ตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงแบบ 3 มิติ

A Solar Collector with 3D Compound Parabolic Concentrator

สงกรานต์ บุตตะวงค์ [1)] สุรจิตร์ พระเมือง [*2)] วีระศักดิ์ ซอมขุนทด [3)]

[1)] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย Email : songkran_tuy@hotmail.com

[*2)] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย Email : Surajitr@lru.ac.th

[3)] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย Email : weerasak1963@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

ตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงแบบ 3 มิติ ถูกออกแบบและสร้าง จำนวน 2 เครื่อง โดยเครื่องที่ 1 เป็นแบบตัดบางส่วน อัตรา 1 ใน 5 และเครื่องที่ 2 เป็นแบบเต็มส่วน ที่มีอัตราการรวมรังสี เท่ากัน 2.4 เท่า เพื่อผลิตน้ำร้อน และหาประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวรับรังสี โดยนำไปทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 และในสภาพใช้งานจริง ที่อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ ระหว่าง 0.005 kg/s – 0.007kg/s ทำการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำขาเข้า อุณหภูมิของน้ำขาออก อุณหภูมิของอากาศ และค่าปริมาณรังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบตัวรับรังสี พบว่าตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงแบบตัดบางส่วน สำหรับการทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำขาเข้า 52.95 ^{o}C อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำขาออก 58.32 ^{o}C ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ย 47.00% ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ 38.30 ^{o}C และปริมาณรังสีอาทิตย์รวมเฉลี่ย 848.37W/m^2 ส่วนการทดลองในสภาพใช้งานจริง จะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำขาเข้า 50.62 ^{o}C อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำขาออก 57.37 ^{o}C ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ย 65.50% ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ 38.25 ^{o}C และปริมาณรังสีอาทิตย์รวมเฉลี่ย 881.78W/m^2 ส่วนตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสง แบบเต็มส่วน ในการทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำขาเข้า 52.95 ^{o}C อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำขาออก 56.17 ^{o}C ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ย 24.17% ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ 38.30 ^{o}C และปริมาณรังสีอาทิตย์รวมเฉลี่ย 848.37W/m^2 ส่วนการทดลองในสภาพใช้งานจริง จะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำขาเข้า 50.62 ^{o}C อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำขาออก 59.48 ^{o}C ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ย 56.00% ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ 38.25 ^{o}C และปริมาณรังสีอาทิตย์รวมเฉลี่ย 881.78 W/m^2 จะเห็นได้ว่า ตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงแบบบางส่วน จะมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่า และผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ : ตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงพาราโบลิก พลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

Solar collectors with compound parabolic concentrator in three-dimensions were designed and constructed by 2 types including a truncated collector with 1 by 5 parts and a full size in the same of the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

concentrator ratio of 2.4. They were made to produce hot water and to determine the thermal efficiency by the method of ASHRAE 93-77 standard and the real condition using at the water mass flow rates range of 0.005 kg/s - 0.007 kg/s. The inlet water temperature, outlet water temperature, ambient temperature, and solar irradiation falling onto the collectors were measured. The results were found for each type of collectors as following :

The truncated collector was tested using ASHRAE 93-77 standard obtaining the water inlet temperature by average of 52.95 ^{o}C, the water outlet temperature by average of 58.32 ^{o}C, the average thermal efficiency of 47.00% at the ambient temperature by average of 38.30 ^{o}C and the solar irradiation by average of 848.37 W/m^{2}. The real condition using was obtained the inlet water temperature by average of 50.62 ^{o}C, the outlet water temperature by average of 57.37 ^{o}C, the average thermal efficiency of 65.50% at the ambient temperature by average of 38.25 ^{o}C and the solar irradiation by average of 881.78 W/m^{2}.

The full size collector was tested by ASHRAE 93-77 standard obtaining the inlet water temperature by average of 52.95 ^{o}C, the outlet water temperature by average of 56.17 ^{o}C, the average thermal efficiency of 24.17% at the ambient temperature by average of 38.30 ^{o}C and the solar irradiation by average of 848.37 W/m^{2}. The real condition using was obtained the inlet water temperature by average of 50.62 ^{o}C, the outlet water temperature by average of 59.48 ^{o}C, the average thermal efficiency of 56.00% at the ambient temperature by average of 38.25 ^{o}C and the solar irradiation by average of 881.78 W/m^{2}.

It was showed that the thermal efficiency of truncated collector was higher than that of the full size collector while the hot water obtained was nearly same.

Keywords : Parabolic Concentrator Collector, , Solar energy.

1. บทนำ

ประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นที่มีปริมาณรังสีอาทิตย์กระจาย เฉลี่ยทั้งปีประมาณ 60% ของปริมาณรังสีรวม [1, 2] จึงเป็นข้อจำกัดของตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมจุดโฟกัส ในการรวบรวมรังสีอาทิตย์ และส่งผ่านพลังงานความร้อนไปสู่สารทำงาน ที่สามารถรวมรังสีได้น้อยกว่าตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดไม่รวมจุดโฟกัส โดยตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงแบบพาราโบลา (CPC) เป็นตัวรับรังสีอาทิตย์ ที่รวบรวมรังสีตรง และรังสีกระจายได้ดี ทำให้ปริมาณรังสีตกกระทบแผ่นดูดกลืนรังสีได้เพิ่มขึ้นตามอัตราการรวมรังสี (CR) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

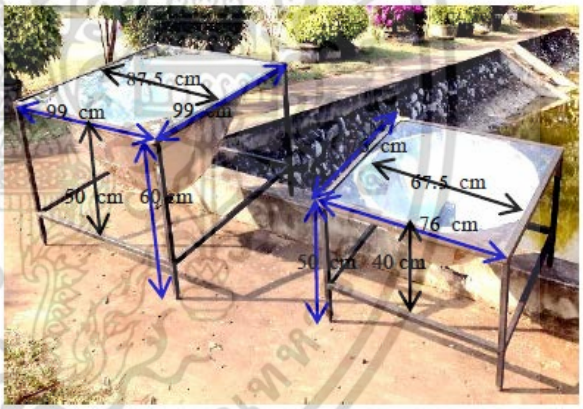
ตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสง จะถูกนำไปใช้งานทั้งในรูปความร้อน เพื่อผลิตความร้อนในช่วงอุณหภูมิปานกลางระหว่าง 70-200 $^{\circ}C$ และการเพิ่มปริมาณรังสีอาทิตย์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการผลิตไฟฟ้า โดยช่วยทำให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 16.8% มากกว่าการใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว โดยใช้น้ำเป็นสารทำงานเพื่อระบายความร้อนบริเวณครีบ แต่ก็พบว่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าไม่สม่ำเสมอ [4] จึงมีการลดขนาดของครีบให้เล็กลง และใช้ผงทองแดงผสมในน้ำเพื่อลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นมากกว่าเดิม และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นได้อีกด้วย [5]

ตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงแบบ 3 มิติ เป็นตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีการศึกษาสำหรับการเพิ่มปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบตัวดูดกลืนรังสี โดยเฉพาะประเทศที่อยู่ในเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทย เนื่องด้วยสามารถรวบรวมรังสีกระจายได้ดี และไม่ต้องหันตามดวงอาทิตย์ แต่มีข้อจำกัดในด้านขนาดของตัวรับรังสีที่ค่อนข้างมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับตัวรับรังสีแบบแผ่นราบ จากการใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสง แบบ 2 มิติที่มีอัตราการรวมรังสีอาทิตย์ 3 เท่า พื้นที่ 1.44 m^2 สำหรับการผลิตอากาศร้อนในการลดความชื้นของซิลิกาเจล เพื่อการคืนรูปของซิลิกาเจล สามารถผลิตอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูงสุด 75 $^{\circ}C$ ที่ระดับความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 650 W/m^2 อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ 0.01 kg/s [6]

ในการวิจัยนี้ ได้ออกแบบและสร้างตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงแบบ 3 มิติ ที่มีอัตราการรวมรังสีอาทิตย์ 2.4 เท่า เพื่อผลิตน้ำร้อน ศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนและแนวทางการประยุกต์ตัวรับรังสี สำหรับผลิตไอน้ำร้อนในการนึ่งข้าวเหนียว

2. การออกแบบและสร้างตัวรับรังสี

การสร้างตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงแบบ 3 มิติ มีแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีความโค้งแบบพาราโบลา โดยใช้แผ่นสแตนเลสและใช้เป้ารับรังสีเป็นชนิดครีบแบบทรงกระบอกทำจากท่อทองแดง ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ซึ่งสร้าง 2 เครื่องคือ แบบตัดบางส่วน โดยมีพื้นที่ของเป้าดูดรังสี 0.008 m^2 พื้นที่ของตัวรับรังสี 0.36 m^2 ความสูง 40 cm และความกว้างของช่องรับรังสี 67.50 cm และแบบเต็มส่วน โดยมีพื้นที่ของเป้าดูดรังสี 0.030 m^2 พื้นที่ของตัวรับรังสี 0.60 m^2 ความสูง 50 cm และความกว้างของช่องรับรังสี 87.50 cm ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงแบบ 3 มิติ แบบเต็มส่วน (ซ้าย) และแบบบางส่วน (ขวา)

3. การทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์

การทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์ด้วยมาตรฐาน ASHRAE 93-77 [7] ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ ดังรูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์

กำหนดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ ที่ไหลเข้าเป้ารับรังสี 3 ระดับระหว่าง 0.005 – 0.007 kg/s โดยใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียน วัดค่าปริมาณรังสีอาทิตย์รวม รังสีกระจาย ที่ตกกระทบตัวรับรังสี (I_t) โดยใช้ไพรานอมิเตอร์ (Pyramometer) ทุกๆ 5 นาที วัดอุณหภูมิของอากาศ (T_{amb}) อุณหภูมิของน้ำขาเข้า (T_{in}) และขาออก (T_{out}) ที่อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำคงที่ โดยใช้ Thermocouple หาผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT) ภายใต้สภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ทุก ๆ 5 นาที โดยบันทึกข้อมูลด้วย Data Logger มีระบบควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ เครื่องมือวัดความเร็วลม และ Auxiliary unit

สำหรับการทดลองในสภาพการใช้งานจริง ณ โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัยเลย จะทำการวัดอุณหภูมิน้ำขาเข้า น้ำขาออก อากาศแวดล้อม ด้วย thermocouple วัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวม ด้วยเครื่อง solarimeter และควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำด้วยวาล์วควบคุม ทำการวัดทุก ๆ 5 นาที ด้วย datalogger

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนขณะใดขณะหนึ่ง (η) ของตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงแบบ จะหาได้จากสมการ (1) และ (2)

$$\eta = \frac{\dot{m}c_w\left(T_{out} - T_{in}\right)}{IA_a} = \frac{\dot{m}c_w\Delta T}{IA_a} \qquad (1)$$

และ $$\frac{\left(T_{av} - T_{amb}\right)}{IA_a} = \frac{\Delta T}{IA_a} \qquad (2)$$

เมื่อ η_o คือค่าประสิทธิภาพทางแสง (Optical efficiency)

U_L คือค่าความร้อนที่สูญเสียรวมจากตัวรับรังสี (W/m^2)

A_a คือพื้นที่ช่องรับแสง (Aperture area) (m^2)

$\dot{m}$ คืออัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s)

c_w คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.187 kJ/kg.K)

T_{av} คืออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำขาเข้า และขาออก (^oC)

T_{amb} คืออุณหภูมิของอากาศ (^oC)

T_{in} คืออุณหภูมิของน้ำขาเข้า (^oC)

T_{out} คืออุณหภูมิของน้ำขาออก (^oC)

I_t คือค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (W/m^2)

เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพทางความร้อน (η) กับ $\frac{\Delta T}{IA_a}$ จะได้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ดังสมการ (3)

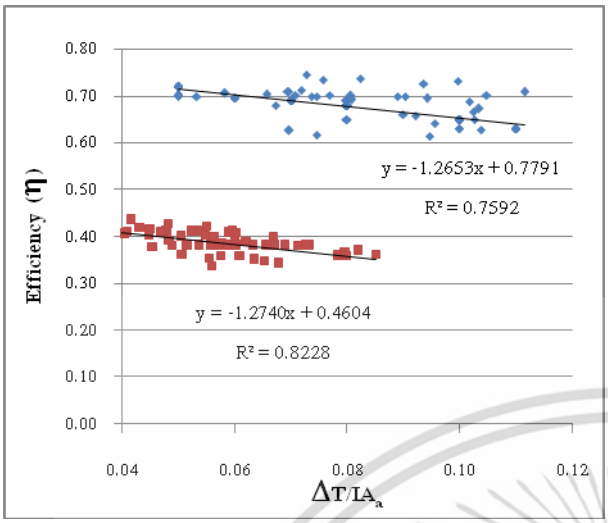
$$\eta = \eta_o - \frac{U_L\Delta T}{I_t A_a} \qquad (3)$$

จะได้กราฟเส้นตรงที่ค่าความชันเป็น $-U_L$ และจุดตัดแกน Y เป็น η_o

4. ผลการวิจัย

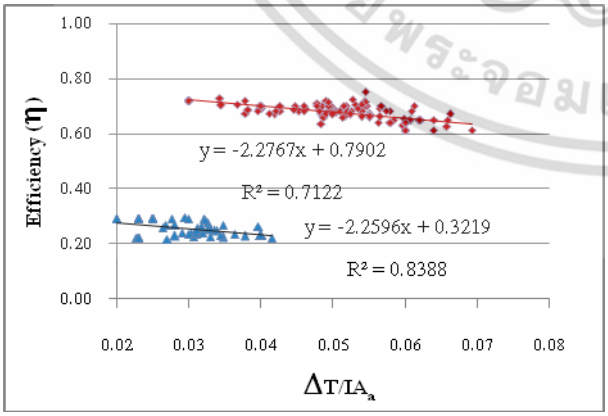
ผลการทดสอบ ตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงแบบ 3 มิติ แบบตัดบางส่วน ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ 38.30 ^oC อุณหภูมิของน้ำขาเข้าและขาออกเฉลี่ย 52.95 ^oC และ 58.32 ^oC ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำขาออกสูงสุด 61.62 ^oC ส่วนการทดลองในสภาพใช้งานจริง จะมีค่าอุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย 38.25 ^oC อุณหภูมิของน้ำขาเข้าและขาออกเฉลี่ย 50.62 ^oC และ 57.37 ^oC ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำขาออกสูงสุด 60.82 ^oC โดยเขียนกราฟระหว่าง η กับ $\Delta T/IA_a$ ได้ดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวรับรังสีแบบตัดบางส่วน

ตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงแบบ 3 มิติ แบบเต็มส่วน ในการทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 ค่าอุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย 38.30 °C อุณหภูมิของน้ำขาเข้าและขาออกเฉลี่ย 52.95 °C และ 56.17 °C ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำขาออกสูงสุด 61.12 °C ส่วนการทดลองในสภาพใช้งานจริง ค่าอุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย 38.25 อุณหภูมิของน้ำขาเข้าและขาออกเฉลี่ย 50.62 °C และ 59.48 °C ตามลำดับ อุณหภูมิของน้ำขาออกสูงสุด 63.53 °C โดยเขียนกราฟระหว่าง η กับ $\Delta T/IA_a$ ได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวรับรังสีแบบเต็มส่วน

เมื่อนำอุณหภูมิที่ผลิตได้ของตัวรับรังสีแต่ละแบบมาคำนวณระยะเวลาในการนึ่งข้าวเหนียว 1 kg ให้สุก จะได้ระยะเวลาและความร้อนที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณระยะเวลาและปริมาณความร้อนสำหรับการนึ่งข้าวเหนียว

ชนิดของตัวรับรังสี	อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)	เวลานึ่งข้าว (นาที)	พลังงานความร้อนในการนึ่ง (kJ)
ตัดบางส่วน	58.32	159.25	26.25
เต็มส่วน	56.17	166.48	23.44

5. สรุปผลการวิจัย

ตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสง (CPC) แบบ 3 มิติ ยังมีการศึกษาน้อยในประเทศไทย โดยการวิจัยนี้ได้สร้างตัวรับรังสี CPC แบบตัดบางส่วน และแบบเต็มส่วนที่มีอัตราการรวมรังสี 2.4 เท่า ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ย 47.0% ที่ปริมาณรังสีอาทิตย์รวมเฉลี่ย 848.37 W/m^2 ได้สมการประสิทธิภาพทางความร้อน (η) กับ $\frac{\Delta T}{IA_a}$ ดังสมการ (4)

$$\eta = -1.2740\left(\frac{\Delta T}{IA_a}\right) + 0.4604 \ , R^2 = 0.8228 \quad (4)$$

และประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยสำหรับการใช้งานในสภาพจริง มีค่าเท่ากับ 65.5% ที่ปริมาณรังสีอาทิตย์รวมเฉลี่ยเท่ากับ 881.78W/m^2 ได้สมการประสิทธิภาพทางความร้อน (η) กับ $\frac{\Delta T}{IA_a}$ ดังสมการ (5)

$$\eta = -1.2653\left(\frac{\Delta T}{IA_a}\right) + 0.7791 \ , R^2 = 0.7592 \quad (5)$$

ในขณะที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสงแบบ 3 มิติ แบบเต็มส่วน ในการทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 24.17% ที่ปริมาณรังสีอาทิตย์รวมเฉลี่ย 848.37W/m^2 ได้สมการประสิทธิภาพทางความร้อน (η) กับ $\frac{\Delta T}{IA_a}$ ดังสมการ (6)

$$\eta = -2.2596\left(\frac{\Delta T}{IA_a}\right) + 0.3219 \ , R^2 = 0.8388 \quad (6)$$

ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยสำหรับการทดลองในสภาพจริง เท่ากับ56.0% ที่ปริมาณรังสีอาทิตย์รวมเฉลี่ย 881.78W/ ได้สมการประสิทธิภาพทางความร้อน (η) กับ $\frac{\Delta T}{IA_a}$ ดังสมการ (7)

$$\eta = -2.2767\left(\frac{\Delta T}{IA_a}\right) + 0.7902 \ , R^2 = 0.7122 \quad (7)$$

ความแปรปรวนของบรรยากาศ ส่งผลให้ค่า R^2 มีค่า 0.7 – 0.8 ซึ่งจำเป็นต้องเพิ่มการเก็บข้อมูลมากขึ้นในสภาพท้องฟ้าที่แตกต่างกันให้มีจำนวนข้อมูลเพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มค่า R^2

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยนักศึกษามหาบัณฑิต สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ประจำปี 2553 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้เป็นอย่างสูง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] R.H.B. Exell, “The Fluctuation of Solar Radiation of Thailand” Solar Energy, Vol. 18, p. 549 – 554, 1976.

[2] J. Hiranlab, et al. “Evaluation of Solar Radiation from the Satellite Data.” Faculty of Energy and Material, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, 1997.

[3] M. Pituwan, “ Designing and Testing the Solar Collector with Parabolic Concentrator”. Thesis: Master of Engineering in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut’s Institute of Technology North Bangkok, 2000.

[4] J. Klinchuen “Solar Cell Performance increasing with Compound Parabolic Concentrator”. Thesis, Master of Engineering in Energy Technology, Faculty of Energy and Material, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, 2002.

[5] M. Sungglinhom, “Vegetable and Fruit Solar Dryer Using Parabolic Concentrator combined with Reflection Mirror and Phase Changing Solar Storage”. Thesis, Master of Engineering in Energy Technology, Faculty of Energy and Material, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, 2005.

[6] S. Pramuang and R.H.B Exell.. “The Regeneration of Silica Gel Desiccant by Air from a Solar Heater with a Compound Parabolic Concentrator,” Renewable Energy, vol. 32, p. 173-182, 2007.

[7] M.. Amer, et al., ASHRAE 93-77 :Handbook of Fundamental. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้