บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีประกอบด้วย ความร้อน ความจุความร้อนของสสาร การถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์และอัตราการถ่ายเทความร้อน คุณสมบัติของท่อทองแดง และระบบผลิตความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความร้อน

ความร้อน (heat) คือ พลังงานที่สามารถถ่ายโอนผ่านขอบเขตของระบบ เมื่ออุณหภูมิระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมมีความแตกต่างกัน โดยมีทิศทางในการถ่ายโอนความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและการถ่ายเทพลังงานจะหยุดลงเมื่อเกิดสมดุลทางความร้อน ดังนั้นความร้อนจึงสามารถนิยามได้ว่าเป็นรูปแบบของพลังงานที่ถ่ายเทระหว่างระบบสองระบบหรือระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิเท่านั้น จากนิยามดังกล่าวจะเห็นได้ว่าจะไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบที่มีอุณหภูมิเดียวกัน ความร้อนดังกล่าวในทางอุณหพลศาสตร์นั้นถือว่าเป็นพลังงานภายใน ซึ่งเป็นคุณสมบัติหนึ่งของระบบ ระบบจะไม่มีการสะสมความร้อนเอาไว้แต่จะสะสมเป็นพลังงานภายใน โดยค่าพลังงานภายในนั้นมีความสัมพันธ์กับสภาวะของระบบ ส่วนความร้อนนั้นจะเกี่ยวพันกับกระบวนการระหว่างระบบ โดยกระบวนการที่ความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ระบบเรียกว่า กระบวนการให้ความร้อน ส่วนกระบวนการที่ความร้อนถ่ายเทออกจากระบบ เราเรียกว่า กระบวนการคายความร้อน ส่วนกระบวนการที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนเราเรียกว่า กระบวนการเอเดียบาติก (อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง, 2545 : 67 – 68)

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งดังนั้นความร้อนจึงมีหน่วยเหมือนกับพลังงานในรูปแบบอื่นๆ โดยในระบบหน่วยนานาชาติ (S.I. unit) ความร้อนมีหน่วยเป็นกิโลจูล (kJ) ปริมาณการถ่ายโอนความร้อนในกระบวนการใช้สัญลักษณ์เป็น Q และสำหรับปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวลของระบบใช้สัญลักษณ์เป็น q โดยที่

$$\mathrm{q} = \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{m}} \left(\mathrm{kJ/kg}\right) \qquad (2.1)$$

อัตราการถ่ายโอนความร้อนต่อหนึ่งหน่วยเวลา ใช้สัญลักษณ์เป็น $\dot{\mathrm{Q}}$ โดยที่

$$\dot{\mathrm{Q}} = \frac{\mathrm{Q}}{\Delta \mathrm{t}} \qquad \left(\mathrm{kJ/s} \equiv \mathrm{kW}\right) \qquad (2.2)$$

เมื่อ $\Delta \mathrm{t}$ คือช่วงเวลาในการถ่ายโอนความร้อน

ความจุความร้อนและความจุความร้อนจำเพาะของสาร

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบที่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องกับระบบแล้วทำให้ระบบมีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเพียงอย่างเดียวนี้ เราได้พบสมบัติของระบบที่เรียกว่าความจุความร้อน และความจุความร้อนจำเพาะซึ่งนิยามให้เป็นความจุความร้อนในหนึ่งหน่วยมวล

1 ความจุความร้อน

เมื่อความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ระบบหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอาจจะเกิดขึ้นได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับกระบวนการนั้นๆ ถ้าระบบอยู่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก T_1 ไปเป็นอุณหภูมิ T_2 ซึ่งการถ่ายเทของปริมาณความร้อน Q จะเป็นความจุความร้อนเฉลี่ยของระบบแทนด้วย C ในกระบวนการดังกล่าว หมายความว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ระบบกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป นั้นคือ

$$C = \frac{Q}{T_2 - T_1} = \frac{Q}{\Delta T} \qquad (2.3)$$

เมื่อ C คือ ความจุความร้อน (J/K)

Q คือ พลังงานที่ใช้ไป (J)

ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (C°)

และค่าความจุความร้อนของระบบต่อมวลของระบบเท่ากับ

$$c = \frac{C}{m} \qquad (2.4)$$

เมื่อ c คือ ความจุความร้อนจำเพาะ (specific heat capacity)

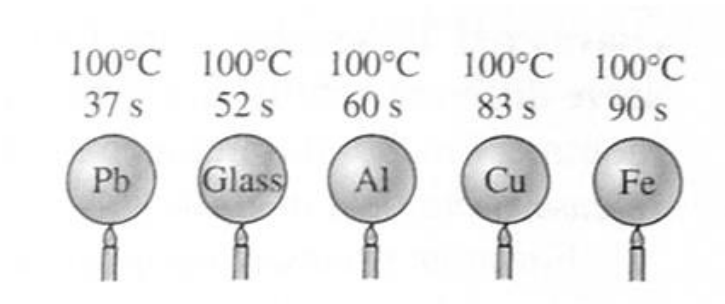
2 ความจุความร้อนจำเพาะ

สารต่างชนิดที่มีมวลเท่ากัน มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างละ 1 องศา เท่าๆ กันนั้น จะต้องใช้ปริมาณพลังงานความร้อนต่างกัน ตัวอย่างเช่น การเพิ่มอุณหภูมิของเหล็ก 1 กิโลกรัม จากที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็น 30 องศาเซลเซียส จะต้องใช้พลังงาน 4.5 กิโลจูล แต่หากต้องการเปลี่ยนน้ำในสถานะของเหลว 1.0 กิโลกรัม จากอุณหภูมิจาก 20 องศาเซลเซียส เป็น 30 องศาเซลเซียสจะต้องใช้พลังงานถึง 41.8 กิโลจูล ดังนั้นเราจึงจำเป็นจะต้องมีคุณสมบัติตัวหนึ่ง ที่ใช้เปรียบเทียบความสามารถในการจุพลังงานความร้อนของสารหรือวัตถุชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะเหล่านี้โดยคุณสมบัติดังที่กล่าวมานี้มีชื่อเรียกว่า ความจุความร้อนจำเพาะ ดังนั้นความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุใดๆ จึงหมายถึง ปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวล ที่ทำให้วัตถุนั้นมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ไป 1.0 องศา

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T} \qquad (2.5)$$

หรือสามารถคำนวณหาปริมาณความร้อน Q ที่วัตถุมวล m ได้รับ เมื่อทราบค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุนั้นๆ ได้จากความสัมพันธ์ $Q = mc\Delta T$ เมื่อ c คือ ความจุความร้อนจำเพาะ m คือ จำนวนมวล ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และ Q คือ ปริมาณพลังงานความร้อน

ค่าความจุความร้อนจำเพาะเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัตถุ คือถ้าวัตถุใดมีค่าความจุความร้อนจำเพาะมาก วัตถุนั้นจะสามารถที่จะดูดซับพลังงานความร้อนได้ในปริมาณมาก



ภาพที่ 2.1 อัตราการดูดซับความร้อนของวัตถุที่มีมวลเท่ากันแต่มีค่าความจุความร้อนจำเพาะต่างกัน
ที่มา : (Tippens, Paul E., 2007 : 353)

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุมีหน่วยเป็น กิโลจูลต่อกิโลกรัม–เคลวิน ($kJ/kg \cdot K$) โดยที่ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุบางชนิดแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุบางชนิด

วัตถุ	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	
	$J/kg \cdot C^\circ$	$cal/g \cdot C^\circ$ or $Btu/lb \cdot F^\circ$
อะลูมิเนียม	920	0.22
ทองแดง	390	0.093
น้ำแข็ง	2090	0.50
เหล็ก	470	0.113
ไอน้ำ	2000	0.48
เหล็กกล้า	480	0.114
น้ำ	4186	1.00
สังกะสี	390	0.092

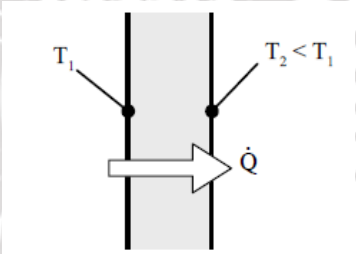
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน (heat transfer) เกิดขึ้นเมื่อจุด 2 จุด มีอุณหภูมิที่แตกต่างกันจะมีพลังงานซึ่งไหลจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ การถ่ายเทความร้อนมีอยู่ 3 วิธี คือ การนำความร้อนการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน การ ถ่ายเทความร้อนในแต่ละครั้งอาจเป็นการถ่ายเทความร้อนในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง หรือเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันหลายลักษณะก็ได้

1 การนำความร้อน

การส่งถ่ายแบบการนำความร้อน พลังงานความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง โดยมวลของตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่ไปด้วย เช่น การส่งถ่ายความร้อนผ่านวัตถุแข็ง (ศักดา ศิริพันธุ์, 2548 : 1) การนำความร้อน เป็นวิธีการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการส่งผ่านการสั่นสะเทือนของโมเลกุลของสารหรือตัวกลางต่อไปยังโมเลกุลข้าง ๆ ดังนั้นโมเลกุลที่มีระดับพลังงานสูงกว่าหรือที่มีอุณหภูมิสูงกว่าก็จะส่งต่อไปยังโมเลกุลที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าหรือที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ต่อไปเรื่อยๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 (จิตติน แตงเที่ยง, 2554 : 51)



ภาพที่ 2.2 การนำความร้อนของวัตถุจากแหล่งที่อุณหภูมิสูง (T_1) ไปยังแหล่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า (T_2)
ที่มา : (จิตติน แตงเที่ยง, 2554 : 52)

ในการพิจารณาความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุต่าง ๆ เราจะได้ค่าคงตัวค่าหนึ่งซึ่งเป็นค่าเฉพาะตัวในการนำความร้อนของวัตถุ เราเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ถ้าวัตถุใดที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนน้อย ความร้อนจะผ่านได้ยากถึงแม้จะมีความแตกต่างของอุณหภูมิมากก็ตามวัตถุพวกนี้เรียกว่า “ฉนวน” วัสดุที่เป็นฉนวนความ คือ ตัวกลางที่ไม่ยอมให้พลังงานความร้อนไหลผ่าน หรือไหลผ่านได้น้อย ตัวอย่างของวัสดุที่เป็นฉนวนความร้อน ได้แก่ วัตถุจำพวก กระเบื้อง แก้ว ไม้ ผ้า พลาสติก เป็นต้น แต่ถ้าวัตถุใดที่มีค่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากๆ เราเรียกวัตถุจำพวกนี้ว่า “ตัวนำความร้อน” คือ วัสดุตัวกลางใดๆ ก็ตามที่ยอมให้พลังงานความร้อนสามารถไหลผ่านไปได้ดี ตัวนำความร้อนที่ดีมีหลายชนิดโดยส่วนมากตัวนำความร้อนจะเป็นวัสดุจำพวกโลหะ เช่น เงิน ทองแดง เหล็ก สังกะสี เป็นต้น (ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษาลำปาง, 2009) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ของวัตถุต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าการนำความร้อนของสาร (k) ที่บริเวณอุณหภูมิห้อง

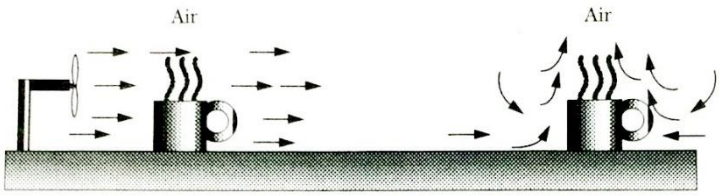
สาร	k (W/m·K)
เงิน	100
ทองแดง	91.8
อะลูมิเนียม	49.7
เหล็ก	15.3
พีวีซี	0.161
PMMA	0.193
แก้ว	0.65
น้ำ	0.60
อากาศ	0.023

2 การพาความร้อน

การพาความร้อนที่เกิดขึ้นในของไหลนั้น มวลของของไหลเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันออกไป เพื่อส่งถ่ายพลังงานความร้อนหรือรับพลังงานความร้อนจากบริเวณนั้น ตัวอย่างการพาความร้อนได้แก่ การต้มน้ำ น้ำบริเวณก้นกาต้มน้ำรับความร้อนจากเปลวไฟมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะขยายตัวลอยขึ้นไปส่วนบนของน้ำซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่าและจะถ่ายพลังงานความร้อนให้แก่น้ำบริเวณนั้น ขณะเดียวกันน้ำบริเวณส่วนบนบางส่วนซึ่งเย็นกว่าและมีความหนาแน่นมากกว่า จะตกลงสู่ก้นกาเพื่อรับความร้อน จากนั้นลอยขึ้นเพื่อถ่ายความร้อนแก่น้ำบริเวณด้านบนของน้ำ กระบวนการจะซ้ำกันเรื่อยไป ทำให้พลังงานความร้อนส่งถ่ายไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของน้ำได้อย่างรวดเร็ว ในของไหลอื่นๆ เช่น อากาศก็มีกระบวนการพาความร้อนเช่นกัน (ศักดา ศิริพันธุ์, 2548 : 20) การพาความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การพาความร้อนแบบบังคับและการพาความร้อนแบบอิสระ

2.1 การพาความร้อนแบบบังคับจะเกิดขึ้นเมื่อม แรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านวัตถุที่ร้อนกว่าหรือเย็นกว่า เช่น การใช้พัดลมเป่าอากาศให้เกิดการเคลื่อนที่ผ่านถ้วยกาแฟร้อน ดังแสดงในภาพที่ 2.3 (ก)

2.2 การพาความร้อนแบบอิสระ เกิดขึ้นเมื่อของไหลเกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงลอยตัวของของไหลและแรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล อันเป็นผลจากความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหล ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ข) โดยความร้อนจากถ้วยกาแฟจะทำให้อากาศมีความหนาแน่นต่ำลง (เบา) จึงเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ขณะเดียวกันอากาศที่เย็นกว่า (มีความหนาแน่นสูงหรือหนักกว่า) จะเคลื่อนที่มาแทนที่



(ก) (ข)

ภาพที่ 2.3 (ก) การพาความร้อนแบบบังคับและ (ข) การพาความร้อนแบบอิสระ
ที่มา : (สมชัย อัครทิวา และ ขวัญจิต วงษ์ชารี, ม.ป.ป. : 74)

สำหรับหาอัตราการพาความร้อนจะอยู่ในรูปกฎการเย็นตัวของนิวตันในการพิจารณาการพาความร้อนของของไหลจากกฎการเย็นตัวของนิวตันนั้น เราจะได้ค่าคงตัวค่าหนึ่งซึ่งใช้สำหรับการบอกความสามารถในการพาความร้อน เราเรียกค่าคงตัวนี้ว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) สำหรับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเป็นสมบัติที่ได้จากการทดลอง ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีหลายอย่าง เช่น รูปร่างของวัตถุ ลักษณะการไหลของของไหล และสมบัติของของไหล เป็นต้น (สมชัย อัครทิวา และ ขวัญจิต วงษ์ชารี, ม.ป.ป. : 74)

ตารางที่ 2.3 ค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย

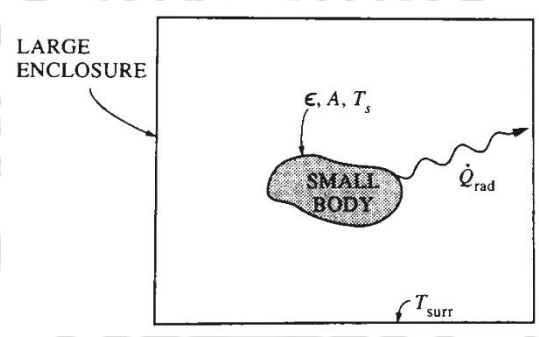
ประเภทการพาความร้อน และชนิดของของไหล	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2 \cdot K$)
การพาความร้อนแบบอิสระ, อากาศ	5 – 25
การพาความร้อนแบบอิสระ, น้ำ	20 – 100
การพาความร้อนแบบบังคับ, อากาศ	10 – 200
การพาความร้อนแบบบังคับ, น้ำ	50 – 10,000
น้ำในระหว่างการระเหย	3,000 – 100,000
น้ำในระหว่างการควบแน่น	5,000 – 100,000

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

3 การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง ความร้อนจากการแผ่รังสีจะเคลื่อนที่ไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การแผ่รังสีความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีในบริเวณที่เป็นสุญญากาศ เช่น การถ่ายโอนความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลก อัตราการแผ่รังสีความร้อนจากผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิสัมบูรณ์เท่ากับ T_s เป็นไปตามกฎของสตีฟาน–โบลทซ์มันน์

ซึ่งอัตราการแผ่รังสีความร้อนตามกฎของสตีฟาน - โบลทซ์มันน์นั้นจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์กำลังสี่ พื้นผิวของวัตถุอุดมคติที่สามารถแผ่รังสีได้สูงสุด เรียกว่าวัตถุดำสำหรับวัตถุที่มีอยู่ทั่วไปจะแผ่รังสีได้น้อยกว่าวัตถุอุดมคติ ค่าการแผ่รังสี (emissivity ; ε) คือ ปริมาณที่แสดงถึงประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุที่สามารถแผ่รังสีความร้อนได้สูงสุด (วัตถุอุดมคติ) ซึ่งค่าการแผ่รังสีมีค่าได้ตั้งแต่ 0 จนถึง 1 ($0 \leq \varepsilon \leq 1$)โดยที่วัตถุดำที่สามารถแผ่รังสีได้สูงสุดมีค่าการแผ่รังสีเท่ากับ 1



ภาพที่ 2.4 การแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุกับพื้นผิวขนาดใหญ่ที่ครอบคลุมวัตถุ
ที่มา : (สมชัย อัครทิวา และ ขวัญจิต วงษ์ชารี, ม.ป.ป. : 75)

ทฤษฎีการไหลในท่อ

ของไหล (Fluid) คือของเหลวและก๊าซ ในการวิเคราะห์จะต่างกันตรงที่ก๊าซจะเป็นของไหลที่ สามารถอัด ตัวได้ส่วนของเหลวนั้นไม่สามารถอัดตัวได้ถึงแม้จะอัดตัวได้บ้าง แต่ต้องใช้ความดันสูงมากจึงพิจารณาว่า ของเหลวเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ โดยที่ของไหลอัดตัวได้คือของไหลที่ความหนาแน่นไม่คงที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว เช่น ก๊าซอยู่ใน ภาชนะ ปิดสนิทเมื่อได้รับความร้อนความหนาแน่นของก๊าซก็จะเพิ่มขึ้น ตรงกันข้ามถ้าสูญเสียความร้อน ความหนาแน่นก็จะลดลงในที่นี้จะกล่าวเฉพาะของไหลที่อัดตัวไม่ได้เท่านั้น

1 คุณสมบัติของของไหล

สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

คุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการของของไหล ได้แก่ ความดัน ความหนาแน่น ความเร็ว จำนวนเลขเรย์โนลด์(Reynolds' number) ค่าเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์ต่อการไหลซึ่งจะกล่าวต่อไป

1.1 ความดัน เนื่องจากความดันมีความสัมพันธ์กับ แรงต่อพื้นที่หน้าตัด ดังนั้น เมื่อมีการ เปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดจะทำให้ค่าความดันเปลี่ยนแปลงไปด้วย เราสามารถนำหลักการนี้ไปใช้เพื่อ คำนวณหาความเร็วการไหลของของไหลได้ จากสมการของ Bernoulli ซึ่งเป็นการสำหรับการไหลของ Steady,incompressible, in viscid และใช้ได้ตามเฉพาะการไหล

1.2 ความหนาแน่น ใช้ในการคำนวณหาค่าความดันของของไหล ณ จุดใด ๆ โดยความ หนาแน่นบ่งบอกถึง มวลต่อปริมาตร

1.3 ความเร็ว จะเป็นค่าตัวแปรที่กำหนดพฤติกรรมการไหลของของไหล ว่าจะเป็นไปในลักษณะใด กล่าวคือ เมื่อความเร็วเฉลี่ยของของไหลเป็นไปอย่างช้าๆ เราจะเรียกการไหลแบบนี้ว่า การ ไหลแบบราบเรียบซึ่งในบริเวณใกล้กับเส้นผ่านศูนย์กลาง ของท่อความเร็วของการไหลจะมีค่ามากกว่าบริเวณที่ห่างออกไป และหากความเร็วมีค่ามากขึ้นถึงระดับ หนึ่งจะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ซึ่งการไหลแบบหลังนี้มักจะพบเห็นกันเป็นส่วนมาก อนึ่งการไหลแบบปั่นป่วนนี้จะเป็นการไหลที่มีรูปแบบไม่แน่นอน

2 เลขเรย์โนลด์

เลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number) เป็นเลขดัชนีที่ชี้บอกสภาพปรากฏการณ์การไหลของของไหล ซึ่งเป็นสัดส่วนของ inertia/viscous จำนวนเลขเรย์โนลด์จะมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วการไหล ความหนืด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และความหนาแน่นของของไหล เราอาจเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าว ได้เป็น

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} \qquad (2.6)$$

เมื่อ Re คือ จำนวนเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number)

v คือ ความเร็วการไหล เมตรต่อวินาที

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ เมตร

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

μ คือ ความหนืดของของไหล กิโลกรัมต่อเมตรวินาที

เลขเรย์โนลด์ไม่มีหน่วย และมีความสำคัญอย่างมาก กล่าวคือจำนวนเลขนี้ใช้เป็นตัวกำหนดรูปแบบการไหลของของไหลว่าเป็นแบบใด เช่น

Re อยู่ในช่วง 0 - 2000 สภาพการไหลเป็นแบบ Laminar Flow

Re อยู่ในช่วง 2001- 4000 สภาพการไหลเป็นแบบ Transition Zone คือ มีการไหล 2 แบบ คือ Laminar + Turbulent

Re มากกว่า 4000 สภาพการไหลเป็นแบบ Turbulent Flow

คุณสมบัติของท่อทองแดง

ท่อทองแดง ผลิตมาจากทองแดงหรือโลหะผสมทองแดง ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุทางวิศวกรรมหลายด้านเนื่องจากมีคุณสมบัตินำไฟฟ้า มีความแข็งแรง ทนทาน ต้านทานการกัดกร่อน สามารถนำไปแปรรูป บิด บาน ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน นอกจากนี้เรายังสามารถเพิ่มคุณสมบัติของท่อทองแดงให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่นำไปใช้อีกด้วย

1 ลักษณะของท่อทองแดง

ท่อทองแดงมีหลายรูปแบบ ทั้งแบบไปป์ม้วนและท่อกลมยาว มีขนาดแตกต่างกันออกไปตามรุ่นและประเภท ส่วนสีของท่อทองแดงมักมีสีทองแดง (Copper) แต่นอกจากนี้ก็อาจขึ้นอยู่กับอัลลอยด์ที่นำมาเป็นส่วนประกอบ ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ทำให้ท่อทองแดงมีหลายสี เช่น สีชมพู สีทอง สีเหลือง และสีเขียว นอกจากนี้หากมีการสัมผัสกับอากาศก็อาจทำให้ท่อทองแดงเปลี่ยนเป็นสีบรอนซ์ดำหรือสีสนิมจากการเกิดออกซิเดชั่นได้เช่นกัน ดังนั้นการเลือกท่อทองแดงจึงต้องให้ความสำคัญกับสารที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตด้วยเพื่อให้ได้ท่อและอุปกรณ์ Fitting ที่มีคุณภาพเหมาะสมกับการนำไปใช้ในงานโครงสร้างของเรามากที่สุด

ท่อทองแดงเป็นอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้ในงานระบบปรับอากาศและงานระบบอื่น ๆ มักใช้เพื่อเป็นท่อนำน้ำยาแอร์หรือสารทำความเย็น ส่วนใหญ่ท่อทองแดงที่เราใช้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ท่อทองแดงแบบ K หรือ Type K เป็นท่อที่เรานำมาใช้งานกับระบบปรับอากาศและระบบน้ำยาทำความเย็นได้ เพราะมีความหนามากที่สุดในบรรดาท่อทองแดงทั้งหมด ท่อทองแดงแบบ L หรือ Type L เป็นท่อที่มีความหนาปานกลาง คุณสมบัติคล้ายกับท่อทองแดงแบบ K สามารถใช้กับระบบทำความเย็นได้เหมือนกัน ท่อทองแดงแบบ M หรือ Type M เป็นท่อทองแดงแบบบาง นิยมใช้ในงานเดินท่อภายนอกระบบปรับอากาศ ไม่เหมาะกับงานภายใน

2 คุณสมบัติเฉพาะของท่อทองแดง

2.1 ท่อทองแดงมีคุณสมบัติการนำความร้อนได้ดีซึ่งคุณสมบัตินี้จะเปลี่ยนไปตามปริมาณอัลลอยด์ที่ใช้ในการผลิต มันสามารถนำความร้อนและอุณหภูมิได้ดีพอ ๆ กับการนำไฟฟ้า

2.2 คุณสมบัติการนำไฟฟ้า ในบรรดาโลหะวิศวกรรมและวัสดุงานอะไหล่ทั้งหมด ทองแดงคือวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการนำไฟฟ้ามากที่สุด ท่อทองแดงเองก็มีคุณสมบัติดังกล่าวนี้เช่นกัน ส่วนกรณีที่ไม่ต้องการให้ท่อทองแดงอ่อนตัวอาจใช้วิธีเพิ่มโลหะเงินผสมเข้าไปเพื่อให้ท่อทองแดงมีความแข็งมากขึ้นและไม่เสียสภาพเมื่อนำไฟฟ้า

2.3 คุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อน จึงทำให้ท่อทองแดงถูกนำไปใช้ในงานระบบโดยเฉพาะระบบปรับอากาศได้ดีก็คือ ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อน ทำให้มันถูกนำไปใช้ในการประกอบเครื่องปรับอากาศ เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมจนถึงระบบงานต่าง ๆ อีกหลากหลายงาน แต่อย่างไรก็ตามท่อทองแดงไม่ทนต่อสารเคมีประเภทฮาโลเจน แอมโมเนีย และซัลไฟด์นะครับ เนื่องจาก กรดเหล่านี้มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนทองแดง แต่เราก็อาจเพิ่มความทนทานให้ท่อทองแดงมากขึ้นด้วยการเคลือบฟิล์มป้องกันการกัดกร่อน

ระบบทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

เทคโนโลยีผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบประสาทประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ถังเก็บน้ำร้อนและแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นตัวแปลงและเก็บพลังงานความร้อนและถ่ายเทความร้อน ให้กับน้ำเพื่อนำใช้ในรูปแบบต่างๆ

1 ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1.1 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์อาทิตย์ (solar collector) ทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนถ่ายเทความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์ให้กับน้ำโดยผ่านท่อทองแดงซึ่งชนิดของแผงรับ แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือชนิดแผ่นเรียบและชนิดรวมแสง

1.2 ถังเก็บน้ำร้อน (storage tank) ทำหน้าที่เก็บน้ำร้อนที่ผ่านมาจากเพลงรับแสงอาทิตย์เพื่อ นำไปใช้โดยตัวถังจะต้องมีฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน

1.3 ระบบท่อวาล์วและปั๊ม (pipe, valve and pump) เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อระบบเป็น อย่างมากโดยทั่วไปแล้วเจ้าจะต้องมีการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนว่ามีหน้าที่ควบคุม ปริมาณการไหลการปิดและเปิดของการใช้น้ำส่วนปั๊มทำให้เกิดการหมุนเวียนภายในระบบตลอดเวลา อบรมภายในถึงจะเกิดความสม่ำเสมอ

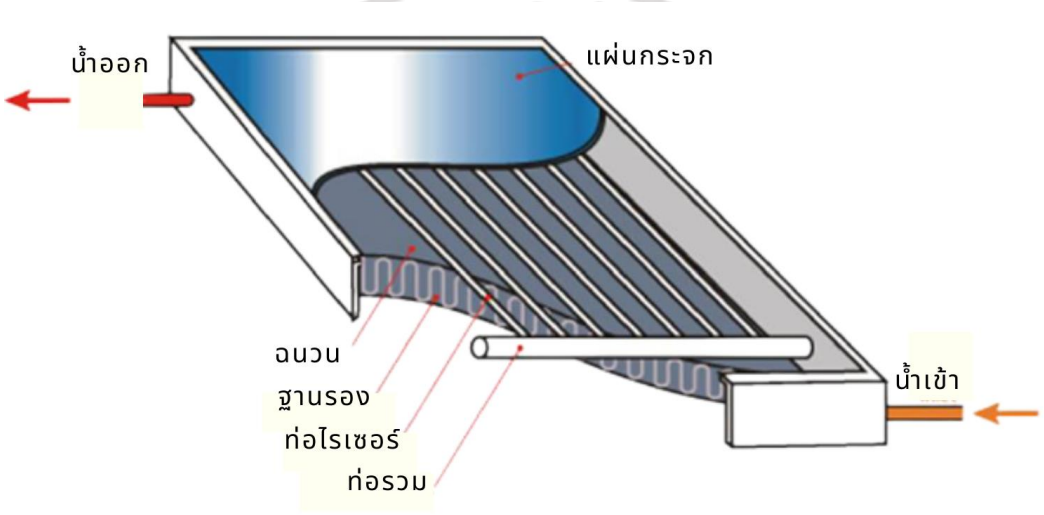
2 ชนิดของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์อาทิตย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ระบบสะสมพลังงานที่อยู่กับที่ จะได้รับการแก้ไขในตำแหน่งและไม่ติดตามดวงอาทิตย์ มีการอธิบายระบบสะสมพลังงานที่อยู่กับที่ 3 ประเภท ดังนี้ ระบบสะสมพลังงานแบบแผ่นแบนเรียบ ระบบสะสมพลังงานแบบพาลาโบลิกอยู่กับที่ และระบบสะสมพลังงานแบบท่อสุญญากาศ

2.1 ระบบสะสมพลังงานแบบแผ่นแบนเรียบ (Flat plate Collector) ระบบสะสมพลังงานประเภทนี้ไม่ซับซ้อน ขึ้นอยู่กับการแผ่รังสีผ่านชั้นโปร่งใสและจากนั้นชั้นดูดซับที่ดูดซับพลังงานดวงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน ความร้อนที่ถูกดูดซับนั้นจะถูกส่งไปยังของเหลวขนาดกลางชนิดหนึ่งซึ่งอาจเป็นน้ำและสารเติมแต่งสารป้องกันการแข็งตัวหรืออากาศในหลอด

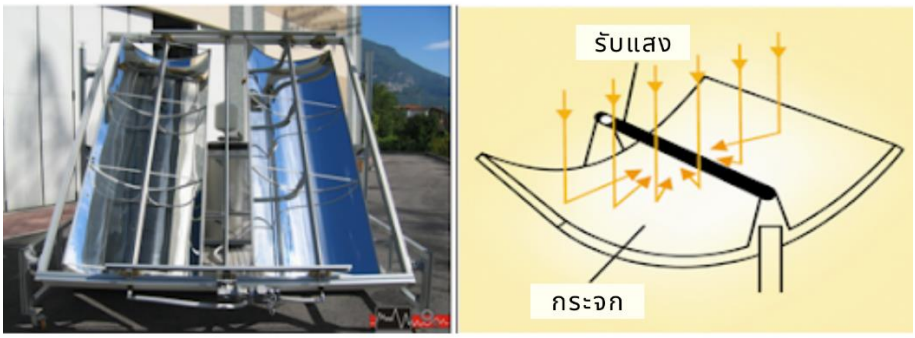
เพื่อเพิ่มอุณหภูมิสำหรับการใช้ความร้อนโดยตรง ทั้งนี้ทางด้านล่างของแผ่นดำดูดซับความร้อน และด้านข้างมีฉนวนหุ้มเพื่อลดการสูญเสียความร้อน การนำความร้อนของเหลวถูกเชื่อมต่อที่ปลายทั้งสองข้าง กระจกโปร่งใสชั้นที่สองช่วยลดการสูญเสียการพาความร้อนจาก แผ่นดำดูดซับความร้อนแผ่ความร้อนออกในชั้นอากาศนิ่ง ที่อยู่ระหว่างแผ่นดำดูดซับความร้อนกับกระจก ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์อาทิตย์แบบแผ่นแบนเรียบ
ที่มา : (บริษัท เอนเนอร์ยี่ ควอลิตี้ เซอร์วิส จำกัด, 2558)

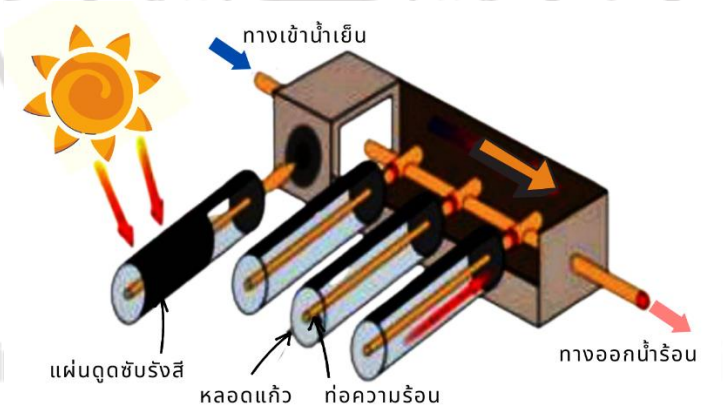
2.2 ระบบสะสมพลังงานแบบพาราโบลิกอยู่กับที่ (Stationary compound parabolic collector) โดยระบบสะสมพลังงานประเภทนี้มีความสามารถในการดูดซับแสงเกือบทั้งหมดที่เปล่งออกมาทางฐานรับแสง ระบบสะสมพลังงานเหล่านี้สามารถรับแสงที่กระจายอยู่บนรูรับแสงได้เป็นจำนวนมาก โดยไม่ต้องติดตามดวงอาทิตย์ ระบบสะสมพลังงานแบบพาราโบลิกอยู่กับที่ แสดงดังภาพที่ 2.6

ระบบสะสมเหล่านี้คล้ายกับระบบสะสมพลังงานแบบแผ่นแบนเรียบ เมื่อได้รับการแก้ไขในมุมเฉพาะที่เรียกว่ามุมการยอมรับตามตำแหน่ง แม้ว่าระบบสะสมพลังงานแบบพาราโบลิกบางชนิดสามารถติดตามแสงดวงอาทิตย์ได้ สำหรับระบบสะสมพลังงานแบบพาราโบลิกอยู่กับที่ CPC ซึ่งติดตั้งในมุมการยอมรับประมาณ 47 องศา มุมนี้ครอบคลุมการลดลงของดวงอาทิตย์ตั้งแต่ฤดูร้อนจนถึงฤดูหนาว อย่างไรก็ตามระบบสะสมพลังงานแบบพาราโบลิกมีการคำนวณและการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี



ภาพที่ 2.6 ระบบสะสมพลังงานแบบพาราโบลิกอยู่กับที่
ที่มา : (บริษัท เอนคอส จำกัด, 2557)

2.3 ระบบสะสมพลังงานแบบท่อสุญญากาศ (Evacuated tube collectors) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตให้เป็นพลังงานความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งมีลักษณ เป็นหลอดแก้วสองชั้น ระหว่างชั้นเป็นสุญญากาศ ภายในเคลือบด้วยสารดูดกลืนรังสีมีประสิทธิภาพสูง เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการน้ำร้อนอุณหภูมิสูงเนื่องจากระบบสะสมพลังงานแบบแผ่นแบนเรียบไม่มีประสิทธิภาพที่ดีในสภาพอากาศที่มีเมฆมากและเย็นเนื่องจากการรวมตัวของความชื้นบนพื้นผิวของแผ่นแบบ ระบบสะสมพลังงานแสงอาทิตย์เหล่านี้ประกอบด้วยท่อความร้อนภายในหลอดสุญญากาศ แสดงดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ระบบสะสมพลังงานแบบท่อสุญญากาศ
ที่มา : (Haining Fadi Solar Energy Co.,Ltd, 2560)

ทั้งนี้ชองสุญญากาศจะช่วยลดการพาและการสูญเสียการนำความร้อน ดังนั้นระบบสะสมพลังงานแบบท่อสุญญากาศ จึงสามารถทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่าระบบสะสมพลังงานแบบแผ่น

แบนเรียบได้ ท่อซึ่งเป็นท่อทองแดงปิดผนึกนั้นจะถูกแนบกับครีบทองแดงสีดำที่เติมท่อ (แผ่นดูดซับความร้อน) ที่ยื่นออกมาจากด้านบนของแต่ละหลอดเป็นปลายโลหะที่ติดอยู่กับท่อปิดผนึก ท่อความร้อนมีของเหลวจำนวนเล็กน้อย เช่นเมทานอลที่ผ่านวงจรการระเหย ในรอบนี้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ระเหยของเหลวและไอ จะเดินทางไปยังบริเวณแผ่นระบายความร้อนซึ่งจะกลั่นตัวและปล่อยความร้อนแฝง ของเหลวควบแน่นจะถูกส่งกลับไปยังตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์และกระบวนการจะทำซ้ำ เมื่อติดตั้งท่อเหล่านี้โลหะจะพุ่งเข้าหาตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (ท่อร่วม) น้ำหรือไอไหลผ่านท่อร่วมและรับความร้อนจากท่อ ของเหลวไหลเวียนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอีกตัวและให้ความร้อนแก่กระบวนการหรือน้ำที่เก็บไว้ในถังเก็บพลังงานแสงอาทิตย์

3 หลักการทำงานของระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นี้ใช้หลักการทางธรรมชาติที่เรียกว่า “Thermosyphon” กล่าวคือ น้ำร้อนจะลอยขึ้นในขณะที่น้ำเย็นจะไหลลงข้างล่าง จากรูปภาพน้ำเย็นใน ส่วนล่างของถังเก็บน้ำจะไหลลงสู่ส่วนล่างของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์อาทิตย์น้ำเย็นเหล่านี้จะได้รับความร้อนจาก พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับแผงเมื่อน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงก็จะลอยตัวขึ้น ไปตามท่อทองแดงที่อยู่ใน แผงไหลกลับเข้าไปสู่ถังเก็บน้ำและลอยตัวขึ้นไปสู่ส่วนบนของถังเก็บน้ำร้อนเป็นน้ำร้อนที่พร้อมจะนำไปใช้ ได้ส่วนระบบน้ำร้อนที่ใช้งานจะมี 2 ระบบ คือ ระบบแอคทีฟ (Active Solar Heater) และระบบแพสสีฟ (Passive Solar Heater)

ระบบแอคทีฟ (Active System) เป็นระบบที่มีการใช้ปั๊ม วาล์ว และตัวควบคุมเพื่อบังคับให้น้ำหรือของเหลวถ่ายเทความร้อนหมุนเวียนในระบบผ่านตัวรับรังสีอาทิตย์ระบบแอคทีฟแบ่งเป็น 2 ระบบได้แก่ ระบบแบบเปิด และระบบแบบปิด

3.1 ระบบแอคทีฟแบบเปิด (Open Loop Active System) ระบบนี้จะใช้ปั๊มในการหมุนเวียนน้ำที่ต้องการนำไปใช้ผ่านตัวรับรังสีแสงอาทิตย์

3.2 ระบบแอคทีฟแบบปิด (Close Loop Active System) ระบบนี้จะใช้ปั๊มในการ หมุนเวียนของเหลวที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนให้ผ่านตัวรับรังสีแสงอาทิตย์

ระบบแพสสีฟ (Passive System) ระบบนี้จะไม่ใช้ปั๊มในการทำให้ของเหลวที่ใช้ระบบเคลื่อนที่ ซึ่งมีข้อดีคือ ไม่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อาจเสียได้ ทำให้อายุการใช้งานนาน ราคาถูก แต่มีข้อเสียที่ประสิทธิภาพด้อยกว่าแบบแอคทีฟและเครื่องทำน้ำร้อนระบบนี้จะมีอยู่ 2 ประเภทคือแบบถาด และแบบท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยศพร คันธไช (2545) เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน แต่เนื่องจากความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวโลกมีลักษณะการกระจายของแสงจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพื่อรับหรือรวมพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีความเข้มสูงขึ้น อุปกรณ์ ดังกล่าวเรียกว่า แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นตัวแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนและเก็บพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ ทำให้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกลายเป็นน้ำร้อนที่สามารถนำไปอุปโภคได้ แต่ในกรณีที่สภาพอากาศไม่อำนวยคือมีเมฆหนาทึบปกคลุมท้องฟ้าหลายวัน จะทำ ให้ระบบไม่สามารถให้น้ำร้อนได้เลยเป็นการสูญเสียโอกาสใน การใช้งาน ดังนั้นจึงจำ เป็นต้องติดตั้งแหล่งพลังงานให้ความร้อนสำรองอุปกรณ์นี้เรียกว่าฮีตเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์กำเนิดความร้อนในงานอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย การเลือกใช้ชนิดของฮีตเตอร์ขึ้นอยู่กับประเภทของงาน ลักษณะการให้ความร้อน ช่วงอุณหภูมิใช้งาน เป็นต้น ทำให้สามารถผลิตน้ำร้อนได้ตลอดทั้งปี

พนมกร ปิงศิริพัฒนา (2551) ได้ศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาสมรรถนะระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ของระบบเทอร์โมไซฟอนวงปิด โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศและรังสีอาทิตย์ของจังหวัดเชียงใหม่เป็นตัวอย่างใน การวิเคราะห์ระบบ ประกอบกับใช้ถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวนอย่างดีขนาด 150 liters ติดตั้งในระดับที่ต่ำ กว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่มีพื้นที่รวมทั้งหมด 2.35 ตารางเมตร ใช้เมทานอลเป็นสารทำงานเพื่อดูดซับ ความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์และส่งถ่ายความร้อนให้แก่น้ำในถังเก็บน้ำร้อนโดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนซึ่งติดตั้งอยู่ในถังเก็บน้ำร้อน โดยการถ่ายเทความร้อนแบบสองสถานะ ทำการทดสอบที่ระดับ ความสูงระหว่างทางออกของสารทำงานจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์กับทางเข้าสารทำงานของเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ความสูง 0.5, 1.0และ 1.5 เมตร ตามลำดับ และปริมาณของสาร ทำงานภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ร้อยละ 50, 60 และ 80 ของปริมาตรภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์จากผลการ ทดลองพบว่า ระบบจะเริ่มทำงานเมื่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้รับความเข้มรังสีอาทิตย์ประมาณ 557.6 วัตต์ต่อตารางเมตร และที่ระดับความสูง 0.5 เมตร และมีปริมาณสารทำงานร้อยละ 80 ของปริมาตรภายในของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำให้ระบบมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 34.8 นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายสมรรถนะของระบบตลอดทั้งปีเพื่อแสดงความคุ้มทุนของโครงการ ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period) และอัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return) พบว่าที่ระดับความสูง 0.5 เมตร และปริมาณของสารทำงานภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ร้อยละ 80 มีผล คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ดีที่สุด

รุ่งทวี ผดากาล และ สุรชัย รดาดาร (2553) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนเพื่อนำผลการทดสอบที่ได้ไปพัฒนาให้ระบบผลิตน้ำร้อนให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้คณะผู้วิจัยต้องการทราบถึงผลของอัตราการไหลของน้ำในระบบและผลของความเข้มของแสงที่ระบบได้รับว่ามีอิธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างไร ดังนั้นจึงทำการศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำและความเข้มของแสงต่อประสิทธิภาพของระบบ เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้ไปพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้กับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบอื่น ๆ ได้ เช่น การออกแบบและพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนที่เป็นระบบเปิดซึ่งประกอบด้วยแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นโค้งรูปพาราโบลิกที่มีพื้นที่รับแสงขนาด 2.24 ตารางเมตร และใช้กระจกเงาในการสะท้อนแสงจากท่อรับแสงไปยังท่อสุญญากาศ 0.27 ตารางเมตร โดยทำการทดลองในห้องทดลองเพื่อควบคุมความเข้มของแสง อัตราการไหลของน้ำในระบบและอุณหภูมิห้องทดลอง และใช้หลอดไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากจำเป็นต้องควบคุมความเข้มแสงให้คงที่และปรับความเข้มแสง ทั้งนี้คณะผู้ทำวิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ทำการปรับอัตราการไหลของน้ำ แต่ควบคุมความเข้มของแสงให้มีมีค่าคงที่ แล้วพบว่า ระบบผลิตน้ำร้อนมีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 72.0 โดยที่อุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุด 53.0 องศาเซลเซียส น้ำมีอัตราการไหล 0.0083 กิโลกรัมต่อวินาที และความเข้มของแสงคงที่ 607.50 วัตต์ต่อตารางเมตร และการทดลองที่ 2 ทำการปรับความเข้มของแสงแต่กำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมีค่าคงที่ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อให้แหล่งกำเนิดแสงมีความเข้ม 1,290 วัตต์ต่อตารางเมตร แล้วระบบผลิตน้ำร้อนจะมีประสิทธิภาพร้อยละ 70.0 และน้ำที่ไหลออกจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยอัตราเร็วที่คงตัว 0.0083 กิโลกรัมต่อวินาที จะมีอุณหภูมิสูงสุด 78.0 องศาเซลเซียส และการทดลองที่ 3 เป็นการทดลองตามมาตรฐาน ASHRAE 93 – 97 โดยทำการปรับอุณหภูมิของน้ำไหลเข้าแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ค่าต่างๆ และอัตราเร็วในการไหลของน้ำและความเข้มของแสงมีค่าคงตัวเท่ากับ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที และ881.26 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าน้ำที่ไหลเข้าแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิประมาณ 37.0 องศาเซลเซียส และน้ำที่ไหลออกจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณภูมิสูงสุดเท่ากับ 50.0 องศาเซลเซียส ในขณะที่ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนมีค่าร้อยละ 53 ยิ่งไปกว่านั้นผลการศึกษาทำให้ทราบว่า อัตราเร็วของการไหลของน้ำและความเข้มของแสงมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำที่ไหลอยู่ในระบบผลิตความร้อนและยังส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยเช่นกัน ทั้งนี้อัตราการไหลของน้ำและความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อนและประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามกัน

ศศิษา เรี่ยมสุวรรณ (2554) การเปรียบเทียบระบบทำน้ำร้อนแบบใช้ปั๊มความร้อนกับใช้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์อาทิตย์แบบแผนเรียบสำหรับอาคารพักอาศัย โดยระบบทำน้ำร้อนประกอบด้วยแบบปั๊มความร้อน หรอแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์อาทิตย์กับถังเก็บน้ำร้อนขนาด 150 ลิตร ในการทดสอบจะใช้ปั๊มความร้อน ขนาดกำลังไฟฟ้า 0.78 กิโลวัตต์ และ 1.25 กิโลวัตต์ ส่วนแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์อาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาดพื้นที่รับแสง 2.00 ตารางเมตร วางหันไปทางทิศใต้ทำมุม 15.0 องศากับแนวระดับ พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น อุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บ อุณหภูมิอากาศภายนอกกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความเข้ม แสงอาทิตย์ อุณหภูมิเข้าและออกแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์อาทิตย์การทดสอบจะมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 08:00 - 16:00 น. แล้วนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อนและประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์อาทิตย์จากการวิเคราะห์พบว่าปั๊มความร้อนมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบมีค่าอยู่ในช่วง 4.2 - 5.5 ส่วนประสิทธิภาพของระบบอยู่ในช่วงร้อยละ 43.8-52.6 ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งปี เมื่อมีอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส พบว่า ระบบทำน้ำร้อนแบบปั๊มความร้อนมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง 300-800 หน่วยต่อปี ส่วนระบบ ทำน้ำร้อนพลังงานแสงจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 100 - 530 หน่วยต่อปี การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อน ระบบทำน้ำร้อนแบบปั๊มความร้อนมี ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 13.0 -13.6 ปี ส่วนระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะมีระยะเวลาคืนทุน 16.8 ปีเมื่อเทียบกับระบบไฟฟ้า

วสันต์ ปินะเต และ พัฒนพล มีนา (2555) เป็นการศึกษาถึงขีดจำกัด ของท่อความร้อนแบบสั่น วงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ และผลของความยาวส่วนทำระเหย และสารทำงานที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนซึ่งใช้สาร R123 เอทานอล และน้ำเป็นสารทำงานโดยใช้ท่อความร้อนที่ทำด้วยท่อคาปิลารี่ทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.77 มิลลิเมตรขนาดความยาวส่วนทำระเหย 5.00 ,10.0 และ 15.0 เซนติเมตร อัตราการเติมสารทำงานร้อยละ 50 ของปริมาณทั้งหมด โดยมีจำนวนโค้งเลี้ยว 10 โค้งเลี้ยวให้ความร้อนส่วนทำระเหยของท่อความร้อนโดยใช้แผ่นความร้อน และในส่วนควบแน่นใช้น้ำเป็นแหล่งระบายความร้อนทำการหุ้มฉนวนอย่างดีในส่วนกันความร้อนของท่อความร้อน เทียบกับแนวระดับจะทำการเก็บ ข้อมูลคือวัดอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของน้ำที่ผ่านส่วนควบแน่นวัดอุณหภูมิในส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่นของท่อความร้อน ทำการคำนวณการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนจากอัตราการไหลเชิงมวลและความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกในส่วนควบแน่น เมื่อเริ่มทำการทดสอบและทำการเพิ่มความร้อนในส่วนทำระเหยโดยควบคุมอุณหภูมิส่วนกันความร้อนไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส โดยการวัดค่าอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำจนกว่าอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยจะกระโดด ซึ่งจุดที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเกิดการกระโดดนั้นจะถือว่าเป็นสภาวะวิกฤติจากผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้ ความยาวส่วนทำระเหย

มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติเมื่อความยาวส่วนทำระเหย เพิ่มขึ้นจาก 5.00 เซนติเมตร เป็น 10.0 และ 15.0 เซนติเมตร ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนวิกฤติจะลดลง และสารทำงานมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติเมื่อเปลี่ยนสารทำงานจาก R123 เป็น เอ ทานอลและน้ำ ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนวิกฤติจะลดลง

กันต์พงศ์ มณีเล็ก และ เจตตพล อำภาทรัพย์สินธุ์ (2556) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบต้นทุนต่ำสำหรับใช้ในบ้านพักอาศัยภายใต้สภาวะอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ โดยได้ทำการสร้างและทดสอบระบบทำน้ำร้อนที่แผงรับรังสีอาทิตย์ทำจากขวดพลาสติก Polyethylene terephthalate (PET) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.0 มิลลิเมตร ยาว 1.20เมตร ภายในแผงรับรังสีแต่ละแถวประกอบด้วยท่อพีอีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20.0 มิลลิเมตร เชื่อมติดกับแผ่นดูดซับความร้อนที่ทำจากแผ่นสังกะสีทาสีดำจำนวน 12 ท่อ มีพื้นที่รับแสงรวม 0.66 ตารางเมตร ทดสอบสมรรถนะของแผงรับรังสีตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-2003 จากการศึกษาพบว่า ค่า FR($\tau\alpha$)e เท่ากับ 0.474 และค่า FRUL เท่ากับ 15.731 ($W/m^2 \cdot °C$) ที่การทดสอบอุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับรังสีเท่ากับ 35.0 - 50.0 องศาเซลเซียส สำหรับการทดสอบการทำน้ำร้อนของระบบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะอากาศแบบ ต่างๆ พบว่าในกรณีวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสมีอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 48.4 องศาเซลเซียส และมีค่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนสูงสุด ประมาณร้อยละ 45

ธานิล ม่วงพลู และ อวบไชย อินทรสมบัติ (2560) ได้ศึกษาการพัฒนาระบบระบายความร้อนด้วย ท่อทำความเย็นแบบท่อทองแดงร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อ 1) พัฒนาระบบระบายความร้อนด้วยท่อทำความเย็นแบบท่อทองแดง ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 2) ทดสอบประสิทธิภาพการทeงานของระบบ โครงสร้างของระบบประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ระบบควบคุมและระบบถ่ายเทความเย็น ในส่วนระบบควบคุมใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิสองตำแหน่ง คือ วัดอุณหภูมิในสภาวะแวดล้อมทั่วไปและสภาวะแวดล้อมภายใต้ระบบถ่ายเทความเย็น อุณหภูมิที่ตรวจจับได้ถูกส่งให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เก็บข้อมูลและทำการเปรียบเทียบ ส่วนระบบถ่ายเทความเย็นเป็นการหมุนเวียนน้ำ เย็นไปสู่ท่อทองแดงเพื่อแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับอากาศภายนอก ผลการวิจัยพบว่า 1) การพัฒนาระบบใน ส่วนระบบควบคุมการท างานของระบบ เป็นการต่ออุปกรณ์ส่วนควบคุมทั้งหมดเข้าด้วยกัน ซึ่งประกอบด้วย (1) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi (2) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (3) รีเลย์ (4) แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ และ (5) อุปกรณ์ไฟฟ้า โดยที่ในส่วนที่ 5 นั้น ได้จำลองการจ่ายไฟ ให้แก่ปลั๊กเพื่อทำการชาร์ตแบตเตอร์รี่ให้กับโทรศัพท์มือถือ และ 2) ระบบสามารถให้อุณหภูมิแตกต่างกัน ระหว่าง สภาพแวดล้อมทั่วไปกับอุณหภูมิที่อยู่ใต้ระบบถ่ายเทความเย็นมีค่าเฉลี่ย 4.50 องศาเซลเซียส ที่ระยะต่ำว่าระบบ 20.0 เซนติเมตร