การศึกษาประสิทธิภาพแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตน้ำร้อน โดยใช้โปรแกรม EnergyPlus

A Study on Efficiency of Solar Collector for Hot Water Generation Using EnergyPlus Program

นาถพงศ์ เสนีย์รัตนประยูร* จันทกานต์ ทวีกุล ชูเกียรติ คุปตานนท์ ปัญญรักษ์ งามศรีตระกูล
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
โทร 074-287035 โทรสาร 074-212893 *อีเมล์ natka_s@hotmail.com

Nattapong Saeneerattanaprayune* Juntakan Taweekun Chukiat Kooptarnond Panyarak Ngamsritragul
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hatyai Songkhla 90112 Thailand
Tel: 074-287035 Fax: 074-212893 *E-mail: natka_s@hotmail.com

บทคัดย่อ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานธรรมชาติซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตที่ตั้งที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูงถึง 18-19 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของแผงรับรังสีอาทิตย์ในการผลิตน้ำร้อนในบ้านอยู่อาศัยโดยการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus Version 1.2.4 และอ้างอิงข้อมูลสภาวะอากาศของจังหวัดสงขลาและกรุงเทพมหานคร โดยทำการศึกษาการทำงานของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่หันหน้าไปทางทิศใต้และเอียงทำมุม 5^0, 7^0 และ 15^0 ในช่วงเวลากลางวัน (7.00 – 18.00 น.) จากการจำลองพบว่าที่มุมลาดเอียงต่างๆให้ผลการจำลองที่ใกล้เคียงกัน กรณีจังหวัดสงขลาและจังหวัดกรุงเทพพบว่ารังสีตกกระทบมีค่าอยู่ในช่วง 45-1,029 วัตต์ต่อตารางเมตร และ8-804 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับและค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์มีค่า 19-61% และ 29-56% ตามลำดับ โดยทั้งสองจังหวัดจะให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์สูงสุดในช่วงเวลา 12.00-13.00 น. เมื่อปรับมุมเอียงให้ใกล้เคียงกับละติจูดของจังหวัดที่ติดตั้ง คือ 7^0 สำหรับจังหวัดสงขลาและ 15^0 สำหรับจังหวัดกรุงเทพ

Abstract

Solar energy is the alternative energy instead of fuel energy . Thailand has high potential of solar energy approximately 18-19 MJ/m^2-day. This research focuses on efficiency of solar collector for hot water generation using EnergyPlus Version 1.2.4 . Weather data of Songkhla and Bongkok Province were used for this study.The inclination angles 5^0, 7^0 and 15^0 of solar collector facing to South direction were investigated during daytime (7.00-18.00). Range of Solar intensity for Songkhla and Bangkok are 45-1,029 W/m^2 and 8-804 W/m^2, respectively. Simulation results implied that the efficiencies of solar collector for hot water generation are in the ranges of 19-61% and 29-56% for Songkhla and Bangkok, respectively. The maximum efficiency for both location is obtained during 12.00-13.00 at inclination angle 7^0 for Songkhla and 15^0 for Bangkok.

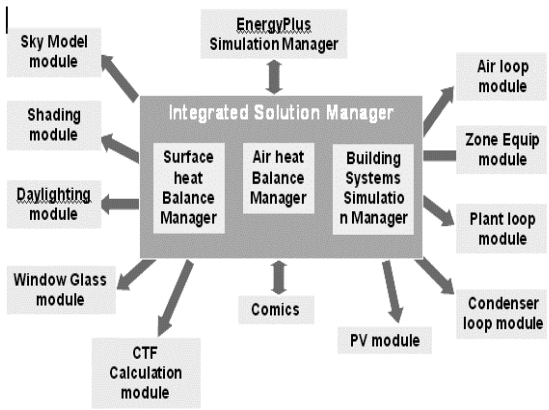
1. บทนำ

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระบบผลิตน้ำร้อนที่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตค่อนข้างต่ำเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีอยู่เกือบทุกพื้นที่จึงเป็นระบบที่ได้รับการยอมรับเป็นอย่างสูง ระบบนี้อาศัยหลักการทำงานของแผงรับรังสีอาทิตย์ซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยรับพลังงานจากแสงอาทิตย์แล้วถ่ายเทให้น้ำ โดยอาจจะมีการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำและพลังงานสำรองเพิ่ม ระบบการผลิตน้ำร้อนแบบนี้มีการเริ่มวิจัยกันในสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1891 [1] ในช่วงเริ่มต้นเป็นการผลิตเพื่อใช้ในการอุปโภคเพียงวันต่อวัน และยังมีศักยภาพการทำงานค่อนข้างต่ำ รวมถึงไม่สามารถลดการสูญเสียความร้อนในเวลากลางคืน แต่ต่อมาก็มีการศึกษาปรับปรุงและพัฒนาระบบอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันอีกทั้งมีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศแถบทวีปยุโรป อเมริการวมถึงในทวีปเอเชียอาทิ ญี่ปุ่น เกาหลี เป็นต้น ปัจจุบันมีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยในการจำลองการทำงานและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้สามารถประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ก่อนทำการลงทุนติดตั้งจริงและสามารถวิเคราะห์ค่าศักยภาพ

ของระบบดังกล่าวที่มีการออกแบบไว้ก่อนจะนำไปทดลองปฏิบัติจริง จึงทำให้ขอบเขตงานวิจัยพัฒนามากยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้จะจำลองโดยเลือกใช้โปรแกรม EnergyPlus Version 1.2.4 ในการศึกษานี้ทำการจำลองการทำงานของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นแบนที่หันหน้าไปทางทิศใต้ โดยเปรียบเทียบค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบและประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์เมื่อทำการปรับระดับความเอียงของแผ่นแบนอยู่ที่ 5^0, 7^0 และ 15^0 และอ้างอิงข้อมูลสภาวะอากาศของจังหวัดสงขลาและกรุงเทพมหานคร ในช่วงเวลา 7.00 – 18.00 น.

โปรแกรม EnergyPlus เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งมีศักยภาพในการจำลองระบบต่างๆมากมาย อาทิ ระบบปรับอากาศในอาคาร ระบบทำความเย็นในโรงงาน ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนของกรอบอาคาร เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขอบเขตการประยุกต์ใช้โปรแกรม EnergyPlus

งานวิจัยนี้จะทำการจำลองระบบการทำงานของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยออกแบบมุมเอียงของแผงที่ระดับต่างๆ

2. ข้อมูลที่ใช้การออกแบบ

ข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการจำลอง [2] ประกอบด้วย แผงรับรังสีอาทิตย์ ตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ กระจกปิดด้านบน ท่อน้ำ และปริมาณการใช้น้ำร้อน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

<u>แผงรับรังสีอาทิตย์</u>

- ความยาวทั้งหมด , L	2.50 เมตร
- ความกว้างทั้งหมด , W	1.22 เมตร
- ความหนา , t	0.079 เมตร
- พื้นที่ทั้งหมด , A_c	3.042 ตารางเมตร
- วัสดุที่ใช้	อะลูมิเนียม

<u>ตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์</u>

- ความยาว	2.4 เมตร
- ความกว้าง	1.137 เมตร
- พื้นที่ทั้งหมด	2.729 ตารางเมตร
- วัสดุที่ใช้	แผ่นทองแดง
- ค่าการนำความร้อน	380 วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส
- ความหนา	0.22 เซนติเมตร
- สารเลือกรังสี	black chrome
- ค่าการดูดกลืนรังสี	0.88
- ค่าการแผ่รังสี	0.15

<u>กระจกปิดด้านบน</u>

- ดัชนีการหักเห	1.526
- ค่าการส่องผ่านรังสี	0.89
- ค่าการแผ่รังสี	0.88
- ระยะห่างกระจกปิดกับแผ่นดูดกลืนรังสี	0.18 เซนติเมตร

<u>ฉนวนด้านข้างและด้านหลัง</u>

- วัสดุที่ใช้	เส้นใยแก้ว
- ความหนา	3.17 เซนติเมตร
- ค่าการนำความร้อน	0.04 วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส

<u>ท่อน้ำ</u>

- วัสดุที่ใช้	ท่อทองแดง
- จำนวนท่อ	10 ท่อ
- เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	1.6 เซนติเมตร
- เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก	1.8 เซนติเมตร
- ระยะห่างระหว่างท่อ	11.37 เซนติเมตร
- ค่าการนำความร้อน	400 วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส

<u>การใช้น้ำร้อน</u>

- จำนวนผู้อยู่อาศัย	2 คน
- ชนิดของการบริโภค	อาบน้ำ
- ปริมาณความต้องการน้ำร้อน	140 ลิตรต่อวัน
- อุณหภูมิน้ำร้อนที่อาบ	40 องศาเซลเซียส

3. ทฤษฎีการคำนวณในโปรแกรม EnergyPlus

ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ [3] หาได้จากสมการ

$$\eta = \frac{(q/A)}{I_{solar}} \qquad (1)$$

โดยที่ η = ประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์ ,%

q = พลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ,kW

A = พื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์ ,m^2

I_{solar} = ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงรับรังสีอาทิตย์ ,kW/m^2

ซึ่งสามารถจัดรูปใหม่โดย

$$\frac{q}{A} = F_R [I_{solar}(\tau\alpha)_n - U_L (T_{in} - T_{air})] \qquad (2)$$

โดยที่ F_R = แฟกเตอร์การดึงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์

$(\tau\alpha)_n$ = สัมประสิทธิ์การส่องผ่านและดูดกลืนแสงอาทิตย์

U_L = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ,$W/m^2\,^oC$

T_{in} = อุณหภูมิของน้ำทางเข้า ,^oC

T_{air} = อุณหภูมิอากาศภายนอก ,^oC

ดังนั้น

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - \frac{F_R U_L (T_{in} - T_{air})}{I_{solar}} \qquad (3)$$

จากความสัมพันธ์เชิงเส้นเราสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\eta = c_0 + c_1 \frac{(T_{in} - T_{air})}{I_{solar}} \qquad (4)$$

หรือพิจารณาในแบบสมการกำลังสอง จะได้

$$\eta = c_0 + c_1 \frac{(T_{in} - T_{air})}{I_{solar}} + c_2 \left[\frac{(T_{in} - T_{air})}{I_{solar}}\right]^2 \qquad (5)$$

ในการปรับมุมเอียงของแผ่นรับพลังงานแสงอาทิตย์จะมีสมการเกี่ยวข้องดังนี้

$$K_{\tau\alpha} = \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \qquad (6)$$

โดยที่ $K_{\tau\alpha}$ = สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมุมตกกระทบ

$\tau\alpha$ = สัมประสิทธิ์การส่องผ่านและดูดกลืนแสงอาทิตย์ที่ถูกปรับแก้มุมตกกระทบ

จากความสัมพันธ์เชิงเส้นเราสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$K_{\tau\alpha} = 1 + b_0\left(\frac{1}{\cos\theta} - 1\right) \qquad (7)$$

หรือพิจารณาในแบบสมการกำลังสอง จะได้

$$K_{\tau\alpha} = 1 + b_0\left(\frac{1}{\cos\theta} - 1\right) + b_1\left(\frac{1}{\cos\theta} - 1\right)^2 \qquad (8)$$

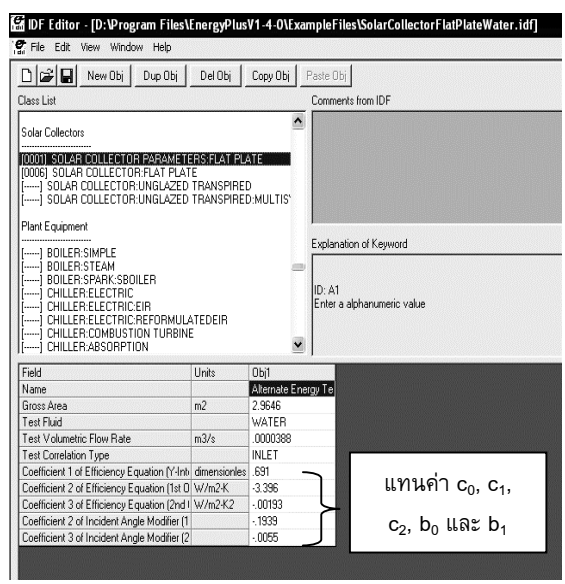
โดยที่ θ หมายถึงมุมเอียงของแผ่นรับแสงอาทิตย์ ,degree

ค่า c_0, c_1, c_2, b_0 และ b_1 สามารถหาได้จาก Directory of SRCC Certified Solar Collector Ratings [4] ซึ่งจะมีรูปแบบของแผงรับรังสีอาทิตย์ให้เลือกมากมายตามลักษณะการออกแบบของขนาดและวัสดุที่ใช้ ในการทดลองนี้จะเลือกใช้ค่าดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการจำลอง

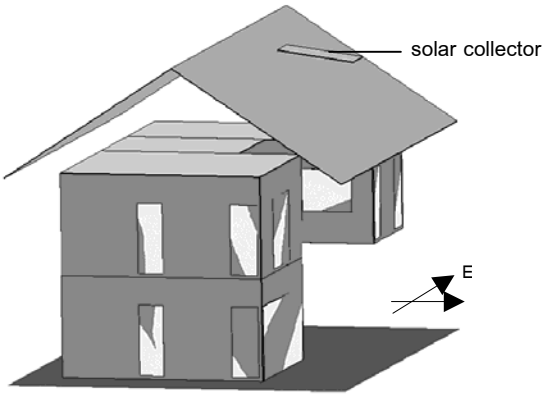
สัมประสิทธิ์	ค่าที่ใช้
C0	0.702
C1	-3.2828
C2	-0.0099
B0	-0.0707
B1	-0.1687

ซึ่งในการป้อนโปรแกรมเราจะนำค่า c_0, c_1, c_2, b_0 และ b_1 มาป้อนค่าในโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การป้อนค่าสัมประสิทธิ์ในโปรแกรม EnergyPlus

การศึกษาได้ทำการจำลองบ้านประหยัดพลังงานที่จะใช้ติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งตั้งอยู่ในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์โดยใช้วัสดุตามโครงสร้างจริงเช่น ผนังทำจากอิฐมวลเบาฉาบด้วยปูนพลาสเตอร์ ฝ้าเพดานใช้แผ่นยิปซั่ม เป็นต้นโดยนำข้อมูลที่ออกแบบไปสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมจำลอง DrawEzPlus เพื่อพิจารณาในองค์ประกอบต่างๆได้ชัดเจนยิ่งขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แบบจำลองบ้านที่ติดตั้ง solar collector

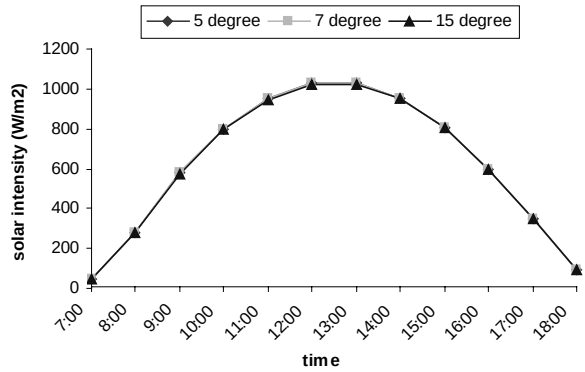
4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบที่ได้รับ

กรณีจังหวัดสงขลาพบว่าค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบจะมีค่ามากสุดเมื่อใช้แผ่นรับรังสีอาทิตย์ที่มุมเอียง 7^0 โดยรังสีตกกระทบมีค่าอยู่ในช่วง 45-1,029 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 4 กรณีของจังหวัดกรุงเทพมหานครพบว่าค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบจะมีค่ามากสุดเมื่อใช้แผ่นรับรังสีอาทิตย์ที่มุมเอียง 15^0 โดยรังสีตกกระทบมีค่าอยู่ในช่วง 8-804 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 5 โดยทั้งสองจังหวัดจะให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์สูงสุดในช่วงเวลา 12.00-13.00 น.

ตารางที่ 2 แสดงค่ารังสีตกกระทบที่มุมเอียงต่างๆของสงขลา

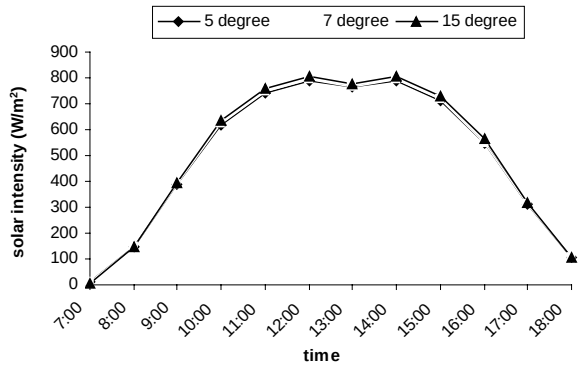
Time	Solar Intensity [W/m^2]		
	(5 $^\circ$)	(7 $^\circ$)	(15 $^\circ$)
7:00	45.2	45.5	46.0
8:00	278.3	279.1	279.4
9:00	576.8	578.0	576.7
10:00	798.9	800.3	797.4
11:00	951.2	952.6	948.3
12:00	1028.6	1030.0	1024.7
13:00	1028.2	1029.6	1024.4
14:00	951.2	952.6	948.5
15:00	803.9	805.3	802.5
16:00	597.7	599.0	597.8
17:00	350.0	350.9	351.1
18:00	91.0	91.4	91.8



รูปที่ 4 ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มุมเอียงต่างๆจังหวัดสงขลา

ตารางที่ 3 แสดงค่ารังสีตกกระทบที่มุมเอียงต่างๆของกรุงเทพ

Time	Solar Intensity [W/m^2]		
	(5 $^\circ$)	(7 $^\circ$)	(15 $^\circ$)
7:00	8.9	8.9	8.7
8:00	147.0	147.7	148.9
9:00	385.7	388.1	394.2
10:00	616.3	620.7	632.9
11:00	739.0	744.1	757.9
12:00	787.4	792.3	804.0
13:00	763.1	767.6	778.1
14:00	787.6	793.0	807.3
15:00	713.4	718.5	732.3
16:00	545.1	549.7	563.3
17:00	310.7	313.2	320.4
18:00	103.2	103.7	104.8



รูปที่ 5 ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มุมเอียงต่างๆจังหวัดกรุงเทพ

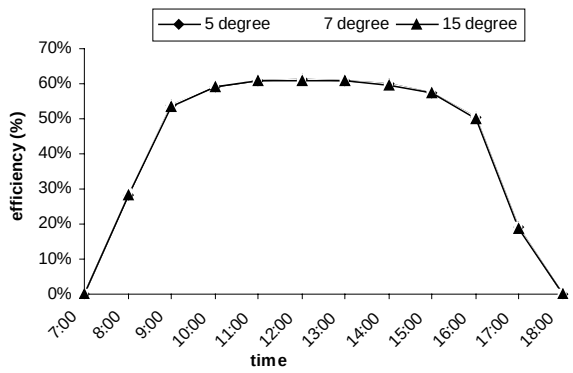
4.2. ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์

กรณีจังหวัดสงขลาพบว่าค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์จะมีค่ามากสุดเมื่อใช้แผ่นรับรังสีอาทิตย์ที่มุมเอียง 7^0 โดยมีค่าอยู่ในช่วง

19-61%ดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 6 กรณีของจังหวัดกรุงเทพมหานครพบว่าค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์จะมีค่ามากสุดเมื่อใช้แผ่นรับรังสีอาทิตย์ที่มุมเอียง 15^0 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 29-56% ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 7 โดยทั้งสองจังหวัดจะให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์สูงสุดในช่วงเวลา 12.00-13.00 น.

ตารางที่ 4 แสดงค่าประสิทธิภาพที่มุมเอียงต่าง ๆของสงขลา

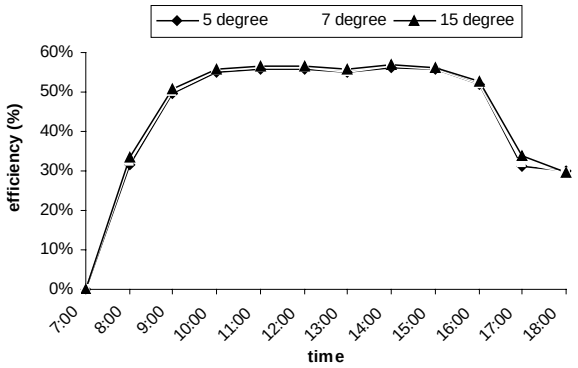
Time	Efficiency [%]		
	(5 °)	(7 °)	(15 °)
7:00	0.0%	0.0%	0.0%
8:00	28.4%	28.5%	28.0%
9:00	53.8%	53.8%	53.5%
10:00	59.3%	59.4%	59.1%
11:00	60.9%	60.9%	60.7%
12:00	61.1%	61.2%	61.0%
13:00	60.8%	60.8%	60.7%
14:00	59.8%	59.8%	59.7%
15:00	57.4%	57.4%	57.2%
16:00	50.2%	50.3%	50.0%
17:00	19.2%	19.3%	18.8%
18:00	0.0%	0.0%	0.0%



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพที่มุมเอียงต่าง ๆจังหวัดสงขลา

ตารางที่ 5 แสดงค่าประสิทธิภาพที่มุมเอียงต่าง ๆของกรุงเทพ

Time	Efficiency [%]		
	(5 °)	(7 °)	(15 °)
7:00	0.0%	0.0%	0.0%
8:00	31.7%	32.2%	33.6%
9:00	49.7%	50.0%	50.8%
10:00	55.1%	55.2%	55.8%
11:00	55.8%	56.0%	56.4%
12:00	55.8%	56.0%	56.4%
13:00	55.0%	55.2%	55.7%
14:00	56.3%	56.5%	56.9%
15:00	55.7%	55.8%	56.2%
16:00	51.8%	52.1%	52.8%
17:00	31.2%	31.9%	34.0%
18:00	29.8%	29.8%	29.5%



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพที่มุมเอียงต่าง ๆจังหวัดกรุงเทพ

4.3 การอภิปรายผลการทดลอง

จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus พบว่าเมื่อทำการจำลองการทำงานของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่หันหน้าไปทางทิศใต้และเอียงทำมุม 5^0, 7^0 และ 15^0 ในช่วงเวลา 7.00 – 18.00 น. จะให้ผลการจำลองของมุมเอียงทั้ง 3 แบบใกล้เคียงมากทั้งในส่วนของค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบและประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้งนี้อาจมีผลมาจากเป็นการจำลองสำหรับอาคารที่อยู่อาศัยซึ่งปริมาณการใช้น้ำร้อนก็ยังอยู่ในปริมาณไม่มากนัก หากพิจารณาออกแบบโดยปรับปริมาณการใช้น้ำร้อนให้สูงขึ้นเป็นในลักษณะของการประกอบกิจการ เช่น โรงพยาบาล โรงแรม อื่นๆ น่าจะให้ผลที่แตกต่างกัน เนื่องจากมีงานวิจัยที่พบว่าการปรับมุมเอียงของแผ่นรับแสงอาทิตย์ให้สอดคล้องกับละติจูดของตำแหน่งที่ตั้งจะทำให้ประสิทธิภาพของแผ่นรับรังสีอาทิตย์ดีที่สุด [2]

5. สรุปผลการทดลอง

การจำลองโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus โดยการป้อนข้อมูลที่มุมลาดเอียงของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่หันหน้าไปทางทิศใต้เอียงทำมุม 5^0, 7^0 และ 15^0 ในช่วงเวลา 7.00 – 18.00 น. พบว่ากรณีจังหวัดสงขลาพบ

ว่าค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบและค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์จะมีค่ามากสุดเมื่อใช้แผ่นรับรังสีอาทิตย์ที่มุมเอียง 7^0 โดยรังสีตกกระทบมีค่า 1,029 วัตต์ต่อตารางเมตร และค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์มีค่า 61% กรณีของจังหวัดกรุงเทพมหานครพบว่าค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบและค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์จะมีค่ามากสุดเมื่อใช้แผ่นรับรังสีอาทิตย์ที่มุมเอียง 15^0 โดยรังสีตกกระทบมีค่า 804 วัตต์ต่อตารางเมตร และค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์มีค่า 56% โดยทั้งสองจังหวัดจะให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์สูงสุดในช่วงเวลา 12.00-13.00 น. ซึ่งหากพิจารณาจากที่ตั้งของจังหวัดสงขลาและจังหวัดกรุงเทพ คือ ละติจูด $7^o12'$ และ $13^o44'$ ตามลำดับ จะพบว่าเมื่อปรับมุมเอียงของแผ่นรับแสงอาทิตย์ให้ใกล้เคียงกับละติจูดของสถานที่ติดตั้งจะทำให้ประสิทธิภาพของแผ่นรับแสงอาทิตย์มีค่าสูงที่สุด ดังนั้นการออกแบบที่เหมาะสมควรพิจารณาให้มุมเอียงของแผ่นรับแสงอาทิตย์ใกล้เคียงกับละติจูดของสถานที่ตั้งด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยให้กับโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับสถานที่วิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Smytha, M., Eamesa, P.C. and Nortonb, B., 2006. Integrated Collector Storage Solar Water heaters. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 10, No. 6, pp. 503–538.

[2] จอมภพ แววศักดิ์, 2546. การหาสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ติดตั้งบนหลังคา, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17.

[3] Plante R.H., 1983. Solar domestic hot water, A Practical Guide to Installation and Understanding, John Wiley & Sons, Canada.

[4] http://www.solarrating.org/RATINGS/OG100DIRECTORIES/OG100DIRFULL_20070607.pdf/ (accessed on June 2007).