

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการ

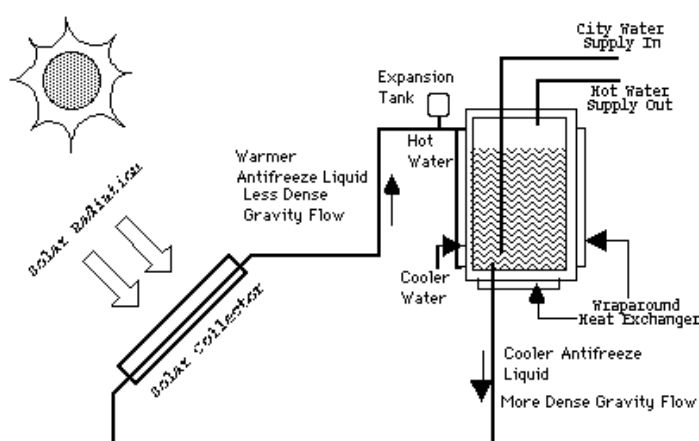
2.1.1 การทำความร้อนโดยพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ เช่น การใช้เป็นแสงสว่างโดยตรง การใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า การทำความร้อนให้กับอากาศและน้ำ เป็นต้น การทำความร้อนให้กับน้ำ อาศัยหลักการการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน โดยการนำแผงรับแสงอาทิตย์มารับแสง ผิวหน้าของแผงจะทำการดูดกลืนแสงอาทิตย์ให้เปลี่ยนเป็นความพลังงานความร้อน เมื่อมีของไหลไหลผ่าน เช่นน้ำ ดังนั้นเมื่อน้ำได้รับพลังงานความร้อนจากแผงส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น ถือว่าเป็นการนำพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ไปใช้งานได้ โดยทั่วไประบบการทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีการออกแบบเพื่อให้สามารถทำอุณหภูมิได้สูงโดยการหุ้มฉนวนทาด้วยสีดำ เพื่อเพิ่มการดูดกลืนรังสี และใช้กระจกปิดทับด้านหน้า เพื่อลดการสูญเสียความร้อน นอกจากนี้อาจเคลือบแผงรับแสงอาทิตย์ด้วยสาร ซึ่งมีคุณสมบัติดูดกลืนรังสีคลื่นสั้นได้ดี แต่มีการปลดปล่อยรังสีความร้อนต่ำ (Selective Surface) [จรวาย บุญยกุล และคณะ, 2529]

ระบบทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักได้แก่แผงรับแสงอาทิตย์ ระบบท่อและถังเก็บน้ำ โดยอาจแบ่งตามการไหลเวียนได้ 2 รูปแบบคือ การไหลเวียนแบบธรรมชาติ (Natural Circulation) และการไหลเวียนแบบใช้พลังงานจากภายนอก (Force Circulation) [มารีนา มะหนิ, 2542]

สำหรับการไหลเวียนแบบธรรมชาติในระบบนี้แสดงไว้ในรูป 2.1 ถังเก็บน้ำร้อนต้องอยู่สูงกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ เมื่อน้ำในแผงรับแสงอาทิตย์ได้รับความร้อนก็จะมีการขยายตัว ทำให้ความหนาแน่นลดลง และลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนเข้าสู่ถังเก็บ ขณะเดียวกันน้ำจากด้านล่างของถังซึ่งมีอุณหภูมิต่ำจะไหลเข้าแทนที่น้ำร้อน ทำให้เกิดการไหลเวียนในระบบ โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานภายนอก ส่วนการไหลเวียนแบบใช้พลังงานจากภายนอก (Force Circulation) มีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม คือ ปั๊มน้ำ ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการหมุนเวียนของน้ำแทนการหมุนเวียนตามธรรมชาติ ส่วนระบบควบคุม มักจะกำหนดตามความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ เช่น หากอุณหภูมิขาเข้าและขาออกแตกต่างกันเกิน 5°C ซึ่งหมายความว่า มีพลังงานแสงอาทิตย์มากเพียงพอต่อการทำความร้อน ระบบควบคุมจึงจะสั่งให้ปั๊มทำงาน ประสิทธิภาพของ

ระบบทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์นอกจากจะขึ้นกับการออกแบบระบบแล้ว ยังแปรผันตามปริมาณรังสีตกกระทบ ซึ่งปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดปริมาณรังสีตกกระทบ ได้แก่ มุมเอียงของแผง ระยะทางของการแผ่รังสี ปริมาณเมฆ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบการไหลเวียนของน้ำ

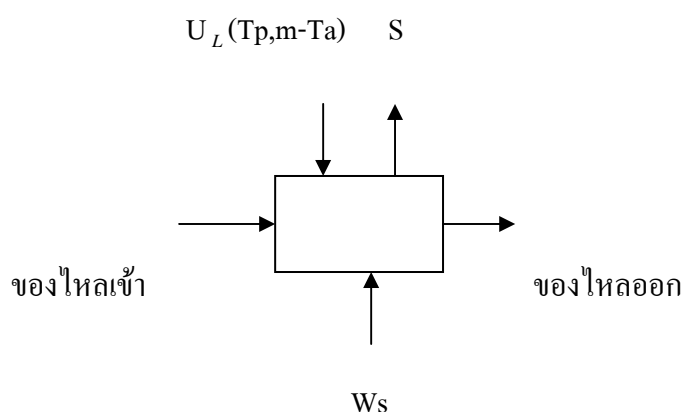
มุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์ ให้หันระนาบไปทางทิศใต้ และมีมุมเอียงที่เหมาะสม มุมเอียงสำหรับการติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์จะขึ้นกับละติจูดของตำแหน่งที่ทำการติดตั้ง และลักษณะการใช้งาน หากต้องการความร้อนสูงสุดในฤดูหนาวควรติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์ทำมุมมากกว่าละติจูดของตำแหน่งที่ทำการติดตั้ง 12 องศา ส่วนในฤดูร้อนหากต้องการความร้อนสูงสุด ควรทำการติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์ทำมุมน้อยกว่าละติจูดที่ทำการติดตั้ง 12 องศา และหากต้องการความร้อนเฉลี่ยสูงสุดตลอดทั้งปี ให้ติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์ทำมุมเท่ากับละติจูดของสถานที่ที่ทำการติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์นั้น [จรรยา บุญยุบล และคณะ, 2529]

ระยะทางของการแผ่รังสี ถ้าระยะทางการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ยาว เช่น ช่วงเช้าหรือบ่าย ปริมาณรังสีที่แผงได้รับจะลดลง ซึ่งมีการให้คำนิยาม เพื่อกำหนดระยะทางสัมพัทธ์ที่แสงอาทิตย์ส่องผ่านบรรยากาศ โดยให้ตำแหน่งเมื่อดวงอาทิตย์ตรงศีรษะมีแอร์แมส (Air Mass) เท่ากับ 1 ส่วนที่ตำแหน่งอื่นๆ แอร์แมสจะมีค่าเท่ากับ $\sec\theta_z$, เมื่อ θ_z คือมุมที่แนวแสงอาทิตย์กระทำกับเส้นที่ตั้งฉากกับพื้นโลก [จรรยา บุญยุบล และคณะ, 2529]

ปริมาณเมฆ รังสีจากดวงอาทิตย์จะประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจาย ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส รังสีส่วนใหญ่จะเป็นรังสีตรง ซึ่งทำให้แสงมีความเข้มสูง ตรงข้ามกันหากท้องฟ้ามีเมฆมาก รังสีจากดวงอาทิตย์จะประกอบด้วยรังสีกระจายเป็นส่วนใหญ่

ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เนื่องจากการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ดังนั้น ระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จึงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้รังสีที่ตกกระทบแผงรับ แสงอาทิตย์แตกต่างกันไปทุกวันเช่นเดียวกัน [มารีนา มะหนิ, 2542]

การหาสมการพลังงานของระบบ



รูปที่ 2.2 สมดุลพลังงานบนตัวรับรังสี

รูปที่ 2.2 แสดงสมดุลพลังงานบนแผงรับแสงอาทิตย์ที่สถานะสม่ำเสมอ (Steady State) เมื่อ S เป็นพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์ $U_L(T_{p,m} - T_a)$ เป็นพลังงานที่สูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อมจะได้ว่า ความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เท่ากับผลต่างของความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ และ ส่วนที่สูญเสียให้สิ่งแวดล้อม ในกรณีของ Force Circulation มีสมมติฐานว่างานที่ใช้ปั๊มมีค่าน้อย จึงไม่นำมาคิดจะได้ว่า

$$Q_u = A_c (S - U_L(T_{p,m} - T_a)) \quad (2.1)$$

นอกจากนี้ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ กำหนดได้จากอัตราส่วนของความร้อน ที่นำไปใช้ประโยชน์ต่อปริมาณรังสีรวมที่ตกกระทบบนแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งได้ว่า

$$\eta = \frac{\int Q_u dt}{A_c \int G_T dt} \quad (2.2)$$

นอกจากนี้เรายังสามารถหาการกระจายของอุณหภูมิตามทิศทางกรไหลดที่ตำแหน่ง y ใดๆ ได้จากความสัมพันธ์ ของ Duffie และ Beckmann ดังนี้

$$\frac{T_y - T_a - S/U_L}{T_{fi} - T_a - S/U_L} = \exp\left(\frac{-U_L W F'_y}{m C_p}\right) \quad (2.3)$$

2.1.2 การทำความเย็นโดยการแผ่รังสี

Maxwell และ Max Plank เสนอทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งกล่าวว่า ในการแผ่รังสีความร้อนเคลื่อนที่โดยอาศัยกลไกของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หมายความว่า ในการแผ่รังสีวัตถุจะเปลี่ยนพลังงานภายใน (Internal Energy) ไปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อคลื่นเหล่านี้เคลื่อนที่ไปกระทบกับวัตถุอื่นพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่นจะถูกดูดกลืนเอาไว้และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน เมื่อวัตถุแผ่รังสีออกไป หากไม่ได้รับความร้อนเพิ่มเข้ามาอุณหภูมิจะลดลง หากวัตถุมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิศูนย์สมบูรณ์ วัตถุนั้นจะแผ่รังสีออกมาตลอดเวลาที่ทุกความยาวคลื่น ซึ่งในการแผ่รังสีนั้น ความร้อนจะถ่ายเทได้ดีที่สุด เมื่อไม่มีตัวกลางหรือในสุญญากาศ [นักสิทธิ์ คุ้มพัฒนาชัย, 2526]

หลักการทำความเย็นด้วยการแผ่รังสีความร้อน โดยใช้ Radiator จะอาศัยการแผ่รังสีความร้อนออกจาก Radiator (Heat Source) สู่สิ่งแวดล้อมซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า (Heat Sink) สำหรับบรรยากาศจะยอมให้รังสีที่มีความยาวคลื่นประมาณ 8 ถึง 13 ไมโครเมตรผ่านได้โดยไม่มีการดูดกลืน ซึ่งเรียกความยาวคลื่นดังกล่าวว่าหน้าต่างของบรรยากาศ (Atmospheric Window) [มารีนา มะหนิ, 2542] โดยอัตราการแผ่รังสีจะขึ้นอยู่กับ ผลต่างของอุณหภูมิวัตถุกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและลักษณะของพื้นผิว ในกรณีอุณหภูมิของ Radiator สูงกว่าสิ่งแวดล้อมยังมีการแผ่ความร้อนออกจาก Radiator ด้วยการพาความร้อน ส่วนการนำความร้อนสามารถตัดทิ้งได้ ซึ่งจะได้ว่า

$$P_c = P_{rad} + P_{conv}. \quad (2.4)$$

สำหรับ Radiator พื้นที่ขนาด A หน่วย มีค่าการปลดปล่อยความร้อน (Emittance) เท่ากับ ε_{rad} จะได้ว่า

$$P_{rad} = A \varepsilon_{rad} (\sigma T_{rad}^4 - R) \quad (2.5)$$

เมื่อ R คือรังสีความร้อนที่ตกกระทบบน Radiator ซึ่งมาจากบรรยากาศใกล้พื้นโลก จึงแทน R ด้วย R_A และสามารถแทนอุณหภูมิชั้นบรรยากาศด้วยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Ambient Temperature) T_a ซึ่งจะได้ว่า

$$R_A = \sigma T_{sky}^4 = \sigma \epsilon T_a^4 \quad (2.6)$$

โดยกำหนดให้ T_{sky} เป็นอุณหภูมิของวัตถุดำซึ่งปลดปล่อยรังสีความร้อนในปริมาณเท่ากับ ท้องฟ้า [M.G.Meir และคณะ, 2003] ซึ่ง R_A จะถูกกำหนดโดยอิทธิพลของปัจจัยดังต่อไปนี้

(1) เมื่อท้องฟ้าแจ่มใส M.G.Meir และคณะ ให้ความสัมพันธ์ของค่า Sky Emittance เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สำหรับบรรยากาศที่ไม่มีเมฆปกคลุม ($\epsilon = \epsilon_0$) ดังนี้

$$\epsilon_0 = 0.711 + 0.0056T_{dp} + 0.000073T_{dp}^2 + 0.013 \cos(2\pi m / 24) \quad (2.7)$$

$$T_{dp} = C_3 \frac{(\ln(RH) + C_1)}{(C_2 - \ln(RH) + C_1)} \quad (2.8)$$

$$C_1 = \frac{C_2 T_{dry}}{(C_3 + T_{dry})}, C_2 = 17.08085, C_3 = 234.175 \text{ และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง } T_{dry}$$

เท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม T_a โดยในการทดลอง T_{dp} อยู่ระหว่าง -20°C ถึง 30°C ส่วน $T_{sky} - T_a$ อยู่ในช่วง 5°C สำหรับอากาศร้อนชื้น และ 30°C สำหรับอากาศเย็นและแห้ง

(2) เมื่อมีเมฆปกคลุมทั้งหมดหรือบางส่วน การมีเมฆในบรรยากาศทำให้มีการดูดกลืนรังสี และการปลดปล่อยรังสีของท้องฟ้ามากขึ้น M.G.Meir และคณะ ได้สร้างความสัมพันธ์ว่า ϵ เป็นฟังก์ชันของสัดส่วนเมฆในท้องฟ้า ค่า Cloud Emittance และอุณหภูมิแตกต่างกันระหว่าง พื้นผิวและ Cloud Base ดังนี้

$$\epsilon = \epsilon_0 + (1 - \epsilon_0)n\epsilon_0 \exp\left(\frac{-Z_c}{Z_*}\right), 0 \leq n \leq 1 \quad (2.9)$$

เมื่อ $Z_* = 8.2 \text{ km}$

$\epsilon_c = 1$ สำหรับ Hemispherical Cloud ที่ความสูงปานกลางและต่ำ

$\varepsilon_c = 0.74 - 0.084(Z_c - 4)$ สำหรับ Cirrus Cloud เมื่อ $4 \leq Z_c \leq 11$ และ $\varepsilon_c = 0.15$ เมื่อ $Z_c \geq 11$

(3) เมื่อพื้นผิวเป็นมุมเอียง รังสีที่ตกกระทบบนระนาบเอียงจะมาจากบรรยากาศ (R_A) และวัตถุนบนพื้นผิวโลก (R_G) จากความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Unsworth และ Monteith (1975a, b) ซึ่งรายงานโดย M.G.Meir และคณะ ดังนี้

$$R(\alpha) = R_A(\alpha) + R_G(\alpha) \quad (2.10)$$

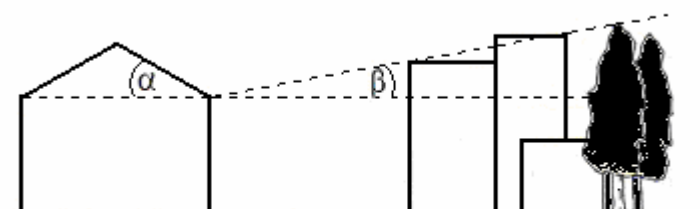
$$\text{เมื่อ } R_A(\alpha) = R_A \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) + bI_7 \sigma T_a^4$$

$$\text{และ } R_G(\alpha) = \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) (\varepsilon_g \sigma T_g^4 + \rho_g R_A)$$

b อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.07 ถึง 0.14 โดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.09

I_7 เป็นฟังก์ชันของมุมเอียง เมื่อ $\alpha = 39^\circ, I_7 = 0.2$

(4) การบังของวัตถุ เมื่อมีวัตถุมาบังการแผ่รังสีทำมุม β กับระดับดังรูปที่ 2.3 จะต้องมีการปรับแก้มุม α เป็น α' โดย $\alpha' = \alpha + \beta$



รูปที่ 2.3 การบังของวัตถุ

(5) การพาความร้อน แสดงได้ด้วยสมการ

$$P_{\text{conv.}} = h_{\text{conv.}} A (T_{\text{rad}} - T_a) \quad (2.11)$$

สำหรับพื้นผิวซึ่งไม่มีแผ่นกั้นลม สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะเป็นฟังก์ชันของความเร็วม ตามสมการ $h_{conv.} = a + bV$ ซึ่งมีผู้หาความสัมพันธ์ไว้หลายท่าน คำแนะนำของ Australian standard, 1989 รายงานโดย M.G.Meir และคณะ กำหนดว่า $h_{conv.} = 3.1 + 4.1V$ ($Wm^{-2}K^{-1}$)

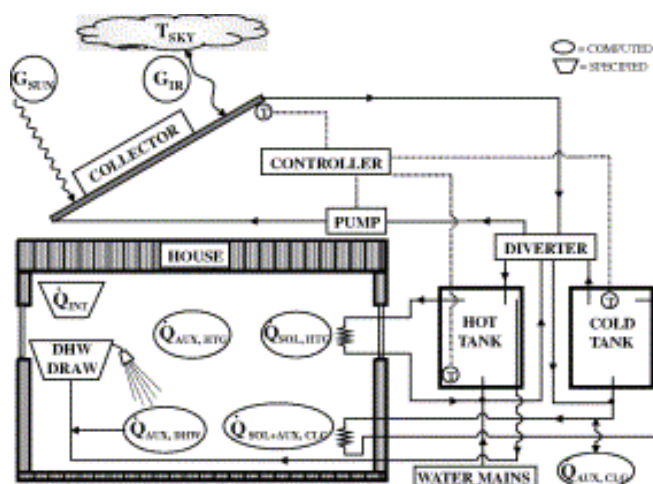
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การทำความร้อน

Erell และ Etzion ได้ทำการทดลองใช้ Radiative Cooling System ที่มีอยู่แล้ว ทำความร้อนให้กับน้ำโดยไม่มีการปรับแต่ง โดยทำการศึกษาคุณลักษณะที่จำเป็นสำหรับการทำความเย็นแต่มีผลต่อการทำความร้อน เช่น การไม่มีกระจกปิด หรือ มุมเอียงที่น้อยเกินไป และหาลักษณะอากาศที่เป็นข้อจำกัดของการทำความร้อน ซึ่งพบว่าระบบให้ความร้อนสูงสุด $510 W/m^2$ และมีค่าเฉลี่ย $324 W/m^2$ โดยมี ประสิทธิภาพ 0.38 เมื่อมีแดดจัด และ 0.28 ในสภาพอากาศแปรปรวน และปัจจัยภายนอกมีผลต่อความร้อนที่ได้ ดังสมการ

$$Q = 146 - 50.4V + 0.62R - 18.7\Delta T \quad (2.12)$$

Jay Burch และคณะ ได้ทำการจำลองระบบการทำความร้อน และความเย็น โดยมีโครงสร้างระบบดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างการจำลองระบบการทำความร้อนและความเย็น

โดยจำลองระบบสำหรับบ้านเดี่ยวขนาด 185 m^2 โดยใช้ตัวเก็บรังสีแบบไม่มีกระจก และใช้อัตราส่วน ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อนต่อพื้นที่รับแสงอาทิตย์เท่ากับ 80 l/m^2 โดยศึกษาถึงผลของพื้นที่รับแสงอาทิตย์ ปริมาตรถังเก็บ ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและความเร็วลม สำหรับเมือง Albuquerque ซึ่งอากาศอบอุ่นและแห้งพบว่า แผงรับแสงอาทิตย์ขนาด 6 m^2 สามารถจ่ายน้ำร้อนได้ถึง $2/3$ ของความต้องการรวม เมื่อมีการเพิ่มขนาดแผงรับแสงอาทิตย์ให้มากกว่า 6 m^2 ช่วยเพิ่มภาระได้เพียงเล็กน้อย เมื่อมีการเพิ่มพื้นที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลงอย่างรวดเร็ว พื้นที่รับแสงอาทิตย์ขนาด 93 m^2 สามารถจ่ายภาระโหลดได้ประมาณ 80% ของความต้องการพลังงานรวม และ 90% สำหรับความต้องการน้ำร้อนและความต้องการความร้อน เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วน ปริมาตรถังเก็บน้ำต่อพื้นที่รับแสงอาทิตย์ระหว่าง 40 ถึง 640 l/m^2 พบว่า พลังงานที่ได้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 15% เมื่อเทียบกับขนาด 80 l/m^2 ในการทำความเย็นพบว่าขึ้นกับขนาดของคอยล์เย็นเป็นสำคัญ ในขณะที่มีความเร็วลมเพิ่มขึ้นส่งผลให้การทำความร้อนลดลง แต่การทำความเย็นกลับมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

Medved และคณะ ทำการศึกษาระบบทำน้ำร้อนขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 2.5 โดยที่แผงรับแสงอาทิตย์เป็นแบบไม่มีกระจก เป็นการใช้หลังคาเหล็กที่มีชายในท้องตลาดเป็นแผ่นดูดกลืนความร้อน ประกอบเข้ากับท่อ และหุ้มด้วยฉนวนด้านล่าง ในการคำนวณผู้วิจัยได้ใช้สมการของ Hottel-Whillier-Bliss ดังนี้

$$\eta = F_R \alpha - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{G''} \text{ หรือเท่ากับ } \eta_0 - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{G''} \quad (2.13)$$

$$\text{เมื่อ } F_R \alpha = C_1 - C_2 U_w \text{ และ } F_R U_L = C_3 + C_4 U_w$$

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการ Finite Volume Method และ PHOENICS Computer Code จากนั้นทำการตรวจสอบแบบจำลองตามมาตรฐาน ISO 9806 ส่วน 2 และ 3 พบว่า การคำนวณให้ความแม่นยำ สำหรับแผ่นดูดกลืนความร้อนที่ทำด้วยเหล็กและอลูมิเนียมเมื่ออัตราการไหลเพิ่มถึง 0.05 kg/s.m^2 และ 0.08 kg/s.m^2 ตามลำดับ การเพิ่มอัตราการไหลจะมีผลต่อประสิทธิภาพน้อย จากผลการทดลองความกว้างของครีบน้อยมีผลให้ประสิทธิภาพสูง ส่วนความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นมีผลให้มีการสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์สูงขึ้น เมื่อครีบบมีประสิทธิภาพสูง ในการเปรียบเทียบอุณหภูมิของครีบบ เหล็กจะมีอุณหภูมิสูงกว่าครีบอลูมิเนียม และเมื่อเปรียบเทียบจากความร้อนที่ได้เท่ากัน พบว่าการใช้อลูมิเนียมเป็นแผ่นดูดกลืนความร้อน

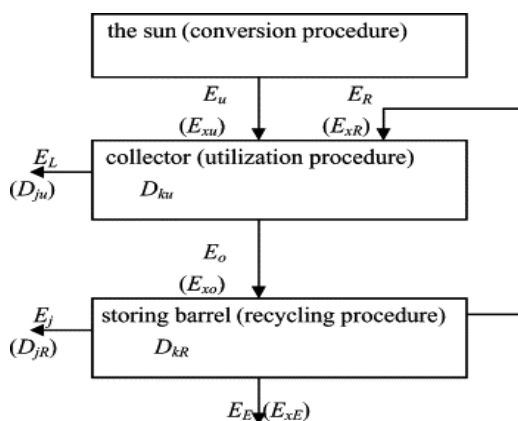
สามารถลดขนาดของแผงรับแสงอาทิตย์ลงได้ เมื่อลดความกว้างของครีบลง การใช้ลูมิเนียมและเหล็กจึงไม่มีความแตกต่างของขนาดแผงรับแสงอาทิตย์มากนัก



รูปที่ 2.5 แสดงการประยุกต์ใช้งาน Large Unglazed Solar Panel Collector ในการทำความร้อนให้กับสระว่ายน้ำ

Chow และ Chan ศึกษาและวิเคราะห์ผลของทิศทางการหันต่อรังสีที่ได้รับ บนพื้นเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์ในเขตตอนใต้ของจีนโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งพบว่าเมื่อหันแผงไปทางตะวันตก และมีมุมเอียง $\beta \leq 30^\circ$ จะได้รับรังสีใกล้เคียงกับแผงที่อยู่ในแนวราบ ซึ่งการหันทั้งสองแบบนี้ได้รับรังสีสูงสุดในไตรมาสที่สองและสามของปี ส่วนในไตรมาสที่หนึ่งและสี่การหันแผงไปทางทิศใต้ได้รับรังสีสูงสุด เมื่อมุมเอียง β สูงขึ้นระดับการได้รับรังสีจะลดลง และจะมีความแตกต่างกันมากขึ้นในแต่ละทิศทาง ในกรณีของค่าเฉลี่ยรายปีแผงที่อยู่ในแนวราบจะได้รับรังสีสูงสุด ยกเว้นเมื่อมุม azimuth $0^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$ โดยเมื่อ $\gamma = 45^\circ$ การได้รับรังสีจะสูงสุดเกือบทุกช่วง β โดยค่าเฉลี่ยรายปีจะดีที่สุดเมื่อ $\gamma = 45^\circ, \beta = 25^\circ$ และเมื่อ $\beta = 25^\circ \pm 10^\circ$ จะพบว่าค่ารังสีที่ได้รับเปลี่ยนแปลงเพียง 1% สำหรับผลของฤดูกาลในฤดูร้อนแผงรับแสงอาทิตย์จะได้รับรังสีสูงสุด เมื่อ $\gamma = 83^\circ$ (หันไปทางทิศตะวันตก) ที่ทุกช่วง β และในฤดูหนาว การหันแผงรับแสงอาทิตย์ไปทางเกือบทิศใต้จะได้รับรังสีสูงสุด เมื่อ $16^\circ \leq \beta \leq 41^\circ$

Xiaowu และ Ben ทำการวิเคราะห์ระบบทำน้ำร้อนสำหรับบ้านพักอาศัย โดยใช้กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ โดยแบ่งกระบวนการออกเป็น 3 กระบวนการย่อยได้แก่ Conversion Procedure, Utilization Procedure และ Recycling Procedure ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กระบวนการถ่ายเทความร้อนในระบบการทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์

ซึ่งมีสมการ Energy Balance คือ

$$E_{xu} + E_{xR} = D_{ju} + E_{xo} + D_{ku} \quad (2.14)$$

$$E_{xo} = D_{jr} + E_{xE} + E_{xR} + D_{kr} \quad (2.15)$$

จากการศึกษาพบว่า การหุ้มแผงรับแสงอาทิตย์และถังเก็บน้ำด้วยฉนวนแบบธรรมดาไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิด Energy Losses ได้ นอกจากนี้ Energy Losses ยังเกิดจากกระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบย้อนกลับไม่ได้ในแผงรับแสงอาทิตย์ (D_{ku}) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดแรงขับเคลื่อน (Driving Force) ขึ้นในระบบ ในขณะที่ Energy Losses แบบย้อนกลับไม่ได้ภายในถังเก็บน้ำซึ่งเกิดจากการผสมของน้ำที่อุณหภูมิต่างกันมีประโยชน์น้อย การออกแบบถังเก็บน้ำให้มี Energy Losses (D_{kr}) ต่ำจะช่วยทำให้ Energy Efficiency ดีขึ้นมาก จากผลการทดลอง Energy Efficiency จะสูงเมื่อระยะระหว่างท่อ (W) และสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (U_L) ต่ำ และผู้ทำการศึกษาให้คำแนะนำว่าระยะห่างระหว่างท่อควรอยู่ในช่วง 5-10 cm. และใช้กระจกปิด 2 ชั้น ในกรณีศึกษาเมื่อนิยามว่า Energy Efficiency (η)

$$\eta = \frac{E_E}{E_U} \quad (2.16)$$

$$\eta_x = \frac{E_{xE}}{E_{xu}} \quad (2.17)$$

โดย $\eta_x = 0.77\%$ ขณะที่ $\eta = 15.1\%$ ซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันมาก ค่า η_x ที่ต่ำแสดงให้เห็นถึงพลังงานที่ได้ (E_E) อยู่ในระดับที่ต่ำมาก

2.2.2 การทำความเย็น

Mihalakakou และคณะ ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของระบบทำความเย็นเพื่อใช้ในการปรับปรุงอาคารเก่า โดยใช้แผงทำความเย็นแบบโลหะ ค่าการปลดปล่อยความร้อน 0.9 ขนาด 14 m x 7 m ปิดด้วย Polyethylene หุ้มฉนวนทำความเย็นให้กับอากาศ โดยใช้พัดลมดูดอากาศผ่านด้านล่างของแผงทำความเย็นด้วยความเร็ว 2.5m/s จากผลการศึกษาพบว่าระบบสามารถให้ความเย็นได้ระหว่าง 29.7 ถึง 55.8 Wh/m² ในคืนท้องฟ้าแจ่มใสและ 26.7 ถึง 44.9 Wh/m² ในคืนที่มีเมฆมากและความเร็วลมในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ทำความเย็นได้ลดลง

Khedari และคณะทำการศึกษาการทำความเย็นโดยการแผ่รังสีในประเทศไทย ซึ่งมีสภาพอากาศแบบร้อนชื้น โดยใช้แผงทำความเย็นซึ่งทำจากแผ่นโลหะและกระเบื้องหลังคา CPAC Moneir โดยสร้างใน 4 รูปแบบ คือ (a) กระเบื้องหลังคา CPAC Moneir ปิดทับด้วยแผ่นโลหะ ซึ่งทาสีขาว (b) กระเบื้องหลังคา CPAC Moneir ทาสีขาว (c) กระเบื้องหลังคา CPAC Moneir สีน้ำตาลเข้ม (d) กระเบื้องหลังคา CPAC Moneir วางทับด้วย Gypsum Board และชั้นบนสุดวางทับด้วยแผ่นโลหะแบบมีลอนทาสีขาว โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะอากาศท้องฟ้าโปร่ง ท้องฟ้ามีเมฆและฝนตก พบว่าแผงทำความเย็นสามารถลดอุณหภูมิได้ต่ำกว่าบรรยากาศระหว่าง 1-6 °C ในสภาพอากาศท้องฟ้าโปร่งและมีเมฆบางส่วน ในสภาวะที่ฝนตกอุณหภูมิแผงทำความเย็นแต่ละแบบจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก นอกจากสภาวะแวดล้อมแล้วค่าการปลดปล่อยความร้อน (Emissivity) ของวัสดุและการเกิดการกลั่นตัวของไอน้ำบนแผงทำความเย็น ก็มีผลต่อสมรรถนะของระบบ และพบว่าการทำความเย็นด้วยการแผ่รังสีมีความเป็นไปได้สูงในฤดูหนาว

Al-Nimr และคณะ ได้ทำการศึกษาการทำความเย็นโดยดัดแปลงระบบ Australian Cooling System โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนแทนอากาศ พบว่าในระบบปิดอัตราการไหลไม่มีผลต่อความเย็นที่ได้เมื่อจบกระบวนการแต่กลับมีผลต่อระบบเปิดอย่างมาก สำหรับการเพิ่มพื้นที่ของแผงทำความเย็น (โดยไม่เปลี่ยนขนาดของ Packed Bed Storage Tank) ระบบเปิดจะให้อัตราการทำความเย็นเพิ่มขึ้นแต่ระบบปิดจะเพิ่มในอัตราที่ลดลง และระบบปิดให้อัตราการทำความเย็นสูงกว่าระบบเปิดเมื่อพื้นที่เท่ากัน

Erell และ Etzion ทำการศึกษาและวิเคราะห์ระบบ Radiative Cooling โดยใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่น สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากสมการสำหรับหาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งเสนอโดย Duffie และ Beckmen และสมการของ Stefan-

Boltzmann พบว่า เมื่อเพิ่มสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (Overall Heat Loss Coefficient) ทำให้ประสิทธิภาพของครีป (Fin Efficiency) ลดลงในทุกความกว้างของครีป ในกรณีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าแสงทำความเย็น ครีปที่มีประสิทธิภาพสูงจะช่วยให้ประสิทธิภาพของแสงทำความเย็นดีขึ้น และในกรณีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงกว่าแสงทำความเย็น พบว่าแสงทำความเย็นสามารถทำความเย็นได้สูงขึ้นเมื่อครีปมีประสิทธิภาพสูงขึ้น จนกระทั่งอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงกว่าแสงทำความเย็น 3°C ประสิทธิภาพของครีปที่สูงขึ้นจะมีผลให้แสงทำความเย็นรับความร้อนเข้ามาแทน (แสงทำความเย็นขนาด $1\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ อุณหภูมิขาเข้าของตัวกลาง 23°C อัตราการไหล 0.03 kg/s สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (U_L) $15\text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ sky temperature depression 15°C) สำหรับผลของการเพิ่มอัตราการไหลทำให้อุณหภูมิขาออกของแสงทำความเย็นเพิ่มขึ้นขณะเดียวกันทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของแสงทำความเย็นเพิ่มขึ้น และการเพิ่มขึ้นของอัตราการทำความเย็นจะลดลงในการทดสอบสมมติฐาน Erell และ Etzion ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบ ระหว่างแสงทำความเย็น 3 แบบคือ (A) แสงรับแสงอาทิตย์แบบ Jordan LSC-F ขนาด $2.18\text{ m} \times 1.26\text{ m}$ ไม่มีกระจกปิด (B) เหมือนกับ A แต่เอาฉนวนด้านหลังออก (C) แสงรับแสงอาทิตย์แบบ Chromagen CR-12 ซึ่งเหมือนกับแบบ LSC-F แต่เพิ่มครีปในแนวตั้งฉากกับแนวทอลักษณะเดียวกับหม้อน้ำในรถยนต์ และไม่มีทั้งกระจกและฉนวน พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นอุณหภูมิขาออกของของไหลของ C เพิ่มขึ้นมากที่สุด ส่วน A เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

Auttapol และคณะศึกษาความเป็นไปได้ของระบบ Night Radiative Cooling โดยกำหนดให้แสงทำความเย็นมีขนาด 15 m^2 ทาสีขาว มีแผ่นกันลมที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียมใช้ร่วมกับถังเก็บน้ำ ขนาด 0.08 และ 0.05 m^3 ที่ฝังไว้ใต้ดินในจังหวัดเชียงรายด้วยวิธีจำลองระบบเพื่อทำน้ำเย็นสำหรับการปรับอากาศในห้องพัก ในการจำลองระบบได้สมมติให้น้ำที่กลับจากคอยล์เย็นมีอุณหภูมิเท่ากับบรรยากาศ ผลจากการศึกษาพบว่า ในเดือนธันวาคมถึงเดือนกรกฎาคมสามารถทำอุณหภูมิน้ำได้ที่ $14.5 - 22^{\circ}\text{C}$ โดยเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายนสามารถทำอุณหภูมิน้ำได้ที่ $16 - 18^{\circ}\text{C}$ หรือต่ำกว่าบรรยากาศ $8 - 10^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีศักยภาพในการทำความเย็นในหน้าร้อน

G.Meir และคณะ ทำการทดลองเพื่อหาคุณลักษณะทางความร้อน ของระบบ Unglazed Radiative Cooling System โดยดัดแปลงจากระบบทำความร้อนด้วยแสงอาทิตย์ซึ่งทำด้วย Modified Black Polyphenylenoxid (PPO) resin ขนาด $255\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ และใช้ Clay Granulates, LECA[®] เพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลาง (น้ำ) กับแสงทำความเย็น (Radiator) พร้อมทั้งสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาถึงผลของมุมเอียงพื้นที่ของแสงทำความเย็น และปริมาตรของถัง จากการทดลองพบว่า สามารถทำความเย็นได้เกิน 150 W/m^2 เมื่อท้องฟ้าค่อนข้างโปร่ง ความเร็วลมประมาณ 1 m/s อุณหภูมิอากาศภายนอก และ แสงทำความเย็น

แตกต่างกันประมาณ $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ และระบบสามารถทำความเย็น ได้สูงสุดเมื่อแผงทำความเย็นอยู่ในแนวราบและต่ำสุดเมื่อทำมุม 90° กับพื้นราบ ขณะเดียวกันหากเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่ของแผงทำความเย็นต่อปริมาตรของถังเก็บน้ำ ระบบก็สามารถทำความเย็นได้เพิ่มขึ้น