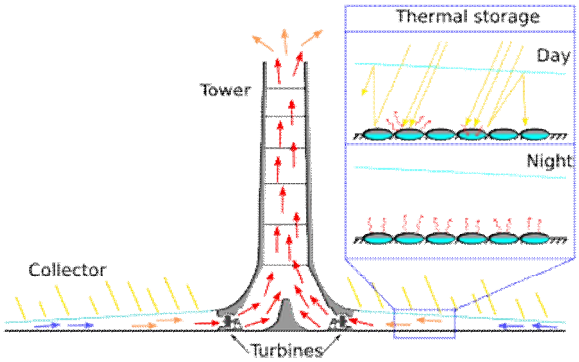
ระบบเก็บรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์

เรียบเรียบโดย กีรติ สุลักษณ์
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาแปรรูปใช้งานเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นพลังงานที่บริสุทธิ์ เป็นแหล่งพลังงานที่มีขนาดใหญ่และถือว่าไม่มีวันหมดไป วิศวกรและนักวิทยาศาสตร์จึงค้นหาวิธีที่จะสร้างอุปกรณ์ที่สามารถแปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์ให้เกิดประโยชน์ในแบบต่างๆ อาทิเช่น เซลล์สุริยะ (รูปที่ 1) เพื่อแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้งานตามชนบทห่างไกล ดาวเทียม เครื่องคิดเลข รถยนต์ ตัวเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนใช้อุ่นน้ำเพื่อการอุปโภคและอื่นๆ หอคอยสุริยะ (Solar chimney) (รูปที่ 2) เพื่ออุ่นอากาศให้ร้อนและลอยตัวขึ้นไหลผ่านปล่องไปหมุนกังหันผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นต้น ปฏิบัติการนี้เป็นการแปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเรียกว่าระบบเก็บรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์

รูปที่ 1 เซลล์สุริยะ



รูปที่ 2 หอคอยสุริยะ

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากความรู้เกี่ยวกับแสงที่เคยศึกษามาแล้วนั้น แสงที่เปล่งออกมาจากดวงอาทิตย์เดินทางมายังโลกโดยการแผ่รังสี เป็นกรรมวิธีที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกส่งผ่านจากแหล่งกำเนิดออกมาในทุกทิศทางโดยไม่อาศัยตัวกลางในการเดินทาง แตกต่างจากการนำความร้อนและการพาความร้อนซึ่งต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน รังสีที่แผ่จากดวงอาทิตย์มายังโลกนั้นอยู่ในรูปรังสีคลื่นสั้นที่มีพลังงานสูง เดินทางด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสงคือ 3×10^{8} m/s รังสีส่วนใหญ่จะถูกสะท้อนออกไปโดยชั้นบรรยากาศของโลก บางส่วนผ่านเข้าสู่ชั้นในและถูกดูดกลืนไว้แล้วแผ่คืนสู่บรรยากาศชั้นในและสิ่งแวดล้อมบนผิวโลกในรูปของรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรดซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาว ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยบนโลกสม่ำเสมอมาเป็นเวลานาน

นอกจากคลื่นแสงที่เรามองเห็นแล้ว ยังมีคลื่นรังสีอื่นที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นต่างๆ กันอีกมากมาย ทั้งที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าและที่ต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นรังสีต่างๆ

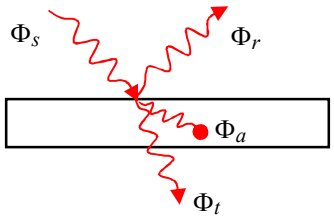
ประเภทรังสี	ความยาวคลื่น (μm)	ความถี่คลื่น (Hz)
รังสีแกมมา	$10^{-8} - 10^{-4}$	$10^{23} - 10^{19}$
รังสีเอ็กซ์	$10^{-6} - 10^{-2}$	$10^{20} - 10^{16}$
รังสีอัลตราไวโอเล็ต	$10^{-3} - 10^{0}$	$10^{17} - 10^{15}$
รังสีแสง (visible light)	$7.5\times10^{-1} - 4\times10^{-1}$	$4\times10^{14} - 7.5\times10^{14}$
รังสีอินฟราเรด	$10^{1} - 10^{2}$	$10^{14} - 10^{11}$
ไมโครเวฟ	$10^{2} - 10^{5}$	$10^{12} - 10^{9}$
วิทยุคลื่นสั้น	$10^{5} - 10^{6}$	$10^{9} - 10^{6}$
คลื่นเอฟเอ็มและทีวี	10^{6}	10^{8}
คลื่นเอเอ็ม	$10^{7} - 10^{9}$	$10^{7} - 10^{6}$
วิทยุคลื่นสั้น	$10^{9} - 10^{13}$	$10^{6} - 10^{-1}$

คลื่นของรังสีที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักดังนี้

1. รังสีอัลตราไวโอเล็ตหรือรังสีเหนือม่วง
2. รังสีแสง มีประมาณ 45% ของรังสีทั้งหมด สายตาคนเราไวต่อแสงมากจึงทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีต่างๆ
3. รังสีอินฟราเรดหรือรังสีใต้แดง เป็นรังสีที่แผ่ออกมาในรูปความร้อน บางครั้งเรียกว่ารังสีความร้อน

แสงแดดที่เรามองเห็นเป็นแสงสีเดียวในตอนกลางวันนั้นอยู่ในช่วงความยาวคลื่นรังสีแสง เราสามารถแยกแสงโดยการทำให้เกิดการหักเหของแสงในตัวกลาง เช่น ปริซึม ทำให้เห็นแสงเป็นแถบสีต่างๆ ที่เรียกว่า สเปคตรัม ซึ่งการหักเหเป็นแถบแสงสีต่างๆ นั้นเกิดขึ้นเนื่องจากความยาวคลื่นของแสงแต่ละสเปคตรัมไม่เท่ากัน แต่สำหรับการทดลองนี้จะพิจารณาเฉพาะรังสีแสงเท่านั้น

พิจารณาเมื่อให้แสงตกกระทบตัวกลางชนิดหนึ่งดังรูปที่ 3 แสงที่กระทบกับวัตถุบางส่วนจะสะท้อนออกไป บางส่วนจะทะลุผ่าน และบางส่วนจะถูกดูดกลืนไว้ อัตราส่วนของทั้งสามส่วนนี้จะเป็นเท่าใดขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของวัตถุที่เป็นตัวกลาง



รูปที่ 3 การสะท้อน การดูดกลืน และการทะลวงของพลังงานแสงแดดที่ตกกระทบวัตถุ

Transmission coefficient : $$t = \frac{\Phi_{transmited}}{\Phi_{recieved}} = \frac{\Phi_t}{\Phi_s} \quad (1.1)$$

Reflection coefficient : $$r = \frac{\Phi_{reflected}}{\Phi_{recieved}} = \frac{\Phi_r}{\Phi_s} \quad (1.2)$$

Absorption coefficient : $$a = \frac{\Phi_{absorbed}}{\Phi_{recieved}} = \frac{\Phi_a}{\Phi_s} \quad (1.3)$$

จะได้ความสัมพันธ์เป็น

$$\Phi_s = \Phi_a + \Phi_r + \Phi_t \quad (2.1)$$

$$\Phi_s = a\Phi_s + r\Phi_s + t\Phi_s \quad (2.2)$$

โดยที่ $a + r + t = 1$

สำหรับวัตถุที่มีความสามารถในการดูดซับได้ทั้งหมดโดยไม่ยอมให้มีการทะลวงผ่านหรือสะท้อนกลับของการแผ่รังสี กล่าวคือมีค่า $a = 1, r = t = 0$ เรียกวัตถุที่มีคุณสมบัติเช่นนั้นว่า วัตถุดำ (Black body) สำหรับวัตถุทั่วไปจะมีค่าความสามารถในการดูดกลืนการแผ่รังสีได้บางส่วน โดยจะยอมให้มีการทะลุผ่านและสะท้อนกลับบางส่วน เรียกวัตถุที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ว่า วัตถุเท่า (Gray body)

พลังงานที่ได้จากการแผ่รังสีความร้อน

Wien เป็นนักวิทยาศาสตร์ที่พิสูจน์ว่าแสงที่แผ่รังสีออกมาจากดวงอาทิตย์นั้น สามารถกระจายเป็นสเปคตรัมต่างๆ ได้ตามทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หากกำหนดให้ λ เป็นความยาวคลื่น ν เป็นความถี่คลื่น และ c เป็นความเร็วแสง จะได้คามสัมพันธ์เป็นดังนี้

$$c = \lambda\nu \quad (3)$$

สเตฟาน (Stefan) กล่าวว่า “พลังงานที่วัตถุดำขนาดหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เปล่งออกมาในรูปพลังงานความร้อนต่อหน่วยเวลาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังสี่ของอุณหภูมิสัมบูรณ์” ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ตามสมการ

$$\Phi = \sigma T^4 \quad (4)$$

โดยทั่วไปวัตถุดำเป็นวัตถุเชิงอุดมคติ เพื่อให้สามารถประยุกต์สมการใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ สเตฟานและโบลซ์มาน (Bonlzman) ได้ทำการปรับปรุงสมการดังนี้

$$\Phi = \varepsilon\sigma T^4 \quad (5)$$

เมื่อ Φ เป็นพลังงานของการแผ่รังสี ε เป็นค่าสภาพการเปล่งรังสี (Emissivity) σ เป็นค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลซ์มาน ($=5.7\times10^{-8}\ W/m^2K^4$) และ T เป็นอุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute temperature; K)

หากเป็นการแผ่รังสีระหว่างวัตถุสองก้อนใดๆ โดยที่ก้อนแรกมีอุณหภูมิ T_1 และก้อนที่สองมีอุณหภูมิ T_2 โดยที่ $T_1 > T_2$ พลังงานสุทธิต่อหน่วยพื้นที่ของการแผ่รังสีคำนวณได้จาก

$$\Phi_{1-2} = \Phi_1 - \Phi_2 = \varepsilon\sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (6)$$

สมการนี้ใช้ได้กับการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุทุกชนิด พารามิเตอร์ ε เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการเปล่งรังสีของวัตถุ วัตถุที่มีผิวดำเข้มจะมีค่า ε เข้าใกล้ 1 ส่วนวัตถุที่มีผิวขาวและสะท้อนแสงจะมีค่าเข้าใกล้ 0

กฎของ Kirchoff กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพแผ่รังสีและสภาพการดูดกลืน (Absorbsivity) สำหรับช่วงความยาวคลื่น λ ของรังสีแสงสีเดียว (Monochromatic) เป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$\varepsilon_\lambda = a_\lambda \tag{7}$$

เมื่อ ε เป็นสภาพการเปล่งรังสี และ a เป็นสภาพการดูดซับรังสี อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้ว $\varepsilon_\lambda \neq a_\lambda$ โดยที่ $\varepsilon_\lambda = \varepsilon$; $\varepsilon = a = a_\lambda$ สำหรับวัตถุเทา และ $\varepsilon_\lambda = 1$; $\varepsilon = a = 1$ สำหรับวัตถุดำ

สมการที่ได้ข้างต้นจะถูกนำไปใช้วิเคราะห์สมดุลพลังงานในปฏิบัติการนี้ ในการปฏิบัติการจะให้แสงส่องผ่านบานกระจกที่เป็นฝาปิดเข้าไปในตู้ แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับออกไป บางส่วนถูกดูดกลืนไว้ที่กระจก และบางส่วนสามารถทะลวงผ่านกระจกเข้าไปในตู้และถูกดูดซับไว้ด้วยตัวดูดซับความร้อน (Absorber) ที่ถูกติดตั้งไว้ในตู้

2. หลักการของตัวเก็บพลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์

ตัวเก็บพลังงานความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ใช้ในปฏิบัติการนี้ ประยุกต์ใช้หลักการของปรากฏการเรือนกระจก ลักษณะของตัวเก็บเป็นตู้สี่เหลี่ยมมีฉนวนป้องกันไม่ให้ความร้อนจากภายในถ่ายเทออกได้โดยง่าย ด้านในตู้ติดตั้งตัวดูดซับทำจากโลหะทาสีดำเพื่อใช้ดูดซับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ภายในตัวดูดซับมีการเดินระบบไหลเวียนของน้ำเป็นท่อขดไปมาเพื่อรับพลังงานความร้อนที่ตัวดูดซับถ่ายเทให้แล้วนำไปใช้งาน ด้านหน้าของตู้สามารถนำแผ่กระจกมาติดตั้งไว้ได้ โดยในการทดสอบผู้ทำการทดลองสามารถติดตั้งบานกระจกได้ตั้งแต่ 1 ชั้น หรือ 2 ชั้น หรืออาจไม่ติดตั้งก็ได้เช่นกัน ในการทดสอบด้านหน้าของตู้จะถูกปรับมุมให้ตั้งฉากกับทิศทางของแสงอาทิตย์ แสงอาทิตย์ประกอบด้วยรังสีที่แผ่ออกมาในรูปรังสีคลื่นสั้นซึ่งมีพลังงานสูง ซึ่งสามารถทะลวงผ่านชั้นกระจกเข้าไปภายในตู้และกระทบกับตัวดูดซับและถูกดูดซับไว้ การดูดซับจะมีประสิทธิภาพดีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับของวัสดุที่ใช้ทำตัวดูดซับ รวมถึงค่าคุณสมบัติอื่นๆ ของตัวดูดซับด้วย เช่น ค่าความจุความร้อน เป็นต้น พลังงานที่ถูกดูดซับไว้ที่ตัวดูดซับจะถูกถ่ายเทออกมาในรูปของรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรดซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาว รังสีดังกล่าวมีพลังงานน้อยและไม่สามารถทะลวงชั้นกระจกซึ่งมีคุณสมบัติของความเป็นฉนวนออกมาไปได้ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจึงถูกกักเก็บไว้ภายในตู้และถูกถ่ายเทให้กับระบบไหลเวียนของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

คุณสมบัติของตัวดูดซับ แผ่นกระจกเป็นดังนี้

1) คุณสมบัติของตัวดูดซับ ผิวด้านนอกมีค่า $\varepsilon = a = 1$ ผิวด้านในมีค่า $\varepsilon = 0$

2) กระจกมีค่า t = 0.8, r = 0.2 และไม่มีคุณสมบัติการดูดซับ (a = 0) สำหรับการแผ่รังสีในช่วงที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า

3) กระจกมีคุณสมบัติเหมือนวัตถุดำ (a = 1) กล่าวคือจะดูดกลืนรังสีคลื่นในช่วงอินฟราเรดหรือรังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจากตัวดูดกลืนภายในตู้ไว้ทั้งหมดที่อุณหภูมิ T_0 หมายความว่ากระจกจะช่วยป้องกันไม่ให้ความร้อนภายในตู้ทะลวงผ่านออกไปด้านนอก

สมมุติฐานของการวิเคราะห์ระบบ มีดังนี้

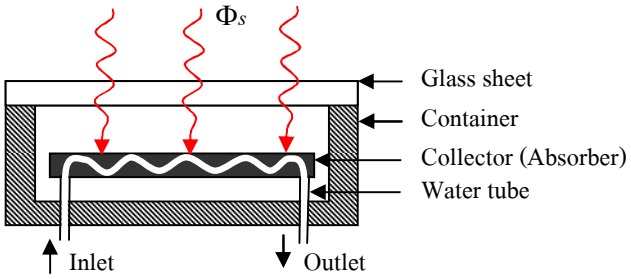
1) ความยาวคลื่นของรังสีแสงอาทิตย์แผ่ออกมา มีเฉพาะรังสีแสงที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าเท่านั้น ซึ่งมีพลังงาน Φ_s และจะไม่ถูกดูดซับไว้โดยกระจก

2) อากาศที่อยู่ภายในตู้กระจกและตัวดูดซับมีคุณสมบัติเสมือนวัตถุดำ (ที่อุณหภูมิ T_0) กล่าวคือจะดูดซับความร้อนที่เกิดขึ้นภายในตู้ไว้ทั้งหมด

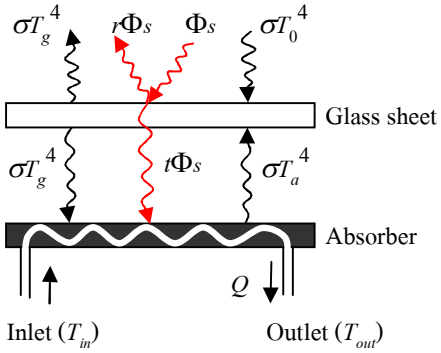
3. สมดุลพลังงานในระบบตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์

3.1 ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจกชั้นเดียว

ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจกชั้นเดียวแสดงในรูปที่ 4.1 พลังงานของแสงอาทิตย์ส่งผ่านให้กับระบบด้วยฟลักซ์พลังงาน Φs ผ่านกระจกเข้าไปในตู้กระทบกับตัวดูดซับ หากกำหนดให้ T_0 เป็นอุณหภูมิแวดล้อมด้านนอกตู้ T_g เป็นอุณหภูมิกระจก T_a เป็นอุณหภูมิของตัวดูดซับ และ T_{in} และ T_{out} เป็นอุณหภูมิของน้ำขาเข้าและขาออตามลำดับ สมดุลพลังงานของระบบ (พลังงานที่ได้รับเท่ากับพลังงานที่ไหลออก) พิจารณาได้ตามรูปที่ 4.2 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ตู้เก็บรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์แบบกระจกชั้นเดียว



รูปที่ 4.2 สมดุลพลังงานในระบบกระจกชั้นเดียว

แผ่นกระจก :

$$\Phi_s + \sigma T_0^4 + \sigma T_a^4 = r\Phi_s + t\Phi_s + 2\sigma T_g^4 \qquad (8.1)$$

$$\sigma T_0^4 + \sigma T_a^4 - 2\sigma T_g^4 = 0 \qquad (8.2)$$

(หมายเหตุ $\Phi_s = r\Phi_s + t\Phi_s + a\Phi_s$ ตามสมการที่ (2.2) โดยที่ $a = 0$ ตามคุณสมบัติของกระจกที่ใช้)

ตัวดูดซับความร้อน :

$$t\Phi_s + \sigma T_g^4 = \sigma T_a^4 + Q \qquad (9)$$

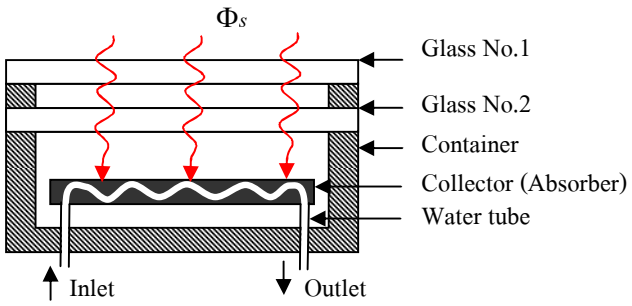
จากสมการที่ (8.2) และ (9) แก้สมการหาพลังงานความร้อน Q (W/m^2) ที่ตัวดูดซับถ่ายเทให้กับน้ำได้เป็น

$$Q = t\Phi_s + \frac{\sigma}{2}(T_0^4 - T_a^4) \qquad (10)$$

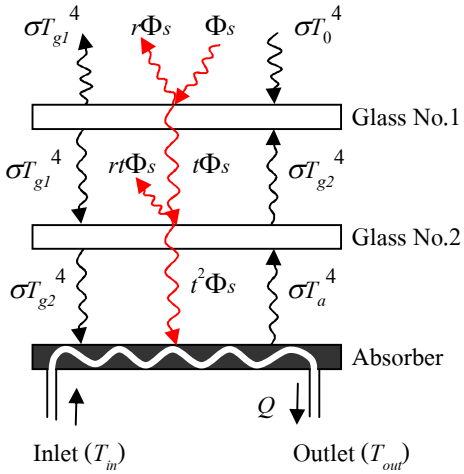
3.2 ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจกชั้นเดียว

ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจกสองชั้นแสดงในรูปที่ 5.1 พลังงานของแสงอาทิตย์ส่งผ่านให้กับระบบด้วยฟลักซ์พลังงาน Φs หากกำหนดให้ T_0 เป็นอุณหภูมิแวดล้อมด้านนอกตู้ T_{g1} และ T_{g2} เป็นอุณหภูมิกระจก

ชั้นนอก (ชั้นที่ 1) และกระจกชั้นใน (ชั้นที่ 2) ตามลำดับ T_a เป็นอุณหภูมิของตัวดูดซับ และ T_{in} และ T_{out} เป็นอุณหภูมิของน้ำขาเข้าและขาออกตามลำดับ สมดุลพลังงานของระบบ พิจารณาได้ตามรูปที่ 5.2 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 ตู้เก็บรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์แบบกระจกสองชั้น



รูปที่ 5.2 สมดุลพลังงานในระบบกระจกสองชั้น

แผ่นกระจกชั้นที่ 1 :

$$\sigma T_0^4 + \sigma T_{g2}^4 - 2\sigma T_{g1}^4 = 0 \qquad (11)$$

แผ่นกระจกชั้นที่ 2 :

$$\sigma T_a^4 + \sigma T_{g1}^4 - 2\sigma T_{g2}^4 = 0 \qquad (12)$$

ตัวดูดซับความร้อน :

$$t^2\Phi_s + \sigma T_{g2}^4 - \sigma T_a^4 - Q = 0 \qquad (13)$$

จากสมการที่ (11), (12) และ (13) แก้สมการหาพลังงานความร้อน Q (W/m^2) ที่ตัวดูดซับถ่ายเทให้กับน้ำได้เป็น

$$Q = t^2\Phi_s + \frac{\sigma}{3}(T_0^4 - T_a^4) \qquad (14)$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบเก็บรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์จึงคำนวณได้จาก

$$\eta = Q/\Phi_s \qquad (15)$$

จากสมการที่ (10) และ (15) พบว่าการได้มาซึ่งพลังงานความร้อนในเชิงทฤษฎีนั้นจำเป็นต้องรู้ค่า T_0 และ T_a ค่า T_0 เป็นอุณหภูมิแวดล้อมภายนอกซึ่งสามารถวัดค่าได้โดยง่าย ส่วน T_a เป็นของตัวดูดซับซึ่งวัดได้ยากเพราะเป็นส่วนที่ถูกติดตั้งไว้ด้านในตู้ ในทางปฏิบัติเราจะคำนวณหาค่า T_a ใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ไหลผ่านตัวดูดซุบดังนี้

$$T_a = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \tag{16}$$

อย่างไรก็ตามค่าพลังงานความร้อนที่ได้ตามสมการที่ (10) และ (15) เป็นในเชิงทฤษฎีซึ่งอยู่บนสมมุติฐานที่ให้สภาวะภายในตู้เป็นเสมือนวัตถุดำ กล่าวคือความร้อนทั้งหมดถูกดูดกลืนไว้ด้วยภายในตู้และถูกส่งถ่ายให้กับระบบน้ำหมุนเวียน รวมถึงไม่พิจารณาการสูญเสียอื่นใดเช่นการรั่วไหลของอากาศร้อนออกจากตู้ จึงอาจเกิดความไม่สมจริงในการประเมินประสิทธิภาพของระบบได้ เพื่อให้เกิดความสมจริงเราจะพิจารณาค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ระบบน้ำไหลเวียนได้รับมาพิจารณาแทน ด้วยเหตุผลที่ว่าในการใช้งานจริงเรามักสนใจอุณหภูมิของน้ำไหลเวียนที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเป็นส่วนที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการอุปโภค จากหลังการพื้นฐานอย่างง่ายหากรู้ผลต่างของอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น เราสามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ส่งถ่ายให้กับน้ำได้ดังนี้

$$Q = \dot{m} c \Delta T \tag{17}$$

เมื่อ $\dot{m}$ เป็นอัตราการไหลของน้ำ c เป็นค่าความจุความร้อนของน้ำ และ ΔT เป็นผลต่างอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าและทางออกของตัวดูดซับ

3.3 ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นโค้งพาราโบลา

ตัวเก็บรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์แบบนี้ทำจากกระจกหรือวัสดุสะท้อนแสง มีลักษณะเป็นจานโค้งพาราโบลาเพื่อใช้สะท้อนแสงให้ไปรวมกันที่แกนโฟกัส ตำแหน่งของแกนโฟกัสจะติดตั้งมีท่อยาวตลอดแนวแกน น้ำที่ไหลผ่านท่อจะได้รับความร้อนจากลำแสงที่สะท้อนมากระทบ เนื่องจากเป็นการไหลของน้ำในท่อ ดังนั้นเรามักพิจารณาปริมาณความร้อนที่ได้ได้รับเทียบกับค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลในท่อ

4. อุปกรณ์ทดลอง

ชุดทดสอบตัวเก็บพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar Energy Experimental Unit) รุ่น ET400 ซึ่งมีส่วนประกอบหลักดังนี้

1. Thermomix 1460 constant temperature bath	จำนวน 1 หน่วย
2. Solar panel 600x600 mm	จำนวน 1 หน่วย
3. Glass cover sheet	จำนวน 2 หน่วย
4. Parabolic mirror collector	จำนวน 1 หน่วย
5. Digital differential thermometer (0.01 ^{o}C)	จำนวน 1 หน่วย
6. Digital thermometer (0.1 ^{o}C)	จำนวน 1 หน่วย
7. Platinum resistance thermometer probe (100 Ω)	จำนวน 3 หน่วย
8. Floats type flowmeter	จำนวน 2 หน่วย
9. Photoelectric cell panel	จำนวน 1 หน่วย
10. Potentiometer (0-100 Ω) / Ammeter (0-30V)	จำนวนอย่างละ 1 หน่วย
11. SOLAR 118 solar radiation meter (Paranometer)	จำนวน 1 หน่วย

4.1 เซลล์สุริยะ (Photoelectric Cell Panel)

เป็นแผงสี่เหลี่ยมขนาด 371×440 เซนติเมตร ติดตั้งอยู่ด้านข้างของชุดทดลอง เซลล์สุริยะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานแสงแดดเป็นพลังงานไฟฟ้า ชุดทดสอบเซลล์สุริยะนี้ถูกติดตั้งเข้ากับแอมป์มิเตอร์และโวลต์มิเตอร์เพื่อวัดปริมาณกระแสและความต่างศักย์ของไฟฟ้าที่เกิดขึ้น สำหรับนำไปคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

4.2 ตัวเก็บรังสีความร้อนแบบแผ่นระนาบ (Flat Plate Collector)

ระบบเก็บรังสีความร้อนแบบแผ่นระนาบประกอบด้วยวงจรน้ำหมุนเวียน 2 วงจร ดังแสดงในรูปที่ 6

1) วงจรรับความร้อนจากตัวดูดซับ (เส้นประ) เป็นวงจรน้ำหมุนเวียนระบบปิดที่เริ่มต้นจากน้ำในอ่าง Thermomix ถูกสูบให้ไหลผ่านเข้าไปในตัวดูดซับเพื่อรับความร้อนแล้วไหลเวียนกลับเข้ามาในอ่างอีกครั้ง

2) วงจรระบายความร้อนออกจากระบบ เป็นวงจรน้ำหมุนเวียนที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนออกจากอ่างเพื่อรักษาอุณหภูมิในอ่างให้คงที่ หากไม่ถ่ายเทความร้อนในอ่างทิ้งไปบ้าง น้ำในอ่างจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพราะเป็นน้ำที่ไหลเวียนออกมาจากแผงดูดซับความร้อนในข้อ (1) สาเหตุที่ต้องพยายามรักษาอุณหภูมิของน้ำในอ่างให้คงที่เพราะต้องการทดสอบว่า อุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าแผงดูดซับความร้อนมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างไร

4.3 ตัวเก็บรังสีความร้อนแบบแผ่นโค้งพาราโบลา (Flat Plate Collector)

ตัวเก็บรังสีความร้อนชนิดนี้มีส่วนประกอบหลักเป็นบานกระจกโค้งพาราโบลาเคลือบสารสะท้อนแสงตลอดแนวแกนโฟกัสของบานโค้งพาราโบลาจะติดตั้งท่อเก็บรังสีความร้อนที่ใช้น้ำเป็นตัวรับความร้อน ท่อเก็บรังสีความร้อนทำจากทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 16 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 14 มิลลิเมตร และมีความยาวทั้งสิ้น 750 มิลิเมตร การทดสอบและวัดอุณหภูมิจะเหมือนกับกรณีตัวเก็บรังสีความร้อนแบบแผ่นราบ

4.4 อ่างควบคุมอุณหภูมิคงที่ (Thermomix)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำความร้อนให้กับน้ำหมุนเวียนที่ไหลในวงจรของตัวดูดซับความร้อน อุปกรณ์นี้สามารถตั้งค่าอุณหภูมิได้ตามต้องการ และต้องทำงานควบคู่ไปกับวงจรน้ำหมุนเวียนระบายความร้อน ฟังก์ชันที่ใช้ในการตั้งค่าอุณหภูมิมีดังนี้

1) สวิตซ์เปิด-ปิด
2) ปุ่มสตาร์ทเครื่อง
3) ปุ่มแสดงค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้เพื่อให้เครื่องทำความร้อนจนได้ค่าตามที่ตั้งไว้
4) ปุ่มแสดงค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ตั้งไว้เพื่ออ้างอิง โดยปกติจะตั้งค่าไว้สูงกว่าค่าอุณหภูมิที่ต้องการในข้อ 3
5) ปุ่มแสดงค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ตั้งไว้เพื่ออ้างอิง โดยปกติจะตั้งค่าไว้สูงกว่าค่าอุณหภูมิที่ต้องการในข้อ 3 และจะต้องต่ำกว่าอุณหภูมิห้องของน้ำขณะนั้น
6) จอแสดงผล
7) ปุ่มเคอร์เซอร์เลื่อนซ้าย-ขวา
8) ปุ่มแก้ไขค่าอุณหภูมิในตำแหน่งที่เคอร์เซอร์อยู่ โดยปุ่มรูปสามเหลี่ยมชี้ขึ้นใช้เพิ่มค่าตัวเลข ส่วนปุ่มรูปสามเหลี่ยมชี้ลงใช้ลดค่าตัวเลข
9) ปุ่ม Enter เพื่อยืนยันการแก้ไขเมื่อตั้งค่าใดๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว

4.5 เครื่องวัดการแผ่รังสี (Radiometer)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเข้มแสงซึ่งใช้ได้ดีกับการวัดการแผ่รังสีตามธรรมชาติ เช่น แสงอาทิตย์ แต่ถ้าหากต้องการใช้วัดการแผ่รังสีของแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่น เช่น แสงสปอร์ตไลต์ หลอดไฟ เป็นต้น ค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์จะต้องถูกนำไปคูณด้วยแฟคเตอร์ 2.4 เสียก่อนก่อนที่จะนำไปใช้งาน

5. ขั้นตอนการทดลอง

1) ตรวจความเรียบร้อยว่าทุกวาล์วอยู่ในตำแหน่งปิด (หมุนตามเข็มนาฬิกา)

2) ต่อเชื่อมระบบน้ำให้แหล่งจ่ายเข้าที่ทาง INLET และทางออกเป็น OUTLET

3) เปิดวาล์วปล่อยน้ำเข้าโดยควบคุมความดันของน้ำให้อยู่ที่ประมาณ 3-7 บาร์

4) เปิดวาล์วควบคุมการไหลของส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ให้สุด จะสังเกตเห็นลูกลอยของมาตรวัดการไหลลอยขึ้น

5) หมุนเปิดวาล์ว FILL เพื่อเติมน้ำเข้าอ่าง Thermomix ให้อยู่ในระดับสูงสุด โดยระดับของน้ำในอ่างสังเกได้จากระดับน้ำในสายยางที่ติดอยู่ด้านข้างของชุดทดสอบ

6) ตรวจสอบความเรียบร้อยของวาล์วไล่อากาศ (Air purge valve) ว่าอยู่ในตำแหน่งปิด

7) ตั้งค่าอุณหภูมิที่เครื่อง Thermomix ตามที่กำหนด โดยตั้งค่าอุณหภูมิต่ำอ้างอิงให้ต่ำกว่าอุณหภูมิห้องขน้ำ และตั้งค่าอุณหภูมิสูงอ้างอิงให้สูงกว่าอุณหภูมิของน้ำที่ต้องการ สำหรับอุณหภูมิที่ต้องการหรือที่กำหนดหมายถึอุณหภูมิที่ทางเข้า Collector ซึ่งอ่านค่าได้จาก Digital thermometer (θ Collector)

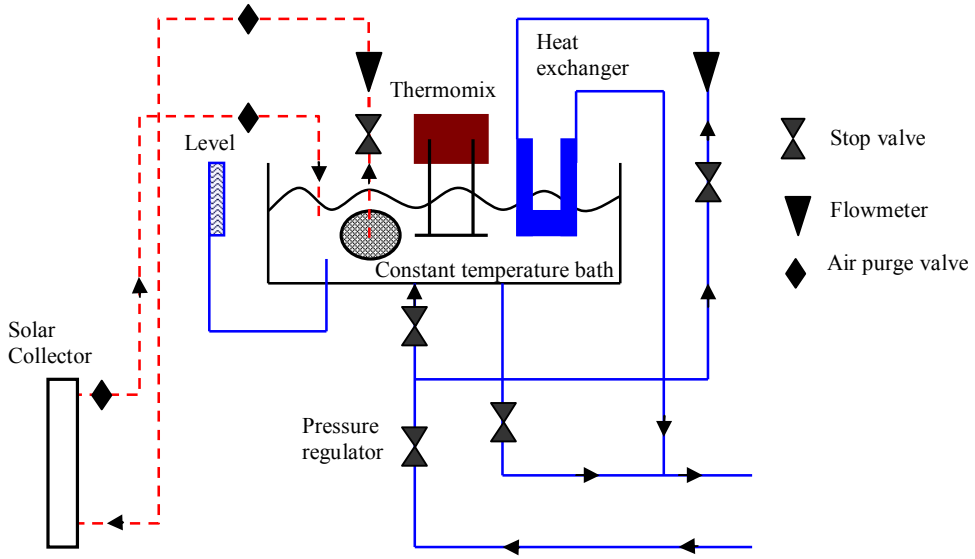
8) เปิดสวิตซ์เครื่อง Thermomix ถ้าเครื่องทำงานจะได้ยินเสียงการทำงานของปั๊มในอ่าง

9) เปิดวาล์วของท่อน้ำที่ต่อเข้ากับระบบ Collector ซึ่งเป็นวาล์วของมาตรวัดการไหลของ Collector ในขั้นนี้จะสังเกตเห็นลูกลอยของมาตรวัดการไหลลอยขึ้น ให้ปรับอัตราการไหลตามที่กำหนดให้

10) เปิดวาล์วไล่อากาศที่อยู่ด้านข้างของชุดทดสอบ เพื่อไล่อากาศออกจากภายในท่อส่วนบน และวาล์วไล่อากาศที่ตำแหน่งทางเข้า Collector เพื่อไล่อากาศออกจากวงจรน้ำหมุนเวียนใน Collector เมื่อไล่อากาศจนหมดแล้วให้ปิดวาล์วดังกล่าวให้สนิท

11) ตลอดการทดลองให้รักษาระดับน้ำใน Thermomix ไม่ให้ลดต่ำกว่าระดับ min หากระดับต่ำเกินไปเครื่องจะตัดการทำงาน หากเกิดกรณีเช่นนี้ให้เปิดวาล์ว FILL น้ำเข้าไปในอ่าง Thermomix แล้วกดปุ่มสตาร์ทเครื่องใหม่

12) เมื่อตั้งระบบเรียบร้อยแล้วให้รอจนกระทั่งค่าอุณหภูมิของน้ำในอ่างเข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ รวมถึงค่าอุณหภูมิทีหน้าจอแสดงผลมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง บันทึกข้อมูล



รูปที่ 6 ระบบและวงจรการไหลของน้ำหมุนเวียนในชุดทดสอบตัวเก็บรังสีความร้อน

ข้อแนะนำเพิ่มเติม

1) ก่อนและระหว่างการทดลอง ถ้าระดับน้ำในอ่าง Thermomix ลดลงมากกว่าที่กำหนด (สังเกตได้จากระดับน้ำในสายยางที่ติดอยู่ด้านข้าง) ให้เปิดวาล์ว FILL เพื่อเติมน้ำเข้าสู่อ่าง ข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้ทราบว่าระดับน้ำต่ำกว่าที่กำหนดคือ ห้าจอของเครื่อง Thermomix จะแสดงรหัส E01 และเครื่องจะหยุดทำงาน หากเกิดกรณีเช่นนี้ให้ปิดสวิทช์สักระยะหนึ่งแล้วจึงเปิดและเริ่มกดปุ่มสตาร์ทเครื่องใหม่อีกครั้ง

2) เพื่อให้การอ่านผลการทดลองมีความถูกต้องมากขึ้นควรทำการทดลองในบริเวณที่ไม่มีลมพัดผ่าน

3) เครื่อง Thermomix ที่ใช้ในการทดลองนี้มี Breaker ติดตั้งรวมอยู่ด้วย ถ้าระดับน้ำในอ่างต่ำเกินไป เครื่องมีความร้อนสูงและเกิดการตัดวงจร ถ้าเป็นกรณีเช่นนี้ให้ปิดเครื่องแล้วรอสักระยะหนึ่งก่อนเปิดเครื่องใช้งานใหม่

6. การทดลองและบันทึกผลการทดลอง

1. ให้นักศึกษาทดลองพร้อมทั้งออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง เพื่อศึกษาว่าอัตราการไหลของน้ำในวงจรตัวดูดซับความร้อนและอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้า มีผลกับประสิทธิภาพของระบบอย่างไร โดยให้ทำการทดลองเปรียบเทียบกันที่อัตราการไหล 3 ค่า แต่ละอัตราการไหลให้เปลี่ยนค่าอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าทั้งหมด 5 ค่า

2. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลทางทฤษฎีพร้อมทั้งวิเคราะห์ว่าสอดคล้องกันหรือไม่ อย่างไร

3. เขียนกราฟระหว่างประสิทธิภาพ (แกน Y) และค่าอุณหภูมิที่ทางเข้า (แกน X) ที่อัตราการไหลทั้ง 3 ค่า บนกราฟเดียวกัน (นักศึกษาจะได้กราฟ 1 กราฟที่มีเส้นกราฟทั้งหมด 3 เส้นบนกราฟเดียวกัน)