

## การศึกษาตัวรับรังสีแบบเทอร์มัลไดโอดสำหรับผลิตระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

### Thermal Diode Solar Collector for Solar Water Heating System

ชิตกณ ยะตัน<sup>1</sup>, ศิริชัย เทพา<sup>2</sup>, รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>2</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาตัวรับรังสีอาทิตย์ทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนามาจากตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ มาเป็นชุดทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์แบบฮีทปั๊ม – เทอร์มัลไดโอด โดยมีหลักการคือ ที่แผ่นตัวรับรังสีอาทิตย์จะมีของไหลชนิดหนึ่งอยู่ในระบบปิดที่ทำการบีบให้เป็นสุญญากาศ เมื่อตัวรับรังสีได้รับรังสีแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิของไหลในระบบปิดนี้กลายเป็นไอ จะลอยตัวขึ้นไปกั้นตัวที่ท่อเฮดเดอร์ ซึ่งท่อเฮดเดอร์ส่วนในเป็นระบบปิด และมีเฮดเดอร์ส่วนนอกรับน้ำไหลผ่าน น้ำที่ไหลผ่านท่อเฮดเดอร์จะรับความร้อนจากการเปลี่ยนสถานะของของไหลในระบบปิดทำให้น้ำที่ผ่านส่วนท่อเฮดเดอร์เป็นน้ำที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น และในช่วงเวลาที่มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าต่ำ ไอของของไหลในระบบปิดจะหยุดนิ่งเนื่องจากค่าการนำความร้อนของไอมีค่าต่ำ ไอที่หยุดนิ่งจะทำหน้าที่เหมือนฉนวนป้องกันความร้อนไม่ให้สูญเสียไปจากระบบ และสภาพการนำความร้อนต่ำทำให้ลดการสูญเสียความร้อน ในการศึกษาการออกแบบชุดทดสอบสมรรถนะของระบบตัวรับรังสีอาทิตย์แบบฮีทปั๊ม – เทอร์มัลไดโอด ที่ระบบสามารถลดการสูญเสียในช่วงมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าต่ำได้ ซึ่งมีขนาด 0.1 ตารางเมตร ท่อแถว และเฮดเดอร์ทำด้วยทองแดง ในส่วนเฮดเดอร์ประกอบด้วยท่อ 2 ชั้น ชั้นในเป็นน้ำไหลผ่านเพื่อใช้ในการทดสอบ ชั้นนอกเชื่อมติดกับตัวรับรังสีอาทิตย์เป็นระบบปิดความดันสุญญากาศ ด้านเฮดเดอร์หุ้มด้วยฉนวนทั้งหมดทดสอบสมรรถนะเชิงความร้อนตามมาตรฐาน ISO 9806 ซึ่งมีมาตรฐานการทดสอบของตัวรับรังสีอาทิตย์และเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยทำการทดสอบระบบตามเงื่อนไข การเปลี่ยนอัตราไหลของน้ำเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์ 2 ระดับ ได้แก่ อัตราการไหล 0.02 และ 0.05 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ พบว่าเมื่อเปลี่ยนสารในช่วงปริมาณสารทำงานในระบบปิด ช่วงที่ 20% ถึง 80 % ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อช่วงปริมาณสารทำงานมากกว่า 80 % ของสารทำงานในระบบปิด อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงตามลำดับ และทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดถึง 55.38 % มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยตามท้องตลาด

**คำสำคัญ:** การถ่ายเทความร้อน, ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบฮีทปั๊ม – เทอร์มัลไดโอด, ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

## Abstract

This research is the study on the development of a solar thermal collector developed from a Flat Plate Solar collector to Heat Pipe – Thermal Diode Solar Collector. The principle is at the solar collector there is a type of fluid in a closed system that makes the system to vacuum. When the solar collector gets the solar radiation, the fluid in this closed system to vaporizes. It will float up and condense on the header tube which the inner header pipe is a closed system and has a header outside to receive water flowing through. Water flowing through the header pipe is heated by changing the state of the fluid in a closed system. This causes the water to pass through the header pipe to be water with a higher temperature. During times of low solar radiation intensity, fluid vapor in a closed system is freezes. Because the thermal conductivity of the vapor is low. The vapor acts as an insulator to prevent heat loss from the system and low thermal conductivity reduces heat loss. To study the design of a heat pipe-thermal diode solar collector system performance test kit. The system can reduce losses during low solar radiation intensity which measures 0.1 square meters, line pipes and headers are made of copper. The header section consists of two layers of pipes. The inner layer is flowing water for testing purposes. The outer layer is connected to the solar collector as a closed vacuum pressure system and the header side is fully insulated. Thermal performance test according to ISO 9806 standard which has the testing standards of solar collectors and solar water heaters. By testing the system according to the conditions changing the water flow rate into the solar collector 2 levels. These are the flow rates of 0.02 and 0.05 kg/s. It was found that when changing volume of the working fluid in a closed system. In the range of 20% to 80%, the heat transfer rate increases but when the working substance range is more than 80 % of the working substance in a closed system, the heat transfer rate decreases accordingly. The solar collector tested has a thermal efficiency of up to 55.38%, above the market average.

**Keywords:** heat exchanger/ Heat Pipe – Thermal Diode Solar Collector/ Heat Transfer

## 1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันโลกมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีแนวโน้มว่าจำนวนของประชากรของโลกจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จึงเป็นผลทำให้การใช้พลังงานสูงขึ้นตาม จากปัญหาดังกล่าวทำให้ในปัจจุบันมีนโยบายขององค์กรต่าง ๆ เพื่อส่งเสริมให้มีการนำพลังงานทดแทนมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากพลังงานทดแทนเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีความยั่งยืน [1] จึงมีการนำพลังงานทดแทนมาใช้มากขึ้น ตัวอย่างการใช้พลังงานทดแทนเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาดและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น การนำมาผลิตความร้อน การผลิตกระแสไฟฟ้า การ

อบแห้ง เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้มีความมุ่งเน้นเพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน [2]

การนำเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ในปัจจุบันมีความน่าสนใจและได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีแสงอาทิตย์ในด้านระบบการผลิตน้ำร้อนจากรังสีอาทิตย์ โดยตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบในการให้ความร้อนแก่ระบบ ซึ่งการทำงานของตัวรับรังสีจะทำงานโดยมีของไหลส่วนใหญ่เป็นน้ำจากถังเก็บความร้อนไหลผ่านตัวรับรังสี และไหลกลับไปยังถังเก็บ ส่วนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนตัวรับรังสี จะมีการสูญเสียส่วนหนึ่งจากรังสีสู่สิ่งแวดล้อม ในกรณีที่แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ เช่น ในกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆมาก และไม่มีมาตรการควบคุมการเปิดหรือปิดของ

ของไหลผ่านตัวรับรังสีความร้อนที่สูญเสียจากตัวรับรังสี จะมีค่าสูงกว่าพลังงานความร้อนที่ตัวรับรังสีดูดกลืนไว้ได้ ทำให้ของไหลที่ไหลจากถังเก็บความร้อนผ่านตัวรับรังสีจะสูญเสียพลังงานความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมทำให้เกิดความร้อนสูญเสียสูงมาก จากปัญหาดังกล่าวจึงมีการแก้ไขปัญหาโดยการใช้ตัวรับรังสีแบบฮีทไปป์ –เทอร์มัลไดโอด (Heat Pipe – Thermal Diode Solar Collector) เป็นตัวให้ความร้อนแก่ระบบผลิตน้ำร้อน โดยตัวรับรังสีดังกล่าวจะหยุดทำงานทันทีโดยอัตโนมัติ เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนโดยตัวรับรังสีแสงอาทิตย์น้อยกว่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากตัวรับรังสี [3]

ในการศึกษางานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการศึกษาในการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ จึงมีการพัฒนาโดยการใช้ตัวรับรังสีแบบฮีทไปป์ –เทอร์มัลไดโอด ซึ่งแก้ปัญหาการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมให้ต่ำลง ทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะการออกแบบชุดทดสอบสมรรถนะของระบบตัวรับรังสีอาทิตย์แบบฮีทไปป์ –เทอร์มัลไดโอด เพื่อหาศักยภาพการทำงานของระบบและทดสอบสมรรถนะเชิงความร้อนตามมาตรฐาน ISO 9806 ซึ่งมีมาตรฐานการทดสอบของตัวรับรังสีและเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการทดสอบระบบตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

## 2. วิธีการวิจัย (Methodology)

ในการดำเนินการงานวิจัยนี้ประกอบด้วยแนวทางทดสอบการทำงานของระบบตัวรับรังสีแบบเทอร์มัลไดโอด และหาประสิทธิภาพของระบบตัวรับรังสีแบบเทอร์มัลไดโอด ซึ่งจะแบ่งการศึกษา ออกเป็น 2 ส่วนดังต่อไปนี้

### 2.1 ทดสอบการทำงานของระบบตัวรับรังสีแบบเทอร์มัลไดโอด

โดยการทดสอบตัวรับรังสี ของการทดสอบงานวิจัยนี้ จะทดสอบเพื่อหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด โดยในช่วงเปลี่ยนปริมาตรสารทำงานที่เปลี่ยนไปของระบบในแต่ละการทดลอง คือ 20% , 40% , 60 % , 80 % , 100% ของสารทำงานในระบบปิด ให้อุณหภูมิความร้อนที่ 50 °C ปริมาณความดันคงที่ และมีการทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ ที่ 0.02 kg/sec และ 0.05 kg/sec เพื่อทราบถึงระบบนี้

สามารถทำงานได้ และหาอัตราส่วนที่ดีที่สุดของระบบตัวรับรังสีแบบเทอร์มัลไดโอด

### 2.2 ประสิทธิภาพของระบบตัวรับรังสีแบบเทอร์มัลไดโอด

การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีจะทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ISO 9806 [4] ซึ่งมีมาตรฐานการทดสอบของตัวรับรังสีและเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีเงื่อนไขการทดสอบตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางเงื่อนไขการทดสอบตามมาตรฐานต่างๆ[5]

รายการทดสอบ	มาตรฐานทดสอบ		
	ISO 9806	ASHRAE 93-77	EN 12975
ความเข้มแสงเฉลี่ย (w/m <sup>2</sup> )	≥800	≥790	≥700
ความเข้มแสงสามารถแกว่งได้ในช่วง (w/m <sup>2</sup> )	50	32	50
อุณหภูมิแวดล้อม (°C)	-	30	-
ความเร็วลม (m/s)	2-4	2.0-4.5	3±1
อัตราการไหล (kg/s-m <sup>2</sup> )	0.02	0.02	0.02

ทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์และทำการบันทึกผลและเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T<sub>a</sub>), อุณหภูมิน้ำเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์ (T<sub>i</sub>), อุณหภูมิน้ำออกจากรังสีอาทิตย์ (T<sub>o</sub>), คาร์รังสีอาทิตย์ (G<sub>T</sub>) และอัตราการไหลของน้ำ (m<sup>3</sup>/s) นำผลข้อมูลที่ได้มาประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการสูญเสียความร้อนรวมของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์

ซึ่งค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ (Collector Efficiency) สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เราจำเป็นต้องคำนวณประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีอาทิตย์คืออัตราส่วนระหว่างอัตราของความร้อนที่มีประโยชน์ (Q<sub>u</sub>) ที่ถ่ายโอนโดยการแผ่รังสีแสงอาทิตย์บนแผง ดังแสดงในสมการดังต่อไปนี้ [6]

$$\eta_{coll} = \frac{\text{Heat energy out}}{\text{Heat energy in}} = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \quad (1)$$

$$\eta_{coll} = \frac{m_f C_p (T_o - T_i)}{G_T A_c} \quad (7)$$

โดยเมื่ออัตราความร้อนของแผงเก็บรังสีอาทิตย์

$$Q'_{out} = m_f C_p (T_o - T_i) \quad (2)$$

จากสมการ (2) แสดงค่าความร้อนถูกดึงออกมาจากแผงเก็บรังสีอาทิตย์ในอัตราที่สามารถวัดได้โดยใช้ปริมาณความร้อนที่ส่งไปยังของเหลวที่ไหลผ่านแผงเก็บรังสีอาทิตย์และมีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป สำหรับความร้อนที่แผงเก็บรังสีได้รับ  $Q_{in}$  สามารถหาได้จากสมการที่ (3)

$$Q'_{in} = G_T A_c \quad (3)$$

ค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อน (Heat Removal Factor, FR) เป็นอัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่มีประโยชน์จากตัวเก็บรังสีต่อพลังงานความร้อนที่ถ่ายโอนและถูกดึงโดยของไหลใช้งานในตัวเก็บรังสี ค่า FR สามารถคำนวณได้ดังนี้ [7]

$$F_R = \frac{m_f C_p (T_o - T_i)}{A_c (G_T \tau \alpha - U_L (T_i - T_a))} \quad (4)$$

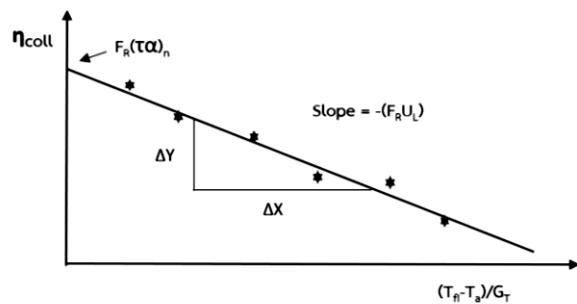
เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของไหลเข้าแผง พลังงานที่เป็นไปได้ในแผงเก็บพลังงานแสงอาทิตย์เกิดขึ้นเมื่อได้รับการถ่ายเทความร้อน ( $Q_u$ ) เพื่อให้ได้พลังงานที่มีประโยชน์ที่เป็นไปได้สูงสุด โดยมีค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อน ( $F_R$ ) ซึ่งเขียนอยู่ในรูปของอุณหภูมิของของไหลเข้าแผงเก็บรังสีอาทิตย์ สามารถเขียนสมการที่ (2) ใหม่ดังนี้

$$Q'_{out} = A_c F_R [G_T \tau \alpha - U_L (T_i - T_a)] \quad (5)$$

สมการ (5) เป็นความสัมพันธ์ที่ใช้มากที่สุดในการคำนวณพลังงานที่สะสมในตัวแผงเก็บรังสีอาทิตย์โดยการพิจารณาจากอัตราการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์สามารถคำนวณจาก

$$\eta_{coll} = F_R (\tau \alpha) - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (6)$$

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ ขณะใดขณะหนึ่ง  $\eta_{coll}$  และ  $(T_f - T_a) / G_T$  จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวอยู่ในรูปสมการเส้นตรงโดยที่ค่า  $-F_R U_L$  คือความชันซึ่งเป็นเทอมที่บอกถึงพลังงานที่สูญเสียและ  $F_R (\tau \alpha)_e$  คือค่าจุดตัดแกน y เป็นตัวชี้ถึงพลังงานที่ถูกดูดกลืน



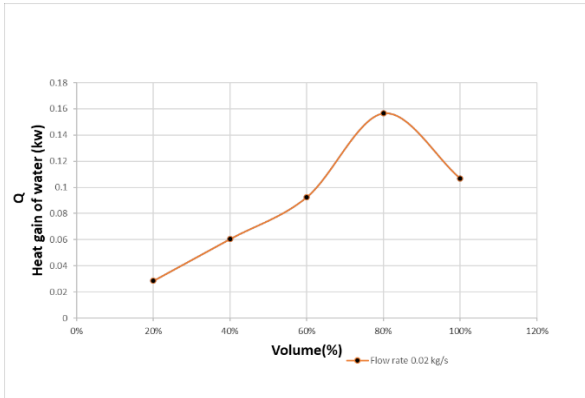
รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\eta_{coll}$  ประสิทธิภาพเชิงความร้อน กับ  $(T_f - T_a) / G_T$

แผงเก็บรังสีที่มีค่า  $F_R (\tau \alpha)_e$  สูงแสดงว่าการส่งผ่านค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีมีค่าสูง ส่วนเทอม  $-F_R U_L$  แสดงค่าการสูญเสียความร้อน ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าตัวเก็บรังสีดังกล่าวป้องกันความร้อนสูญเสียไม่ดีพอ โดยที่  $Q_u$  คือ พลังงานที่แผงรับรังสีอาทิตย์ดูดซับได้ ( $W/m^2$ )  $F_R$  คือ ค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อน  $U_L$  คือ อัตราการสูญเสียความร้อนรวม ( $W/m^2$ )  $A_c$  คือ พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ของแผงรับรังสีอาทิตย์ ( $m^2$ )  $G_T$  คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม ( $W/m^2$ )  $T_i$  คือ อุณหภูมิน้ำก่อนเข้าแผงเก็บรังสีอาทิตย์ ( $^{\circ}C$ )  $T_o$  คือ อุณหภูมิน้ำออกจากแผงเก็บรังสีอาทิตย์ ( $^{\circ}C$ )  $C_p$  คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ เท่ากับ  $4.18 \text{ kJ/kg} \cdot ^{\circ}C$   $m_f$  คือ อัตราการไหลของน้ำเข้าแผง ( $kg/s$ )  $\tau$  คือ ค่าการส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของฝาครอบกระจก  $\alpha$  คือ ค่าการดูดซับความร้อนของแผ่นดูดซับ

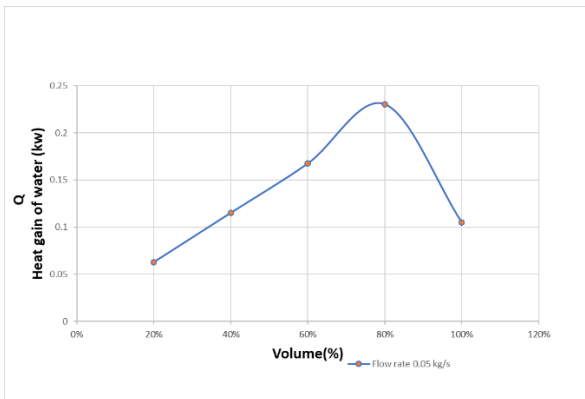
### 3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 ผลของทดสอบการทำงานของระบบตัวรับรังสีแบบเออร์มัลไดโอด

การทดสอบระบบตัวรับรังสีจากชุดทดลองระบบปิด ได้ผลของความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการถ่ายเทความร้อน (Q) กับช่วงเปอร์เซ็นต์ของสารทำงานในระบบปิด ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.02 kg/s และ 0.05 kg/s แสดงดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนกับช่วงเปอร์เซ็นต์ของสารทำงานในระบบปิด ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.02 kg/s



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนกับช่วงเปอร์เซ็นต์ของสารทำงานในระบบปิด ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.05 kg/s

จากรูปที่ 2 และ รูปที่ 3 แสดงให้เห็นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของช่วงการเติมสารทำงานปริมาณ 20% - 100% ของปริมาตรสารทำงานในระบบปิด ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้รับจากฮีตเตอร์ ซึ่งเห็นได้ชัด ผลต่างของอุณหภูมิของน้ำเข้า-น้ำออกที่ทำให้ได้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับช่วงของปริมาตรสารทำงานในระบบปิดคือ เมื่อเพิ่มปริมาตรสารทำงานในระบบปิดให้สูงขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนก็

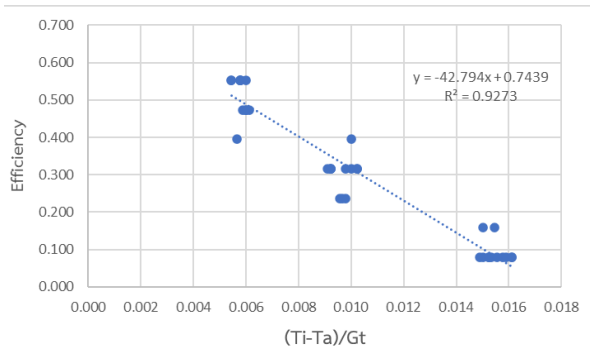
สูงขึ้นตามไปด้วย โดยที่ในช่วงปริมาตรสารทำงานในระบบปิด ช่วงที่ 20% - 80 %

จะเห็นได้ว่าค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากสารทำงานไปยังส่วนท่อเฮดเดอร์ เกิดจากเริ่มต้นปริมาณสารทำงานน้อยเกินไปทำให้การถ่ายเทความร้อนจากสารทำงานไปยังส่วนท่อเฮดเดอร์มีการสูญเสียความร้อนไประหว่างทางตามระยะห่างของสารทำงานกับท่อเฮดเดอร์ซึ่งเป็นการสูญเสียความร้อนทางผิวท่อตัวรับรังสี ถ้าเพิ่มปริมาตรสารทำงานจะลดการสูญเสียความร้อนลงจึงทำให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับของสารทำงานที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อช่วงปริมาตรสารทำงานมากกว่า 80 % ของสารทำงานในระบบปิดขึ้นไปอีก อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงตามลำดับ เกิดจากการที่สารทำงานในระบบปิดสัมผัสกับท่อเฮดเดอร์ เป็นเหตุทำให้ความร้อนที่ได้จากตัวรับรังสีจะเป็นการถ่ายเทความร้อนจากของไหลไปยังส่วนท่อเฮดเดอร์จะอยู่ในรูปของการพาความร้อน ซึ่งสัมพันธ์กับการถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนมีค่าน้อยกว่าสัมพันธ์กับการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการก่อกวนตัวของของไหล จึงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงตามลำดับ จึงต้องเติมสารทำงานในระบบปิดที่ 80% ของระบบ เพื่อให้สารทำงานเดือดกลายเป็นไอปลดปล่อยความร้อนช่วงการควบแน่นได้ดีที่สุด การสูญเสียการถ่ายเทความร้อนได้น้อยที่สุด

ส่วนเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำขึ้นจากการทดสอบพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อน (Q) เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับช่วงของปริมาตรสารทำงานในระบบปิด คือเมื่อเพิ่มปริมาตรสารทำงานในระบบปิดให้สูงขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนก็สูงขึ้นตามไปด้วย โดยที่ในช่วงปริมาตรสารทำงานในระบบปิด ช่วงที่ 20% - 80 % แต่จากรูปที่ 1 และรูปที่ 2 เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นทำให้ระบบการทำงานมี ผลต่างของอุณหภูมิของน้ำเข้า-น้ำออกที่ทำให้ได้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน (Q) ที่ลดลงทั้งระบบ เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้การรับการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ท่อเฮดเดอร์ ได้น้อยลงตามการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ

### 3.2 ผลประสิทธิภาพของระบบตัวรับรังสีแบบเทอร์มัลไดโอด

โดยการทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ ในการทดสอบตัวรับรังสี ตามมาตรฐาน ISO 9806 ซึ่งผลิตน้ำร้อนจากการทดลองระบบปิดโดยใช้ปั๊มหมุนเวียน เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ ขณะใดขณะหนึ่ง  $\eta_{col}$  และ  $(T_f - T_o) / G_T$  จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวอยู่ในรูปสมการเส้นตรง ดังรูปที่ 3



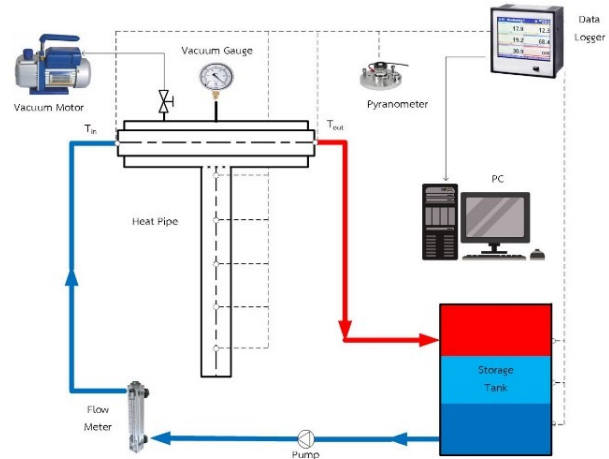
รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\eta_{col}$  ประสิทธิภาพเชิงความร้อน กับ  $(T_f - T_o) / G_T$

โดยค่าที่ได้จากกราฟมีค่า  $-F_R U_L$  และ  $F_R(\tau\alpha)_e$  จากผลการทดสอบประสิทธิภาพระบบรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าผลการทดสอบประสิทธิภาพระบบ

อัตราการไหล (Kg/s)	$-F_R U_L$	$F_R(\tau\alpha)_e$	$R^2$
0.02	42.79	0.744	0.927

จากรูปที่ 3 ได้ผลความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ ( $F_R(\tau\alpha)_e$ ) ได้จากจุดตัดบนแกน y โดยจากผลการทดสอบมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 0.744 และค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวรับรังสีอาทิตย์  $U_L$  หาได้จากความชันของกราฟจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ  $42.79 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$  ประสิทธิภาพ เท่ากับ 55.38 %



รูปที่ 5 แผนภาพการทำงานของระบบ

#### 4. การอภิปราย (Discussion)

จากผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นของการศึกษาการพัฒนาตัวรับรังสีทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาจากตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ มาเป็นชุดทดสอบตัวรับรังสีแบบฮีทไปป์ - เรอร์มัลไดโอด ที่แผ่นตัวรับรังสีจะมีของไหลชนิดหนึ่งอยู่ในระบบปิดที่ทำให้ระบบให้เป็นสุญญากาศ สามารถช่วยลดการสูญเสียในช่วงมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าต่ำได้ดีกว่าตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ และทดสอบสมรรถนะเชิงความร้อนตามมาตรฐาน ISO 9806 ซึ่งมีมาตรฐานการทดสอบของตัวรับรังสีและเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยตามท้องตลาด และสามารถพัฒนาต่อยอดจากชุดทดสอบตัวรับรังสีแบบฮีทไปป์ - เรอร์มัลไดโอด นี้ โดยเบื้องต้นชุดทดสอบนี้เป็นงานวิจัยเพื่อทดสอบหาสมรรถนะของระบบและศึกษาการทำงานของระบบ การจะนำระบบไปใช้งานหรือนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันควรสร้างชุดรับรังสีให้มีพื้นที่เหมาะสม ซึ่งสามารถนำเทคโนโลยีระบบนี้ไปใช้ได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวรับรังสีและเป็นการลดสูญเสียพลังงานเพื่อให้เกิดความยั่งยืนในการใช้พลังงาน

#### 5. สรุปผล (Conclusion)

การทดสอบการทำงานของระบบตัวรับรังสีแบบเรอร์มัลไดโอดที่ ตามเงื่อนไข การเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเข้าตัวรับรังสี 2 ระดับ ได้แก่ อัตราการไหล 0.02 และ 0.05 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ ทำการเปลี่ยนสารในช่วงแต่ละการทดลอง คือ 20% , 40% , 60% , 80% , 100% ของ

สารทำงานในระบบปิด ให้อุณหภูมิความร้อนที่ 50 °C ปริมาณความดันคงที่

ผลการทดสอบตลอดช่วงเวลากการทดลอง ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาตรสารทำงานในระบบปิด มีค่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งทำให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของระบบการทดสอบ ซึ่งจากการทดลองประสิทธิภาพจะมีค่าสูงสุดเมื่ออัตราส่วนของปริมาตรน้ำต่อปริมาตรน้ำทั้งหมดในระบบปิดเป็น 80 %

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบตัวรับรังสีแบบเรอรัลไมโครโอด ซึ่งมีขนาด 0.1 ตารางเมตร ท่อแก้ว และเฮดเตอร์ ทำด้วยทองแดง ในส่วนเฮดเตอร์ประกอบด้วยท่อ 2 ชั้น ชั้นในเป็นน้ำไหลผ่านเพื่อใช้ในการทดสอบ ชั้นนอกเชื่อมติดกับตัวรับรังสีอาทิตย์เป็นระบบปิดความดันสูญญากาศ ด้านเฮดเตอร์หุ้มด้วยฉนวนทั้งหมด ทดสอบสมรรถนะเชิงความร้อนตามมาตรฐาน ISO 9806 ซึ่งมีมาตรฐานการทดสอบของตัวรับรังสีและเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการทดสอบตัวรับรังสีมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดถึง 55.38 % มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยตามท้องตลาด

## 6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่คอยให้คำปรึกษาและสนับสนุนให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## 7. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] K.H. Solangi, M.R. Islam, R. Saidur, N.A. Rahim, H. Fayaz. 2011. A review on global solar energy Policy, Renew Sustainable Energy Reviews 15 : 2149-2163.
- [2] S.A. Kalogirou. Solar thermal collectors and applications. 2004. Progress Energy Combustion Science 30 : 231-295.
- [3] D. Del Col, A. Padovan, M. Bortolato, M. Dai Pr\_e, E. Zambolin. 2013. Thermal performance of flat plate solar collectors with sheet-and-tube and roll-bond absorbers. Energy 58 : 258-269.

- [4] Guide to the standard ISO 9806:2017 .Resource for Manufacturers, Testing Laboratories, Certification Bodies and Regulatory Agencies Available from: <https://www.researchgate.net/publication/320623512>
- [5] Ashrea Standard 93-77. Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors. New York: The America Society of Heating Refrigerating and Air
- [6] Nshimyumuremyi E, Junqi W. Thermal efficiency and cost analysis of solar water heater made in Rwanda. Energy Exploration & Exploitation 2019;37(3):1147-61
- [7] Struckmann F. Analysis of a flat-plate solar collector. Project Report 2008-MVK160. Heat and Mass Transport. [Internet]. Lund, Sweden. [cited 2020 May 25]. Available from: [http://www.lth.se/fileadmin/ht/Kurser/MVK160/Project\\_08/Fabio.pdf](http://www.lth.se/fileadmin/ht/Kurser/MVK160/Project_08/Fabio.pdf) Conditioning Engineers. 1978.