# การหาสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ติดตั้งบนหลังคา

## **Determination of Thermal Performance of a Rooftop Flat-Plate Solar Collector**

จอมภพ แววศักดิ์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน (ฟิสิกส์) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย 126/1 ถ.วิภาวดี-รังสิต เขตดินแดง กรุงเทพฯ 10400 โทร 0-26976000 ต่อ 6519 โทรสาร 0-22777007 E-mail: jompob\_wae@utcc.ac.th

#### Jompob Waewsak

Basic Science Division (Physics), School of Science, The University of the Thai Chamber of Commerce 126/1 Vibhawadee-Rangsit Rd, Din-Dang, Bangkok, 10400, Thailand Tel: 0-26976000 Ext. 6519 Fax: 0-22777007 E-mail: jompob\_wae@utcc.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการหาสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ แบบแผ่นเรียบที่ติดตั้งบนหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตกรุงเทพฯ เพื่อที่จะ ศึกษาถึงอิทธิพลของมุมเอียงของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีต่อสมรรถนะเชิง ความร้อน โดยทำการออกแบบตัวรับรังสีอาทิตย์ซึ่งประกอบไปด้วยแผ่น ้ปิดชั้นเดียวทำจากกระจกใส ตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์เป็นแบบแผ่นเรียบที่ เชื่อมติดกับท่อโดยมีน้ำเป็นตัวระบายความร้อนและมีการหุ้มฉนวนที่ ด้านข้างและด้านหลังของตัวรับรังสีอาทิตย์ นอกจากนี้ยังได้ทำการจำลอง สภาวะการทำงานของตัวรับรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐานการทดสอบ ASHRAE 93-77 เพื่อที่จะทดสอบหาประสิทธิภาพ ตัวปรับแก้มุมตก กระทบของรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิที่แผ่นปิดและแผ่นดูดกลืนรังสี อาทิตย์ที่มุมเอียง 30°-60° ผลปรากฦว่าอุณหภูมิแผ่นปิดและอุณหภูมิ แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง 50-55°C และ 104-116°C ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ในช่วง 58%-67% นอกจากนี้ยัง ้ได้แสดงสมการประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ซึ่งสามารถนำไปใช้ใน การทำนายหาสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่น เรียบได้อีกด้วย

#### Abstract

This paper aim was to determine the thermal performance of a flat-plate solar collector, which was mounted on the roof of a residential building in Bangkok in order to study the effect of tilted angle of the collector on its performance. Flat-plate solar collector was designed by using Collector Design Program (CoDePro). It consisted of a single glass cover, flat-plate collector bonded with tubes for circulating working fluid (water) and well insulated at the edge and bottom. The operation of a rooftop flat-plate solar collector was simulated using the CoDePro. Thermal performance of a rooftop flat-plate solar collector was investigated under the operating condition following the ASHRAE 93-77 standard. Instantaneous efficiency, incidence angle modifier as well as stagnation temperatures of a rooftop flat-plate solar collector at the tilted angles of  $30^{\circ}$ - $60^{\circ}$  were graphically presented. Effect of tilted angle of the collector on the thermal performance was presented and discussed. Results showed that cover and plate temperatures were in the range of  $50-55^{\circ}$ C and  $104-116^{\circ}$ C respectively. Maximum thermal efficiencies were in the range of 58%-67%. Finally, efficiency equations were proposed and could be used to predict the thermal performance of a rooftop flat-plate solar collector.

#### 1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในบริเวณเขตศูนย์สูตรซึ่งมีพลังงาน แสงอาทิตย์ตกกระทบเป็นจำนวนมากโดยมีค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ประมาณ 16.7 *MJ* / m<sup>2</sup> · day [1] ดังนั้นการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์จึง เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมในการผลิตน้ำร้อนสำหรับใช้งานภายใน ครัวเรือนและในระดับอุตสาหกรรม ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับตัวรับรังสีอาทิตย์ได้รับการพัฒนาดังจะเห็นได้ จากงานวิจัยในหลายๆ ชิ้นที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีของแผ่นดูดกลืน รังสีอาทิตย์ [2] การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงาน แสงอาทิตย์ [3] การศึกษาวิธีทดสอบที่เหมาะสมสำหรับตัวรับรังสีอาทิตย์ [4] การศึกษาเพื่อหารูปแบบต่างๆ ของตัวรับรังสีอาทิตย์ [5-7] รวมถึง การศึกษาเกี่ยวกับระบบสะสมพลังงานความร้อน [8] การผลิตตัวรับรังสี อาทิตย์ปัจจุบันมีขนาดอยู่ในระดับอุตสาหกรรมการผลิตซึ่งเป็นผลให้ ราคาของตัวรับรังสีอาทิตย์มีราคาถูกลงและสามารถแข่งขันกับการผลิต ้น้ำร้อนโดยใช้เชื้อเพลิงรูปแบบอื่นๆ ได้ อย่างไรก็ตามตัวรับรังสีอาทิตย์ ยังคงมีราคาสูงอยู่เมื่อพิจารณาสำหรับประเทศกำลังพัฒนาอย่างประเทศ ไทยเป็นต้น การวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับตัวรับรังสีอาทิตย์จึงมีแนวโน้มที่ จะพัฒนาให้ตัวรับรังสีอาทิตย์มีราคาถกลง [9] และศึกษาหาขนาดที่ เหมาะสมสำหรับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ตัวรับรังสีอาทิตย์ ที่มีการใช้งานกันในประเทศไทยส่วนหนึ่งมีการนำเข้าและคีกส่วนหนึ่งได้ ้จากการผลิตขึ้นภายในประเทศ นักออกแบบและผู้ใช้ส่วนใหญ่มักจะ เผชิญกับปัญหาในการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบที่เหมาะสมเนื่องจากขาด ข้อมูลที่น่าเชื่อถือหรือไม่มีข้อมูลทางด้านสมรรถนะของตัวรับรังสีอาทิตย์ ที่ใช้งานในสภาวะแวดล้อมของประเทศไทย นอกจากนี้ตัวแทนจำหน่าย ส่วนใหญ่มักจะมีการกล่าวอ้างที่เกินจริงเกี่ยวกับสมรรถนะของตัวรับรังสี อาทิตย์ ดังนั้นผู้ใช้งานจึงมักจะรู้สึกผิดหวังและสูญเสียศรัทธาในการ ติดตั้งตัวรับรังสีอาทิตย์ซึ่งไม่สามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงตามที่ ต้องการ ถึงแม้ว่าจะมีการใช้งานตัวรับรังสีอาทิตย์ตามโรงแรมหรือ โรงพยาบาล แต่การใช้งานตัวรับรังสีอาทิตย์เพื่อที่จะผลิตน้ำร้อนตาม ครัวเรือนนั้นยังคงมีการใช้งานกันค่อนข้างต่ำ นอกจากนั้นแล้วการติดตั้ง ตัวรับรังสีอาทิตย์ตามบ้านพักอาศัยที่ไม่ถูกต้องตามหลักการส่วนใหญ่ เนื่องจากข้อจำกัดทางเทคนิคไม่ว่าจะเป็นขนาดมุมเอียงของหลังคา รวมทั้งทิศทางของหลังคาซึ่งใช้วางตัวรับรังสีอาทิตย์มักจะทำให้สมรรถนะ เชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์รวมทั้งของระบบมีค่าลดลงอีกด้วย ดังนั้นบทความนี้จึงมุ่งที่จะวิเคราะห์หาสมรรถนะเชิงความร้อนของ ตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีการติดตั้งบนหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตกรุงเทพฯ ภายใต้สภาวะอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย เนื่องจากมาตรฐานใน การทดสอบเพื่อหาค่าสมรรถนะของตัวรับรังสีอาทิตย์นั้นมีอยู่น้อยและ ส่วนใหญ่เป็นการกำหนดโดยต่างประเทศซึ่งมีความเหมาะสมแตกต่างกัน ้ไปตามสภาวะภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม เช่น มาตรฐานอเมริกา ฝรั่งเศส เยอรมันและออสเตรเลีย อย่างไรก็ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 [10] ้ยังคงเป็นที่ยอมรับและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ในบทความนี้ได้ ทำการออกแบบตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ชื่อ CoDePro ซึ่งพัฒนาโดยห้องปฏิบัติการพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัย Wisconsin-Madison ประเทศสหรัฐอเมริกา [11] เพื่อที่จะ ทำการศึกษาหาผลกระทบของมมเอียงของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งบน หลังคาบ้านพักกาศัยต่อสมรรถนะเชิงความร้อนโดยอธิบายในเทอมของ ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ ตัวปรับแก้มุมตกกระทบของรังสี อาทิตย์และอุณหภูมิแผ่นปิดและแผ่นดูดกลื่นรังสีอาทิตย์ (Stagnation temperature) ซึ่งจะได้กล่าวอย่างละเอียดในหัวข้อต่อไป

# 2. ลักษณะของตัวรับรังสีอาทิตย์

# 2.1 มิติของตัวรับรังสีอาทิตย์

มิติของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในการออกแบบโดยโปรแกรมแสดงใน รูปที่ 1 มีขนาดเท่ากับมิติของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีการจำหน่ายกันทั่วไป ในท้องตลาดซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เนทองตลาดขงมวายละเอยดดงตอเบน					
- ความยาวทั้งหมด, <i>L</i> 2.49	91 m				
- ความกว้างทั้งหมด, <i>W</i> 1.22	21 m				
- ความหนา, <i>t</i> 0.07	79 m				
- พื้นที่ทั้งหมด, A <sub>c</sub> 3.04	$m^2$				
มิติของแผ่นดูดกลื่นรังสีอาทิตย์ (Absorber)					
- ความยาว, <i>L<sub>p</sub></i> 2.4	т				
- ความกว้าง, W <sub>p</sub> 1.13	37 m				
- พื้นที่ของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์, A <sub>p</sub> 2.72	$29 m^2$				
$ \begin{array}{c} \hline \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $					

## 2.2 แผ่นปิดและแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์

แผ่นปิด (Cover) ของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีการติดตั้งตามหลังคา บ้านพักอาศัยทั่วไปส่วนใหญ่มักจะใช้แผ่นปิดเพียงชั้นเดียว ถึงแม้ว่า ตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีแผ่นปิดสองชั้นจะมีสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูง กว่าเนื่องจากมีค่าการสูญเสียความร้อนด้านบนต่ำกว่าแต่ก็มีราคาสูงขึ้น ตามไปด้วย นอกจากนั้นการใช้งานน้ำร้อนที่ผลิตได้สำหรับบ้านพัก อาศัยก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีแผ่นปิดสองชั้น เนื่องจากไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุณหภูมิของน้ำที่สูงมากนัก [12] ดังนั้นตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษานี้จึงมีแผ่นปิดเพียงชั้นเดียว และมีสมบัติดังต่อไปนี้

- สำหรับสเปกตรัมรังสีอาทิตย์: ดัชนีการหักเห, n = 1.526
- สำหรับสเปกตรัมรังสีอาทิตย์: ค่าการส่องผ่านรังสี,  $\, {\cal T}_{c.s} =$  0.891
- สำหรับรังสีคลื่นยาว: ค่าการแผ่รังสี,  $\,{\cal E}_c^{}=0.88\,$
- สำหรับรังสีคลื่นยาว: ค่าการส่องผ่านรังสี,  $\, au_{c,I\!R} = 0 \,$
- ระยะห่างระหว่างแผ่นปิดและแผ่นดูดกลืนรังสี ( d cp ) 0.18 cm

แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เป็นแบบแผนเรียบซึ่งทำจากทองแดงมี สมบัติดังนี้

- ค่าการนำความร้อน, K= 380  ${\scriptscriptstyle W/m}^2\cdot {\scriptscriptstyle K}$
- แผ่นดูดกลืนรังสีหนา,  $t_p = 0.22~cm$

- สำหรับสเปกตรัมรังสีอาทิตย์: ค่าการดูดกลืนรังสี,  ${\pmb lpha}_p=$  0.88

- สำหรับรังสีคลื่นยาว: ค่าการแผ่รังสี,  ${\mathcal E}_p = 0.15$ 

## 2.3 การหุ้มฉนวนด้านข้างและด้านหลัง

ตัวรับรังสีอาทิตย์ถูกหุ้มด้วยฉนวนหนา 3.17 *cm* บริเวณด้านข้าง และด้านหลังซึ่งมีค่าการนำความร้อน 0.04 *W* / *m*<sup>2</sup> · *K* 

## 2.4 ท่อและของไหล

ลักษณะของท่อแสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งใช้ทำตัวรับรังสีอาทิตย์มี รายละเอียดดังต่อไปนี้

- จำนวนท่อ, $N_{_t}$	10	ท่อ
- เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน, $d_i$	1.6	ст
- เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก, $d_{_o}$	1.8	ст
- ระยะห่างระหว่างท่อ, $l_{_t}$	11.37	ст
- ค่าการนำความร้อนระหว่างท่อและแผ่นดดกลืน	400 W	$m^2 \cdot k$

ของไหลที่ใช้ในการระบายความร้อนจากตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์

- ของไหล น้ำ - อัตราการไหลเชิงปริมาตร, *v* 4.75 *L/min*
- ความดันขาเข้า P<sub>in</sub> 200 kPa



รูปที่ 2 ลักษณะการจัดวางของท่อ

## 2.5 เงื่อนไขในการทดสอบ

การทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ได้ออกแบบนี้ได้อาศัยการจำลอง สภาวะการทำงานเพื่อทดสอบตามมาตรฐานของ ASHRAE 93-77 ซึ่ง เป็นการทดสอบที่สภาวะคงที่ (Steady state) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CoDePro เพื่อที่จะประเมินสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวรับรังสี อาทิตย์โดยมีเงื่อนไขในการทดสอบดังนี้

- รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ:  $G_T = 630 \ W/m^2$
- สัดส่วนรังสีกระจาย:  $G_d \, / \, G_T =$  50%
- มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์: heta = 0  $^{\circ}$  (Standard < 30 $^{\circ}$ )
- มุมเอียงของตัวรับรังสีอาทิตย์: eta= 30° 60°
- อุณหภูมิอากาศแวดล้อม:  $T_{amb}=$  30 °C (Standard 15-38 °C)
- ความเร็วลม:  $V_{wind} =$  1.3 m/s
- ความชื้นสัมพัทธ์: % Rh = 50%

ในการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์ได้สร้างกราฟความสัมพันธ์ของ ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของความแตกต่าง ของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของน้ำขาเข้าและอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำซึ่ง ผลที่ได้จากการทดสอบจะแสดงอย่างละเอียดในหัวข้อที่ 3

## 3. การหาสมรรถนะเชิงความร้อน

สมรรถนะเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์แสดงอยู่ในรูปของ ประสิทธิภาพ ตัวปรับแก้มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแผ่น ปิดและแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เมื่อพิจารณาช่วงระยะเวลาสั้น ๆ สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพ ณ ขณะใด ขณะหนึ่ง (Instantaneous efficiency, η) ของตัวรับรังสีอาทิตย์ได้ดัง สมการที่ 1

$$\eta = \frac{Q_u}{G_T A_c} \tag{1}$$

เมื่อ  $\, Q_{_{\!H}} \,$  คือ พลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

- $G_{\scriptscriptstyle T}$  คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบตัวรับรังสีอาทิตย์
- A คือ พื้นที่ของตัวรับรังสีอาทิตย์

ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์นอกจากจะมีค่าขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำ ณ จุดทำงานและอุณหภูมิ อากาศแวดล้อมแล้วยังมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วของลมซึ่งส่งผลต่อค่า สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน ( $U_t$ ) ของตัวรับรังสีนั่นเอง เราสามารถเขียนสมการเพื่อหาค่าพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ได้ที่สภาวะคงที่โดยใช้สมการทางทฤษฏีซึ่งเสนอโดย Duffie และ Beckman [13] แสดงดังสมการที่ 2

$$Q_{u} = A_{c}F_{R}[G_{T}(\tau\alpha)_{e} - U_{L}(T_{i} - T_{a})]$$
<sup>(2)</sup>

เมื่อ  $F_{\scriptscriptstyle R}$  คือ แฟคเตอร์การดึงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์

(Collector heat removal factor)

- $(\tau \alpha)_e$  คือ สัมประสิทธิ์การส่องผ่านและการดูดกลื่นประสิทธิผล (Effective transmittance-absorptance product)
- T<sub>i</sub> คือ อุณหภูมิของน้ำขาเข้า
- $T_a$  คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม

เมื่อทำการหารสมการที่ 2 ด้วย  $G_T A_c$  แล้วเราจะได้ว่า ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์แสดงดังสมการที่ 3

$$\eta = F_R(\tau \alpha)_e - F_R U_L (T_i - T_a) / G_T$$
(3)

ถ้าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (Overall heat loss coefficient,  $U_L$ ) แฟคเตอร์การดึงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์  $(F_R)$  และสัมประสิทธิ์การส่องผ่านและการดูดกลืนประสิทธิผล  $(\tau \alpha)_e$  มีก่าคงที่แล้วจะได้ว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเซิงความ ร้อน ณ ขณะใดขณะหนึ่ง  $(\eta)$  กับ  $(T_i - T_a)/G_T$  จะมีลักษณะ

เป็นเส้นตรงที่มีจุดตัดแกน y คือ  $F_R(\tau \alpha)_{e}$  และมีความชันเป็น  $-F_R U_L$  แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพ ณ ขณะใดขณะหนึ่งของตัวรับรังสีอาทิตย์

ถ้าทำการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์ภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่รังสี อาทิตย์ตกกระทบทำมุมตั้งฉากกับตัวรับรังสีอาทิตย์ซึ่งมุมตกกระทบจะ มีค่าเป็นศูนย์เมื่อเปรียบเทียบกับเที่ยงสุริยะ (Solar noon) ดังรูปที่ 4 ใน กรณีนี้ตัวรับรังสีอาทิตย์จะให้ค่าพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สูงสุด ดังนั้นสัมประสิทธิ์การส่องผ่านและการดูดกลืนประสิทธิผล (τα)<sub>e</sub> สามารถเปลี่ยนรูปได้เป็น (τα)<sub>n</sub> เมื่อตัวห้อย *n* หมายถึงมุม ตกกระทบของรังสีอาทิตย์มีค่าเป็นศูนย์เมื่อเปรียบเทียบกับเที่ยงสุริยะ ดังนั้นสมการที่ 3 จึงสามารถเขียนใหม่ได้ดังแสดงในสมการที่ 4

$$\eta = F_R(\tau \alpha)_n - F_R U_L(T_i - T_a) / G_T \tag{4}$$

ในการทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์จึงควรที่จะทำ การทดสอบ ณ เวลาเที่ยงสุริยะเพื่อที่จะได้ค่าพลังงานที่สามารถ นำไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุดนั่นเอง ดังนั้นค่าพลังงานที่สามารถ นำไปใช้ประโยชน์ได้จะมีค่าลดลงเมื่อเงื่อนไขการทำงานหรือการ ทดสอบมีสภาวะที่แตกต่างไปจากสภาวะ ณ เที่ยงสุริยะเนื่องจาก ประสิทธิภาพเซิงแสง (Optical efficiency) ลดลงนั่นเอง ซึ่งควรมีการ กำหนดตัวปรับแก้มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์สำหรับตัวรับรังสี อาทิตย์เพื่อที่จะสามารถประมาณค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของ ดัวรับรังสีอาทิตย์ ณ ขณะเวลาใด ๆ ของแต่ละวันได้ ดังนั้นตัวปรับแก้ มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์จึงมีนิยามดังสมการที่ 5

$$K_{\tau\alpha} = (\tau\alpha)_e / (\tau\alpha)_n \tag{5}$$

โดยส่วนใหญ่แล้วตัวปรับแก้มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์สำหรับ ตัวรับรังสีอาทิตย์แต่ละประเภทจะมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับ มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์แสดงดังสมการที่ 6 [10]

$$(\tau \alpha)_e = a - (b/\cos\theta) \tag{6}$$

ถ้ากำหนดให้  $(\tau a)_n = a - b$  จะได้ว่า

$$K_{\tau\alpha} = 1 - \frac{a}{a - b} \left( \frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \tag{7}$$

โดยนิยามค่า  $K_{_{ au lpha}}$  อยู่ในช่วง [0,1] และมุม heta มีค่าอยู่ในช่วง [0, $rac{\pi}{2}$ ] เท่านั้น

เมื่อจัดให้อยู่ในรูปของค่าคงที่เพียงตัวเดียวแล้วเราสามารถเขียนตัว ปรับแก้มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์  $K_{ au lpha}$  ได้ดังสมการที่ 8

$$K_{\tau\alpha} = 1 - b_0 \left( \frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \tag{8}$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ 8 จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าของตัวปรับแก้มุมตก กระทบของรังสีอาทิตย์จะมีค่าอยู่ในช่วง 0-1 ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่ กับค่ามุมที่รังสีอาทิตย์ตกกระทบนั่นเอง



รูปที่ 4 มุมเอียงของตัวรับรังสีและมุมรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ

จากการทดสอบโดยใช้ CoDePro เพื่อจำลองสภาวะการทำงานของ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่วางบนหลังคาบ้านพักอาศัยเอียงทำ มุม 30°- 60° ผลปรากฏว่าตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ได้รับการ ออกแบบนี้มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ในช่วง 58%-67% แสดงดังรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 8 ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบโดยบงกชและคณะ [5] ซึ่งใช้ ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบดิดครีบเพิ่มความร้อนโดย วางตัวรับรังสีอาทิตย์ทำมุมเอียงเท่ากับละติจูดของสถานที่ที่ทำการ ทดสอบ (17° สำหรับจังหวัดพิษณุโลก) เพื่อที่จะทำให้ตัวรับรังสีอาทิตย์ สามารถรับรังสีได้ตลอดทั้งปี ซึ่งจากการทดสอบพบว่ามีประสิทธิภาพ สูงสุดประมาณ 70% และ 80% ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำผลการ ทดสอบไปสร้างกราฟและใช้เทคนิคการถดถอยจะพบว่าสมการ ประสิทธิภาพและตัวปรับแก้มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์จะแสดงได้ดัง สมการที่ 9 และสมการที่ 10 ตามลำดับ

$$\eta = (a) + (b) \frac{\Delta T}{G_T} \tag{9}$$

$$K_{\tau\alpha} = 1 - (-0.1309) \left(\frac{1}{\cos\theta} - 1\right)$$
 (10)

เมื่อ a และ b เป็นค่าคงที่แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ a และ b

มุมเอียง ( $oldsymbol{eta}$ )	а	b
10	0.6450	-4.825
20	0.6436	-4.824
30	0.6409	-4.821
40	0.6364	-4.820
50	0.6242	-4.823
60	0.6006	-4.813

โดยอุณหภูมิแผ่นปิดและอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีค่าแสดงดังตารางที่ 2

มุมเอียง ( $eta$ )	<i>T<sub>C</sub></i> ( <sup>°</sup> C)	<i>т</i> <sub><i>p</i></sub> (°С)		
10	54.98	115.7		
20	54.81	115.0		
30	54.55	114.6		
40	54.15	113.6		
50	53.15	111.0		
60	50.67	104.5		

ตารางที่ 2 อณหภมิของแผ่นปิดและแผ่นดดกลืนรังสีอาทิตย์







รูปที่ 6 ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มุมเอียง 40°



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มุมเอียง 50°



รูปที่ 8 ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มุมเอียง 60°

### **4**. สรุป

จากผลการศึกษาหาสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ แบบแผ่นเรียบที่ติดตั้งบนหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตกรุงเทพฯ โดยการ จำลองสภาวะการทำงานตามมาตรฐานการทดสอบ ASHRAE 93-77 ที่ มุมเอียง 30°-60° ผลปรากฏว่าอุณหภูมิที่แผ่นปิดและอุณหภูมิที่แผ่น ดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง 50-55°C และ 104-116°C ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ในช่วง 58%-67% หากมีการติดตั้ง ด้วรับรังสีอาทิตย์อย่างถูกวิธีและเหมาะสมซึ่งควรจะทำการติดตั้งให้มี มุมเอียงเท่ากับละติจูดของสถานที่ติดตั้งแล้วจะทำให้ได้อุณหภูมิแผ่น ดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีค่าสูงกว่านี้และจะทำให้สมรรถนะเชิงความร้อน ของตัวรับรังสีอาทิตย์มีค่ามากกว่านี้อีกด้วย

# 5. เอกสารอ้างอิง

- O. Rutanaprakarn, "Status of Solar Energy Development in Thailand" US-ASEAN Seminar on Energy Technology, 1982, pp. 444-456.
- [2] C. Cristofari, G. Notton, P. Poggi and A. Louche, "Modelling and Performance of a Copolymer Solar Water Heating Collector", Solar Energy, 2002, Vol. 72, pp. 99-112.
- [3] O. K. Seng, "Passive Solar Hot Water Heater System-Performance Monitoring", 4<sup>th</sup> Asian School on Solar Energy Harnessing, 1985, December, Bangkok, Thailand, pp. 189-196.
- [4] S. Chungpaibulpatana, "Dynamic Method of Testing to Determine the Solar Thermal Collector Performance" 1984, Dissertation, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- [5] บงกช ประสิทธิ์, พิสิษฏ์ มณีโชดิ, อภิโชดิ แสนสม, ประพิธาร์ ธนารักษ์ และ ยุวดี คงมั่น, "การเปรียบเทียบสมรรถนะตัวรับรังสี แสงอาทิตย์แผ่นเรียบตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-77", วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร, ปี พ.ศ. 2546, ปีที่ 11, เล่ม 1 หน้า 11-22.
- [6] L. Heden, J. Rekstad and M. Meir, "Thermal Performance of Combined Solar Systems with Different Collector Efficiencies," Solar Energy, 2002, Vol. 72, pp. 299-305.
- [7] E. Bilgen and M. A. Richard, "Horizontal Concrete Slabs as Passive Solar Collectors", Solar Energy, 2002, Vol. 72, pp. 405-413.
- [8] T. Kirtsiriroj, et al, "Solar Water Heater with Latent Heat Storage" Proceedings of the Third Symposium on Renewable Energy and Application, 3-5 November 1981, Bangkok, Thailand.
- [9] จงจิตร์ หิรัญลาภ, ปรีดา จันทวงษ์ และ โจเซฟ เคดารี "เครื่องทำ น้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายสำหรับประเทศไทย"

วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., ปี พ.ศ. 2543, ปีที่ 23 ฉบับที่ 3 (กันยายน-ธันวาคม).

- [10] ASHRAE STANDARD 93-77, "Method of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, 1981, New York, The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
- [11] http://sel.me.wisc.edu/programs.html.
- [12] J. F. Kreider and F. Kreith, Solar Energy Handbook, 1981, McGraw-Hill, Inc.
- [13] A. D. Duffie and W. A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes, 1991, 2<sup>nd</sup> Edition, Wiley, New York.