

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาการปรับตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัด มีความจำเป็นต้องเข้าใจถึงทฤษฎีในเรื่องการออกแบบ การควบคุม หลักการทำงานของระบบฯ และการปรับตั้งระบบให้เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อจะได้นำทฤษฎีและหลักการ มาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์เพื่อปรับตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดและเหมาะสมกับการใช้งาน

2.1 รังสีอาทิตย์

2.1.1 รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลก (จงจิตร หิรัญลาภ, 2548)

รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ ดังนี้

(ก) รังสีตรง (Beam or Direct Radiation) รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง ตกลงบนผิวรับรังสี มีทิศทางแน่นอนที่เวลาหนึ่งเวลาใด ทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวเส้นแสงอาทิตย์ เครื่องมือที่ใช้วัดรังสีตรงคือ ไพเฮลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer)

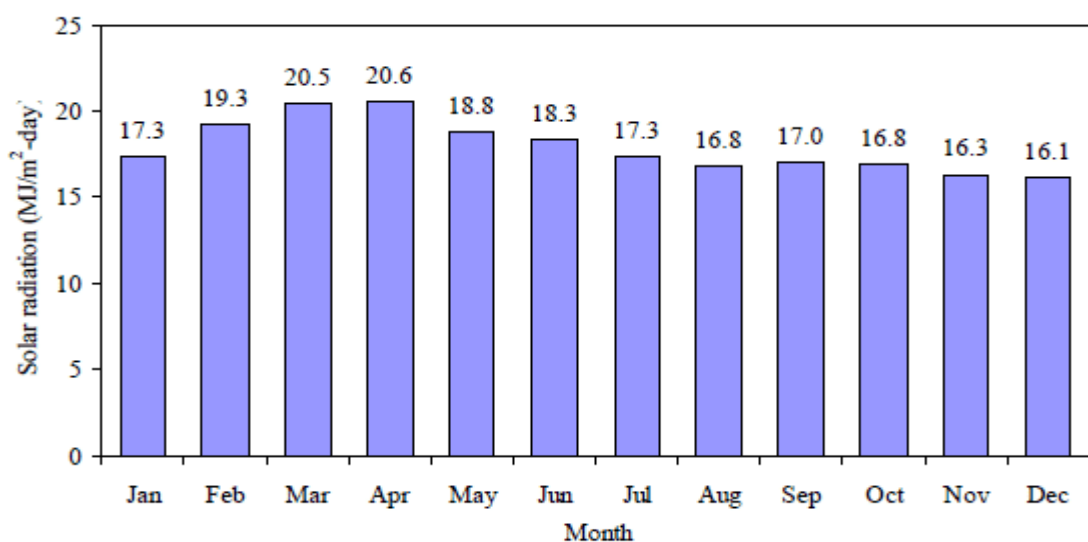
(ข) รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) รังสีอาทิตย์ที่ถูกสะท้อนจากบรรยากาศของโลกและวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับรังสี รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางของท้องฟ้า ทำให้ทิศทางไม่แน่นอนและไม่เป็นระเบียบ การวัดรังสีกระจายโดยทั่วไปมักจะใช้อุปกรณ์ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนหรือลูกบอล มาติดตั้งบนเครื่องไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) เพื่อทำการปิดกั้นส่วนของรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ให้เครื่องวัดได้รับเฉพาะรังสีที่กระจายมาจากท้องฟ้าเท่านั้น

(ค) รังสีรวม (Total or Global Radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงกับรังสีกระจายที่ตกกระทบผิวรับรังสีหรืออาจหาได้จากการอินทิเกรตความเข้มของรังสีอาทิตย์ตลอดทุกๆ ช่วงความยาวคลื่นในกรณีที่ได้รับแสงเป็นพื้นเอียงรังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้า และรังสีจากผิวโลก เรียกรังสีรวมนี้ว่า Total Radiation สำหรับกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นราบ รังสีรวมจะมาจาก

รังสีตรงจากท้องฟ้าและรังสีกระจายจากท้องฟ้า ไม่มีรังสีกระจายจากผิวโลก เรียกรังสีรวมในกรณีนี้ว่า Global Radiation เครื่องมือวัดความเข้มรังสีรวมคือ ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer)

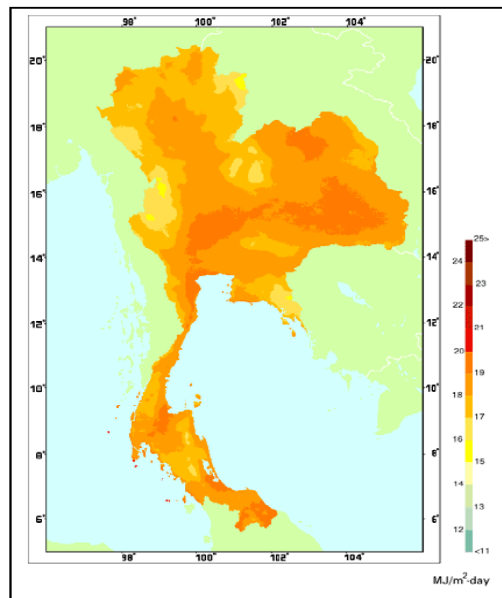
2.1.2 ปริมาณรังสีอาทิตย์ในประเทศไทย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2542)

โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น หรือที่เรียกว่า “ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์” (Global Radiation) มีหน่วยทางด้านพลังงานเป็น เมกกะจูลต่อตารางเมตร (MJ/m^2) โดยบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์มากก็จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเป็นไปตามพื้นที่ มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันและการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปี กล่าวคือในพื้นที่หนึ่งๆ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาเที่ยงวัน และลดต่ำลงจนถึงช่วงเย็น ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของมวลอากาศ (Air Mass) ซึ่งรังสีอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลก และผลจากมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เช้าจนถึงเย็น สำหรับการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่เป็นผลมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาโดยมีเมฆเป็นตัวแปรที่สำคัญ



รูปที่ 2.1 การแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน โดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2542)

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่า การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศ ได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m²-day เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อัญญา นครสวรรค์ และลพบุรี โดยได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19-20 MJ/m²-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ และนอกจากนี้ยังพบว่าร้อยละ 50.2 ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีในช่วง 18-19 MJ/m²-day ส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและบางส่วนของภาคกลาง บริเวณที่มีศักยภาพค่อนข้างต่ำมีเพียงร้อยละ 0.5 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ (บริเวณภูเขาทางด้านตะวันออกและตะวันตกของภาคเหนือ) จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 MJ/m²-day จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2542)

จากข้อมูลด้านศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สรุปได้ว่าประเทศไทยนั้นมีศักยภาพทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง จึงได้มีการพัฒนาเพื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานเสนอให้การนำพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานงานทางเลือกทดแทนทางหนึ่ง

2.1.3 ทิศทางของรังสีตรง (จงจิตร หิรัญธนาภ, 2548)

ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างระนาบของพื้นโลกที่เวลาใดๆ กับรังสีตรงหรือตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับระนาบต่างๆ สามารถอธิบายได้โดยใช้มุมต่างๆ ดังนี้

(ก) ละติจูด (Latitude, ϕ) คือ มุมที่อยู่ทางทิศเหนือหรือทางทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร เมื่อวัดไปทางทิศเหนือกำหนดให้มีค่าเป็นบวกและเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ ละติจูดมีค่าอยู่ระหว่าง -90° ถึง 90°

(ข) มุมเอียง (Slope, β) คือ มุมระหว่างพื้นผิวของระนาบรับแสงกับแนวระดับ มีค่าอยู่ระหว่าง 0° ถึง 180°

(ค) มุมชั่วโมง (Hour Angle, ω) คือ มุมที่แทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากเมอริเดียนท้องถิ่นไปทางตะวันออกหรือทางตะวันตก มีค่าเป็นลบในช่วงเวลาก่อนเที่ยงสุริยะ และเป็นบวกหลังเที่ยงสุริยะ โดยมีค่า 15° ต่อหนึ่งชั่วโมง

(ง) มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle, δ) คือ มุมระหว่างแนวเส้นแสงอาทิตย์เมื่อเที่ยงสุริยะกับระนาบศูนย์สูตร กำหนดให้มีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ และมีค่าเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ มุมเดคลิเนชันมีค่าเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง -23.45° ถึง 23.45° สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\delta = 23.45 \sin [360((284+n)/365)] \quad (2.1)$$

(จ) มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar Altitude Angle, α_s) คือ มุมระหว่างพื้นราบกับแนวเส้นแสงดวงอาทิตย์ มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

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

(ฉ) มุมอะซิมุทพื้นดิน (Surface Azimuth Angle, γ) คือ มุมระหว่างทิศใต้กับทิศทางการหันหน้าของแผงรับแสง มีค่าอยู่ในช่วง -180° ถึง 180° โดยเป็นศูนย์เมื่อหันไปทางทิศใต้ เป็นบวกเมื่อหันไปทางทิศตะวันตก และเป็นลบเมื่อหันไปทางตะวันออก

(ช) มุมอะซิมุทดวงอาทิตย์ (Solar Azimuth Angle, γ_s) คือ มุมระหว่างระนาบแนวตั้งของดวงอาทิตย์และระนาบของเมอริเดียนท้องถิ่น โดยกำหนดให้วัดจากทิศใต้ของระนาบแนวตั้งดวงอาทิตย์ไปทางตะวันตกมีค่าเป็นบวก วัดไปทางตะวันออกมีค่าเป็นลบ และมีค่าเป็นศูนย์ที่ทิศใต้ มุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง -180° ถึง 180° สามารถคำนวณได้จากสมการ

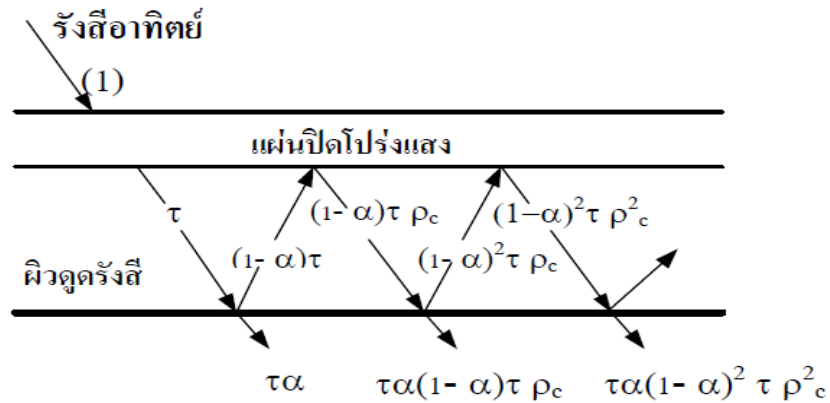
$$\sin \gamma_s = (\cos \delta \sin \omega / \cos \alpha_s) \quad (2.3)$$

(ซ) มุมตกกระทบ (Incidence Angle, θ) คือ มุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์บนพื้นผิว กับแนวตั้งฉากของพื้นผิว ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมอื่นๆ สามารถคำนวณได้จาก

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

2.1.4 การส่งผ่านและดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Duffie and Beckman, 1997)

เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนแผ่นปิดโปร่งแสง ค่ารังสีอาทิตย์ บางส่วนจะทะลุผ่านแผ่นปิดโปร่งแสงซึ่งมีค่าดูดรังสี (α) และเมื่อกระทบกับผิววัตถุด้านล่าง บางส่วนจะถูกดูดกลืน ($\tau\alpha$) และบางส่วนจะสะท้อนกลับไปทีแผ่นปิดโปร่งแสงอีก ซึ่งจะมีการสะท้อนกลับไปมา ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะการส่งผ่านและการดูดกลืนรังสีอาทิตย์

(Duffie and Beckman, 1997)

ในทางปฏิบัติค่ารังสีอาทิตย์ที่ดูดกลืนที่ผิวดูดรังสีเมื่อมีแผ่นปิดโปร่งแสงสามารถคำนวณจากสมการ

$$(\tau\alpha)_e \approx 1.01(\tau\alpha) \quad (2.5)$$

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

2.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ถือว่าเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์ไปเป็นพลังงานความร้อน และถ่ายโอนความร้อนให้กับของไหลที่ไหลภายในท่อตัวเก็บรังสี ทำให้ของไหลดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตัวเก็บรังสีที่ดีจะต้องมีความสามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดี มีการสูญเสียความร้อนน้อยและสามารถถ่ายโอนความร้อนที่ดูดกลืนให้แก่ของไหลได้รวดเร็ว โดยทั่วไปตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะยึดติดอยู่กับที่ หันหน้าไปทางทิศใต้และเอียงทำมุมประมาณละติจูดของตำแหน่งที่อยู่ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์อาจจะแยกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ (Flat-plate Solar Collector) และตัวเก็บรังสีแบบรวมรังสี (Concentrating Solar Collector) โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวเก็บรังสี

แบบแผ่นเรียบมากกว่า เนื่องจากการผลิตที่ง่ายไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการใช้งานและการบำรุงรักษา สามารถรับรังสีตรงและรังสีกระจายได้ แต่ตัวเก็บรังสีแบบรวมรังสีนั้นจะทำงานได้เฉพาะกรณีที่มีรังสีตรงเท่านั้น อุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบนั้น จะอยู่ในช่วงประมาณ 30-80 °C ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมากมาย เช่น ค่ารังสีอาทิตย์ ค่าการสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์และถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิของอากาศโดยรอบ เป็นต้น (จงจิตร ธีรฤตลาภ, 2548)

2.2.1 ส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (จงจิตร ธีรฤตลาภ, 2548)

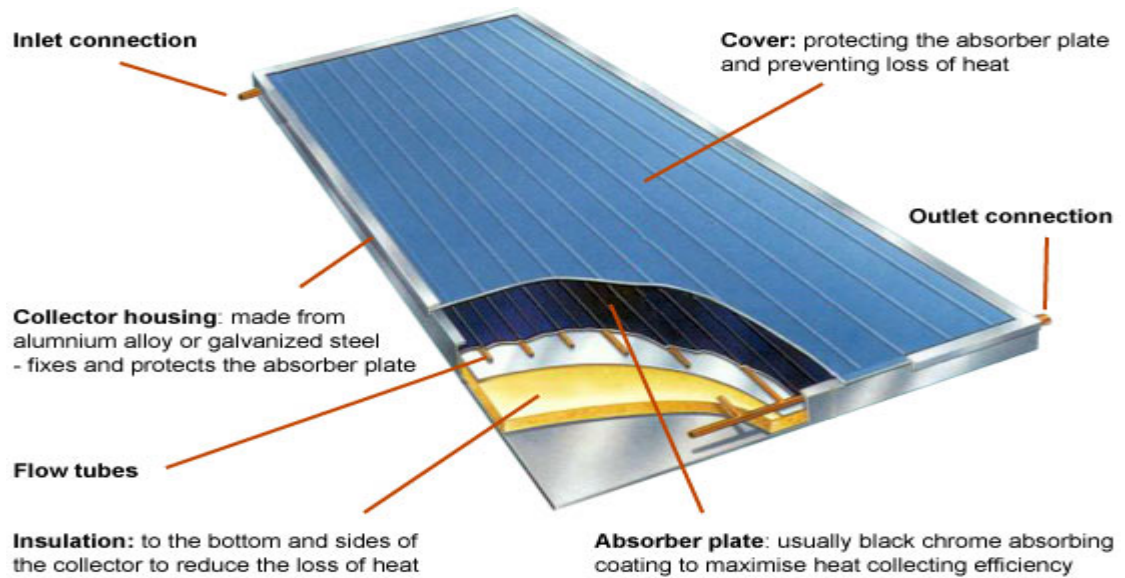
ส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

(ก) แผ่นดูดกลืนรังสี ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นความร้อนแล้วถ่ายโอนให้กับของเหลว โดยของเหลวจะไหลในท่อที่ประกอบติดกับแผ่นรับรังสีที่เป็นแผ่นราบ ที่สามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดี มีการนำความร้อนได้ดี ทนต่อการกัดกร่อน ไม่ทำปฏิกิริยาเคมี และไม่สูญเสียคุณสมบัติที่สำคัญที่อุณหภูมิสูง ในปัจจุบันได้มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เพื่อเพิ่มความสามารถของตัวเก็บรังสี สามารถดูดกลืนรังสีได้มาก และลดปริมาณการแผ่รังสี ด้วยการใช่วัสดุที่มีการดูดกลืนความร้อน การเคลือบด้วยสารเคมีต่างๆ การปรับสภาพผิวทางกายภาพ เป็นต้น วัสดุที่นิยมใช้ทำ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เช่น ทองแดง อะลูมิเนียม และเหล็ก เป็นต้น

(ข) แผ่นครอบใส ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จากลม และป้องกันการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี แผ่นครอบใสจะต้องมีสมบัติ ที่สามารถต้านทานการแผ่ และสามารถส่งผ่านรังสีความยาวคลื่นสั้นไปยังตัวเก็บรังสี ส่วนใหญ่ทำจากกระจกใสที่มีค่าการส่งผ่านรังสีได้สูง

(ค) ฉนวนความร้อน ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนทางด้านข้างและด้านล่างของ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยใช่วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ เช่น โยแก้วหรือโพลียูรีเทนโฟม เป็นต้น ฉนวนที่ใช้ควรมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ สามารถทนความร้อนได้สูง ทนความชื้น ไม่ติดไฟ ไม่ทำปฏิกิริยาเคมี ไม่สะสมความร้อน และไม่มีคุณสมบัติดูดกลืนรังสีอาทิตย์

(ง) ท่อ ทำหน้าที่เป็นทางเดินของของไหล เพื่อรับความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสี โดยอาจมีลักษณะเป็นท่อหลายท่อต่อขนานกัน หรืออาจมีลักษณะคดเคี้ยว โดยยึดติดกับแผ่นรับรังสีอาทิตย์ ท่อของไหลควรมีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่ดี และทนต่อการกัดกร่อน ส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นท่อทองแดง



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

(<http://www.greenspec.co.uk>, 2014)

2.2.2 ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์

การพิจารณาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่สภาวะคงตัว (Steady – State) ที่ขณะใดๆ ค่ารังสีที่ถูกดูดกลืน เท่ากับ ค่าอัตราการความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ รวมกับค่าอัตราการความร้อนที่สูญเสียจากผิวดูดรังสี ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้ (ทนนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2537)

$$(\tau\alpha)_e I_T A_c = \dot{Q}_{coll} + U_L A_c (T_p - T_a) \quad (2.7)$$

$$\dot{Q}_{coll} = \dot{m}_f C_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad (2.8)$$

อัตราการถ่ายโอนความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสี อาจเขียนได้เป็น

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

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

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

$$\dot{Q}_{coll} = A_c [F_R (\tau\alpha)_e I_T - F_R U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (2.10)$$

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

2.2.3 การสูญเสียความร้อนของแผ่นรับรังสี

รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยผ่านแผ่นครอบใสตามจำนวนที่ใช้ ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานที่ได้รับบางส่วน ขึ้นอยู่กับความสามารถในการส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของแผ่นครอบใสนำมาใช้งาน รวมทั้งสภาพการสะท้อนแสงอีกด้วย นอกจากนี้ เมื่อตัวเก็บรังสีมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีความร้อนบางส่วนสูญเสียออกไป ดังนี้ (ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2537)

(ก) ด้านบนของชุดรับรังสี คือ บริเวณที่มีความร้อนสูญเสียมากที่สุด เนื่องจากไม่มีฉนวนกั้นความร้อนที่ถ่ายโอนออกจากแผ่นรับรังสีโดยการนำ การพา และการแผ่รังสีมีความร้อน ให้กับแผ่นครอบใสแผ่นที่หนึ่งและแผ่นต่อไป ก่อนถ่ายโอนสู่อากาศแวดล้อม

(ข) ด้านหลังของชุดรับรังสี คือ บริเวณที่ค่าความร้อนสูญเสียขึ้นกับชนิดและความหนาของฉนวน ความร้อนถ่ายโอนจากแผ่นรับรังสีโดยการนำความร้อนไปยังฉนวน แล้วถ่ายโอนความร้อนจากฉนวนโดยการพาและการแผ่รังสีความร้อนให้กับอากาศแวดล้อม

(ค) ด้านข้างของชุดรับรังสี คือ บริเวณที่มีความร้อนสูญเสียน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับด้านอื่นๆ ขึ้นอยู่กับสภาพและขนาดของฉนวนรอบๆ เช่นเดียวกับการสูญเสียความร้อนด้านล่างโดยการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อนให้กับอากาศแวดล้อม

(ง) ท่อ คือ อุปกรณ์สำหรับให้ของเหลวร้อนไหลผ่าน ถูกติดตั้งเข้ากับระบบอุ่นของเหลวด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์โดยใช้ฉนวนหุ้มภายนอกท่อ ความร้อนจากของเหลวร้อนสูญเสียให้กับอากาศแวดล้อม โดยการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน

สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน คำนวณได้จากสมการ (ทงนเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2537)

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[\frac{T_{pm} - T_a}{N + f} \right]^e + \frac{1}{h_w}} \right\}^{-1} + \frac{\sigma(T_{pm} + T_a)(T_{pm}^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0.00591Nh_w)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_g} - N} \quad (2.11)$$

- เมื่อ N คือ จำนวนกระจก, แผ่น
 f คือ $(1 + 0.089h_w - 0.1166h_w\varepsilon_p)(1 + 0.07866N)$
 C คือ $520(1 - 0.000051\beta^2)$ สำหรับ $0 < \beta < 70$ กรณีที่ $\beta > 70$ ให้ใช้ $\beta = 70$
 e คือ $0.430(1 - 100/T_{pm})$
 β คือ มุมเอียง (องศา)
 ε_g คือ ค่าการแผ่รังสีของกระจก (0.88)
 ε_p คือ ค่าการแผ่รังสีของแผ่นดูดกลืนรังสี
 T_a คือ อุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{pm} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดกลืนรังสี ($^{\circ}\text{C}$)
 h_w คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยลม ($\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)

สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านหลัง คำนวณได้จากสมการ

$$U_b = \frac{k_i}{L_{ib}} \quad (2.12)$$

- เมื่อ k_i คือ ค่าการนำความร้อนของฉนวน ($\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)
 L_{ib} คือ ความหนาของฉนวนด้านหลัง (m)

สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านข้าง คำนวณได้จากสมการ

$$U_e = \frac{(UA)_{edge}}{A_c} \quad (2.13)$$

เมื่อ A_c คือ พื้นที่ของตัวเก็บรังสี (m^2)

สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม คำนวณได้จากสมการ

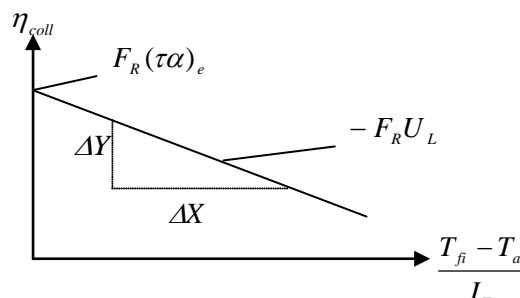
$$U_L = U_t + U_b + U_c \quad (2.14)$$

2.2.4 ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Collector Efficiency)

ค่าประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะเป็นดัชนีที่ใช้บอกความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งสมการ (2.13) ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถคำนวณจาก (ทnungเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2537)

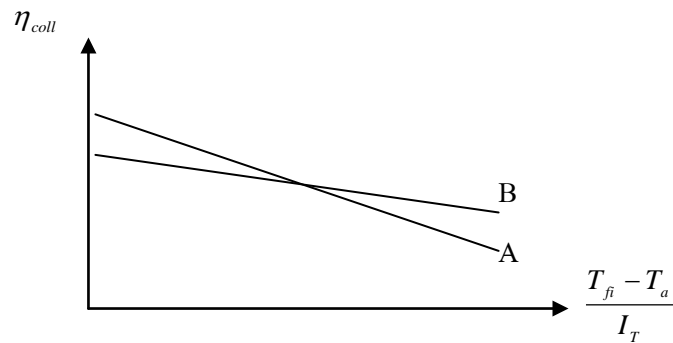
$$\eta_{coll} = \frac{\dot{Q}_{coll}}{I_T A_c} = \frac{\dot{m}_f C_p (T_{fo} - T_{fi})}{I_T A_c} = F_R (\tau\alpha)_e - F_R U_L \frac{(T_{fi} - T_a)}{I_T} \quad (2.15)$$

ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า η_{coll} และ $(T_{fi} - T_a)/I_T$ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวอยู่ในรูปสมการเส้นตรงโดยที่ค่า $-F_R U_L$ คือความชันและ $F_R (\tau\alpha)_e$ คือค่าจุดตัดแกน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เส้นแสดงสมรรถนะของตัวเก็บรังสี (ทnungเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2537)

ตัวเก็บรังสีที่มีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ สูงแสดงว่าการส่งผ่านค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีมีค่าสูง ส่วนเทอม $-F_R U_L$ แสดงค่าการสูญเสียความร้อน ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าตัวเก็บรังสีดังกล่าวป้องกันความร้อนสูญเสียไม่ดีพอ ทั้ง 2 เทอมนี้ เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสี ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์
(ทงนเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2537)

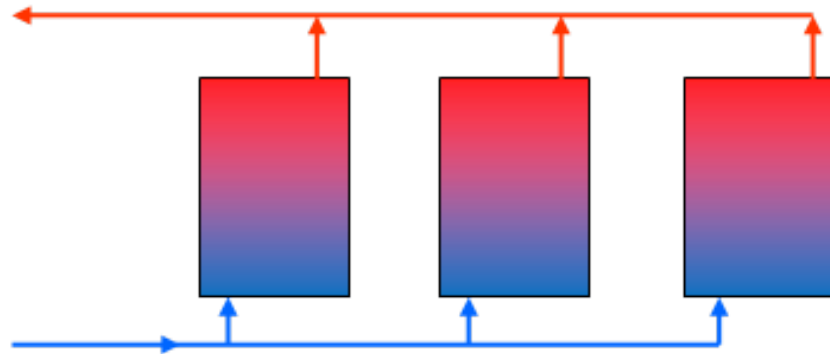
จากรูปที่ 2.6 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ A เหมาะกับการผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิน้ำร้อนที่ต่ำ ขณะที่แบบ B เหมาะสำหรับผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิน้ำร้อนที่สูง

2.2.5 การต่อวงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์

วงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ดี ควรมีอัตราการไหลตลอดทั่วถึงเท่ากันทุกแผงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ซึ่งจะทำให้ทุกแผงทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และไม่เกิดส่วนที่ไม่ได้ใช้งาน (Dead Zone) ภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไม่ว่าจะเป็นการต่อวงจรแบบใด ควรประเมินขนาดของท่อต่างๆ ที่จะมีผลต่อไหลลดความร้อนและการจัดเรียงตัวเก็บรังสีอาทิตย์โดยการเชื่อมต่อวงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีดังนี้ (องค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (GIZ), 2554)

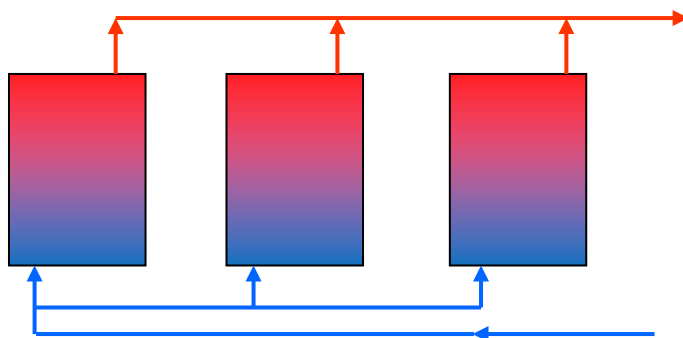
(ก) การเชื่อมต่อวงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบขนาน ในทางทฤษฎีการเชื่อมต่อวงจรแบบขนานจะทำให้อัตราการไหลของของไหลถ่ายโอนความร้อนผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทุกแผงเท่ากัน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละชุดต้องมีอัตราการไหลของสารถ่ายโอนความร้อนไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด เพื่อป้องกันการเกิด Dead Zone และเพื่อให้มั่นใจว่าการไหลนั้นเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence) เพื่อเพิ่ม

ประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งปกติอัตราการไหลมีค่าระหว่าง 40 - 80 ลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเมตรของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (ขึ้นกับการออกแบบ) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบขนาน
(องค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (GIZ), 2554)

การต่อท่อขนานแบบ Tichelmann ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ใช้หลักการเดียวกันกับในวิศวกรรมความร้อนทั่วไปที่ทำให้การไหลของของเหลวไหลผ่านเครื่องทำความร้อนต้องเท่ากัน (Uniform Flow) การไหลของสารถ่ายโอนความร้อนในวงจรถัดกันจะต้องมีระยะทางการไหลเท่ากัน ทำให้การสูญเสียความดันในท่อของวงจรถัดกัน โดยยังไม่รวมความต้านทานที่เกิดจากพื้นผิวแต่ละท่ออาจเรียบไม่เท่ากันหรือจุดขัดขวางการไหล เช่น รอยเชื่อมท่อ



รูปที่ 2.8 การต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบขนานโดยวิธี Tichelmann
(องค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (GIZ), 2554)

การไหลของสารถ่ายโอนความร้อนจะมีความสม่ำเสมอ ถ้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละชุดมีความต้านทานการไหลเท่ากันและต้องสูงกว่าความต้านทานการไหลของระบบท่ออย่างน้อย 3 เท่า ความต้านทานการไหลของอุปกรณ์อื่นๆ น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์และระบบท่อ สำหรับระบบที่มีการไหลโดยแรงโน้มถ่วง การไหลที่เกิดขึ้นเป็นผลจากแรงลอยตัวของของไหลที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน จากรูปที่ 2.8 อุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เมื่อเทียบกับทางเข้าทำให้ของไหลในระบบเกิดการไหลขึ้นด้านบน

(ข) การต่อวงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบอนุกรม สำหรับการเชื่อมต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบอนุกรม สารถ่ายโอนความร้อนจะไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทุกตัวต่อเนื่องกันไป ระบบที่จัดวางตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบอนุกรมจะมีอัตราการไหลค่อนข้างต่ำ ซึ่งปกติแล้วระบบลักษณะนี้จะมีอุณหภูมิใช้งานสูง ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลง ดังนั้น เพื่อให้ระบบสามารถผลิตความร้อนจากรังสีอาทิตย์ได้สูงขึ้น (ค่าสัดส่วนอาทิตย์สูงขึ้น) อัตราการไหลของของไหลในระบบต้องสูงขึ้น เช่น 15 ลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร อย่างไรก็ตาม การสูญเสียความดันในระบบจะเพิ่มตามด้วย ทั้งนี้อัตราการไหลของของไหลในระบบต้องควบคุมไม่ให้สูงเกินกว่าที่ผู้ผลิตกำหนดเช่นกัน สำหรับวงจรต่อแบบอนุกรม อัตราการไหลระบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Nominal Volumetric Field Flow Rate) นิยามด้วยอัตราการไหลทั้งหมดหารด้วยพื้นที่ทั้งหมดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

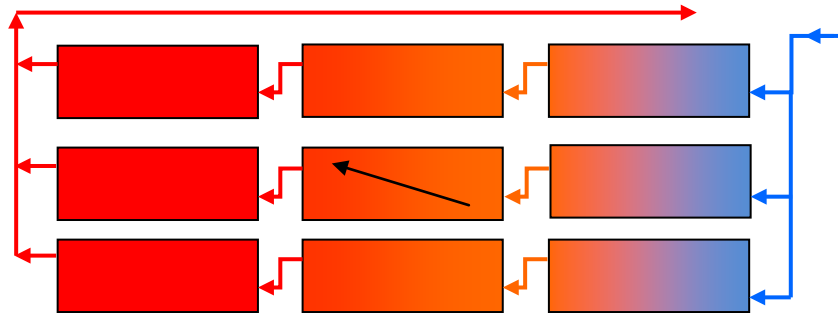


รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อตัวเก็บรังสีแบบอนุกรม

(องค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (GIZ), 2554)

สารถ่ายโอนความร้อนจะไหลผ่านทุกแถวของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ การสูญเสียความดันเป็นแบบสะสม โดยอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นจากด้านซ้ายมือล่าง (ทางเข้า) ไปด้านขวาบน (ทางออก) ในกรณีที่มีการเพิ่มของอุณหภูมิมิ้อัตรากที่ และแผงทุกตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละแผงถ่ายโอนความร้อนในปริมาณเท่ากัน

(ค) การต่อวงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสม เนื่องจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นเรียบในปัจจุบันสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิและอัตราการไหลสูง ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เหล่านี้จึงเหมาะกับการเชื่อมต่อกันนาน ยิ่งกว่านั้นบางครั้งยังสามารถใช้งานได้ดีกับระบบที่มีอัตราการไหลต่ำ การต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบขนานมีข้อจำกัด ดังนั้น การต่อวงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนขนาดใหญ่จึงต้องผสมผสานการเชื่อมต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้งลักษณะอนุกรมและขนาน ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การต่อวงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสม
(องค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (GIZ), 2554)

2.3 ถังเก็บน้ำร้อน

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์จะไม่เหมือนกับระบบผลิตน้ำร้อนธรรมดาทั่วไป ซึ่งการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์อาจจะไม่ตรงกับเวลาที่ต้องการใช้น้ำร้อน ดังนั้นระบบถังเก็บน้ำร้อนจึงจำเป็นต้องมีเพื่อที่จะเก็บน้ำร้อนส่วนที่ผลิตได้เกินจากการใช้ โดยในทางทฤษฎีความสามารถในการเก็บน้ำร้อนควรจะเพียงพอที่จะเก็บน้ำร้อนส่วนที่ผลิตได้เกินจากการใช้ สำหรับการพิจารณาการออกแบบระบบถังเก็บน้ำร้อนประกอบด้วยดังนี้

2.3.1 การออกแบบถังเก็บน้ำร้อน (ASHRAE)

สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะใช้ถังเก็บน้ำร้อนธรรมดาที่มีใช้กันทั่วไป โดยขนาดถังเก็บน้ำร้อนควรมีขนาดเพียงพอที่จะเก็บน้ำร้อนส่วนเกินที่สามารถผลิตได้และไม่ให้อุณหภูมิน้ำร้อนที่เก็บเพิ่มขึ้นเกินกว่า 93.3 °C แต่ถ้าหากการใช้น้ำร้อนสอดคล้องกับการผลิตน้ำร้อน อย่างเช่น มีความต้องการน้ำร้อนในช่วงเวลากลางวัน 6-7 วันต่อสัปดาห์ ขนาดความจุถังเก็บน้ำร้อนน้อยสุดที่เป็นไปได้อาจจะเพียงพอแล้ว แต่เมื่อไรก็ตามที่การใช้น้ำร้อนไม่สอดคล้องหรือสอดคล้องไม่ดีกับการผลิตน้ำร้อน เช่น มีความต้องการน้ำร้อนในช่วงเวลากลางคืน 5 วันต่อสัปดาห์ขึ้นไป จะต้องใช้ขนาดถังเก็บน้ำร้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งการที่ระบบมีความจุของถังเก็บน้ำร้อนมากกว่า อาจจะทำให้ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนดีขึ้น จากการศึกษาถึงลักษณะการใช้น้ำร้อนเปรียบเทียบกับขนาดถังเก็บน้ำร้อนของระบบพลังงานรังสีอาทิตย์พบว่า ขนาดถังเก็บน้ำร้อนที่เหมาะสมกับต้นทุนจะอยู่ในช่วง 20.4 -81.6 L/m² ของพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ผลจากการศึกษานี้สามารถใช้ประมาณการหาขนาดความจุน้อยสุดของถังเก็บน้ำร้อนที่ต้องการสำหรับลักษณะการใช้น้ำร้อน 3 แบบ ดังนี้

(ก) ความต้องการน้ำร้อนในช่วงเวลากลางวันครั้งที่ 7 วัน/สัปดาห์ ใช้ขนาดถังเก็บน้ำร้อน 20.4 -28.6 L/m² ของพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

(ข) ความต้องการน้ำร้อนในช่วงเวลากลางวันครั้งที่ 5 วัน/สัปดาห์ (ไม่รวมวันหยุดสุดสัปดาห์) ใช้ขนาดถังเก็บน้ำร้อน 40.8 L/m² ของพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

(ค) ความต้องการน้ำร้อนในช่วงเวลากลางคืน (ตอนไม่มีแสงแดด) ครั้งที่ ใช้ขนาดถังเก็บน้ำร้อน 71.4 - 81.6 L/m² ของพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยถ้าเป็นเวลา 5 วัน/สัปดาห์ ให้ใช้ค่าสูง แต่ถ้าเป็นเวลา 7 วัน/สัปดาห์ ใช้ค่าต่ำ

สำหรับลักษณะการใช้น้ำร้อนผิดไปจากนี้หรือมากกว่านี้ วิศวกรอาจจะคำนวณเปรียบเทียบจากขนาดถังเก็บน้ำร้อนน้อยที่สุดตามที่แนะนำไว้ ถ้าวิศวกรไม่แน่ใจถึงลักษณะของความต้องการใช้น้ำร้อนค่าที่ควรเลือกใช้ 40.8 L/m² ในทางปฏิบัติถังเก็บน้ำร้อนที่นิยมใช้มากคือ ถังทรงกระบอกแนวตั้งที่มีอัตราส่วนระหว่างความสูงกับเส้นผ่านศูนย์กลางมาก การต่อท่อน้ำร้อนจะต่อที่ด้านบนของถังและการต่อท่อน้ำเย็นจะต่อที่หรือใกล้กับด้านล่างของถัง ถ้าหากพื้นที่ว่างสำหรับติดตั้งไม่เหมาะสมกับถังทรงกระบอกแนวตั้งใบเดียวตามปริมาตรที่ต้องการ สามารถเลือกใช้ถังขนาดเล็กแนวตั้งหลายๆ ถังต่อ

อนุกรมกันหรือถังใหญ่ทรงกระบอกแนวอนแทนก็ได้ และการออกแบบถังเก็บน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์จะต้องถูกออกแบบสำหรับรองรับความดันและอุณหภูมิสูงสุดของระบบ โดยถังเก็บน้ำร้อนต้องต่อโดยตรงกับ/หรือผ่านวาล์วลดความดัน เพื่อความสะดวกในการจ่ายน้ำถังเก็บน้ำร้อนต้องถูกออกแบบสำหรับรองรับความดันสูงสุดของแหล่งจ่ายน้ำ (ASHRAE)

2.3.2 องค์ประกอบของถังเก็บน้ำร้อน

ถังเก็บน้ำร้อนแบบเขียนถังเก็บน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อใช้แสดงรายละเอียดของถังเก็บน้ำร้อนที่ต้องการ ซึ่งแบบเขียนนี้ต้องแสดงถึงลักษณะทั้งหมดของถังเก็บน้ำร้อนที่ประกอบด้วย ขนาด ปริมาณ ตำแหน่งของปลายท่อ รูต่อท่อ รายละเอียดการติดตั้งหรือโครงสร้างรองรับขนาดและตำแหน่งของจุดสำหรับติดตั้งตัววัดของการควบคุมหรือการตรวจวัด ควรจะมีการเตรียมปลายท่อและจุดติดตั้งตัววัดสำรองเผื่อไว้สำหรับการแก้ไขตัดแปลงระบบท่อและการตรวจวัดเพิ่มเติมที่อาจจะมีขึ้นในอนาคต



รูปที่ 2.11 ถังเก็บน้ำร้อน

สำหรับถังที่ใส่น้ำที่ไม่ได้ปรับคุณภาพหรือถังที่มีอากาศบรรจุอยู่บนน้ำต้องถูกเคลือบสารเพื่อที่จะป้องกันการกัดกร่อน โดยทั่วไปการเคลือบอีพอกซี (Epoxy) จะมีค่าใช้จ่ายแพงน้อยกว่าการเคลือบด้วยซีเมนต์ (Cement) แต่การเคลือบด้วยซีเมนต์จะมีอายุการใช้งานดีกว่า การต่อท่อเข้ากับถังเก็บน้ำร้อน

แนวตั้งจะมีทั้งท่อน้ำร้อนเข้าและออกที่ด้านบน และท่อน้ำเย็นเข้าและออกที่ด้านล่าง การจัดวาง
 อย่างนี้ทำให้เกิดการแบ่งชั้นความร้อนภายในถังและได้น้ำร้อนเหมาะสมที่สุดเพื่อที่จะนำไปใช้งาน
 และได้น้ำเย็นเหมาะสมที่สุดที่จะไหลไปยังตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพตัวเก็บรังสี
 อาทิตย์ Horizontal Diffuserอาจจะถูกติดตั้งที่ตรงทางเข้าของน้ำร้อนเพื่อที่จะช่วยแบ่งชั้นความร้อนได้
 ส่วนถังน้ำร้อนแนวอนการต่อน้ำร้อนควรจะอยู่ที่ปลายด้านบนที่ข้างใดข้างหนึ่งก็ได้ที่สามารถ
 แบ่งแยกได้ช่วงกว้างที่สุดที่เป็นไปได้ และการต่อท่อน้ำเย็นก็เช่นกันควรจะต่อที่ด้านล่าง โดยน้ำร้อน
 เข้าและน้ำเย็นออกต้องอยู่ที่ปลายของถังด้านตรงข้ามกัน การจัดวางอย่างนี้ทำให้เกิดการไหลข้าม
 ภายในถังและเป็นการใช้ปริมาตรถังทั้งหมดในการเก็บน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ แต่การแบ่งชั้น
 ความร้อนจะได้ไม่ดีเหมือนกับในถังแนวตั้ง

2.4 ระบบความร้อนเสริม

ระบบผลิตน้ำร้อนเสริมจาก “เครื่องทำน้ำร้อน” ให้กับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ในส่วน
 ของถังเก็บน้ำร้อน เป็นระบบผลิตน้ำร้อนเสริมในช่วงเวลาที่ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ไม่
 สามารถผลิตน้ำร้อนได้เพียงพอต่อการใช้งาน ช่วงเวลาที่ไม่สามารถผลิตน้ำร้อนได้ และช่วงเวลาที่
 ผลิตน้ำร้อนได้แต่อุณหภูมิน้ำร้อนต่ำกว่าระดับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ที่เหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อให้ระบบ
 ผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์มีน้ำร้อนใช้ตลอดเวลา ชนิดเครื่องทำน้ำร้อนแบ่งออกตามการใช้
 เชื้อเพลิงดังนี้คือ แก๊ส ไฟฟ้า น้ำมัน เป็นต้น โดยส่วนใหญ่ระบบความร้อนเสริมของระบบผลิตน้ำร้อน
 พลังงานรังสีอาทิตย์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นระบบความร้อนเสริมที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

2.4.1 ชนิดเครื่องทำน้ำร้อน

เครื่องทำน้ำร้อนแบ่งได้ตามการรับความร้อนโดยตรงกับโดยอ้อม และมีลักษณะการรับความร้อน คือ
 เครื่องทำน้ำร้อนชนิดหม้อต้ม และเครื่องทำน้ำร้อนชนิดน้ำผ่าน ซึ่งจะปล่อยให้ น้ำไหลผ่านแล้วร้อน
 ทันที ท่อจ่ายน้ำร้อนจะจ่ายจากเครื่องไปยังสุขภัณฑ์โดยตรง ส่วนชนิดหม้อต้มต้องมีถังเก็บน้ำร้อนอีก
 ที่หนึ่ง น้ำร้อนจะได้รับความร้อนจากคอยล์ร้อนในหม้อต้มแล้วไหลเวียนเข้าไปยังถังเก็บน้ำร้อน
 เครื่องทำน้ำร้อนเหล่านี้มีการเลือกวิธีทำความร้อนและชนิดเครื่องทำน้ำร้อน เพื่อนำมาติดตั้งมี
 องค์ประกอบที่จะพิจารณา อาทิเช่น เชื้อเพลิงที่ใช้ต้องหาง่ายราคาถูก ราคาเครื่องทำน้ำร้อนไม่สูง

เกินไป พิกัดความสามารถในการทำน้ำร้อนของเครื่องทำน้ำร้อน อุณหภูมิของน้ำที่จะให้ความร้อน และความกระด้างของน้ำ องค์ประกอบแต่ละข้อต้องนำมาถ่วงกันก่อนตัดสินใจเลือกวิธีทำน้ำร้อน และชนิดเครื่องทำน้ำร้อนที่ต้องการนำมาใช้ อุณหภูมิและความกระด้างของน้ำต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก เมื่อติดตั้งเครื่องในบริเวณที่น้ำกระด้างอุณหภูมิที่ใช้เกิน 65°C มีผลให้หินปูนและเกลือแมกนีเซียมในน้ำตกตะกอนเป็นตะกรันเกาะติดผิวรับความร้อน ซึ่งจะลดประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนให้แก่ น้ำ เร่งเวลาการอุดตันของน้ำไหลในท่อคอยล์ เป็นผลให้แตกראวหรือไหม้ทะลุผิวรับความร้อน เพื่อป้องกันหรือลดการเกิดกรณีดังกล่าวให้เหลือน้อยที่สุดคือการหลีกเลี่ยงไม่ให้อุณหภูมิ น้ำเกินกว่า 60°C หรือนำน้ำที่จ่ายสู่เครื่องทำน้ำร้อนผ่านเครื่องทำน้ำร้อนเสียก่อนหรือเลือกใช้หลักการ ทำน้ำร้อน โดยอ้อม (มานะศิลป์ พิมพ์สาร, 2533)

2.4.2 เครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้า

เครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้า มีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องทำน้ำร้อนใช้แก๊สแตกต่างกันเฉพาะในส่วนประกอบเท่านั้น เครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้าเป็นเครื่องที่สะอาดไม่มีตัวระบายควันจากการเผาไหม้ ออก พลังงานหาง่าย สิ้นเปลืองค่าโซลี่ยต่ำ ไม่เปลืองสถานที่ติดตั้งและมีประสิทธิภาพสูงถึง 80% - 90% ดังนั้นเครื่องทำน้ำร้อนใช้ไฟฟ้าจึงเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในอาคารที่อยู่อาศัย เครื่องทำน้ำร้อนมีหลายลักษณะแต่ก็ใช้ขดลวดความต้านทานให้ความร้อนเช่นเดียวกัน กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจะทำให้เกิดความร้อนและถูกถ่ายโอนความร้อนสู่น้ำที่ขดลวดจุ่มอยู่ หลักการทำงาน กระแสไฟฟ้าเป็นพลังงานอีกชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ทำน้ำร้อนกันมาก น้ำจะร้อนเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดความต้านทานที่จุ่มอยู่ในหม้อต้ม ขดลวดความต้านทานจุ่มอยู่ภายใน ส่วนภายนอกหม้อต้มมีฉนวนหุ้มเอาไว้เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนไปจากน้ำ ท่อน้ำเย็นเข้าหม้อต้มจะต่ออยู่ส่วนล่างของหม้อใกล้กับขดลวดความต้านทาน และจัดให้น้ำหมุนวนรอบๆ ขดลวด จะได้อุ่นเร็วขึ้น การควบคุมปริมาณความร้อน ทำโดยผู้ใช้คือหมุนปุ่มปรับที่ติดอยู่ด้านนอกของเครื่อง ขนาดเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้ามี 1 กิโลวัตต์ 2 กิโลวัตต์ และ 3 กิโลวัตต์ มีความต้องการกระแสไฟฟ้าว 15 แอมแปร์ ซึ่งเป็นภาระต่อวงจรไฟฟ้าในอาคารมากหากเลือกเครื่องทำน้ำร้อนขนาด 3 กิโลวัตต์ จะใช้กับวงจรในบ้านเพียงเครื่องเดียวเท่านั้น

ค่ากำลังไฟฟ้า คำนวณได้จากสมการ

$$P = V \times I \quad (2.16)$$

เมื่อ I คือ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าขลวดความต้านทาน (A)

V คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าแทนด้วย (V)

P คือ กำลังไฟฟ้า (W)

2.5 ระบบน้ำร้อนไหลกลับ

ระบบน้ำใช้งานน้ำร้อนจากด้านบนของถังสะสมความร้อนจะถูกนำไปใช้งานยังห้องต่างๆ ในช่วงที่ไม่มีกริใช้น้ำ น้ำจะหยุดนิ่งอยู่ในท่อ ซึ่งอุณหภูมิอากาศรอบท่อมืดอุณหภูมิต่ำทำให้ความร้อนของน้ำในท่อลดลง ดังนั้น จึงต้องมีการปั้มน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกลับสู่ถังและนำน้ำร้อนมาค้ำท่อซึ่งมีอุณหภูมิสูงพร้อมที่จะใช้งาน เมื่อมีการใช้งานน้ำจะไหลออกจากระบบน้ำประปาจะไหลเข้ามาแทนที่ในระบบผ่านเครื่องมือวัดปริมาณน้ำ อุปกรณ์ประกอบต่างๆ และหน้าที่มีดังนี้

(ก) เกทวาล์ว จะติดตั้งทุกจุดที่ออกจากถัง ด้านหน้าและด้านหลังของปั้มน้ำอยู่ก่อนวาล์วระบายอากาศ เพื่อทำหน้าที่แยกอุปกรณ์และเปิดเพื่อใช้ในช่องที่มีการซ่อมบำรุง

(ข) บอลวาล์ว จะติดตั้งที่กั้นถังเพื่อเปิดระบายตะกอนและตะกอนที่กั้นถัง ส่วนที่ติดตั้งด้านหลังปั้มน้ำเพื่อใช้ในการเติมน้ำกรณีน้ำในระบบปั้มน้ำขาดเพื่อให้ปั้มน้ำทำงาน ด้านจ่ายน้ำร้อนเข้าสู่ห้องต่างๆ

(ค) วาล์วระบายอากาศ ติดตั้งบนสุดของถังเพื่อระบายอากาศในถังออกเพื่อไม่ให้อากาศอยู่ในระบบท่อจ่ายน้ำร้อนซึ่งจะทำให้ระบบน้ำร้อนอุดตันเนื่องจากอากาศไปขวางทางเดินของน้ำในท่อ

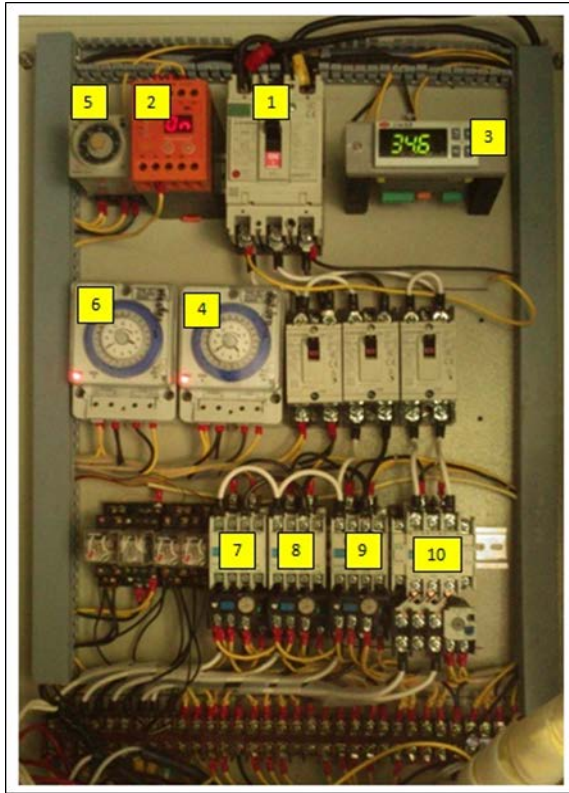
(ง) ปั้มน้ำ ติดตั้งที่ต้นทางของท่อจ่ายน้ำร้อน(ท่อจ่ายน้ำร้อนใช้งานจะอยู่บนสุดของถังเก็บน้ำร้อน) ไปใช้งานเพื่อหมุนเวียนน้ำร้อนในระบบสู่การใช้งานในอาคาร

2.6 ระบบควบคุมของระบบผลิตน้ำร้อนและการปรับตั้ง

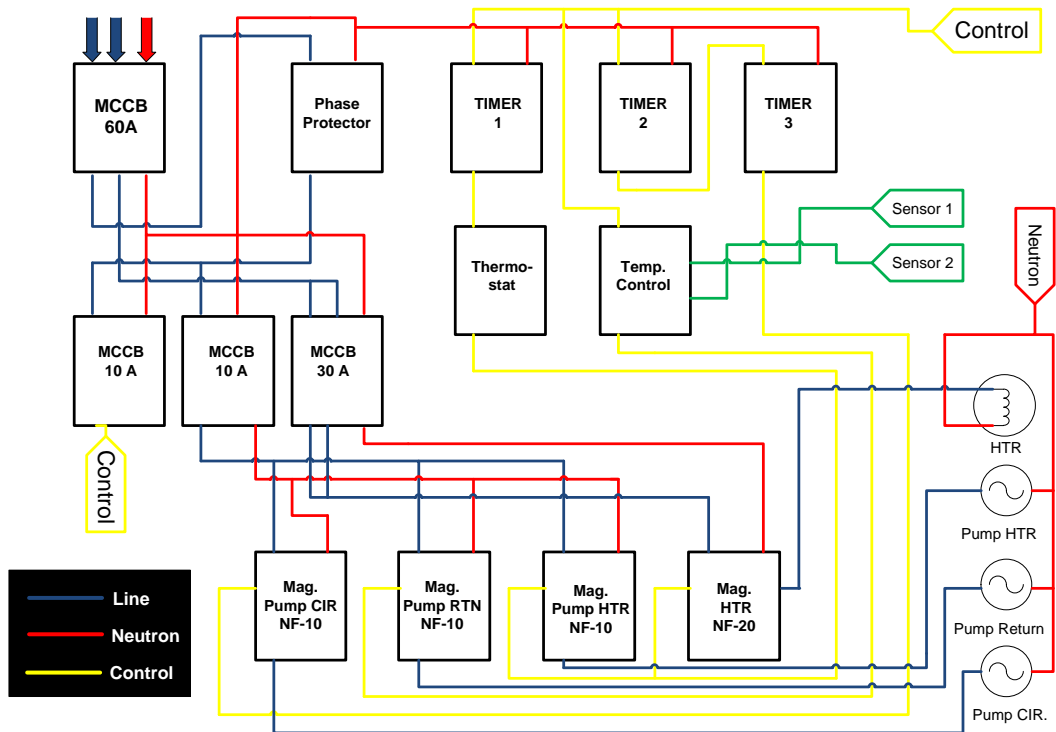
การควบคุมการทำงานสำหรับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์จัดทำขึ้นเพื่อควบคุมเวลาการทำงานของระบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์และระบบเก็บน้ำร้อนตามสภาวะสิ่งแวดล้อมและอื่นๆ ที่จะทำให้สามารถผลิตน้ำร้อน ได้ดีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์และถังเก็บน้ำร้อน ซึ่งการควบคุมต่างๆ ต้องสามารถป้องกันระบบภายใต้สภาวะที่ไม่ดีต่างๆ อย่างเช่น การเกิดความร้อนเกินกว่าที่กำหนด เป็นต้น การควบคุมต้องทำให้เกิดความเหมาะสมในการรวมผสานระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์และระบบความร้อนหลัก เพื่อที่จะทำให้มีการใช้ประโยชน์ระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์มากที่สุดและลดการใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง สำหรับวัตถุประสงค์ของการออกแบบเพื่อที่จะให้ได้ระบบควบคุมที่เหมาะสมโดยการคัดเลือกและการติดตั้งอุปกรณ์ระบบควบคุมที่เหมาะสม (โดยทั่วไปจะเป็นตัววัดอุณหภูมิและวงจรควบคุมทางไฟฟ้า) การแสดงผลการตรวจวัดจัดทำขึ้นเพื่อที่จะแสดงผลการทำงานของระบบหรือผลของการผลิตและการใช้พลังงานจากพลังงานรังสีอาทิตย์ โดยการแสดงผลการตรวจวัดการทำงานจะไม่แสดงเฉพาะการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์เท่านั้น แต่ควรจะเป็นการแสดงถึงวิธีทำงานของระบบที่ทำให้เกิดต้นทุนต่ำด้วย

2.6.1 อุปกรณ์ระบบควบคุมของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดที่ติดตั้งใน โรงพยาบาล มีชุดควบคุมการทำงาน โดยใช้อุปกรณ์หลักคือ Timer และ Magnetic switch ซึ่งระบบควบคุมได้ติดตั้งไว้ในกล่องกันน้ำ และมีรายละเอียดอุปกรณ์ควบคุมและตำแหน่งที่ติดตั้ง รวมทั้งวงจรควบคุมระบบแสดงไว้ในรูปที่ 2.12 – 2.13



รูปที่ 2.12 ลำดับและอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุม



รูปที่ 2.13 วงจรควบคุมภายในตู้ควบคุม

โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์หลักของระบบควบคุมตามลำดับเลขที่ระบุในรูปที่ 2.12 ดังนี้

- (1) เบรกเกอร์หลัก (Main Breaker) ทำหน้าที่ตัดไฟทั้งระบบ
- (2) เฟสโพรเทคเตอร์ (Phase Protector) ทำหน้าที่ป้องกันแรงดันขาเข้าของเฟสที่อาจมีค่ามากผิดปกติเข้ามาในระบบและอาจเกิดความเสียหาย
- (3) อุปกรณ์ตรวจวัดความต่างของอุณหภูมิ (Differential Temperature Device) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของปั๊มหมุนเวียน (Circulation Pump) ซึ่งจะทำงานเมื่ออุณหภูมิต่างกันของน้ำด้านล่างของถังและขาออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ตามการปรับตั้งที่เหมาะสม
- (4) อุปกรณ์ตั้งเวลา (Timer) ควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำกลับ (Return Pump) โดยจะให้ทำงานที่เวลาตามสถานะที่เหมาะสม เพื่อให้ น้ำที่ค้างอยู่ในท่อเป็นน้ำร้อนพร้อมใช้อยู่เสมอ
- (5) อุปกรณ์ตั้งเวลา หรือ ไทม์เมอร์ (Timer) ควบคุมการหยุดทำงานของปั๊มน้ำกลับ (Return Pump) ตั้งเวลาตามความยาวของท่อน้ำร้อน
- (6) อุปกรณ์ตั้งเวลา หรือ ไทม์เมอร์ (Timer) ควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำเข้าฮีตเตอร์ เพื่อใช้คงสภาพความร้อนของระบบเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส (ตัดการทำงานด้วยเทอร์โมสตัดท์) โดยการทำงานของปั๊มจะทำงานขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เทอร์โมสตัดท์ว่าต่ำกว่าที่กำหนดหรือไม่
- (7) แม็กเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contractor) สั่งการทำงานของปั๊มหมุนเวียน
- (8) แม็กเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contractor) สั่งการทำงานของปั๊มน้ำกลับ
- (9) แม็กเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contractor) สั่งการทำงานของปั๊มน้ำเข้าฮีตเตอร์
- (10) แม็กเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contractor) สั่งการทำงานของฮีตเตอร์ (ฮีตเตอร์จะทำงานพร้อมกับปั๊มน้ำเข้าฮีตเตอร์เสมอในเงื่อนไขการทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส และเป็นช่วงเวลาที่อาจมีการใช้น้ำในเวลากลางคืน

2.6.2 การควบคุมการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

หน้าที่เบื้องต้นของการควบคุมการทำงานคือ เพื่อที่จะทำให้มั่นใจได้ว่าระบบมีการทำงานเมื่อมีพลังงานความร้อนเพียงพอเหมาะสม และหน้าที่ขั้นที่สองจะทำการป้องกันความเสียหายจากการเกิดความร้อนเกินของถังเก็บน้ำร้อนในระหว่างสถานะมีความต้องการใช้น้ำร้อนหรือไม่มีความต้องการใช้น้ำร้อน อุปกรณ์ควบคุมและสวิทช์ปิดเปิดที่ถูกนำมาใช้ในการทำหน้าที่ควบคุมดังกล่าวนี้ประกอบด้วยดังนี้ (ศิริชัย เทพา, 2555)

(ก) เครื่องควบคุมอุณหภูมิแตกต่าง (Differential Temperature Controllers; DTCs) และตัววัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) โดยจะควบคุมอุณหภูมิแตกต่างระหว่างน้ำร้อนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์กับน้ำเย็นในถังเก็บน้ำร้อน เมื่ออุณหภูมิแตกต่างถึงจุดสูงสุดที่กำหนดไว้ DTCs จะสั่งให้ระบบเริ่มทำงาน และ DTCs จะสั่งให้ระบบหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิแตกต่างลดลงต่ำกว่าจุดต่ำสุดที่กำหนดไว้ ซึ่ง DTCs อาจจะหยุดและ/หรือป้องกันระบบทำงานเมื่อถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้

(ข) สวิตช์จำกัดอุณหภูมิสูง (High Temperature Limit Switches) โดยทั่วไปจะอยู่ในสถานะปกติปิด และสวิตช์นี้จะเปิดเมื่อวัดค่าอุณหภูมิได้เกินอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ซึ่งปกติแล้วจุดที่ตั้งค่าสามารถปรับตั้งค่าได้อยู่ที่ประมาณ 71-99 °C สวิตช์นี้อาจจะถูกใช้ร่วมกับ DTCs และใช้เป็นตัวสำรองที่จะป้องกันอุณหภูมิเกินค่าที่กำหนดของถังเก็บน้ำร้อนซึ่งเป็นหน้าที่เบื้องต้นของ DTCs อยู่แล้วและส่วนใหญ่แล้ว การตั้งค่าของสวิตช์นี้ควรจะสูงกว่าจุดตั้งค่าอุณหภูมิเกินที่กำหนดของ DTCs ประมาณ 3 °C และสวิตช์นี้เมื่อทำงานไปแล้วและจะกลับมาจุดเริ่มต้นใหม่ก็เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดตั้งค่าไว้ประมาณ 4 °C

(ค) สวิตช์เปิดปิดการไหล (Flow Switches) โดยทั่วไปจะอยู่ในสถานะปกติเปิด (ON) สวิตช์นี้จะปิดเมื่อวัดค่าการไหลได้น้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ และจะเปิดเมื่อการไหลเท่ากับหรือมากกว่าจุดตั้งค่าไว้ และต้องแน่ใจได้ว่าปั๊มจะไม่มีการทำงานถ้าการไหลที่ออกแบบไม่เป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ภายในระยะเวลา 5-10 นาที ซึ่งสวิตช์นี้จะป้องกันปั๊มเกิดความเสียหายหากมีการรั่วเกิดขึ้นในวงจรหรือวาล์วปิดการไหลเกิดการทำงานผิดปกติ

(ง) เทอร์โมสแตต (Thermostat) ทำหน้าที่เป็นตัวเปิดปิดเครื่องทำน้ำร้อนเสริมโดยสามารถตรวจจับอุณหภูมิที่เราต้องการให้เครื่องทำน้ำร้อนเสริมทำงาน จะติดตั้งไว้ในส่วนกลางของถังเก็บน้ำร้อน

2.6.3 การปรับตั้ง

หลังจากระบบเริ่มทำงานเรียบร้อยแล้ว ต้องมีการปรับตั้งให้ระบบทำงานที่จุดที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (ศิริชัย เทพา, 2555)

(ก) เปิดวาล์วน้ำเข้า-ออกแผงรับแสงทุกชุด

(ข) สังเกตอุณหภูมิน้ำเข้าแผงจะใกล้เคียงกันถ้าอุณหภูมิน้ำออกถ้ามีชุดใดชุดหนึ่งมีอุณหภูมิตรงทางออกสูง แก้โดยการปรับวาล์วชุดที่มีอุณหภูมิออกต่ำโดยการหรีวาล์วล้ออัตราการไหลแล้วรอสัก 2-5 นาที สังเกตอุณหภูมิตรงทางออก ถ้าเท่ากันก็จะหยุดปรับวาล์วทางออกจนกระทั่งอุณหภูมิตรงทางออกของทุกชุดใกล้เคียงหรือเท่ากัน แสดงว่าการไหลของน้ำที่ผ่านแผงทุกชุดสมดุลกัน

(ค) หลังจากปรับอัตราการไหลทุกชุดสมดุลแล้วให้ปรับโพรพาล์วหลังปั๊มเพื่อให้ น้ำไหลผ่านแผงทุกชุดในอัตรา ไหลที่เหมาะสม หรืออาจจะสังเกตที่อัตราการไหลอื่นก็ได้ที่ทำให้แผงรับแสงอาทิตย์ ถ่ายความร้อนให้น้ำได้ดีที่สุด

(ง) การปรับตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิแตกต่าง (Differential temperature controllers; DTCs) ที่เหมาะสมกับระบบนั้นๆ

(จ) การปรับตั้ง Timer ของน้ำร้อนไหลกลับ ในการตั้ง Timer หลัก ควรสังเกตการใช้ น้ำของอาคาร นั้นๆ โดยปกติจะตั้งให้ปั๊มทำงานทุก 1 ชั่วโมง เพื่อให้ น้ำในท่อจ่ายน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงตลอดเวลา แต่ ถ้ามีข้อมูลการใช้ น้ำของผู้เข้าพัก เช่น โรงแรม ในตอนกลางวันหรือช่วงหลังเวลาสี่ทุ่มถึงตีสี่ จะไม่มี ผู้ใช้น้ำช่วงเวลาดังกล่าวอาจไม่ ให้ปั๊มทำงาน เพราะถ้าปั๊มทำงานทุกชั่วโมงทำให้การใช้ไฟฟ้าของปั๊ม เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการที่ปั๊มน้ำร้อนจากถังไปยังท่อจ่ายน้ำพร้อมใช้งานความร้อนจะสูญเสียผ่านท่อ ทำให้สูญเสียพลังงานความร้อน การปรับตั้ง Timer รอง ปรับตั้งโดยการจับเวลา โดยการสังเกตน้ำ ร้อนที่ไหลไปตามท่อจ่ายจนกับมาสู่ถังใช้เวลากี่นาทีก็จะตั้งตามเวลาที่ ได้จากการวัดนั้น

(ฉ) การปรับตั้ง Timer ของความร้อนเสริมให้ทำการปรับตั้งการทำงานที่เหมาะสมกับสภาวะ แวดล้อมและพฤติกรรมการใช้ น้ำร้อนของผู้เข้าพัก

2.7 การประเมินประสิทธิภาพระบบ

ในการประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนรังสีอาทิตย์นี้ การทำงานของระบบสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ ตามลักษณะการหมุนเวียนของของไหลในระบบ ดังนี้

(ก) การหมุนเวียนของของเหลวไหลตามธรรมชาติ ระบบมีการหมุนเวียนของของเหลวไหลตามธรรมชาติ หมายถึง ระบบที่ของเหลวสามารถไหลได้โดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของของเหลว และความแตกต่างของความสูง ระบบนี้มักจะมีขนาดเล็ก ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบมีน้อยชิ้นและไม่ยุ่งยากในการบำรุงรักษา

(ข) การหมุนเวียนของของเหลวไหลแบบพาสซีฟ ในระบบนี้จะอาศัยปั๊มน้ำ สามารถกำหนดอัตราการไหลได้ ระบบแบบพาสซีฟมักเป็นระบบใหญ่ ประกอบด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์หลายสิบตัวหรือหลายร้อยตัว โดยปกติจะมีระบบท่อที่แจกแจงของเหลวไหลระหว่างตัวเก็บรังสี ท่อจะยาวมากน้อยเท่าไรขึ้นกับจำนวนตัวเก็บรังสี และการต่อกันระหว่างตัวเก็บรังสีไม่ถูกวิธีอาจทำให้อัตราการไหลของของเหลวไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นประสิทธิภาพระบบจึงขึ้นกับองค์ประกอบหลายอย่าง

พลังงานที่ใช้ประโยชน์ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ แต่ละวันแบ่งออกได้ 2 อย่าง คือ พลังงานที่นำไปใช้งาน และพลังงานที่สะสมในถังเก็บ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

พลังงานความร้อนสะสมและที่ใช้ประโยชน์ได้ในแต่ละครั้ง

$$q_u = MC_p(T_{st} - T_{sf}) + m' C_p(T_{so} - T_{si}) \quad (2.17)$$

เมื่อ m' คือ อัตราการถ่ายโอนน้ำร้อนไปใช้งาน (kg/hr)

ถ้ามีการใช้น้ำร้อน n ครั้งจะได้

$$q_u = (MC_p)(T_{st} - T_{sf}) + \sum_1^n \dot{m}' C_p (T_{so} - T_{si}) \quad (2.18)$$

เมื่อ q_u คือ ปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ของระบบผลิตน้ำร้อน (kg/hr)
 T_{st} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนในถังเก็บในชั่วโมงสุดท้าย ($^{\circ}\text{C}$)
 n คือ จำนวนชั่วโมงที่ทำการทดสอบในแต่ละวัน (hr)

ประสิทธิภาพระบบเฉลี่ยทั้งวัน

$$\eta_s = \frac{\sum_1^n \dot{m}' C_p (T_{so} - T_{si}) + MC_p (T_{st} - T_{sf})}{I_r A_c + q_E} \quad (2.19)$$

$$\eta_s = \frac{q_u}{I_r A_c + q_E} \quad (2.20)$$

เมื่อ A_c คือ พื้นที่รับรังสีทั้งหมด (m^2)
 C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ ($\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$)
 T_{st} คือ อุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าสู่ถังเก็บในชั่วโมงสุดท้าย ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{si} คือ อุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่ถังเก็บ ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{so} คือ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากถังเก็บ ($^{\circ}\text{C}$)
 q_E คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ 1 kWh เท่ากับ 3600 kJ
 I_r คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบตัวเก็บรังสี ($\text{MJ/m}^2\text{-day}$)
 M คือ ปริมาณน้ำร้อนที่ยังเหลืออยู่ในถังเก็บน้ำร้อน (kg)
 \dot{m}' คือ อัตราการใช้น้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนต่อชั่วโมง (kg/hr)
 η_s คือ ประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนรังสีอาทิตย์

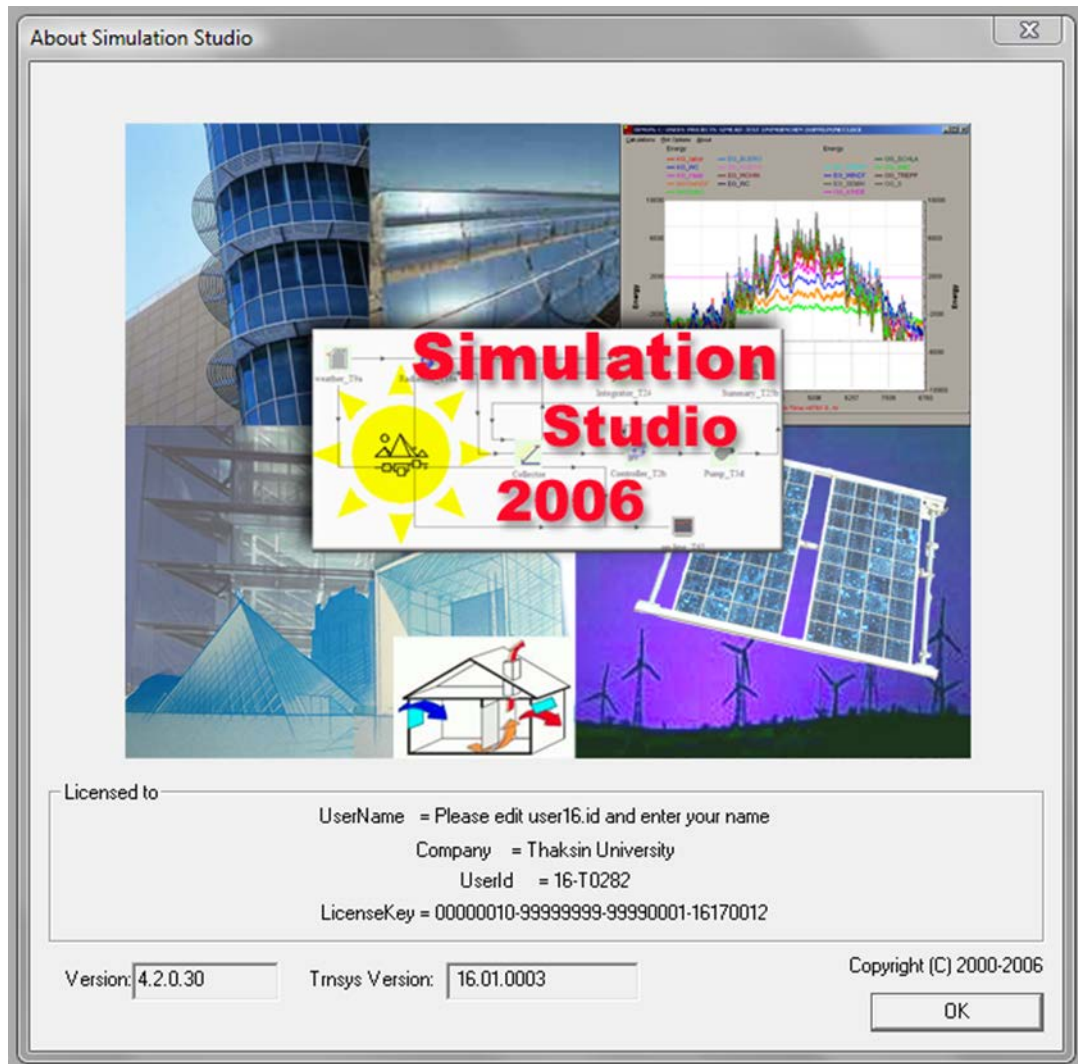
2.8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปหรือโปรแกรม TRNSYS ย่อมาจาก “TRaNsient SYStem Simulation Program” เป็นเครื่องมือช่วยในการจำลองโมเดลระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์และอื่นๆ ซึ่งพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยวิสคอนซิน สหรัฐอเมริกา หน่วยงานที่ทำการศึกษาวิจัยทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉพาะ ดังรูปที่ 2.14 โปรแกรม TRNSYS แบ่งตามลักษณะการทำงาน ประกอบด้วย 3 ส่วน (University of Wisconsin, 2013)

(ก) Sim Cad Programs (SIMCAD) เป็น โปรแกรมย่อย เพื่อความสะดวกในการวาดแบบระบบต่างๆ ส่วนมากใช้ในการสร้างแบบบ้านหรืออาคารที่ต้องการจำลองรูปแบบ

(ข) TRNBuil Programs เป็น โปรแกรมย่อยเช่นกัน แตกต่างจาก SIMCAD ตรงที่ TRNBuil สามารถแก้ไขและเพิ่มข้อมูลจากที่ได้กำหนดไว้เมื่อเริ่มต้น จากการเขียนแบบใน SIMCAD และยังสามารถเลือกรูปแบบการนำเสนอผลได้ตามต้องการ

(ค) Trnsys Simulation Studio เป็น โปรแกรมหลักในการประมวลผลและสร้างรูปแบบของระบบ เพราะใน Trnsys Studio มีรูปแบบโมเดลมาตรฐานเกี่ยวกับระบบด้านพลังงานความร้อน ไฟฟ้า และระบบพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.14 โปรแกรม TRNSYS 16
(University of Wisconsin, 2013)

2.9 โรงพยาบาลและการใช้น้ำร้อน

การศึกษากระบวนการผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัด ส่วนของอาคารผู้ป่วยใน โรงพยาบาลควรดำเนินการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาจากสถานที่ติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัด ณ โรงพยาบาล รวมถึงการสอบถามข้อมูลจากเจ้าหน้าที่โรงพยาบาล เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์การปรับตั้งระบบฯและแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่อาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยการผลิตน้ำร้อน การนำน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ ฯลฯ การปรับการควบคุมการ

ทำงานของระบบให้เหมาะกับสภาพแวดล้อม และปรับระบบให้สอดคล้องกับการใช้งาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

2.9.1 ข้อมูลทั่วไปของสถานที่

โรงพยาบาลท้องถิ่นขนาดเล็ก สถานที่ตั้งในจังหวัดเชียงใหม่ที่ละติจูด 14.09 N ลองจิจูด 100.68 E มีบุคลากรทั้งหมด 93 คน แบ่งเป็น แพทย์ 3 คน เภสัช 4 คน ทันตแพทย์ 2 คน พยาบาล 33 คน เจ้าหน้าที่ 51 คน และอาคารส่วนงานของโรงพยาบาลทั้งหมด มีรายละเอียดดังนี้

- อาคารส่วนบริหาร 1 อาคาร
- อาคารผู้ป่วยนอก 1 อาคาร
- อาคารผู้ป่วยใน 1 อาคาร จำนวน 30 เตียง
- อาคารศูนย์ส่งเสริมสุขภาพ 1 อาคาร
- อาคารเวชศาสตร์ฟื้นฟู 1 อาคาร
- โรงครัว 1 โรง
- โรงซักผ้า 1 โรง

2.9.2 สภาพแวดล้อมของแต่ละภูมิภาค

เนื่องจากสภาพแวดล้อมของแต่ละภูมิภาคของประเทศแตกต่างกัน ทั้งปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมส่งผลให้ปริมาณน้ำร้อนที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีขนาดเท่ากันและแผงรับแสงอาทิตย์ชนิดเดียวกัน แต่ละพื้นที่ผลิตน้ำร้อนได้ปริมาณที่ไม่เท่ากัน การออกแบบให้ได้ระบบที่มีความเหมาะสมต้องคำนึงถึงค่าปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนของเดือนที่มีค่าน้อยที่สุด เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นว่าระบบสามารถทำงานผลิตน้ำร้อนให้ได้อย่างน้อยเท่ากับความต้องการปริมาณน้ำร้อนที่ออกแบบ สำหรับโรงพยาบาลที่จังหวัดเชียงใหม่ มีค่าปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ยของเดือนพฤษภาคมมีค่ามากที่สุดและเดือนธันวาคมมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ $22.3 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$ และ $14.70 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$ ตามลำดับ โดยมีค่าปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ $17.76 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$ ทั้งนี้นอกเหนือจากการออกแบบระบบฯ ต้องคำนึงถึงการปรับตั้งระบบให้เหมาะสมด้วย

2.9.3 ความต้องการน้ำร้อนเบื้องต้น

ในกรณีโรงพยาบาลมีความต้องการน้ำอุ่นให้กับผู้ป่วยและแขกที่เข้าพัก ในการประเมินความต้องการน้ำร้อนจะประเมินตามจำนวนห้องพักและจำนวนแขกที่เข้าพัก ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการใช้น้ำร้อนต่อผู้ป่วยและแขกที่เข้าพัก (องค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (GIZ), 2554)

ประเภทของโรงแรม	ปริมาณการใช้น้ำต่อแขกที่เข้าพัก, ลิตร	ข้อมูลเพิ่มเติม
โรงแรมสำหรับเยาวชนหรือสำหรับครอบครัว	25±2.5	ยิ่งจำนวนเด็กมากขึ้นเท่าไร ค่าเฉลี่ยการใช้น้ำต่อแขกยิ่งต่ำลงเท่านั้น
รีสอร์ทในวันหยุดสำหรับเด็ก	10±2.5	เด็กในช่วงอายุ 7-12 ปีจะมีการใช้น้ำร้อนน้อยมาก
โรงแรมทั่วไป	30±5	-
โรงแรมที่มีอุปกรณ์บางอย่าง	50±10	-
โรงแรมที่มีอุปกรณ์มากมาย	70±10	จำเป็นต้องทำการวัดค่าจริงเป็นอย่างยิ่ง
โรงแรมระดับหรูหราระดับ	100	จำเป็นต้องทำการวัดค่าจริงเป็นอย่างยิ่ง
โรงพยาบาล●	30 - 35	-

- ที่มา องค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (GIZ), 2554

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2537) และ ชาญวิทย์ วุฒิวงสานนท์ (2545) ศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แบบประหยัด ทำการออกแบบและสร้างตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบให้มีราคาประหยัด โดยนำชุดระบายความร้อนของระบบปรับอากาศรถยนต์มาประยุกต์เป็นตัวดูดรังสี ชุดระบายความร้อนแต่ละตัวมีขนาด 0.35 m × 0.53 m จำนวนทั้งหมด 10 ตัว โดยนำมาต่อแบบผสมผสานเป็นแบบอนุกรมและแบบขนานร่วมกัน โดยต่อแบบขนาน 2 แถว ต่อแบบอนุกรมแถวละ 5 ตัว ขนาดพื้นที่รับรังสีที่ทำกรทดสอบ 2.46 m²กรณีที่ทำกรทดสอบกลางแจ้ง โดยใช้มาตรฐาน ASHARE 93-77 กรณีที่ 2 ทำการทดสอบกลางแจ้ง ด้วยนำน้ำเย็นป้อนเข้าผสมในช่วงที่ต่ออนุกรม

พบว่า มีค่า $\eta = 0.693$ และค่า $Q = 7.1764 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ กรณีที่ 2 พบว่ามีค่า η และ Q ของตัวที่ 2 กับ 3 มีค่าประมาณ 0.6984 และ $6.8086 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ค่า η และ Q ของตัวที่ 3 กับ 4 มีค่าประมาณ 0.6971 และ $6.7649 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ค่า η และ Q ของตัวที่ 4 กับ 5 มีค่าประมาณ 0.6935 และ $6.763 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่า การป้อนน้ำเย็นเข้าผสมในตัวเก็บรังสีจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมลดลงจึงทำให้สมรรถนะสูงขึ้น จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบ ต้นทุนพลังงานที่ผลิตได้ และระยะเวลาคืนทุน ของระบบทำน้ำร้อนทั้ง 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 η และ Q ในกรณีที่มีการต่อแบบอนุกรมของ Oonk สามารถนำมาใช้ในการคำนวณคุณลักษณะของตัวเก็บรังสีได้ดี

ทงศ์ศักดิ์ เต๊ะสมัน (2549) ได้ทำการศึกษาการเลือกขนาดระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในที่พักแบบโฮมสเตย์และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้ไฟฟ้าในการผลิตน้ำร้อน โดยแบ่งเป็น 3 กรณี

- 1) กรณีใช้น้ำร้อนเพื่อการอาบน้ำเพียงอย่างเดียว ใช้น้ำที่อุณหภูมิ $35 \text{ } ^\circ\text{C}$ ในช่วงเวลา 8.00 - 9.00 น. และ 20.00 - 21.00 น. มีผู้ใช้น้ำจำนวน 4 คน คนละ 30 ลิตร ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์พื้นที่ขนาด 2 ตารางเมตร ถึงเก็บน้ำร้อนขนาด 150 ลิตร จะพอต่อความต้องการ และมีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 9 เดือน มีอัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) เท่ากับ 12 %
- 2) กรณีใช้น้ำร้อนเพื่อการอุ่นห้องพักขนาด 3 เมตร \times 4 เมตร \times 3.5 เมตร มีโหลดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.42 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์พื้นที่ขนาด 6 ตารางเมตร ถึงเก็บน้ำร้อนขนาด 450 ลิตร จึงจะสามารถรองรับได้ แต่ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน
- 3) เมื่อคิดระยะเวลาคืนทุนทั้งระบบใช้น้ำร้อนเพื่อการอาบน้ำและใช้น้ำร้อนเพื่อการอุ่นห้องพัก ใช้พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์รวมเป็น 8 ตารางเมตร และถึงเก็บความร้อน รวมเป็น 600 ลิตร มีระยะเวลาคืนทุนที่ 8 ปี 9 เดือน มีอัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) เท่ากับ 2.54%

ยศสวิน กายนันท์ (2546) ได้ศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หมุนเวียนด้วยพลังไอน้ำ สรุปจากการทดลองว่า ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบคือ ความเข้มรังสีอาทิตย์ ปริมาณการสูญเสียความร้อนที่ตัวรับรังสี ปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้และความสูงในการปั๊ม ถ้าต้องการผลิตน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นต้องทำการลดมวลน้ำในถังน้ำร้อนให้น้อยลง หรือลดความสูงในการปั๊ม หรือเพิ่มพื้นที่ตัวรับรังสี สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้นต้องลดการสูญเสียความร้อนในอุปกรณ์ต่างๆ ตัวรับรังสีที่ใช้ต้องมีประสิทธิภาพสูง และปรับปรุงกลไกการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ระดับชั้นต่างๆ ภายในถังเก็บความร้อน ต้องส่งเสริมให้มีการหมุนเวียนเพิ่มขึ้นเพื่อลดความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนในระดับต่างๆ ให้น้อยลง

สกถวรรธน์ อัมพันธ์โรจนานันท์ (2555) การวิเคราะห์ระบบผลิตน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับโรงพยาบาล ติดตั้งระบบที่มีขนาดถังสะสมน้ำร้อน 2000 ลิตร ขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 18 ตารางเมตร ทดสอบประสิทธิภาพของระบบในวันที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 23.7 MJ/m².day มีพลังงานความร้อนสะสมเฉลี่ย 195.47 MJ/day และนำไปใช้ 25.77 MJ/day ซึ่งน้ำร้อนที่ไปใช้งานอุณหภูมิเฉลี่ย 50.7 °C ใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินระบบตลอดวัน 4.7 kWhr โดยมีประสิทธิภาพของระบบเฉลี่ย 49 % พบว่าการลงทุนติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดของโรงพยาบาลแห่งหนึ่ง กรณีมีเงินลงทุนสนับสนุนจากทางภาครัฐ ที่ทำการศึกษามีความเหมาะสมต่อการลงทุนเป็นอย่างมาก เพราะมีความคุ้มทุนก่อนหมดอายุโครงการ 15 ปี และราคาพลังงานต่อหน่วยจะถูกกว่ากรณีไม่มีเงินสนับสนุน 68.2 %

Ayompe และ Duffy (2013) ทำการทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ขนาดแผง 4 ตารางเมตร ที่ Dublin ระบบประกอบด้วยปั๊มช่วยในการหมุนเวียนของน้ำและระบบควบคุมน้ำร้อนออกซึ่งมีระบบน้ำร้อนเสริมแบบจุ่ม ใช้เวลาในการทดสอบข้ามปีพบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่น้ำออกเป็น 70.4 °C ขณะที่อุณหภูมิสูงสุดที่ได้ถึงเป็น 59.9 °C ได้พลังงานเฉลี่ยต่อวัน 19.6 MJ/d พลังงานส่งโดย Solar Coil เป็น 16.2 MJ/d สูญเสียพลังงานที่ท่อส่งน้ำ 3.2 MJ/d Solar Fraction เท่ากับ 32.2% ประสิทธิภาพแผง 45.6% และประสิทธิภาพระบบเท่ากับ 37.8% สูญเสียในท่อ 16.4%

Kiatsiriroat, et al. (1996) ได้ทำการศึกษาปัญหาและอุปสรรคของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ภายในประเทศไทยโดยได้สำรวจข้อมูลการติดตั้งจากโรงพยาบาลและโรงแรมทั่วไปที่ใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 - 60 °C ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์โดยใช้เครื่องสูบน้ำในระบบและทำการสรุปปัญหาต่างๆที่สำคัญคือตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจะเกิดละอองน้ำภายในตัวตัวเก็บรังสีอาทิตย์ส่วนถังเก็บน้ำร้อนจะเกิดการเสื่อมสภาพฉนวน เกิดสนิมและระบบท่อน้ำร้อนภายในท่อจะเกิดการอุดตันของตะกอนอีกทั้งยังสูญเสียความร้อนภายในถังเก็บน้ำและท่อน้ำร้อน สู่วัดสิ่งแวดล้อมส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบลดลงทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ เพิ่มขึ้น