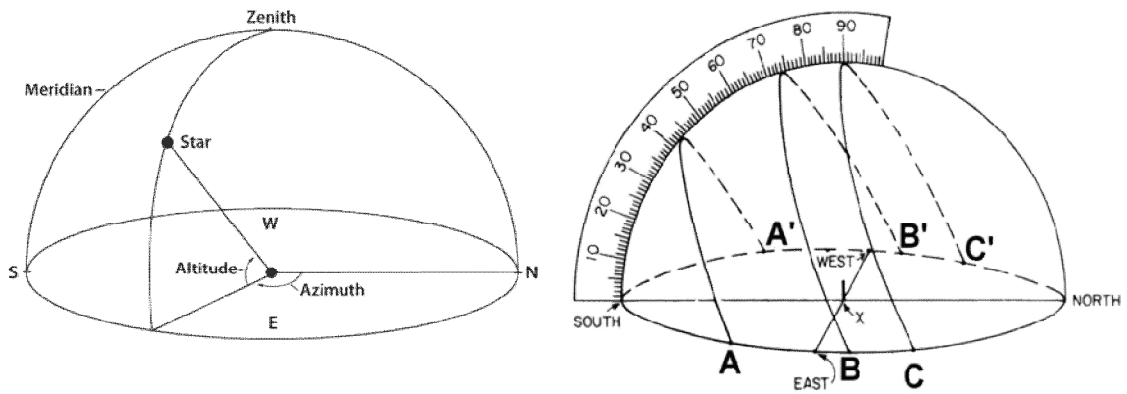


รูปที่ 2.1 ลักษณะรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับพื้นผิวระนาบ

2.1.4 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างระนาบการหมุนของโลกที่เวลาใดๆกับรังสีตรง หรือตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับระนาบสามารถอธิบายได้ดังในรูปที่ 2.2 ประกอบด้วยมุมต่างๆ ดังนี้

มุมละติจูด (Latitude, ϕ) คือ ระยะห่างเชิงมุมจากศูนย์สูตรท้องฟ้า หรือมุมที่อยู่ทางทิศเหนือหรือทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร เมื่อวัดไปทางทิศเหนือกำหนดให้มีค่าเป็นบวก และเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ ละติจูดมีค่าอยู่ระหว่าง -90 องศา ถึง 90 องศา



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์[1]

มุมเอียง (Slope, β) คือ มุมระหว่างพื้นผิวของระนาบรับรังสีกับแนวระดับ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 องศา ถึง 180 องศา

มุมชั่วโมง (Hour Angle, ω) คือ มุมที่แทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากเมริเดียนท้องถิ่นไปทาง ตะวันออกหรือทางตะวันตก มีค่าเป็นลบในช่วงเวลาก่อนเที่ยงสุริยะ และเป็นบวกหลังเที่ยงสุริยะ โดย ที่มีค่า 15 องศา ต่อหนึ่งชั่วโมง

มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle, δ) คือ มุมระหว่างแนวเส้นแวงอาทิตย์เมื่อเที่ยงสุริยะกับระนาบ ศูนย์สูตร กำหนดให้มีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ และมีค่าเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ มุมเดคลิเนชันมีค่าเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง -23.45 องศา ถึง 23.45 องศา สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2.1)$$

มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar Altitude Angle, α_s) คือ มุมระหว่างพื้นราบกับแนวเส้นแวงอาทิตย์ มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\sin \alpha_s = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (2.2)$$

มุมอะซิมุทพื้นดิน (Surface Azimuth Angle, γ) คือ มุมระหว่างทิศใต้กับการหันหน้าของแผงรับ รังสี มีค่าอยู่ในช่วง -180 องศา ถึง 180 องศา โดยเป็นศูนย์เมื่อหันหน้าไปทางทิศใต้ เป็นบวกเมื่อหัน หน้าไปทางทิศตะวันตกและเป็นลบเมื่อหันหน้าไปทางทิศตะวันออก

มุมอะซิมุทดวงอาทิตย์ (Solar Azimuth Angle, γ_s) คือ มุมระหว่างระนาบแนวตั้งของดวงอาทิตย์ และระนาบของเมริเดียนท้องถิ่น โดยกำหนดให้วัดจากทิศใต้ของระนาบแนวตั้งดวงอาทิตย์ไปทาง

ทิศตะวันตกมีค่าเป็นบวก วัดไปทางทิศตะวันออกมีค่าเป็นลบ และมีค่าเป็นศูนย์ที่ทิศใต้ มุมอะซิมูทของดวงอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง-180 องศา ถึง 180 องศา สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha_s} \quad (2.3)$$

มุมตกกระทบ (Incidence Angle, θ) คือ มุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์บนพื้นผิวกับแนวตั้งฉากของพื้นผิว ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมอื่นๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (2.4)$$

กรณีพื้นราบ ($\beta = 0$ องศา) มุมตกกระทบ คือ มุมซิมิธ

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (2.5)$$

พื้นผิวรับรังสีและมุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถนำไปหาค่ามุมชั่วโมงพระอาทิตย์ (Sunset Hour Angle, ω_s) เมื่อ $\theta_z = 90$ องศา

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta \quad (2.6)$$

และสามารถหาความยาวนานวันได้จากสมการ

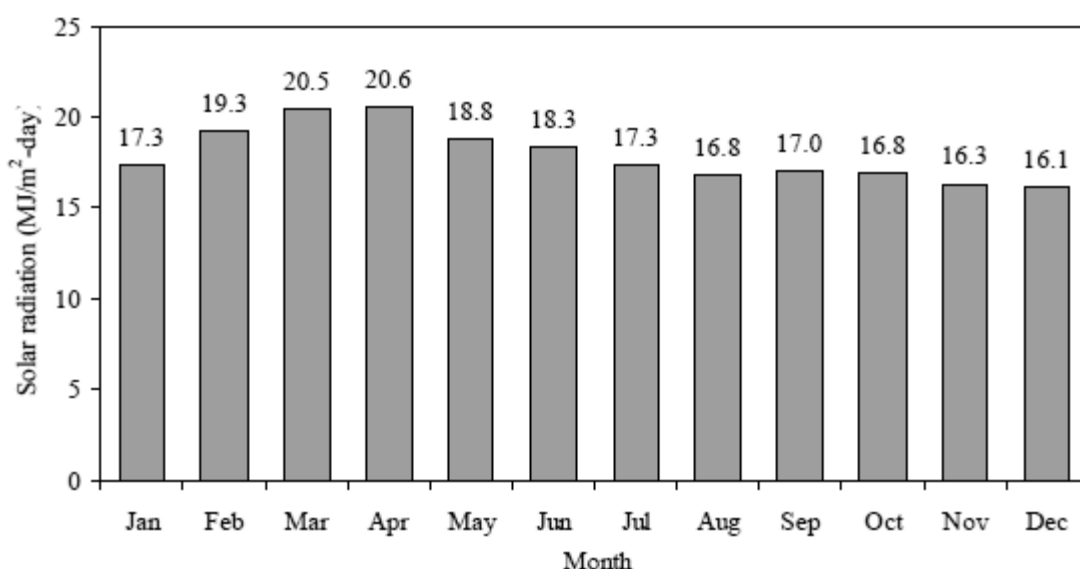
$$N = \frac{2 \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta)}{15} \quad (2.7)$$

ความยาวนานวัน (Day Length) หมายถึงระยะเวลาตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งตกในแต่ละวันของละติจูดใดๆ ค่านี้มีความผันแปรขึ้นอยู่กับมุมชั่วโมงการขึ้นของดวงอาทิตย์

ค่าคงที่รังสีดวงอาทิตย์ (Solar Constant) คือ พลังค์ความหนาแน่นของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตั้งฉากกับพื้นผิวนอกบรรยากาศของโลกเมื่อโลกอยู่ห่างจากระยะทางหนึ่งหน่วยดาราศาสตร์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.496×10^8 km มีค่าอยู่ประมาณ $1,367 \text{ W/m}^2$ หรือประมาณ $4,921 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{hr}$

2.1.5 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

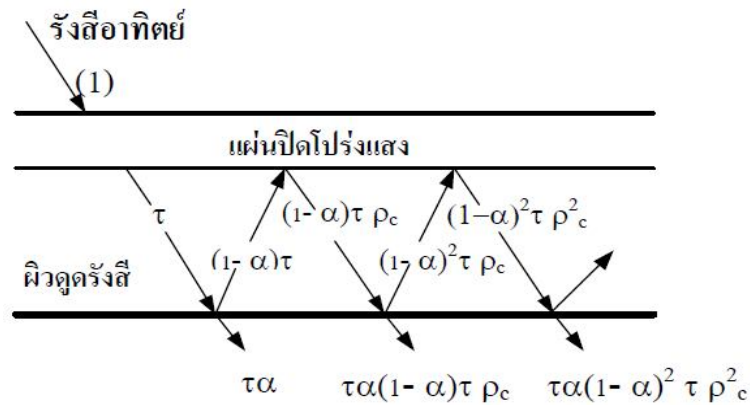
โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น หรือที่เรียกว่า“ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์” (global radiation) มีหน่วยทางด้านพลังงานเป็นเมกะจูลต่อตารางเมตร (MJ/m^2) โดยบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์มากก็จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเป็นไปตามพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันและการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปี กล่าวคือ ในพื้นที่หนึ่ง ๆ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาเที่ยงวัน และลดต่ำลงจนถึงช่วงเย็น ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของมวลอากาศ (air mass) ซึ่งรังสีอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลก และผลจากมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เช้าจนถึงเย็น สำหรับการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่เป็นผลมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาโดยมีเมฆเป็นตัวแปรที่สำคัญ



รูปที่ 2.3 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน โดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ[2]

2.2 การส่งผ่านและดูดกลืนรังสีอาทิตย์

เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนแผ่นปิดโปร่งแสงค่ารังสีอาทิตย์ บางส่วนจะทะลุผ่านแผ่นปิดโปร่งแสง ซึ่งมีค่าคุณรังสี (α) และเมื่อกระทบกับผิววัตถุด้านล่างบางส่วนจะถูกดูดกลืน ($\tau\alpha$) และบางส่วนจะสะท้อนกลับไปที่แผ่นปิดโปร่งแสงอีกซึ่งจะมีการสะท้อนกลับขึ้นมา[3] ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะการส่งผ่านและการดูดกลืนรังสีอาทิตย์[3]

ในทางปฏิบัติค่ารังสีอาทิตย์ที่ดูดกลืนที่ผิวดูดรังสีเมื่อมีแผ่นปิดโปร่งแสงสามารถคำนวณจากสมการ

$$(\tau\alpha)_e \approx 1.01(\tau\alpha) \quad (2.8)$$

- เมื่อ τ = ค่าสภาพส่งผ่าน (Transmissivity) ของกระจกมีค่าประมาณ 0.85
 α = ค่าสภาพดูดกลืน (Adsorptivity) ของผิวสีดำด้านมีค่าประมาณ 0.96
 ρ_c = ค่าสะท้อนรังสีอาทิตย์

2.3 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ [4]

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ถือว่าเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์ไปเป็นพลังงานความร้อน และถ่ายโอนความร้อนให้กับของไหลที่ไหลภายในท่อตัวเก็บรังสี ทำให้ของไหลดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตัวเก็บรังสีที่ดีจะต้องมีความสามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดี มีการสูญเสียความร้อนน้อยและสามารถถ่ายโอนความร้อนที่ดูดกลืนให้แก่ของไหลได้รวดเร็ว โดยทั่วไปตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะยึดติดอยู่กับที่ หันหน้าไปทางทิศใต้ และเอียงทำมุมประมาณละติจูดของตำแหน่งที่อยู่ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์อาจจะแยกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ (Flat-plate Solar Collector) และตัวเก็บรังสีแบบรวมรังสี (Concentrating Solar Collector) โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบมากกว่า เนื่องจากการผลิตที่ง่ายไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการใช้งานและการบำรุงรักษา สามารถรับรังสีตรงและรังสีกระจายได้ แต่ตัวเก็บรังสีแบบรวมรังสีนั้นจะทำงานได้เฉพาะกรณีที่มิรังสีตรงเท่านั้น อุณหภูมิที่ได้อันที่ได้จากของตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบนั้น จะอยู่ในช่วงประมาณ 30-80 °C

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องมากมายเช่น ค่ารังสีอาทิตย์ ค่าการสูญเสียความร้อนของแผงรับรังสีและถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิของอากาศโดยรอบ เป็นต้น

2.3.1 ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์

การพิจารณาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่สภาวะคงตัว(Steady – State) ที่ขณะใดๆ ค่ารังสีที่ถูกดูดกลืน เท่ากับ ค่าอัตราการความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ รวมกับค่าอัตราการความร้อนที่สูญเสียจากผิวดูดรังสี ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้[5]

$$(\tau\alpha)_e I_T A_c = \dot{Q}_{coll} + U_L A_c (T_p - T_a) \quad (2.9)$$

$$\dot{Q}_{coll} = \dot{m}_f C_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad (2.10)$$

อัตราการถ่ายโอนความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสี อาจเขียนได้เป็น

$$\dot{Q}_{coll} = A_c [(\tau\alpha)_e I_T - U_L (T_p - T_a)] \quad (2.11)$$

เมื่อ	$\dot{Q}_{coll}$	= อัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสี(MJ/hr)
	$(\tau\alpha)_e$	= ประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวเก็บรังสี
	I_T	= รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบบนแผงบนระนาบเอียง(MJ/m ² hr)
	A_c	= พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์(m ²)
	U_L	= ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมจากผิวดูดรังสีอาทิตย์(MJ/m ² hr°C)
	T_p	= อุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์(°C)
	T_a	= อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม(°C)
	$\dot{m}_f$	= อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสี(kg/hr)
	C_p	= ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (MJ/kg°C)
	T_{fi}	= อุณหภูมิของน้ำเข้าตัวเก็บรังสี(°C)
	T_{fo}	= อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวเก็บรังสี(°C)
	η_{coll}	= ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ในทางปฏิบัติอุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสี (T_p) วัดให้ถูกต้องได้ยาก จึงมีการปรับค่าสมการดังกล่าวโดยกำหนดค่า (Heat Removal Factor, F_R) ซึ่งเขียนอยู่ในรูปของอุณหภูมิของของไหลเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์

$$\dot{Q}_{coll} = A_c [F_R (\tau\alpha)_e I_T - F_R U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (2.12)$$

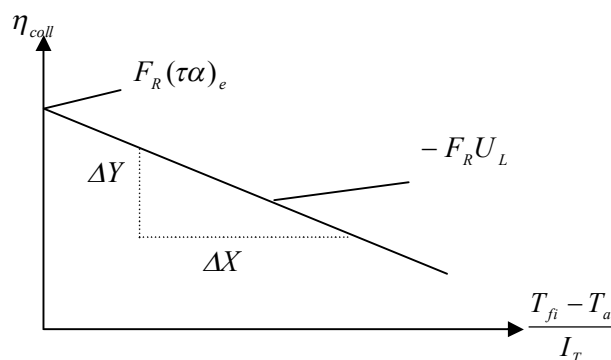
เมื่อ F_R = ค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อน (Heat Removal Factor) เป็นสัดส่วนของความร้อนที่ได้จริงจากตัวเก็บรังสีต่อพลังงานความร้อนถ่ายโอน ที่ถูกดึงโดยของไหลใช้งานในตัวเก็บรังสี ค่า F_R มีลักษณะคล้ายกับค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี เนื่องจากเป็นค่าอัตราส่วนของพลังงานความร้อนจริงต่อพลังงานความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้จากตัวเก็บรังสี

2.3.2 ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Collector efficiency)

ค่าประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะเป็นดัชนีที่ใช้บอกความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งสมการ (2.13) ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถคำนวณจาก

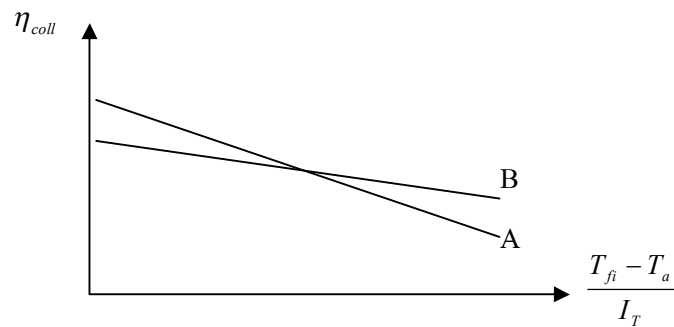
$$\eta_{coll} = \frac{\dot{Q}_{coll}}{I_T A_c} = \frac{\dot{m}_f C_p (T_{fo} - T_{fi})}{I_T A_c} = F_R (\tau\alpha)_e - F_R U_L \frac{(T_{fi} - T_a)}{I_T} \quad (2.13)$$

ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า η_{coll} และ $(T_{fi} - T_a)/I_T$ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวอยู่ในรูปสมการเส้นตรงโดยที่ค่า $-F_R U_L$ คือความชันและ $F_R (\tau\alpha)_e$ คือค่าจุดตัดแกน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.5 เส้นแสดงสมรรถนะของตัวเก็บรังสี [5]

ตัวเก็บรังสีที่มีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ สูงแสดงว่าการส่งผ่านค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีมีค่าสูง ส่วนเทอม $-F_R U_L$ แสดงค่าการสูญเสียความร้อน ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าตัวเก็บรังสีดังกล่าวป้องกันความร้อนสูญเสียไม่ดีพอ ทั้ง 2 เทอมนี้ เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสี ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์[5]

จากรูปตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ A เหมาะกับการผลิตน้ำ ร้อนที่อุณหภูมินี้ ร้อนที่ต่ำ ขณะที่แบบ B เหมาะสำหรับการผลิตน้ำ ร้อนที่อุณหภูมินี้ ร้อนที่สูง

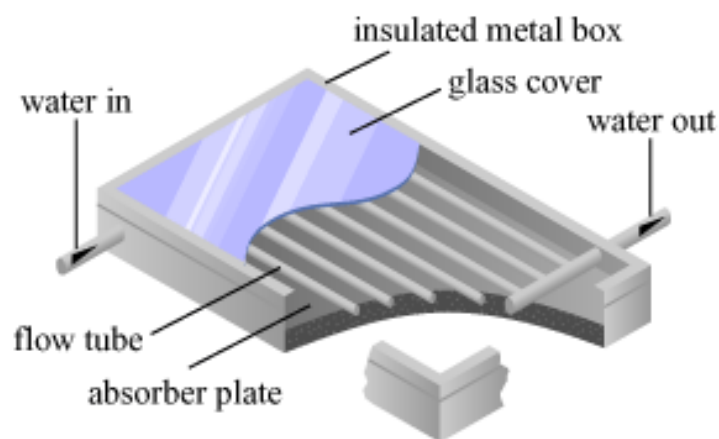
2.3.3 การออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน ดังนั้นการออกแบบใช้งานควรเลือกพิจารณาวัสดุที่นำมาใช้ผลิตตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะต้องเลือกวัสดุที่มีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์สูง แต่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนต่ำ ดังนั้นการพิจารณาเลือกวัสดุที่มีสมบัติดังกล่าวพิจารณาได้จากหัวข้อถัดไป

2.3.4 ส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบประกอบด้วย

1) แผ่นดูดกลืนรังสี ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นความร้อนแล้วถ่ายโอนให้กับของเหลว โดยของเหลวจะไหลในท่อที่ประกอบติดกับแผ่นรับรังสีที่เป็นแผ่นราบ ที่สามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดี มีการนำความร้อนได้ดี ทนต่อการกัดกร่อน ไม่ทำปฏิกิริยาเคมี และไม่สูญเสียคุณสมบัติที่สำคัญที่อุณหภูมิสูง ในปัจจุบันได้มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เพื่อเพิ่มความสามารถของตัวเก็บรังสี สามารถดูดกลืนรังสีได้มาก และลดปริมาณการแผ่รังสี ด้วยการใช้สีที่มีการดูดกลืนความร้อน การเคลือบด้วยสารเคมีต่างๆ การปรับสภาพผิวทางกายภาพ เป็นต้น วัสดุที่นิยมใช้ทำ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เช่น ทองแดง อลูมิเนียม และเหล็ก เป็นต้น

- 2) **แผ่นครอบใส** ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จากลม และป้องกันการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี แผ่นครอบใสจะต้องมีสมบัติ ที่สามารถต้านทานการแผ่ และสามารถส่งผ่านรังสีความยาวคลื่นสั้น ไปยังตัวเก็บรังสี ส่วนใหญ่ทำจากกระจกใสที่มีค่าการส่งผ่านรังสีได้สูง
- 3) **ฉนวนความร้อน** ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนทางด้านข้างและด้านล่างของ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยใช้วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ เช่น โฟมหรือโพลียูรีเทนโฟมเป็นฉนวน ฉนวนที่ใช้ควรมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ สามารถทนความร้อนได้สูง ทนความชื้น ไม่ติดไฟ ไม่ทำปฏิกิริยาเคมี ไม่สะสมความร้อน และไม่มีคุณสมบัติดูดกลืนรังสีอาทิตย์
- 4) **ท่อ** ทำหน้าที่เป็นทางเดินของของไหล เพื่อรับความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสี โดยอาจมีลักษณะเป็นท่อหลายท่อต่อขนานกัน หรืออาจมีลักษณะคดเคี้ยว โดยยึดติดกับแผ่นรับรังสีอาทิตย์ ท่อของไหลควรมีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่ดี และทนต่อการกัดกร่อน ส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นท่อทองแดง



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ [4]

2.3.5 การสูญเสียความร้อนของแผ่นรับรังสี

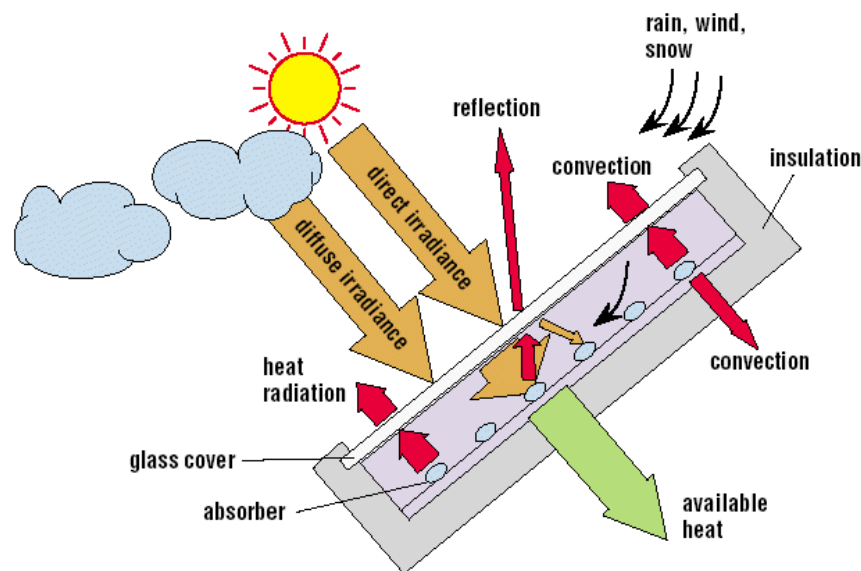
รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยผ่านแผ่นครอบใสตามจำนวนที่ใช้ ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานที่ได้รับบางส่วน ขึ้นอยู่กับความสามารถในการส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของแผ่นครอบใสที่นำมาใช้งาน รวมทั้งสภาพการสะท้อนแสงอีกด้วย นอกจากนี้ เมื่อตัวเก็บรังสีมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีความร้อนบางส่วนสูญเสียออกไป ดังนี้ คือ [5]

ด้านบนของชุดรับรังสี เป็นบริเวณที่มีความร้อนสูญเสียมากที่สุด เนื่องจากไม่มีฉนวนกั้นความร้อนที่ถ่ายโอนออกจากแผ่นรับรังสีโดยการนำ การพา และการแผ่รังสีมีความร้อน ให้กับแผ่นครอบใสแผ่นที่หนึ่งและแผ่นต่อไป ก่อนถ่ายโอนสู่อากาศแวดล้อม

ด้านหลังของชุดรับรังสี ค่าความร้อนสูญเสียขึ้นกับชนิดและความหนาของฉนวน ความร้อนถ่ายโอนจากแผ่นรับรังสีโดยการนำความร้อนไปยังฉนวน แล้วถ่ายโอนความร้อนจากฉนวนโดยการพาและการแผ่รังสีความร้อนให้กับอากาศแวดล้อม

ด้านข้างของชุดรับรังสี ความร้อนสูญเสียนี้น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับด้านอื่นๆ ขึ้นอยู่กับสภาพและขนาดของฉนวนรอบๆ เช่นเดียวกับการสูญเสียความร้อนด้านล่างโดยการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อนให้กับอากาศแวดล้อม

ท่อ เป็นอุปกรณ์สำหรับให้ของเหลวร้อนไหลผ่าน ถูกติดตั้งเข้ากับระบบอุ่นของเหลวด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์โดยใช้ฉนวนหุ้มภายนอกท่อ ความร้อนจากของเหลวร้อนสูญเสียให้กับอากาศแวดล้อม โดยการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน



รูปที่ 2.8 ลักษณะการสูญเสียความร้อนของแผ่นรับรังสี[6]

สัมประสิทธิ์ การสูญเสียความร้อนด้านบน คำนวณได้จากสมการ[7]

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[\frac{T_{pm} - T_a}{N + f} \right]^e} + \frac{1}{h_w} \right\}^{-1} + \frac{\sigma (T_{pm} + T_a) (T_{pm}^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0.00591 N h_w)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133 \varepsilon_p - N}{\varepsilon_g}} \quad (2.14)$$

เมื่อ N = จำนวนกระจก, แผ่น

$$f = (1 + 0.089 h_w - 0.1166 h_w \varepsilon_p) (1 + 0.07866 N)$$

$$\begin{aligned}
C &= 520(1 - 0.000051\beta^2) \text{ สำหรับ } 0 < \beta < 70 \text{ กรณีที่ } \beta > 70 \text{ ให้ใช้ } \beta = 70 \\
e &= 0.430(1 - 100/T_{pm}) \\
\beta &= \text{มุมเอียง, องศา} \\
\varepsilon_g &= \text{ค่าการแผ่รังสีของกระจก (0.88)} \\
\varepsilon_p &= \text{ค่าการแผ่รังสีของแผ่นดูดกลืนรังสี} \\
T_a &= \text{อุณหภูมิแวดล้อม (°C)} \\
T_{pm} &= \text{อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดกลืนรังสี (°C)} \\
h_w &= \text{สัมประสิทธิ์ การพาความร้อนโดยลม (W/m²°C)}
\end{aligned}$$

สัมประสิทธิ์ การสูญเสียความร้อนด้านหลัง คำนวณได้จากสมการ

$$U_b = \frac{k_i}{L_{ib}} \quad (2.15)$$

เมื่อ k_i = ค่าการนำความร้อนของฉนวน (W/m² °C)
 L_{ib} = ความหนาของฉนวนด้านหลัง(m)

สัมประสิทธิ์ การสูญเสียความร้อนด้านข้าง คำนวณได้จากสมการ

$$U_e = \frac{(UA)_{edge}}{A_c} \quad (2.16)$$

เมื่อ A_c = พื้นที่ของตัวเก็บรังสี(m²)

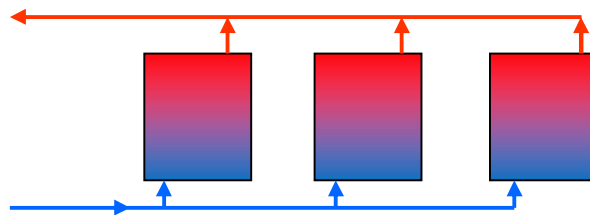
สัมประสิทธิ์ การสูญเสียความร้อนรวม คำนวณได้จากสมการ

$$U_L = U_t + U_b + U_c \quad (2.17)$$

2.3.6 การต่อวงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์

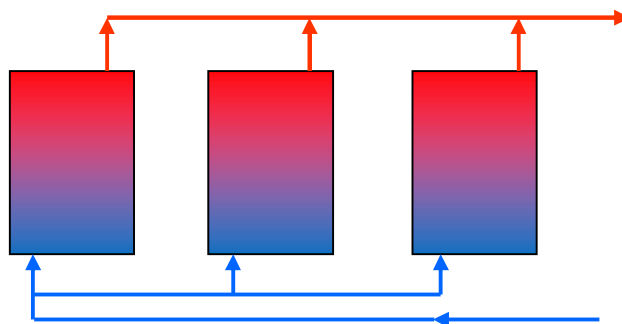
วงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ดีควรมีอัตราการไหลตลอดทั่วถึงเท่ากันทุกแผงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ซึ่งจะทำให้ทุกแผงทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและไม่เกิดส่วนที่ไม่ได้ใช้งาน (Dead Zone) ภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไม่ว่าจะเป็นการต่อวงจรแบบใด ควรประเมินขนาดของท่อต่างๆที่จะมีผลต่อไหลความร้อนและการจัดเรียงตัวเก็บรังสีอาทิตย์[8]

ก. การเชื่อมต่อวงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบขนาน ในทางทฤษฎีการเชื่อมต่อวงจรแบบขนานจะทำให้อัตราการไหลของของไหลถ่ายโอนความร้อนผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทุกแผงเท่ากัน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละชุดต้องมีอัตราการไหลของสารถ่ายโอนความร้อนไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด เพื่อป้องกันการเกิด Dead Zone และเพื่อให้มั่นใจว่าการไหลนั้นเป็นการไหลแบบปั่นป่วน(Turbulence) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งปกติอัตราการไหลมีค่าระหว่าง 40 - 80 ลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเมตรของตัวเก็บรังสีอาทิตย์(ขึ้นกับการออกแบบ) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบขนาน[4]

การต่อท่อขนานแบบ Tichelmann ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ใช้หลักการเดียวกันกับในวิศวกรรมความร้อนทั่วไปที่ให้การไหลของของเหลวไหลผ่านเครื่องทำความร้อนต้องเท่ากัน(Uniform Flow) การไหลของสารถ่ายโอนความร้อนในวงจรเดียวกันจะต้องมีระยะทางการไหลเท่ากัน ทำให้การสูญเสียความดันในท่อของวงจรเดียวกัน โดยยังไม่รวมความต้านทานที่เกิดจากพื้นผิวแต่ละท่ออาจเรียบไม่เท่ากันหรือจุดขัดขวางการไหล เช่น รอยเชื่อมต่อ



รูปที่ 2.10 การต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบขนานโดยวิธีTichelmann [8]

การไหลของสารถ่ายโอนความร้อนจะมีความสม่ำเสมอ ถ้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละชุดมีความต้านทานการไหลเท่ากันและต้องสูงกว่าความต้านทานการไหลของระบบท่ออย่างน้อย 3 เท่า ความต้านทานการไหลของอุปกรณ์อื่นๆ น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์และระบบท่อสำหรับระบบที่มีการไหลโดยแรงโน้มถ่วง การไหลที่เกิดขึ้นเป็นผลจากแรงลอยตัวของของไหลที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน จากรูป อุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เมื่อเทียบกับทางเข้าทำให้ของไหลในระบบเกิดการไหลขึ้นด้านบน

ข. การต่อวงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบอนุกรมสำหรับการเชื่อมต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบอนุกรม สารถ่ายโอนความร้อนจะไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทุกตัวต่อเนื่องกันไป ระบบที่จัดวางตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบอนุกรมจะมีอัตราการไหลค่อนข้างต่ำ ซึ่งปกติแล้วระบบลักษณะนี้จะมีอุณหภูมิใช้งานสูงส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลง ดังนั้น เพื่อให้ระบบสามารถผลิตความร้อนจากรังสีอาทิตย์ได้สูงขึ้น (ค่าสัดส่วนอาทิตย์สูงขึ้น) อัตราการไหลของของไหลในระบบต้องสูงขึ้น เช่น 15 ลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร อย่างไรก็ตาม การสูญเสียความดันในระบบจะเพิ่มตามด้วยทั้งนี้ อัตราการไหลของของไหลในระบบต้องควบคุมไม่ให้สูงเกินกว่าที่ผู้ผลิตกำหนดเช่นกัน สำหรับวงจรต่อแบบอนุกรม อัตราการไหลระบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Nominal Volumetric Field Flow Rate) นิยามด้วยอัตราการไหลทั้งหมดหารด้วยพื้นที่ทั้งหมดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.11

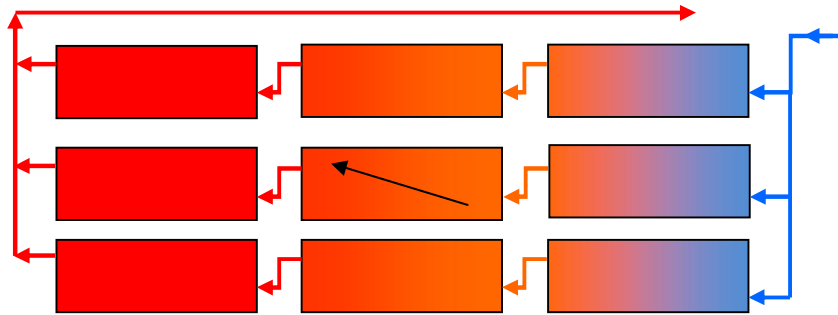


รูปที่ 2.11 การเชื่อมต่อตัวเก็บรังสีแบบอนุกรม [8]

สารถ่ายโอนความร้อนจะไหลผ่านทุกแถวของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ การสูญเสียความดันเป็นแบบสะสม โดยอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นจากด้านซ้ายมือล่าง (ทางเข้า) ไปด้านขวาบน (ทางออก) ในกรณีที่มีการเพิ่มของอุณหภูมิมีอัตราค่าที่ และแผงทุกตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละแผงถ่ายโอนความร้อนในปริมาณเท่าๆ กัน

ค. การต่อวงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสม เนื่องจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นเรียบในปัจจุบันสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิและอัตราการไหลสูง ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เหล่านี้จึงเหมาะกับการเชื่อมต่อขนาน ยิ่งกว่านั้น บางครั้งยังสามารถใช้งานได้ดีกับระบบที่มีอัตราการไหลต่ำ

การต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบขนานมีข้อจำกัด ดังนั้น การต่อวงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับระบบผลิตน้ำ ร้อนขนาดใหญ่จึงต้องผสมผสานการเชื่อมต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้งลักษณะอนุกรมและขนาน ดังแสดงในรูปที่ 2.12

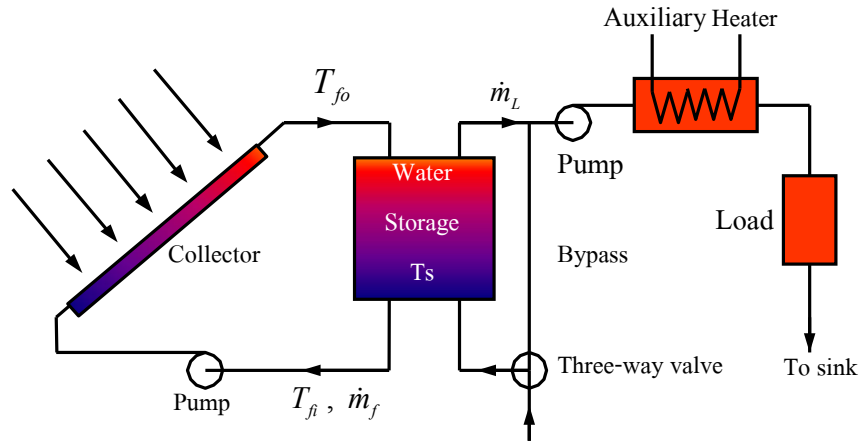


รูปที่ 2.12 การต่อวงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสม[9]

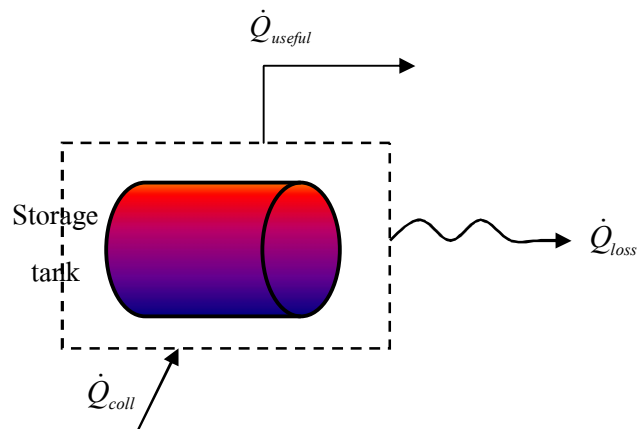
2.4 ถังเก็บน้ำร้อน [10]

ในระบบผลิตน้ำ ร้อนรังสีอาทิตย์จำเป็นต้องมีถังเก็บสะสมพลังงานความร้อน(Thermal Energy Storage) เพื่อใช้เก็บพลังงานไว้ใช้ในช่วงรังสีอาทิตย์ไม่เพียงพอเมื่อน้ำได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แล้วน้ำ จะมีอุณหภูมิสูงและจะเข้าไปเก็บไว้ในถังเก็บน้ำ ร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 2.14 โดยสมมุติให้ถังเก็บสะสมโดยให้มีอุณหภูมิสม่ำเสมอและไม่มีการแยกชั้นอุณหภูมิของน้ำ ภายในถัง (Non – Stratified Tank) ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการพิจารณา และสมมุติไม่มีการสะสมพลังงานในตัวเก็บรังสี อุณหภูมิ (T_s) คือ อุณหภูมิของน้ำ ในถังและเป็นอุณหภูมิของน้ำ ที่ไหลเข้าตัวเก็บรังสี ($T_s = T_f$) สมดุลพลังงานที่ถังเก็บสะสมสามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{pmatrix} \text{อัตราการสะสม} \\ \text{พลังงานในถังเก็บ} \\ \text{สะสมความร้อน} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{พลังงานรังสีอาทิตย์} \\ \text{ที่สามารถนำมา} \\ \text{ใช้ประโยชน์ได้} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{อัตราการสูญเสีย} \\ \text{พลังงานความร้อน} \\ \text{จากถัง} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{อัตราพลังงาน} \\ \text{ความร้อนที่ดึง} \\ \text{ออกจากถัง} \end{pmatrix}$$



รูปที่ 2.13 ระบบทำน้ำ ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ [5]



รูปที่ 2.14 สมดุลพลังงานที่เข้าและออกจากถังเก็บน้ำ ร้อน

$$(M_w C_p)_T \left(\frac{dT_s}{dt} \right) = (\dot{Q}_{coll} - \dot{Q}_{loss} - \dot{Q}_{useful}) \quad (2.18)$$

อาจจะใช้วิธีการเชิงตัวเลข(Numerical Techniques) โดยสามารถเขียนในรูป

$$T_{sf} = T_{si} + \frac{\Delta t}{(M_w C_p)_T} (\dot{Q}_{coll} - \dot{Q}_{loss} - \dot{Q}_{useful}) \quad (2.19)$$

$$\dot{Q}_{coll} = A_c [F_R (\tau \alpha)_e I_T - F_R U_L (T_{si} - T_a)] S_c \quad (2.20)$$

$$\dot{Q}_{loss} = (UA)_T (T_{si} - T_a) \quad (2.21)$$

$$\dot{Q}_{useful} = \dot{m}_L C_p (T_{si} - T_L) S_L \quad (2.22)$$

- เมื่อ $(M_w C_p)_T$ = ผลคูณของมวลและความจุความร้อนจำเพาะของน้ำในถัง (MJ/°C)
- T_{si}, T_{sf} = อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมที่เวลาเริ่มต้น และเวลาสุดท้ายของช่วงเวล(°C)
- Δt = ผลต่างช่วงระยะเวลา (hr)
- $\dot{m}_L$ = อัตราการใช้น้ำ (kg/hr)
- T_L = อุณหภูมิของน้ำที่เข้าไปแทนที่ในถังเก็บสะสม(°C)
- $(UA)_T$ = ผลคูณสัมประสิทธิ์ การสูญเสียความร้อนรวมและพื้นที่ผิวของถังเก็บสะสม (MJ/hr °C)
- S_c = คอนโทรลฟังก์ชัน เป็น 0 เมื่อพลังงานรังสีอาทิตย์ที่นำมาใช้ประโยชน์มีค่า 0 นอกเหนือจากนี้ เป็น 1
- S_L = คอนโทรลฟังก์ชัน เป็น 0 เมื่ออุณหภูมิ $T_{si} < T_L$ หรือเป็น 1 เมื่ออุณหภูมิ $T_{si} > T_L$

การหาค่าสัมประสิทธิ์ การสูญเสียความร้อนของถังเก็บน้ำ ร้อนขึ้นอยู่กับรูปร่างของถังเก็บน้ำ ร้อน ประเภทและความหนาของฉนวนที่ใช้ วัสดุที่ใช้ทำถังเก็บน้ำ ร้อนโดยค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียความร้อนนั้นเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของถังเก็บน้ำ ร้อนที่จะถ่ายโอนความร้อนของน้ำ ในถังสู่อากาศแวดล้อมต่ออุณหภูมิของน้ำ ในถังเก็บน้ำ ร้อนเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมซึ่งมีการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อน (Heat convection) การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ การสูญเสียความร้อนจะสามารถคำนวณได้จาก[11]

$$(UA)_{total} = (UA)_t + (UA)_b + (UA)_e \quad (2.23)$$

$$(UA)_{total} = \left(\frac{4\pi k}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} \right)_t + \left(\frac{4\pi k}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} \right)_b + \left(\frac{2\pi Lk}{\ln \left(\frac{r_1}{r_2} \right)} \right)_e \quad (2.24)$$

- เมื่อ $(UA)_{total}$ = ผลรวมของสัมประสิทธิ์ การสูญเสียความร้อนรวมจากถังและพื้นที่ผิวของถัง
- $(UA)_t$ = ผลรวมของสัมประสิทธิ์ การสูญเสียความร้อนและพื้นที่ผิวของถังด้านบนถัง
- $(UA)_b$ = ผลรวมของสัมประสิทธิ์ การสูญเสียความร้อนและพื้นที่ผิวของถังด้านล่างถัง
- $(UA)_e$ = ผลรวมของสัมประสิทธิ์ การสูญเสียความร้อนและพื้นที่ผิวของถังด้านข้างถัง
- K = ค่าการนำความร้อนของฉนวน ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
- r_1 = รัศมีของถัง (m)
- r_2 = รัศมีของถังรวมทั้งฉนวนด้านนอก(m)

2.4.1 หลักการออกแบบถังเก็บน้ำร้อน

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ในอาคารระบบมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีถังเก็บพลังงานความร้อนเพื่อให้มีปริมาณพอเพียงกับการใช้และเกิดการไหลเวียนในระบบ การเพิ่มถังเก็บน้ำ จะช่วยให้ถังน้ำร้อนได้หลายจุดพร้อมกันถังเก็บน้ำร้อนทำหน้าที่ อย่างคือ

- 1) เก็บพลังงานความร้อนไว้ใช้ในเวลาที่ต้องการเมื่อปราศจากรังสีอาทิตย์
- 2) ช่วยให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำงานได้อย่างเต็มที่และไม่ร้อนจนเกินไป ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานต่ำลง[9]

2.4.2 การเลือกชนิดถังเก็บน้ำร้อน

ถังเก็บน้ำร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

ก. ระบบถังชนิดไม่มีแรงดันถังชนิดนี้เหมาะสำหรับการหมุนเวียนของน้ำแบบธรรมชาติ แต่การติดตั้งถังน้ำร้อนจะต้องอยู่เหนือตัวเก็บรังสีอาทิตย์ใช้ลูกลอยในถังเป็นตัวคุมระดับน้ำ และตั้งอยู่ในส่วนสูงสุดของตัวอาคาร การใช้น้ำร้อนจะใช้วิธีปล่อยลงข้างล่างอย่างเดียว หากต้องติดตั้งถังน้ำร้อนไว้ต่ำกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้ใช้เครื่องสูบช่วยสูบหรืออัดขึ้นไปใช้ในส่วนต่างๆ ของอาคารที่อยู่เหนือถังเก็บน้ำร้อนการควบคุมระดับน้ำในถังน้ำร้อนใช้ลูกลอยเป็นตัวควบคุม

ข. ระบบถังชนิดมีความดันในตัวถังชนิดนี้จะมีน้ำอยู่เต็มถังและมีแรงดันในถังตลอดเวลา ไม่ต้องใช้ลูกลอยในถังเนื่องจากอาศัยแรงดันจากน้ำเย็นทำให้สามารถวางถังน้ำร้อนไว้ได้ในทุกส่วนของอาคาร การใช้น้ำร้อนในชั้นต่างๆ ของอาคาร ไม่ว่าจะสูงกว่าหรือต่ำกว่าระดับถังที่วางถังน้ำร้อนทำได้ง่ายเพราะแรงดันของน้ำร้อนที่ใช้ภายในตัวอาคารจะมีแรงดันเท่ากับแรงดันของน้ำเย็นที่เข้าไปในถังน้ำร้อนเป็นระบบที่สะดวกในการใช้สอยมากกว่า เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดในการติดตั้ง

การเปรียบเทียบข้อดี - ข้อเสียของถังน้ำร้อนทั้ง 2 ระบบ

1) ระบบถังไม่มีแรงดัน

ข้อดี ต้นทุนต่ำ

ผลิตน้ำร้อนจำนวนมากๆ ได้สะดวกรวดเร็ว

ข้อเสีย มีจุดอ่อนที่ลูกลอย เพราะอาจเกิดติดขัด หรือจมทำให้น้ำล้น หรือน้ำไม่ถึง

ตัวถังเก็บน้ำร้อนจะต้องอยู่ส่วนบนของอาคาร

มีสนิม หินปูนเกิดรวดเร็วกว่าระบบแรงดัน เพราะมีอากาศเข้ามาปะปนในถังเก็บน้ำร้อน

ทนแรงดันสูงไม่ได้

2) ระบบถังมีแรงดัน

ข้อดี ไม่มีข้อจำกัดเรื่องลูกลอย ไม่มีปัญหาน้ำ ล้นหรือน้ำ ไม่เข้าถึง
 ติดตั้งถังเก็บน้ำ ร้อนไว้สูงหรือต่ำกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ก็ได้
 ใช้ได้กับระบบน้ำ หมุนเวียนธรรมดาและชนิดมีเครื่องสูบอย่างสะดวก
 ไม่มีน้ำ หนักมากเกินไปบนหลังคา
 ทนแรงดันสูงๆ ได้
 ข้อเสีย ต้นทุนในการผลิตสูง
 ต้องใช้เทคโนโลยีในการผลิตสูงทำได้ยาก

2.4.3 ลักษณะการวางถังตั้ง– ถังนอน [7]

การเลือกลักษณะการวางถังเก็บน้ำ ร้อนที่เหมาะสมก็เป็นเหตุผลที่สำคัญในการติดตั้งเพื่อนำไปใช้งาน
 มีทั้งแบบเป็นถังตั้งและแบบถังนอน

ถังตั้ง คือถังที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าความยาวของถังและติดตั้งไว้ในแนวดิ่ง

ถังนอน คือถังทรงกระบอกที่ติดตั้งไว้ในแนวนอน

ถ้าเปรียบเทียบกันในด้านความสวยงามแล้ว ถังนอนจะดูสะอาดกว่าเมื่อติดตั้งไว้ในที่สูงเนื่องจากมีส่วนสูงไปในอากาศน้อยกว่าถังตั้ง แต่ถ้าพิจารณาในด้านการเก็บสะสมความร้อนและจ่ายพลังงานความร้อน (น้ำ ร้อน) หรือในด้านประโยชน์ที่ได้รับแล้ว ถังตั้งจะมีสมบัติดีกว่าถังนอนหลายด้าน ทั้งนี้เพราะโครงสร้างที่พื้นที่หน้าตัดที่น้อยกว่าถังนอน และมีส่วนตั้งซึ่งทำให้การแบ่งชั้นของน้ำ ร้อนเป็นไปได้ดี

ประสิทธิภาพภายในการจ่ายน้ำ ร้อนออกของถังตั้ง มีประมาณ 80 % นั่นคือ ในถังตั้งขนาด 1000 ลิตร จะสามารถจ่ายน้ำ ร้อนที่มีอุณหภูมิสูงออกใช้งานได้อย่างน้อย 800 ลิตร ก่อนที่น้ำ เย็นจะเข้าไปตีกววน ทำให้น้ำ ที่มีอุณหภูมิสูงสุดลดลงเรื่อยๆ จนกลายเป็นน้ำ เย็น ส่วนถังนอนจะมีประสิทธิภาพการจ่ายน้ำ ร้อนออกในลักษณะข้างต้นเพียงแค่ 500 ลิตร หรือ 50 % ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดภายในถังนอนมีมากกว่าถังตั้งหลายเท่า การตีกววนของน้ำ เย็นที่เติมเข้าไปในถังจึงมากกว่าอุณหภูมิของน้ำ ที่เก็บได้ในเวลากลางวันจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเกือบเท่ากันทั้งถังซึ่งเป็นจุดด้อยของถังนอน ผิดกับอุณหภูมิของน้ำ ที่ได้ในถังทรงตั้งเนื่องจากมีความสูงมากกว่าพื้นที่หน้าตัดของถัง น้ำ ร้อนมากในส่วนบนสุดของถัง น้ำ ร้อนที่จะออกไปใช้จะเป็นน้ำ ร้อนอุณหภูมิสูงที่สุด เป็นจุดเด่นที่ต้องการในระบบการผลิตน้ำ ร้อนรังสีอาทิตย์

2.4.4 การเลือกขนาดถังเก็บน้ำร้อน [12]

ขนาดถังเก็บน้ำร้อนที่นำมาต่อร่วมกับระบบจ่ายน้ำร้อนในอาคารต้องมีขนาดที่เหมาะสมจึงควรเลือกใช้ที่เหมาะสมและถูกต้องก่อนนำมาติดตั้ง ซึ่งมีข้อพิจารณาดังนี้คือ

- 1) ชนิดของอาคาร
- 2) ลักษณะของอาคาร
- 3) จำนวนผู้อยู่อาศัย
- 4) ความสามารถในการทำน้ำร้อนของเครื่องทำน้ำร้อน
- 5) ถังเก็บน้ำร้อนติดตั้งในแนวนอนหรือแนวตั้ง

ในทางปฏิบัติการหาขนาดถังเก็บน้ำร้อนจะใช้วิธีการประมาณได้จากจำนวนการใช้ต่อคน ปริมาณน้ำร้อนที่เหมาะสมและให้ความมั่นใจต่อการใช้งานอยู่ระหว่าง 7.6 – 38 ลิตรต่อชั่วโมงทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาคารที่ต้องติดตั้งระบบน้ำร้อนและจุดประสงค์ของการใช้น้ำร้อน

ปริมาณการใช้น้ำร้อนที่พอเพียงคน	โดยประมาณแบ่งตามชนิดอาคารดังนี้คือ
ชนิดอาคาร	ลิตร/คน/ชั่วโมง
โรงเรียน	7.6 - 11
สำนักงาน	15 - 19
อพาร์ทเมนต์	30
โรงแรม	30 - 38
โรงงาน	15 - 22.7
อาคารที่อยู่อาศัย	38

ปกติคนคนหนึ่งต้องการน้ำร้อนชำระล้างร่างกายในอัตราประมาณ 38 ลิตร/คน/ชั่วโมง ปริมาณการใช้น้ำร้อนจะไม่คงที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ดังนั้นจึงถือเอาค่าการใช้น้ำมาคิดใน วัน เป็นข้อพิจารณาจุดประสงค์หลักในการออกแบบหาปริมาณน้ำร้อนการติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนต้องคำนึงถึงการใช้น้ำร้อนสูงสุดซึ่งให้ประสิทธิภาพได้ตามต้องการ ข้อพิจารณาข้อแรกก่อนอื่นทั้งหมดประกอบด้วย

- 1) อัตราความต้องการใช้น้ำร้อนสูง
- 2) ช่วงระยะเวลาที่มีการใช้น้ำร้อนสูงสุด

จากข้อพิจารณา 2 ประการดังกล่าว ทำให้สามารถหาปริมาณความจุที่มากที่สุด ซึ่งเหมาะสมของเครื่องทำน้ำ ร้อน ถึงเก็บน้ำ ร้อนมาจัดเตรียมอุปกรณ์เพื่อทำน้ำ ร้อนและขนาดท่อต่างๆ ที่จะต่อไปยังอุปกรณ์ใช้งาน

ตารางที่ 2.1 อัตราการใช้น้ำ ร้อนโดยประมาณ[9]

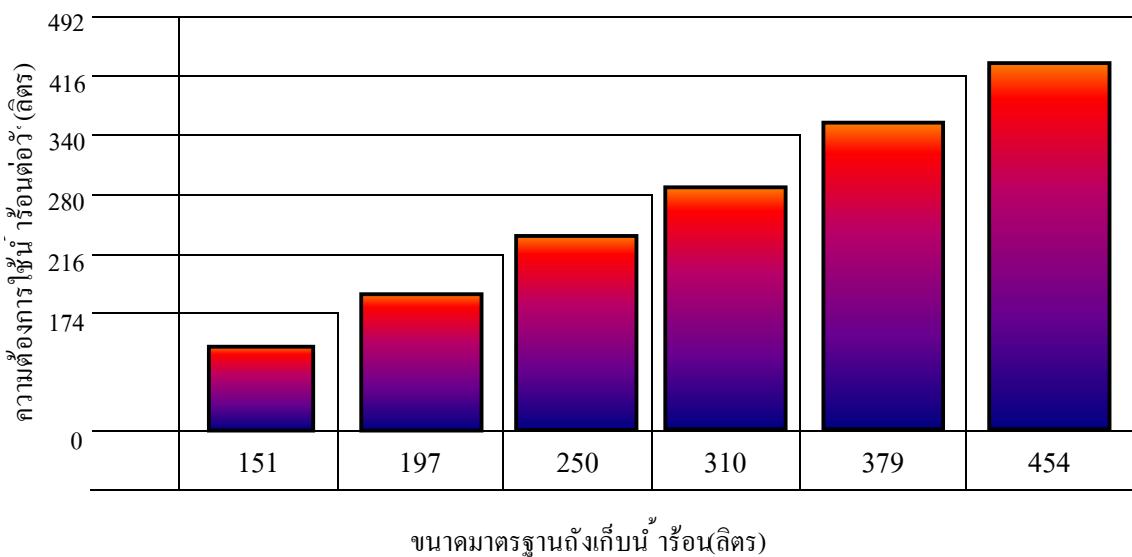
ชนิดอาคาร	ลิตรต่อชั่วโมง
โรงแรม	
- อ่างล้างมือหน้า	30
- ฝักบัว	284
- อ่างชำระล้าง	303
- อ่างล้างจาน	189-757
- แพลตฟอร์การใช้งาน	0.25
โรงพยาบาล	
- อ่างล้างมือหน้า	22.7
- ฝักบัว	284
- อ่างชำระล้าง	189-568
- แพลตฟอร์การใช้งาน	0.20
สำนักงาน	
- อ่างล้างมือหน้า	22.7
- อ่างชำระล้าง	57
- แพลตฟอร์การใช้งาน	0.30
อุตสาหกรรมการผลิต	
- อ่างล้างมือหน้า	22.7-45
- ฝักบัว	851.6
- อ่างชำระล้าง	75.7
- อ่างล้างจาน	75.7-378.5
- แพลตฟอร์การใช้งาน	0.40

สถิติการใช้น้ำ ดังกล่าวเป็นการใช้โดยเฉลี่ยเท่านั้น ส่วนความต้องการน้ำ ร้อนจะขึ้นอยู่กับการใช้งานของอุปกรณ์ การเลือกขนาดถึงเก็บน้ำ ร้อนนี้ ต้องพิจารณากันอย่างรอบคอบเสียก่อนเพื่อให้มีความเหมาะสม ประหยัด และเพียงพอต่อการใช้งาน เนื่องจากอาคาร สำนักงาน โรงงาน ฯลฯ มีความ

ต้องการใช้น้ำร้อนไม่เท่ากัน อุณหภูมิและขนาดความจุของเครื่องทำน้ำร้อนแตกต่างกันด้วยต้องอาศัยประสบการณ์และการตัดสินใจด้วย

2.4.5 ขนาดความจุถังเก็บน้ำร้อน

ขนาดถังน้ำร้อนที่ต่อรวมกับแผงเก็บรังสีอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้น้ำร้อนในหนึ่งวัน (ลิตร หรือแกลลอนต่อวัน) ความต้องการใช้น้ำร้อนจากตารางอัตราการใช้น้ำร้อนโดยประมาณ และนำปริมาณนั้นมาเปรียบเทียบกับตารางความจุถังมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 มาตรฐานถังเก็บน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์[9]

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของขนาดถังกับจำนวนของแผงรับรังสี[9]

ขนาดถังเก็บน้ำร้อน (ลิตร)	จำนวนแผงรับรังสี	ท่อน้ำร้อนไหลเวียน (นิ้ว)	ท่อน้ำเย็น (นิ้ว)
100	1	1	1
120	1	1	1
200	2	1	1

การต่อท่อระหว่างแผงรับรังสีอาทิตย์กับถังเก็บน้ำร้อนหรือส่วนอื่นๆ ต้องทนทานและมั่นใจต่อการรั่วไหลตัวต่อจะใช้โลหะหรือสายยางกับยูนิออนหรือข้อต่อ การเลือกใช้ท่อสายยางต้องง่ายสะดวกในการติดตั้งแต่อายุการใช้งานสั้นกว่าท่อโลหะ เช่น เหล็กเหนียวทองแดงท่อต่อทองแดงจะไม่นำมาต่อ

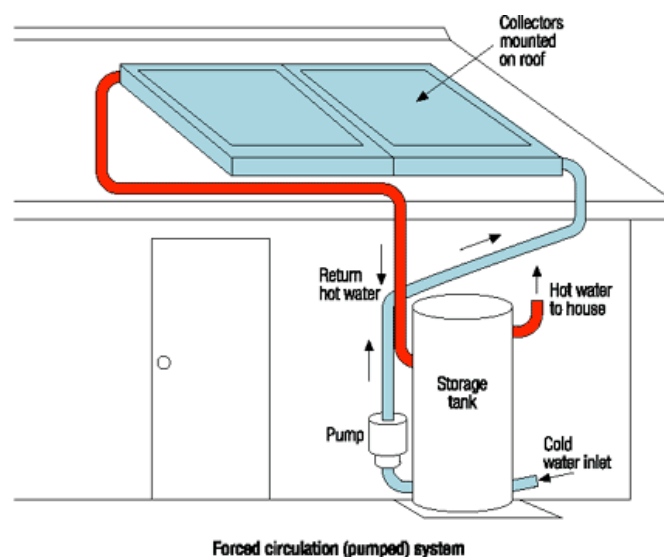
เข้ากับอุมิเนียมโดยตรงเพราะเกิดการกัดกร่อนปฏิกิริยาคือปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ควรใช้ข้อต่อชนิดไม่เป็นสื่อไฟฟ้า

2.5 การประเมินประสิทธิภาพระบบ

ในการประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนรังสีอาทิตย์นี้การทำงานของระบบสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ ตามลักษณะการหมุนเวียนของของไหลในระบบคือ

ก. การหมุนเวียนของของเหลวไหลตามธรรมชาติหรือเทอร์โมไซฟอน ระบบมีการหมุนเวียนของของเหลวไหลตามธรรมชาติ หมายถึง ระบบที่ของเหลวสามารถไหลได้โดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของของเหลว และความแตกต่างของความสูง ระบบนี้ มักจะมีขนาดเล็กส่วนประกอบต่างๆ ของระบบมีน้อยชิ้นและไม่ยุ่งยากในการบำรุงรักษา

ข. การหมุนเวียนของของเหลวไหลแบบพาสซีว ในระบบนี้ จะอาศัยปั๊มที่สามารถกำหนดอัตราการไหลได้ระบบแบบพาสซีวมักเป็นระบบใหญ่ประกอบด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์หลายสิบตัวหรือหลายร้อยตัว โดยปกติจะมีระบบท่อที่แจกแจงของเหลวไหลระหว่างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ท่อจะยาวมากน้อยเท่าไรขึ้นกับจำนวนตัวเก็บรังสี และการต่อกันระหว่างตัวเก็บรังสีไม่ถูกวิธีอาจทำให้อัตราการไหลของของเหลวไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นประสิทธิภาพระบบจึงขึ้นกับองค์ประกอบหลายอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.16 [13]



รูปที่ 2.16 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แบบพาสซีว[14]

พลังงานที่ใช้ประโยชน์ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แต่ละวันแบ่งออกได้ 2 อย่าง คือ

1) พลังงานที่นำไปใช้งาน

2) พลังงานที่สะสมในถังเก็บ

พลังงานความร้อนสะสมและที่ใช้ประโยชน์ได้ในแต่ละครั้ง

$$q_u = MC_p(T_{st} - T_{sf}) + m'C_p(T_{so} - T_{si}) \quad (2.25)$$

เมื่อ m' คือ อัตราการถ่ายโอนน้ำร้อนไปใช้งาน (kg/hr)
ถ้ามีการใช้น้ำร้อน n ครั้งจะได้

$$q_u = (MC_p)(T_{st} - T_{sf}) + \sum_1^n m'C_p(T_{so} - T_{si}) \quad (2.26)$$

เมื่อ q_u คือ ปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ของระบบผลิตน้ำร้อน (kg/hr)
 T_{st} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนในถังเก็บในชั่วโมงสุดท้าย(°C)
 n คือ จำนวนชั่วโมงที่ทำการทดสอบในแต่ละวัน(hr)

ประสิทธิภาพระบบเฉลี่ยทั้งวัน

$$= \frac{\text{พลังงานที่นำไปใช้งาน} + \text{พลังงานสุดท้ายที่สะสมในถังเก็บความร้อน} - \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ}}{\text{พลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์}}$$

$$\eta_s = \frac{\sum_1^n m'C_p(T_{so} - T_{si}) + MC_p(T_{st} - T_{sf}) - q_E}{I_t A_c} \quad (2.27)$$

$$\eta_s = \frac{q_u - q_E}{I_t A_c} \quad (2.28)$$

เมื่อ A_c คือ พื้นที่รับรังสีทั้งหมด(m²)
 C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg °C)
 T_{sf} คือ อุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าสู่ถังเก็บในชั่วโมงสุดท้าย(°C)
 T_{si} คือ อุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่ถังเก็บ(°C)
 T_{so} คือ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากถังเก็บ(°C)
 q_E คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ1 kWhr เท่ากับ 3600 kJ
 I_t คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับรังสี (MJ/m²-day)

- M คือ ปริมาณน้ำ ร้อนที่ยังเหลืออยู่ในถังเก็บร้อน (kg)
 m' คือ อัตราการใช้น้ำ ร้อนในถังเก็บร้อนต่อชั่วโมง(kg/hr)
 η_s คือ ประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำ ร้อนรังสีอาทิตย์

2.6 ระบบความร้อนเสริม [7]

ระบบผลิตน้ำ ร้อนเสริมจาก “เครื่องทำน้ำ ร้อน ให้กับระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ในส่วน ของถังเก็บน้ำ ร้อน เป็นระบบผลิตน้ำ ร้อนเสริมในช่วงเวลาที่ระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ไม่ สามารถผลิตน้ำ ร้อนได้เพียงพอต่อการใช้งาน ช่วงเวลาที่ไม่สามารถผลิตน้ำ ร้อนได้และช่วงเวลาที่ ผลิตน้ำ ร้อนได้แต่อุณหภูมิ น้ำ ร้อนต่ำกว่าระดับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ที่เหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อให้ระบบ ผลิตน้ำ ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์มีน้ำ ร้อนใช้ตลอดเวลาชนิดเครื่องทำน้ำ ร้อนแบ่งออกตามการใช้ เชื้อเพลิงดังนี้คือแก๊ส ไฟฟ้า น้ำมัน เป็นต้นโดยส่วนใหญ่ระบบความร้อนเสริมของระบบผลิตน้ำ ร้อน พลังงานรังสีอาทิตย์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นระบบความร้อนเสริมที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

2.6.1 ชนิดเครื่องทำน้ำ ร้อน

เครื่องทำน้ำ ร้อนแบ่งได้ตามการรับความร้อนโดยตรงกับโดยอ้อม และมีลักษณะการรับความร้อนดังนี้

- 1) เครื่องทำน้ำ ร้อนชนิดหม้อต้ม
- 2) เครื่องทำน้ำ ร้อนชนิดน้ำ ผ่าน

เครื่องทำน้ำ ร้อนชนิดน้ำ ผ่านจะปล่อยให้ไหลผ่านแล้วร้อนทันทีที่ท่อจ่ายน้ำ ร้อนจะจ่ายจากเครื่องไป ยังสุขภัณฑ์โดยตรง ส่วนชนิดหม้อต้มต้องมีถังเก็บน้ำ ร้อนอีกทีหนึ่ง น้ำ ร้อนจะได้รับความร้อนจาก คอยล์ร้อนในหม้อต้มแล้วไหลเวียนเข้าไปยังถังเก็บน้ำ ร้อน เครื่องทำน้ำ ร้อนเหล่านี้มีการเลือกวิธีทำ ความร้อนและชนิดเครื่องทำน้ำ ร้อน เพื่อนำมาติดตั้งมีองค์ประกอบที่จะพิจารณาดังนี้

- 1) เชื้อเพลิงที่ใช้ต้องหาง่ายราคาถูก
- 2) ราคาเครื่องทำน้ำ ร้อนไม่แพงเกินไป
- 3) พิกัดความสามารถในการทำน้ำ ร้อนของเครื่องทำน้ำ ร้อน
- 4) อุณหภูมิของน้ำ ที่จะทำให้ความร้อน
- 5) ความกระด้างของน้ำ

องค์ประกอบแต่ละข้อต้องนำมาถ่วงกันก่อนตัดสินใจเลือกวิธีทำน้ำ ร้อนและชนิดเครื่องทำน้ำ ร้อน ที่ต้องการนำมาใช้ อุณหภูมิและความกระด้างของน้ำ ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก เมื่อติดตั้งเครื่องใน

บริเวณที่น้ำ กระด้างอุณหภูมิที่ใช้เกิน 65°C มีผลให้หินปูนและเกลือแมกนีเซียมในน้ำ ตกตะกอนเป็น ตะกรันเกาะติดผิวรับความร้อน ซึ่งจะลดประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนให้แก่ น้ำ เร่งเวลาการ อุดตันช่องน้ำ ้ำไหลในท่อคอยล์ เป็นผลให้แตกร้าหรือไหม้ทะลุผิวรับความร้อน เพื่อป้องกันหรือลด การเกิดกรณีดังกล่าวให้เหลือน้อยที่สุด ต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้อุณหภูมิ น้ำเกินกว่า 60°C หรือน้ำ ้ำที่จ่าย สู่เครื่องทำน้ำ ้ำร้อนผ่านเครื่องทำน้ำ ้ำอ่อนเสียก่อนหรือเลือกใช้หลักการทำงาน ้ำร้อน ี้ออม[9]

2.6.2 เครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้า

เครื่องทำน้ำ ้ำร้อนใช้ไฟฟ้า มีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องทำน้ำ ้ำร้อนใช้แก๊สแตกต่างกันเฉพาะใน ส่วนประกอบเท่านั้น เครื่องทำน้ำ ้ำร้อนใช้ไฟฟ้าเป็นเครื่องที่สะอาดไม่มีปล่องระบายควันจากการเผา ้าไหม้ ออก พลังงานหาง่าย สิ้นเปลืองค่าโสหุ้ยต่ำ ้ำไม่เปลืองสถานที่ติดตั้งและมีประสิทธิภาพสูงถึง 80% - 90% ดังนั้นเครื่องทำน้ำ ้ำร้อนใช้ไฟฟ้าจึงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในอาคารที่อยู่อาศัย เครื่องทำน้ำ ้ำร้อนมีหลายลักษณะแต่ก็ใช้ขดลวดความต้านทานให้ความร้อนเช่นเดียวกัน กระแสไฟฟ้าที่ไหล ผ่านจะทำให้เกิดความร้อนและถูกถ่ายโอนความร้อนสู่น้ำ ้ำที่ขดลวดจุ่มอยู่ หลักการทำงาน กระแสไฟฟ้าเป็นพลังงานอีกชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ทำน้ำ ้ำขึ้นกันมาก น้ำ ้ำจะร้อนเมื่อปล่อย กระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดความต้านทานที่จุ่มอยู่ในหม้อต้ม ขดลวดความต้านทานจุ่มอยู่ภายในส่วน ภายนอกหม้อต้มมีฉนวนหุ้มเอาไว้เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนไปจากน้ำ ้ำที่ร้อน น้ำ ้ำที่ร้อนจะ ต่ออยู่ส่วนล่างของหม้อใกล้กับขดลวดความต้านทานและจัดให้น้ำ ้ำหมุนวนรอบๆ ขดลวดจะได้ร้อน เร็วขึ้น การควบคุมปริมาณความร้อน ทำโดยผู้ใช้คือหมุนปรับที่ติดอยู่ด้านนอกของเครื่อง ขนาด เครื่องทำน้ำ ้ำร้อนด้วยไฟฟ้ามี 1 กิโลวัตต์ 2 กิโลวัตต์ และ 3 กิโลวัตต์มีความต้องการกระแสไฟฟ้าราว 15 แอมแปร์ ซึ่งเป็นภาระต่อวงจรไฟฟ้าในอาคารมากหากเลือกเครื่องทำน้ำ ้ำร้อนขนาด 3 กิโลวัตต์ จะ ใช้กับวงจรในบ้านเพียงเครื่องเดียวเท่านั้น

เมื่อ I เป็นกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าขดลวดความต้านทาน ปริมาณแอมแปร์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าแทนด้วย U ปริมาณโวลต์เตจ และใช้สำหรับเครื่องทำน้ำ ้ำร้อน 220 โวลต์ กำลังไฟฟ้า P วัตต์ ดังนั้น

$$P = V \times I$$

$$\text{วัตต์} = \text{โวลต์} \times \text{แอมแปร์}$$

ตัวอย่างการคำนวณถ้าเครื่องทำน้ำ ้ำร้อนใช้กระแส 10 แอมแปร์ และแรงเคลื่อน 220 โวลต์

$$P = 220 \times 10$$

$$= 2200 \text{ วัตต์} = 2.2 \text{ กิโลวัตต์}$$

กำลังไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง(kWh) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในเวลา ชั่วโมง กระแส 1 วัตต์ ทำให้เกิดความร้อน 0.24 แคลลอรี ในเวลา 1 ชั่วโมงเพราะฉะนั้นกำลังไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ ในชั่วโมง จะให้ปริมาณความร้อน (1kWh) เท่ากับ $0.24 \times 3,600$ เท่ากับ 860 กิโลแคลลอรี หากเปลี่ยนเป็นหน่วย เอสไอ จะได้ค่าประมาณความร้อนหรือพลังงานความร้อน 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง เท่ากับ $1,000 \times 3,600 \times W \times S$ เท่ากับ 3,600,000 J/S หรือ กิโลวัตต์ชั่วโมง เท่ากับ 3,600 กิโลจูลต่อชั่วโมง และ ปริมาณ ความร้อน 4.186 กิโลจูล ทำให้น้ำ 1 ลิตร (1 กก.) มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C ต้องใช้ปริมาณความร้อน 4.189 กิโลจูล ดังนั้นหากกำลัง กิโลวัตต์ ปล่อยไว้เป็นเวลา ชั่วโมงทำให้น้ำ ปริมาณ 8,600 กิโลจูล ต่อชั่วโมง / 4.186 กิโลจูลต่อชั่วโมง เท่ากับ 860 ลิตร มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C ต่อชั่วโมงหรือถ้า ต้องการให้น้ำ มีอุณหภูมิ 55°C ต่อชั่วโมง น้ำ จะมีปริมาณเท่ากับ $860/55$ เท่ากับ 15.6 ลิตร

ในทางปฏิบัติแล้วปริมาณความร้อนจะสูญเสียจากเครื่องทำน้ำ ร้อนโดยผ่านผนังหม้อต้มแต่มีปริมาณ น้อยมากประมาณว่าปริมาณความร้อนที่คงเหลืออยู่จริงในน้ำ หากใช้กำลังไฟฟ้าไป 1 กิโลวัตต์ต่อ ชั่วโมง เท่ากับ 730 กิโลแคลลอรี หรือ 730×4.186 กิโลจูล เท่ากับ 3,058 กิโลจูล บางชนิดอาจมีความ ร้อนคงอยู่ถึง 760 กิโลแคลลอรี หรือ 760×4.186 เท่ากับ 3181 กิโลจูล เครื่องทำน้ำ ร้อนขนาด กิโลวัตต์ ความจุ 140 ลิตร เหมาะกับครอบครัวขนาดเล็กหากต้องการให้น้ำ ร้อนถึง 55°C ต้องใช้ เวลาต้มราว 3.5 ชั่วโมง ปริมาณน้ำ ถึงจะพอเพียงกับการใช้งาน

ตัวอย่างการคำนวณถ้าต้องการให้น้ำ 10 ลิตร มีอุณหภูมิเพิ่มจาก $10 - 85^{\circ}\text{C}$ จงหาปริมาณความร้อนที่น้ำ ได้รับและกระแสไฟฟ้าที่ใช้

$$\text{วิธีทำ} \quad Q = \frac{4.186G(T_2 - T_1)}{\eta_E} \quad \text{kJ}$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อน (kJ)
 G = ปริมาณน้ำ ที่ต้องทำให้ร้อน(ลิตร)
 T_2, T_1 = อุณหภูมิสุดท้ายและเริ่มต้นของน้ำ ($^{\circ}\text{C}$)
 η_E = ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำ ร้อนประมาณ 90%

1) ปริมาณความร้อนที่น้ำ ได้รับ

$$\begin{aligned} Q &= [4.186 \times 10 \times (85 - 10)] / 0.9 \\ &= 3488 \quad \text{kJ} \end{aligned}$$

2) กระแสไฟฟ้าที่ใช้ไป

$$\begin{aligned}
 P &= Q/3600 && \text{kW} \\
 &= 3488/3600 && \text{kJ/s} \\
 &= 0.97 \text{ กิโลวัตต์} \sim 1 \text{ กิโลวัตต์}
 \end{aligned}$$

2.7 การใช้น้ำร้อนในอาคาร [9]

น้ำร้อนจะนำมาใช้กับเครื่องสุขภัณฑ์มากพอๆ กับน้ำเย็นเพราะให้ประโยชน์ต่อการใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศหนาว จึงต้องการน้ำร้อนเพื่อให้ความอบอุ่นภายในอาคาร นอกจากนั้นน้ำร้อนยังถูกนำไปใช้กับเครื่องซักผ้า เครื่องล้างจาน เพื่อความสะดวกและประสิทธิภาพในการล้างคราบไขมันต่างๆ ได้ดีกว่าน้ำเย็น[9]

2.7.1 ประโยชน์ของน้ำร้อน

ประโยชน์ของน้ำร้อนที่นำมาใช้กับระบบท่อสุขภัณฑ์พอจะแบ่งออกได้ดังนี้

- 1) กรณีเป็นน้ำอุ่นอุณหภูมิของน้ำอุ่นจะถูกผสมระหว่างน้ำเย็นและน้ำร้อนหรือน้ำอุ่นโดยไหลผ่านเครื่องทำน้ำร้อนซึ่งสามารถใช้อาบ-ล้างมือ-ล้างหน้า ได้ราว 35 °C การอาบน้ำและแช่น้ำอุ่นนานๆ จะทำให้รูขุมขนขยายตัวมากขึ้น การขับถ่ายของเสียจากร่างกายได้ดี ผ่อนคลายความตึงเครียดของกล้ามเนื้อและคลายปวดเมื่อย การไหลเวียนของโลหิตดีขึ้น ลดความหยาบกร้านของผิวหนังผิวพรรณสวยงาม สรุปแล้วการอาบน้ำอุ่นมีผลดีต่อสุขภาพพลานามัยอย่างยิ่ง
- 2) กรณีเป็นน้ำร้อนอุณหภูมิสูงสุดราว 80 °C ถูกนำมาใช้กับระบบทำความร้อนในอาคาร โดยเฉพาะประเทศที่มีอากาศหนาว ใช้ในการซักผ้า ล้างจานฆ่าเชื้อโรค ประกอบอาหารและกิจกรรมอื่นๆ ตามต้องการ

ตามที่กล่าวมาพบว่าน้ำร้อนให้ประโยชน์อ่ข่งมากมายต่อผู้อยู่อาศัยในอาคาร ก่อให้เกิดความสะดวกสบาย มีสุขภาพอนามัยที่ดี สำหรับประเทศไทยการติดตั้งระบบน้ำร้อนยังไม่แพร่หลายนัก ส่วนมากจะอยู่ตามโรงแรม โรงพยาบาล อพาร์ทเมนต์ โรงซักกรีด ภัตตาคาร หรือสถานบริการบางประเภท อนาคตเชื่อว่าน้ำร้อนคงเข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตความเป็นอยู่อาศัยของผู้ใช้มากขึ้นตามลำดับ เพราะเครื่องทำน้ำร้อนเป็นสุขภัณฑ์อันหนึ่งที่ขาดไม่ได้

2.8 ระบบควบคุมการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

ระบบควบคุมเป็นส่วนสำคัญของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์เพื่อให้ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพ เป็นระบบควบคุมการทำงานของ ปั๊มน้ำ เครื่องทำน้ำร้อน รวมถึงระบบความปลอดภัย มีการตรวจวัดไฟฟ้าเมื่อระบบมีปัญหา และมีสัญญาณไฟแจ้งเตือนหยุดการทำงานการควบคุมการทำงานสามารถแบ่งเป็น 3 ระบบย่อย

2.8.1 ระบบการหมุนเวียนของน้ำไปถ่ายโอนความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Circulate)

เป็นระบบหมุนเวียนน้ำในถังน้ำร้อนไปรับความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ มีปั๊มน้ำเป็นอุปกรณ์ในการหมุนเวียนน้ำควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำ ด้วย Universal Electronic Controller และ Photo Cell Switch ควบคุมการทำงานเฉพาะช่วงเวลากลางวัน เพราะการทำงานในช่วงกลางคืนอุณหภูมิที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่ำกว่าน้ำในถังทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนหลักการทำงานของปั๊มน้ำ จะทำงานเมื่อผลต่างอุณหภูมิ ($5^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$) ระหว่างน้ำในถังน้ำร้อนกับน้ำร้อนที่ท่อรวมน้ำด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และหยุดการทำงานที่ผลต่างอุณหภูมิ ($2^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}$) การปรับตั้งค่านี้ขึ้นกับลักษณะภูมิอากาศแต่ละพื้นที่ ช่วงฤดูกาล ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละชนิด เพื่อให้ระบบนำความร้อนมาใช้งานได้มากที่สุด

2.8.2 ระบบหมุนเวียนน้ำจ่ายไปใช้งาน (Return)

เป็นระบบหมุนเวียนน้ำร้อนในท่อหลักที่จ่ายน้ำร้อนไปใช้งานตามจุดต่างๆ กลับมาที่ถังน้ำร้อน เพื่อให้ น้ำร้อนพร้อมใช้งาน มีปั๊มน้ำเป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานด้วย Timer Switch 2 ตัว สามารถตั้งเวลาทำงานได้ทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืน หลักการทำงานของ Timer Switch ตัวที่ 1 ตั้งเวลาเป็น (นาฬิกา) ให้ปั๊มน้ำทำงานและ Timer Switch ตัวที่ 2 ตั้งเวลาเป็น (วินาที, นาที, ชั่วโมง) ให้ปั๊มหยุดทำงานเช่น Timer Switch ตัวที่ 1 ตั้งเวลาที่ 07.30 น. และ Timer Switch ตัวที่ 2 ตั้งเวลา 1 นาที ปั๊มน้ำเริ่มทำงานที่เวลา 07.30 น. และหยุดทำงานที่เวลา 07.31 น. การตั้ง Timer Switch ควบคุมการทำงานระบบ Return ต้องศึกษาพฤติกรรมช่วงเวลาการใช้น้ำร้อนและตั้งเวลาทำงานให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงของผู้ใช้น้ำร้อนเพื่อช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

2.8.3 ระบบความร้อนเสริม (Heater)

เป็นระบบผลิตความร้อนเสริม โดยการหมุนเวียนน้ำในถังน้ำร้อนไปเพิ่มอุณหภูมิที่เครื่องทำน้ำร้อน แล้ววนกลับมาเติมในถังน้ำร้อน มีปั๊มน้ำและเครื่องทำน้ำร้อนเป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานด้วย

Timer Switch และ เทอร์มอสแตต ทำงานร่วมกัน โดยสามารถกำหนดเวลาให้ทำงานได้ทั้งในเวลา กลางวันและกลางคืน หลักการทำงานของ Timer Switch คือควบคุมการทำงานปั๊มน้ำ และเครื่องทำน้ำ ร้อน เป็นช่วงเวลา ส่วนเทอร์มอสแตตควบคุมการทำงาน ปั๊มน้ำ และเครื่องทำน้ำ ร้อนโดยการวัด อุณหภูมิของน้ำ ร้อนภายในถังเก็บเพื่อตัดต่อการทำงานเช่น กำหนดช่วงเวลาทำงาน 21.00น.-21.30น. ระบบความร้อนเสริมพร้อมทำงาน แต่ระบบ จะทำงานหรือไม่ทำงานขึ้นอยู่กับเทอร์มอสแตตจะ ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ร้อนภายในถังนี้ ร้อนว่าถึงอุณหภูมิที่กำหนดแล้วหรือไม่ กรณีนี้ น้ำร้อนในถัง นี้ ร้อนมีอุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่กำหนดระบบความร้อนเสริม ก็จะทำงานและในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิ นี้ ร้อนถึงค่าที่กำหนดก่อนช่วงเวลาที่กำหนดไว้ระบบความร้อนเสริมจะหยุดทำงาน กรณีถึงช่วงการ ทำงานแต่อุณหภูมินี้ ร้อนสูงกว่าค่าที่กำหนด ระบบความร้อนเสริมจะไม่ทำงาน

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประวิทย์ ถิระแก้ว [14] ได้ศึกษาสมรรถภาพของระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ กระจกสองชั้น เปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่ใช้แผ่นทองแดงและท่อ ทองแดง กับแผ่นอลูมิเนียมโนโดไซด์สีดำและท่อทองแดง โดยทั้ง 2 แบบ มีขนาดพื้นที่ 1.44 ตาราง เมตร มีถังสะสมความร้อนขนาด 127 ลิตร ใช้ต้นทุนในการสร้างเครื่องทำน้ำ ร้อนดัดแปลงแบบแผ่น ทองแดง 5,135 บาท และแบบแผ่นอลูมิเนียม 4,394 บาท ปรากฏว่า เครื่องผลิตน้ำ ร้อนมีประสิทธิภาพ เฉลี่ยทั้งปีประมาณ 39.5% และ 37.5% ลำดับจากการประเมินผลด้านความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์ เครื่องผลิตน้ำ ร้อนแบบตัวเก็บรังสีแผ่นอลูมิเนียมมีความคุ้มค่ามากกว่า

Hobbi และ Siddiqui [15] ศึกษาการออกแบบการไหลเวียนของระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ แบบบังคับสำหรับหน่วยที่อาศัยอยู่ในสภาพอากาศที่หนาวเย็นโดยใช้โปรแกรม TRNSYS การ ไหลเวียนของพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับของระบบทำน้ำ ร้อน โดยใช้แผ่นเก็บแบบเป็น แบบจำลองเพื่อใช้ความต้องการน้ำ ร้อนในประเทศของหน่วยที่อยู่อาศัยของครอบครัวเคียนประเทศ แคนาดา พารามิเตอร์การออกแบบทั้งหมดที่จำเป็นจะศึกษาและค่าที่นิยมใช้จะถูกกำหนดโดยใช้เป็น พารามิเตอร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพ พารามิเตอร์การออกแบบของทั้งสองระบบและการปรับความ ร้อนสะสมที่ได้รับให้เหมาะสมกับพื้นที่อัตราการไหลของมวลถึงเก็บปริมาณและความสูง ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนขนาดและระยะเวลาของการเชื่อมต่อท่อคู่ควบแผ่นและความหนา จำนวนและขนาดท่อไรเซอร์ ระยะห่างท่อและอัตราส่วนของสะสม ผลลัพธ์ที่แสดงให้เห็นโดยใช้ พลังงานแสงอาทิตย์ระบบที่ออกแบบสามารถให้ประสิทธิภาพ 83-97% และ 30-62% ของ น้ำ ร้อน ตามความต้องการในฤดูร้อนและฤดูหนาวตามลำดับ

Soponronnarit และ Noparatanakailas [16] ได้ศึกษาหาระยะห่างลวดรัศระหว่างท่อของไหลกับแผ่นดูดกลืนรังสีที่เหมาะสมที่สุดเชิงเศรษฐศาสตร์ของตัวเก็บรังสีแผ่นเรียบแบบครีบลอย โดยทำการทดสอบกลางแจ้งตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 ผลการทดสอบระยะลวดรัศ 4 ค่า คือ 65, 130, 195 และ 390 mm. พบว่า ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีลดลงเมื่อระยะลวดรัศเพิ่มขึ้นในขณะเดียวกันกับค่าแรงงานในการลัดลวดก็ลดลงด้วย โดยการพิจารณาราคาของพลังงานที่ได้รับจากตัวเก็บรังสีที่ต่ำที่สุด พบว่าระยะห่างระหว่างลวดรัศที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.07 m.

Govind และ Shireesh [17] และ คณะ ศึกษาแนวทางในการออกแบบระบบน้ำ ร้อนรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการออกแบบที่แตกต่างกันเพื่อหาการออกแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด และใช้ค่า solar fraction ในการพิจารณาด้วย ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบน้ำ ร้อนรังสีอาทิตย์

ชาญวิทย์ วุฒิวงสานนท์ [1] ศึกษาการพัฒนาระบบผลิตน้ำ ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แบบประหยัด ทำการออกแบบและสร้างตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบให้มีราคาประหยัด โดยนำชุดระบายความร้อนของระบบปรับอากาศรถยนต์มาประยุกต์เป็นตัวดูดรังสี ชุดระบายความร้อนแต่ละตัวมีขนาด $0.35 \text{ m} \times 0.53 \text{ m}$ จำนวนทั้งหมด 10 ตัว โดยนำมาต่อแบบผสมผสานเป็นแบบอนุกรมและแบบขนานร่วมกัน โดยต่อแบบขนาน 2 แถว ต่อแบบอนุกรมแถวละ 5 ตัว ขนาดพื้นที่รับรังสีที่ทำการทดสอบ 2.46 m^2 กรณีที่ ทำการทดสอบกลางแจ้ง โดยใช้มาตรฐาน ASHARE 93-77 กรณีที่ 2 ทำการทดสอบกลางแจ้ง ด้วยน้ำ น้ำเย็นป้อนเข้าผสมในช่วงที่ต่ออนุกรม พบว่า มีค่า $F_R(\tau\alpha)_e = 0.693$ และค่า $F_R U_L = 7.1764 \text{ W/ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ กรณีที่ 2 พบว่ามีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $(F_R U_L)$ ของตัวที่ 2 กับ 3 มีค่าประมาณ 0.6984 และ $6.8086 \text{ W/ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $(F_R U_L)$ ของตัวที่ 3 กับ 4 มีค่าประมาณ 0.6971 และ $6.7649 \text{ W/ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $(F_R U_L)$ ของตัวที่ 4 กับ 5 มีค่าประมาณ 0.6935 และ $6.763 \text{ W/ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการป้อนน้ำเย็นเข้าผสมในตั้เก็บรังสีจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ การสูญเสียความร้อนรวมลดลงจึงทำให้สมรรถนะสูงขึ้น จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพระบบ ต้นทุนพลังงานที่ผลิตได้ และระยะเวลาคืนทุน ของระบบทำน้ำ ร้อนที่ 3 ระบบ โดยระบบที่ 1 ใช้ตัวเก็บรังสีที่ทำการทดสอบกรณีที่ 1 ระบบที่ 2 ใช้ตัวเก็บรังสีที่นำน้ำเย็นป้อนเข้าตัวดูดรังสีตัวที่ 2 กับ 3 ที่อัตราการไหล 10 % ของอัตราการไหลที่ออกจากตัวเก็บรังสี และ ระบบที่ 3 ใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบที่ผลิตขายในประเทศ จากการเปรียบเทียบพบว่า สมรรถนะระบบที่ 1, 2 และ 3 มีค่าประมาณ 2.98, 2.96 และ 5.07 บาท/kWh ระยะเวลาคืนทุนของระบบที่ 1, 2 และ 3 มีค่าประมาณ 3.06, 3.05 และ 5.24 ปี การนำเทคนิคการคำนวณปรับค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $(F_R U_L)$ ในกรณีที่มีการต่อแบบอนุกรมสามารถนำมาใช้ในการคำนวณคุณลักษณะของตัวเก็บรังสีได้

Kiatsiroat และ คณะ [4] ได้ทำการศึกษาปัญหาและอุปสรรคของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ภายในประเทศไทย โดยได้สำรวจข้อมูลการติดตั้งจากโรงพยาบาลและโรงแรมทั่วไปที่ใช้ น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 - 60 °C ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ โดยใช้เครื่องสูบน้ำในระบบและ ทำการสรุปปัญหาต่างๆที่สำคัญคือตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจะเกิดละอองน้ำ ภายในตัวแผง รับรังสีอาทิตย์ ส่วนถังเก็บน้ำ ร้อนจะเกิดการเสื่อมสภาพจนวนกิดสนิม และระบบท่อน้ำ ร้อนภายใน ท่อจะเกิดการอุดตันของตะกอน อีกทั้งยังสูญเสียความร้อนภายในถังเก็บน้ำ และท่อน้ำ ร้อน สู่สิ่งแวดล้อมส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตน้ำ ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบลดลง ทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆเพิ่มขึ้น