

การออกแบบและทดสอบแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรวมแสงด้วยแผงพาราโบลิค

A Design and Testing of the Solar Parabolic Concentrating Collector

มนูญ พิสุวรรณ* ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง* และ สมบัติ ที่มทรัพย์**

*ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

โทร (02)913-2500 ต่อ 8319 , โทรสาร(02) 587-0026 , E-mail : tss@kmitnb.ac.th

**คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถ.เพชรเกษม นongkhaoem กรุงเทพฯ 10160

โทร (02) 807-4500 ต่อ 315 , โทรสาร (02) 807-4530 , E-mail : teekasap@health.moph.co.th

Manoon Pidhuwan* Thanakom Soontornchainacksaeng* and Sombat Teekasap**

*Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Bangkok 10800, Thailand

Tel (02) 913-2500 Ext. 8319 , Fax (02) 587-0026

**Faculty of Engineering, South-East Asia University

19/1 Petkasem Rd., Nongkhaem, Bangkok 10160, Thailand

Tel (02) 807-4500 Ext. 315 , Fax (02) 807-4530

บทคัดย่อ

แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรวมแสง(รังสี)ด้วยแผงพาราโบลิค มีหลักการพื้นฐานโดยอาศัยการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ไปยังจุดรวมรังสี ซึ่งเป็นการสะท้อนในระบบสองมิติ (ระนาบ x-y) พลังงานที่ได้ในแนวรวมรังสีจะถ่ายเทผ่านฉนวนท่อ ไปสู่น้ำมันนำความร้อนที่บรรจุอยู่ภายใน งานวิจัยนี้มุ่งที่จะนำวัสดุภายในประเทศมาสร้างระบบ โดยการใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ผิวมัน กว้าง 1200 มม ยาว 2400 มม เมื่อขึ้นรูปเป็นแผงสะท้อนรังสีแล้วจะมีความยาว 2400 มม กว้าง 992 มม มีรัศมี 573 มม อันเป็นตำแหน่งที่รวมรังสี ซึ่งเป็นท่อเหล็กกล้าไร้ตะเข็บ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 48 มม เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40 มม และมีความยาว 2920 มม ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อในการถ่ายเทความร้อน จากการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2543 จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2544 ที่อัตราไหลของน้ำมันต่างกัน 5 ค่า คือ 0.295, 0.345, 0.415, 0.515 และ 0.685 kg.min⁻¹ เวลา 10.30-14.00 น. พบว่าพลังงานสูงสุดที่แผงสร้างได้ 388.72 W ที่อัตราไหลน้ำมัน 0.415 kg.min⁻¹ พลังงานตกกระทบบนแผงสูงสุด (กรมอุตุนิยมวิทยา) 880 W.m⁻² ประสิทธิภาพสูงสุด 25.2 % และเฉลี่ย 21.9 % อุณหภูมิน้ำมันสูงสุด 65.7 °C ขณะที่อุณหภูมิผิวท่อรวมรังสีด้านนอกเท่ากับ 75.8 °C และความยาวของแผงที่เหมาะสมประมาณ 1800 มม

Abstract

The solar energy concentrate parabolic collector is basically worked by receiving a solar energy reflection into an aperture pipe. It is worked under the two-dimension systems on x-y plane, which the concentrated energy transfers to the thermal oil in the aperture pipe. The local material is intentionally selected for fabrication in this experiment: using stainless steel 304 with the width of 1200 mm, the length of 2400 mm, and 3 mm of thickness makes the parabolic collector. It has a width of 992 mm after forming to be a parabolic shape. The radius of collector is 573 mm and the concentrated line is at the center of the cord, which is at the same position of the aperture pipe alignment. It is made by the seamless carbon steel pipe, with the inside diameter of 40 mm, and the outside diameter of 48 mm, and 2920 mm in length. The thermal oil is used to transfer heat to the water inside the shell & tube heat exchanger. The collecting data period was done within 4 months, starting from November 2000 to February 2001. The flow rates of thermal oil are selected for 5 values 0.295, 0.345, 0.415, 0.515 and 0.685 kg.min⁻¹. The

working time is selected between 10.30 up to 14.00 hour of the day. The experiment results are as follows; the maximum energy received by the collector is 388.72 W of with the thermal oil flow rate 0.415 kg.min⁻¹ for the solar energy radiation (Meteorological Department) of 880 W.m⁻². The maximum and average efficiency is 25.2 % and 21.9 %, respectively. The oil outlet and outside aperture temperature is 65.7 °C and 75.8 °C, respectively. Finally, at all flow rates tested effective length of collector is approximately 1800 mm.

1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์จัดเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งที่เป็นพลังงานได้เปล่าที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นเวลานานหลายทศวรรษแล้ว ทั้งด้านอุตสาหกรรมและครัวเรือน ซึ่งการใช้พลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีทั้งทางตรง อาทิ ใช้เป็นความร้อนตากแห้งหรืออบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและโดยทางอ้อม เช่น การเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น

การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงเพื่อให้ได้พลังงานที่มีทั้งศักยภาพและประสิทธิภาพสูง ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของรังสีและระดับพลังงานที่ต้องการใช้ โดยทั่วไปนิยมใช้การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงรับแบบแผ่นเรียบ สำหรับระดับความร้อนที่ไม่เกิน 100°C โดยให้พลังงานความร้อนผ่านผิวของท่อ หรือช่องว่างได้แมง ซึ่งภายในบรรจุด้วยของเหลวเพื่อนำไปถ่ายเทความร้อนอีกต่อหนึ่ง ในกรณีที่ต้องการความร้อนเกิน 100°C นิยมใช้วิธีสะท้อนรังสีแบบรวมรังสี ด้วยแผงทรงต่างๆ เช่น ทรงกระบอก ลักษณะเป็นแบบพาราโบลิคหรือทรงกลม (Spherical) สำหรับหลักการทำงานของแผงเหล่านี้เป็นการทำงานในระบบ สองมิติและสามมิติ ตามลำดับ ซึ่งมีความซับซ้อนทั้งในการออกแบบและสร้าง ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและทดสอบแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ดัดรูปทรงพาราโบลิค โดยสร้างจากวัสดุที่มีภายในประเทศด้วย ระดับความร้อนปานกลาง 100–200 °C อันเหมาะสมทั้งด้านสภาพภูมิอากาศซึ่งมีแดดจัดและภูมิประเทศที่อยู่ในเขตศูนย์สูตร (ละติจูด 13.44 องศาเหนือ, ลองจิจูด 100.34 องศาตะวันออก; พิกัดที่ทำการทดลอง)

โดยงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรหลัก ที่มีผลกระทบต่อแผงรับพลังงาน ซึ่งสร้างจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 (Stainless steel 304) ขนาดความกว้าง 1200 mm ขนาดความยาว 2400 mm และความหนา 3 mm เมื่อขึ้นรูปเป็นแผงพาราโบลิคด้วยรัศมี 573 mm ตามแนวความยาวแล้ว จะมีขนาดความกว้าง 992 mm จะได้รับพลังงานที่ตกกระทบบนและสะท้อนขึ้นไปยังท่อรวมรังสี ประมาณ 1000 W ภายในท่อรวมรังสี โดยมีน้ำมันนำความร้อนไหลผ่านเพื่อนำความร้อนไปใช้ ท่อรวมรังสีสร้างจากท่อเหล็กกล้าไร้ตะกั่ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40 mm และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 48 mm มีความยาว 2920 mm อุณหภูมิน้ำมันที่ออกจากท่อรวมรังสี ประมาณ 100°C โดยการรักษาระดับอุณหภูมิน้ำมันด้านเข้าให้คงที่

2. การออกแบบแผงรับรังสี

องค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบแผงรับรังสีนี้ ประกอบด้วยซึ่ง

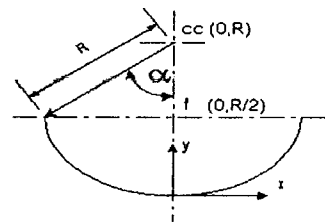
ได้รายละเอียดของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆ อาทิ ทฤษฎีรังสีอาทิตย์, หลักการสะท้อนบนระนาบพาราโบลิค และ การถ่ายเทความร้อน [1,2,3,4]

2.1 การสะท้อนของรังสีแสงอาทิตย์บนระนาบพาราโบลิค

การออกแบบแผงสะท้อนและท่อรวมรังสี ต้องแสดงด้วยความสัมพันธ์ของสมมติฐานสองส่วนกล่าวคือ ต้องการให้มุมสะท้อนรังสีมีค่าสูงสุดเท่ากับ 180° เพื่อจะได้อัตราส่วนของพื้นที่รวมรังสีสูงสุดและข้อจำกัดของวัสดุ ซึ่งนำมาสร้างเป็นแผงสะท้อนรังสีที่มีขนาดความกว้าง 1200 mm. ความยาว 2400 mm.

ดังนั้นแนวทางของการออกแบบแผงรับนี้ก็คือ จะต้องกำหนดให้แนวรวมรังสีอยู่ที่กึ่งกลางของเส้นเคอร์เวซึ่งต้องมีส่วนโค้งของวงกลมขนาด 1200 มม. จากแนวคิดดังกล่าวนี้ สามารถนำมาคำนวณมิติต่างๆ ด้วยความสัมพันธ์ทั้งสองเป็นหลัก โดยมีทฤษฎีมีดังต่อไปนี้ [1,2,3]

การคำนวณมิติของแผงด้วยทฤษฎีการสะท้อนบนระนาบพาราโบลิคแสดงดังรูปที่ 1

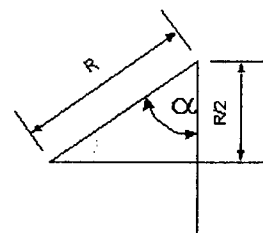


รูปที่ 1 การสะท้อนบนระนาบพาราโบลิค จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 1 แสดงด้วยสมการได้ดังนี้

$$x^2 = 2Ry \quad (1)$$

$$f = R/2 \quad (2)$$

เมื่อขนาดความกว้างของแผงสะท้อน 1200 mm ซึ่งต้องเป็นส่วนโค้งของเส้นเคอร์เวที่มีรัศมี R และมีระยะของจุดรวมรังสีเป็นครึ่งหนึ่งของรัศมี จึงสามารถคำนวณค่ามุม α ได้ด้วยความสัมพันธ์ในรูปที่ 2 ดังนี้



รูปที่ 2 แสดงการคำนวณค่ามุม α

$$R \cos \alpha = R/2 \quad (3)$$

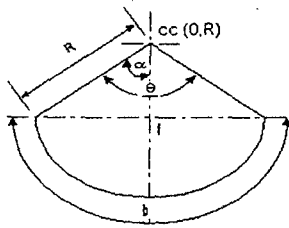
$$\cos \alpha = (R/2) (1/R)$$

$$= 1/2$$

$$\alpha = 60^\circ$$

เมื่อคำนวณจาก $\alpha = 60^\circ$ ซึ่งกำหนดด้วยส่วนโค้งยาว 1200 มม.

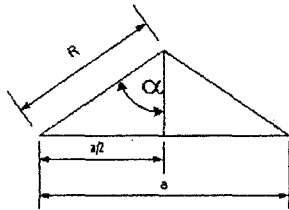
สามารถหารรัศมีวงกลมได้จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการคำนวณรัศมีของแผงรับรังสี

$$\begin{aligned} b \sin \alpha &= R \sin \alpha \\ R &= [b (180)] / [2 \pi (\alpha)] \\ R &= 572.956 \text{ mm} \end{aligned} \quad (4)$$

เมื่อรัศมีวงกลมเท่ากับ 572.956 mm จะได้ความกว้างของแผงโดยคำนวณจากความสัมพันธ์ต่อไปนี้



รูปที่ 4 แสดงการคำนวณความยาวของเส้นเคอร์เว

$$\begin{aligned} a/2 &= R \sin \alpha \\ a &= 2 R \sin \alpha \\ &= 2 [572.956] \sin 60 \\ &= 992.389 \text{ mm} \end{aligned} \quad (5)$$

ขนาดของตัวรับแสงแบบกลมจะหาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\begin{aligned} D &= 2 r \sin 0.267 \\ &= 5.34 \text{ mm} \end{aligned} \quad (6)$$

เนื่องจากแผงสะท้อนรังสีมีได้ออกแบบให้ปรับมุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ ดังนั้นจึงต้องเผื่อขนาดของตัวรับแสงให้ครอบคลุมช่วงโง่งที่ต้องการทดลอง โดยที่มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์จะเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมในแต่ละวันประมาณ 10° ดังนั้น ครึ่งหนึ่งของมุมคือ 5° ซึ่งทำให้มีระยะเคลื่อนของตัวรับแสงดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ระยะเคลื่อน (5°)} &= r \sin 5^\circ \\ &= 49.9 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7)$$

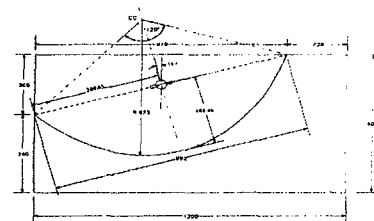
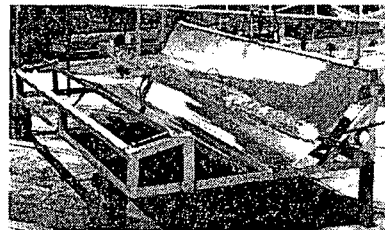
2.2 อัตราส่วนพื้นที่ที่รับรังสี

ระยะเคลื่อนที่ของช่องรับแสง(รังสี) นำมาคำนวณขนาดของท่อรับ

แสงซึ่งใช้ท่อเหล็กกล้าไร้ตะเข็บที่มีจำหน่ายทั่วไป จะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อภายนอก 48 mm และเพื่อป้องกันรังสีสะท้อนหลุดออกจากช่องรับแสง จึงได้เสริมปีกที่ทำจากเหล็กกล้ากว้างด้านละ 25 mm ตลอดความยาวท่อ เมื่อรวมความกว้างของท่อรับแสงและปีก 98 mm ดังนั้นอัตราส่วนพื้นที่รวมแสงดังนี้

$$\begin{aligned} C &= (A_o) / (A_r) \\ &= [(992 - 98) \times 2400] / [98 \times 2400] \\ &= 9.122 \end{aligned} \quad (8)$$

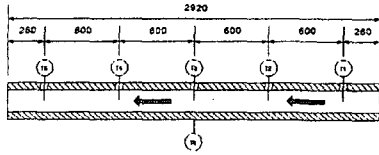
ผลจากการคำนวณข้างต้น แผงสะท้อนจะสร้างจากเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 (Stainless steel 304) ผิวขัดมัน (ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนประมาณ 0.8) มีขนาดความกว้าง 1200 mm ความยาว 2400 mm นำไปขึ้นรูปเป็นพาราโบลา รัศมีด้านกว้างเท่ากับ 572.9 mm ทำให้ปลายทั้งสองด้าน (ความยาวเส้นเคอร์เว) ห่างกัน 992.3 mm และมีจุดรวมรังสีที่ครึ่งหนึ่งของระยะรัศมี 286.45 mm เป็นตำแหน่งที่ใช้วางแนวท่อรับรังสีซึ่งใช้เป้นท่อเหล็กกล้าไร้ตะเข็บ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 48 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40 mm ความยาว 2920 mm ตลอดความยาวท่อและปีกนั้นพื้นสีดำด้านและหุ้มฉนวนใยแก้วหนา 10 mm ที่ครึ่งบนของท่อ เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนไปยังสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 5 แสดงมิติต่างๆ ของแผงสะท้อนรังสี

3 วิธีทดลอง

ระบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้ จะมีประสิทธิภาพสูงต่อเมื่อแผงสะท้อนรังสีเคลื่อนที่ตามวิถีสุริยะ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นงานวิจัยขั้นพื้นฐาน ดังนั้นแผงสะท้อนรังสีของงานวิจัยแผงนี้จึงเป็นแผงแบบยึดติดอยู่กับที่ โดยแผงวางในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลการทดลองทดสอบดีมากขึ้น จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนเฉพาะมุมที่แสงตกกระทบ ณ เวลาเที่ยงสุริยะของวันใดวัน หนึ่ง โดยการปรับยกแผงด้านทิศเหนือให้สูงขึ้นตามวัน เวลา ที่คำนวณได้ เช่น วันที่ 1 มกราคม มีค่ามุมตกกระทบเท่ากับ 33° เป็นต้น



รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิน้ำมันในท่อรวมรังสี

มิติของท่อรับรังสีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวมากกว่าขนาดช่องรับรังสีที่คำนวณได้ จะรับการรวมรังสีจากแผงสะท้อนได้ในระหว่างเวลา 10.30 ถึง 14.00 น. กล่าวคือ รังสีที่สะท้อนขึ้นสู่ท่อรวมรังสีจะต้องรับรังสีได้ตลอดเวลาที่กำหนด คือ 3 ชั่วโมงครึ่งและเป็นการหลีกเลี่ยงการปรับมุมของชั่วโมงไปในคราวเดียวกัน แต่มีข้อสังเกตว่า ท่อรวมรังสีซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าจะได้รับการคำนวณในช่วงเวลาที่ยุ่งสุริยะ ดังนั้นด้วยสวนโค้งของท่อจึงทำให้ประสิทธิภาพการรวมรังสีจะสูงสุด ณ เวลาที่ยุ่งสุริยะดังกล่าว

อัตราการไหลของน้ำในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อนำความร้อนที่ได้ไปใช้งานนั้น ยังคงมีอิทธิพลต่อระบบเช่นกัน ในด้านการรักษาระดับอุณหภูมิขาออกของน้ำมันให้คงที่ อันเป็นผลให้สามารถวิเคราะห์ความเหมาะสมของการถ่ายเทความร้อนได้แม่นยำยิ่งขึ้น จึงต้องปรับอัตราการไหลของน้ำที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ตลอดเวลา ระยะเวลาที่ทำการทดลองประมาณ 4 เดือน ซึ่งในด้านความเที่ยงตรงของการทดลองนั้นต้องเก็บข้อมูลตลอดปี เพื่อจะได้ทราบผลกระทบจากฤดูกาลอีกประการหนึ่งด้วย

ผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 เริ่มวันที่ 3 พฤศจิกายน 2543 ถึงวันที่ 28 ธันวาคม 2543 และระยะที่ 2 เริ่มวันที่ 4-18 กุมภาพันธ์ 2544 สภาพอากาศและภูมิประเทศมีดังนี้

- (1) ท้องฟ้าโดยทั่วไปโปร่ง ยกเว้นเดือน กพ. มีเมฆค่อนข้างมาก
- (2) ความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 3-5 m.s⁻¹
- (3) อุณหภูมิบรรยากาศอยู่ระหว่าง 26-32 °C
- (4) มีฝนละอองจับที่แผง ซึ่งจำเป็นต้องล้างก่อนการทดลองทุกครั้ง
- (5) มีฝนตกเป็นบางวันช่วงกลางเดือน ธค. 2543 และ กพ. 2544
- (6) ความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 55-70 %
- (7) สถานที่ที่ติดตั้งแผงอยู่ขึ้นศาลาฟ้าของอาคาร สูงประมาณ 15 m
- (8) พิกัดอ้างอิงแผงอยู่ที่ ละติจูด 13.44 °N, ลองจิจูด 100.34 °E

4 ผลการทดลอง

การทดลองได้ทำการควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไว้ 5 อัตราไหลดังนี้ 0.295, 0.345, 0.415, 0.515 และ 0.685 kg.min⁻¹ ซึ่งทำให้ได้ผลการทดลองที่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกับเวลาใด ๆ ได้ โดยในแต่ละอัตราการไหลได้ทำการทดลองซ้ำไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย

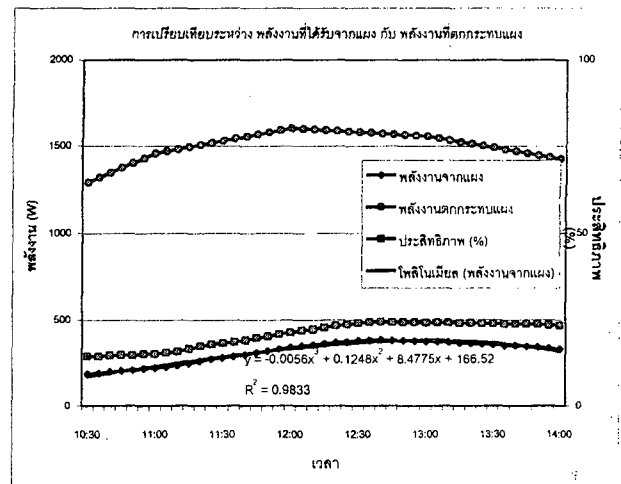
การวัดพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบแผง จะอ้างอิงข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์จากกรมอุตุนิยมวิทยา [1] ซึ่งผลการคำนวณต่างๆ ที่ได้นำมาแสดงในตารางและแผนภาพ เป็นผลการคำนวณตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามในระยะเวลา 4 เดือนที่ทำการทดลอง แม้ว่าจะเป็นระยะเวลา 1 ใน 3 ของปี แต่ข้อมูลที่มีอยู่ก็เพียงพอต่อการวิเคราะห์เบื้องต้นและใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไปได้

ผลการทดลองจะแบ่งเป็น 2 กรณีหลักและยังมีกรณีย่อยๆ ที่สัมพันธ์กับอัตราไหลของน้ำมัน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 พลังงานที่ตกบนแผงและพลังงานที่แผงรับผลิตได้

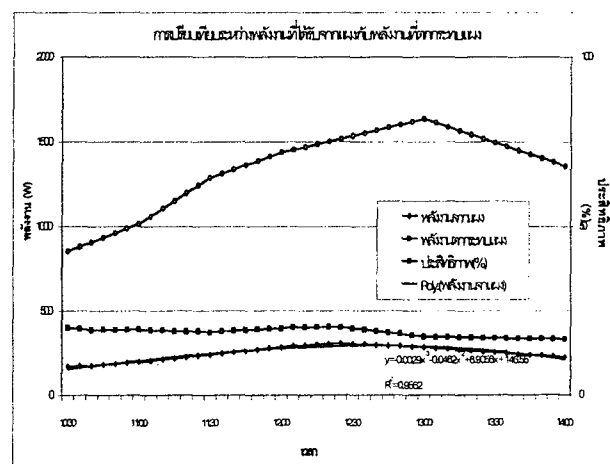
ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าพลังงานที่ตกบนแผงรับและพลังงานที่ผลิตได้ นำมาสรุปเป็น 5 ส่วนดังต่อไปนี้

- (1) พลังงานสูงสุดที่ได้จากแผงคือ 388.72 W ที่อัตราไหลน้ำมัน 0.415 kg.min⁻¹ เวลา 12.30 และ 12.35 น. วันที่ 2 ธค. 2543 โดยมีอุณหภูมิน้ำมันเข้าและออก คือ 30.9 °C และ 59.0 °C ตามลำดับ อุณหภูมิผิวท่อรับรังสีด้านนอก 70.8 °C ขณะที่อุณหภูมิบรรยากาศ 31.5 °C สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำมันในท่อรับรังสีเท่ากับ 13.36 W.m⁻²K⁻¹ โดยมีสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนเนื่องจากลม 51.25 W.m⁻²K⁻¹ และไปสู่สิ่งแวดล้อม 8.46 W.m⁻²K⁻¹



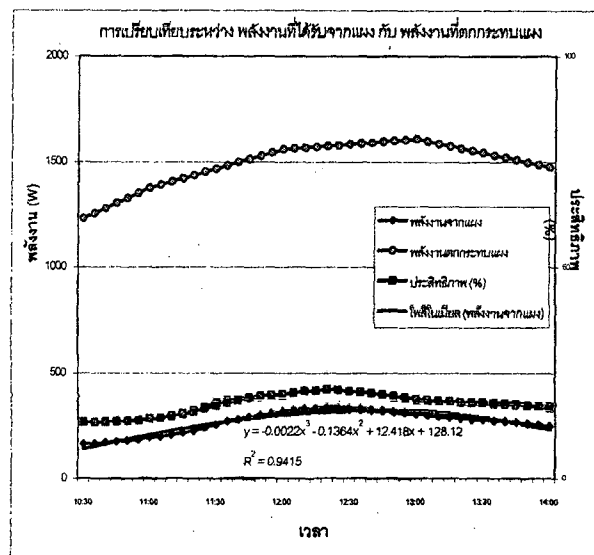
รูปที่ 7 แผนภาพของความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ได้รับจากแผงรับกับพลังงานที่ตกบนแผง ที่อัตราไหลของน้ำมัน 0.415 kg.min⁻¹

- (2) พลังงานต่ำสุดที่ได้จากแผงคือ 159.83 W ที่อัตราไหลน้ำมัน 0.685 kg.min⁻¹ เวลา 10.30 น. วันที่ 3 กพ. 2544 อุณหภูมิน้ำมันเข้าและออก คือ 30.0 °C และ 37.0 °C ตามลำดับ อุณหภูมิผิวท่อรับรังสีด้านนอก 61.5 °C ขณะที่อุณหภูมิบรรยากาศ 26.8 °C



รูปที่ 8 แผนภาพของความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ได้รับจากแผงกับพลังงานที่ตกกระทบแผง ที่อัตราไหลของน้ำมัน 0.685 kg.min⁻¹

(3) พลังงานเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดที่ได้จากแผงคือ 384.9 W และ 164.8 W ตามลำดับ ที่อัตราไหลของน้ำมัน 0.415 และ 0.515 kg.min⁻¹



รูปที่ 9 แผนภาพของความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ได้รับจากแผงรับกับพลังงานที่ตกบนแผง ที่อัตราไหลของน้ำมัน 0.515 kg.min⁻¹

(4) ประสิทธิภาพสูงสุดของระบบ โดยคำนวณจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงรับเปรียบเทียบกับพลังงานที่ตกบนแผงรับ 25.2 % ที่อัตราไหลของน้ำมัน 0.415 kg.min⁻¹

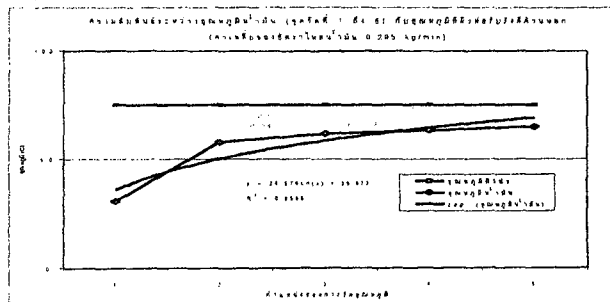
(5) ประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุด 21.9 % ที่อัตราไหลของน้ำมัน 0.345 kg.min⁻¹

4.2 อุณหภูมิของน้ำมันในท่อรับรังสี

ผลนี้ได้จากการทดลอง ซึ่งทำการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำมันในท่อรับรังสี นำมาสรุปเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

(1) ผลการทดลองในกรณีนี้ของอัตราไหลน้ำมันเท่ากับ 0.295 kg.min⁻¹ พบว่ามีระดับอุณหภูมิของน้ำมันสูงสุดที่ 65.7 °C อุณหภูมิผิวท่อด้านนอกสูงสุด 75.8 °C และมีอุณหภูมิแตกต่างของน้ำมันสูงสุด 35.1 °C

(2) ผลต่างอุณหภูมิเชิงลอการิทึม (Log Mean Temperature Difference; LMTD) มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทุกผลการทดลอง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 33.85 °C และเฉลี่ยต่ำสุด 23.54 °C โดยเป็นผลต่างชนิดอุณหภูมิผิวท่อที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นความยาวของแผงที่เหมาะสมต่อการใช้งาน



รูปที่ 10 แผนภาพของความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเชิงลอการิทึมที่อัตราไหลน้ำมัน 0.295 kg.min⁻¹

5 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยการศึกษาออกแบบและทดสอบนี้แพร่รับดังกล่าวสรุปได้เป็นประเด็นดังนี้

5.1 ความสัมพันธ์ของพลังงานที่ได้จากแผงรับกับพลังงานที่ตกกระทบ

(1) นัยสำคัญของพลังงานที่ได้จากแผงรับ จะอยู่ภายใต้อิทธิพลหลักก็คืออัตราไหลของน้ำมัน หรือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนอัตราไหลของน้ำมันทั้ง 5 ค่า นั้น พลังงานที่ได้รับจากผลการการถ่ายเทความร้อนที่ท่อรับรังสีสูงสุดเท่ากับ 388.72 W ที่อัตราไหลน้ำมัน 0.415 kg.min⁻¹

(2) การสูญเสียพลังงานไปสู่สิ่งแวดล้อม มิได้อยู่ภายใต้อิทธิพลของพลังงานที่ตกกระทบแผง หรือแม้แต่ว่าพลังงานที่ได้รับจากแผงแต่อย่างใด จึงกล่าวได้ว่าเป็นค่าความสูญเสียคงที่ของแผงซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดของท่อรับรังสีโดยตรง กล่าวคือ เมื่อคำนวณจากท่อที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 48 mm จะได้ค่า R_0 ของท่อรวมรังสีเท่ากับ 11051.2 แต่ขณะที่คำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5.34 mm (ตามขนาดของท่อรับแสง) จะได้ค่า R_0 เท่ากับ 1381.4 ซึ่งค่า R_0 นี้จะมีอิทธิพลโดยตรงกับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของระบบให้กับสิ่งแวดล้อม

(3) ประสิทธิภาพรวมของระบบ มิได้ขึ้นอยู่กับความเร็วน้ำมันหรือค่า R_0 ของน้ำมันเพียงอย่างเดียว แต่จะอยู่ภายใต้อิทธิพลของค่าสัมประสิทธิ์การพาและการนำความร้อนและค่าผลต่างอุณหภูมิของน้ำมันเชิงลอการิทึม ดังนั้นประสิทธิภาพรวมของระบบจึงต้องพิจารณาค่าตัวแปรหลักร่วมกันระหว่างอุณหภูมิกับอัตราไหลน้ำมัน ซึ่งจากทฤษฎีวิจัยพบว่าอัตราไหลของน้ำมันที่เหมาะสมเท่ากับ 0.415 kg.min⁻¹ และมีผลต่างของอุณหภูมิน้ำมันเท่ากับ 27.8 °C

5.2 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำมันภายในท่อรวมรังสี

(1) อุณหภูมิน้ำมันจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของรังสี ที่ตกกระทบแผงและอัตราไหลน้ำมัน กล่าวคือ เมื่อพลังงานตกกระทบแผงเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิน้ำมันจะสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราไหลของน้ำมันจะทำให้อุณหภูมิของน้ำมันที่ทางออกลดต่ำลง ซึ่งเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งานว่าจะต้องการให้ได้อุณหภูมิสูง หรือปริมาณน้ำมันสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศที่ติดตั้งแผงว่ามีพลังงานแสงอาทิตย์มากน้อยเพียงใด

(2) ผลต่างอุณหภูมิน้ำมันเชิงลอการิทึมของทุกอัตราไหล เป็นไปในทิศทางเดียวกันและพบว่า ณ ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ T_4 ไปยัง T_5 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้อยกว่าช่วงของการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง T_1 ไปยัง T_4 ดังนั้นขนาดความยาวของแผงที่เหมาะสมจะอยู่ ณ ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ T_4 หรือที่ความยาวประมาณ 1.8 m

6 ข้อเสนอแนะ

6.1 แผงสะท้อนรังสี

แผงรับที่ใช้เพื่อสะท้อนรังสีที่ใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ขัดเงาสามารถทำให้มีสมรรถนะเพิ่มขึ้นได้โดยการปรับปรุงดังนี้

(1) ควรตัดแบ่งแผงตามความกว้างออกเป็น 2 หรือ 3 ชิ้น เพื่อลดการโค้งงอ

(2) ควรเสริมโครงสร้างของฐานรองรับส่วนโค้งเป็น 5 ตำแหน่ง จากเดิม 3 ตำแหน่ง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการรองรับน้ำหนักของ แผง

6.2 ท่อรวมรังสี

ท่อรวมรังสีที่ได้รับจากแผงสะท้อนรังสีใช้เป็นท่อเหล็กกล้าไร้ตะกั่ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 48 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40 mm มีค่าสัมประสิทธิ์นำความร้อน $54 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ อาจปรับเปลี่ยน เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้

(1) ควรใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ประมาณ 6 mm ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับท่อรับรังสีที่คำนวณได้ (5.34 mm) นำมาเรียงต่อกัน 8 ท่อเพื่อให้ได้ความกว้างเท่ากับขนาดของท่อเดิม (48 mm) ทั้งนี้เป็นการรักษาช่วงเวลาในการรับพลังงานให้คงเดิม อีกทั้งช่วยเพิ่มความเร็วน้ำมันให้สูงถึงระดับการไหลการแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

(2) ควรเปลี่ยนวัสดุจากเหล็กกล้าไปเป็นทองแดงหรืออลูมิเนียม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ดีกว่า

(3) ควรเปลี่ยนลักษณะท่อรับรังสีจากท่อเดี่ยว (Aperture pipe) ไปเป็นแบบท่อโพรง (Cavity pipe) อย่างไรก็ตามขนาดของท่อรับรังสีอาจต้องคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมอีกครั้ง ทั้งนี้อาจจะมีผลกระทบต่อระยะเวลาที่รับพลังงานด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท สมชัยการช่าง จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัยและรวมทั้ง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ช่วยสนับสนุนด้วยดี มา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] มนูญ พิรุวรรณ "การออกแบบและทดสอบแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรวมแสงด้วยแผงพาราโบลิค" วิทยานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2543
- [2] Collares-Pereira, M. et al. " High Concentration Two-Stage Optics for Parabolic Trough Solar Collectors with Tubular Absorber and Large Rim Angle." Solar Energy. Vol.47 (1991) : 457-66.
- [3] Thomas, A. and Thomas, Satish A. " Design Data for The Computation of Thermal Loss in The Receiver of A Parabolic Trough Concentrator." Energy Converse. Vol.35 (1994) : 555-68.
- [4] Xinshi, Ge, et al. " Solar Collection Assembly of Solar Industry Heating and Generating Systems with Low Cost and High Efficiency." Dept. of Thermal Science and Energy Engineering. Institute of Applied Solar Energy, 1996.
- [5] Kalogirou, S., Lloyd, S. and Ward, J. " Modelling, Optimisation and Performance Evaluation of A Parabolic Trough Solar Collector Steam Generation System." Solar. (1997).
- [6] Duffie, J. A. and Beckman, W. A. Solar Energy Thermal Process. Wiley, New York, 1974.
- [7] Rabl, A. "Comparison of Solar Concentrators." Solar Energy. 1976 a ; 18, 93.
- [8] Sparrow, E.M. "Analysis of Laminar Forced-Convection Heat Transfer in Entrance Regions of Flat Rectangular Ducts." NACA TN 3331 1955.
- [9] McAdams, W.H. Heat Transmission, 3rd., McGraw-Hill, New York 1954.
- [10] Watmuff, J.H., Charters, W.W.S. and Proctor, D. "Solar and Wind Induced External Coefficients for Solar Collectors." COMPLES 2 (1977) : 56.
- [11] Mitchell, J.W. "Heat Transfer from Spheres and Other Animal Forms." Biophysical J. 16 (1976) : 561.
- [12] Lloyd, J.R. and Moran, W.P. "Natural Convection Adjacent to Horizontal Surface of Various Planforms." Trans. ASME, J. Heat Transfer. 96 (1974) : 443.
- [13] Wiedner, S. An Introduction to Solar Energy for Scientists and Engineers. Fairleigh Dickinson University, John Wiley & Sons, 1982.
- [14] Meinel, Aden B. and Meinel, Marjorie P. Applied Solar Energy an Introduction. Optical Sciences Center, University of Arizona, Addison-Wesley Publishing Company, 1979.
- [15] Holman J.P. Heat Transfer. 7th ed. McGraw-Hill, 1992.