

# สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนด้วยแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนชนิดแผ่นเรียบรับความร้อน

เบงค์ ศรีสุข<sup>1</sup> และ วิทยา ยงเจริญ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>1</sup>twoeazk\_luk111@hotmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยได้ทำการศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนด้วยแผงรับความร้อนแบบใช้น้ำเป็นตัวถ่ายเทความร้อนของระบบ ระบบจะประกอบด้วยแผง PV/T ที่ทำการศึกษามีขนาด 0.79 ตารางเมตร ถึงเก็บน้ำร้อนขนาด 80 ลิตร เครื่องสูบน้ำขนาดเล็ก เครื่องควบคุมอัตราการไหลของน้ำ เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และแบตเตอรี่ ระบบ PV/T ติดตั้งบนดาดฟ้าของอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (N13.735558 E100.533257) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร โดยให้ แผง PV/T วางหันหน้าไปทางทิศใต้และทำมุมกับพื้น  $15^\circ$  การทดสอบทำในช่วงเดือนตุลาคม ปี 2555 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ ได้แก่ ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศเริ่มต้น ข้อมูลอุณหภูมิอากาศเข้าแผง และข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอก การทดสอบกำหนดค่าอัตราการไหลของน้ำคงที่ที่ 1.2 ลิตรต่อวินาที ข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บทุกๆ 2 นาที จากเวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น. เป็นเวลา 10 วัน. โดยเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ ในส่วนการวิเคราะห์หาค่าพลังงานไฟฟ้าจะใช้ข้อมูลการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ โดยต้องวงจรกับตัวต้านทานชนิดไว้วางวัดเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้า จากนั้นคูณกับเวลาที่ดึงประจุออกจากแบตเตอรี่จะได้เป็นพลังงานไฟฟ้า จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าระบบ PV/T มีประสิทธิภาพทางความร้อนรายวันเฉลี่ยที่ 40.9% ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวันเฉลี่ยที่ 3.0% และประสิทธิภาพรวมรายวันเฉลี่ยที่ 43.9% เมื่อใช้ข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอกปี 2553 สามารถคำนวณค่าพยากรณ์ที่ระบบ PV/T สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนเฉลี่ยได้ 78 Wh/day และ 1,181 Wh/day ที่อุณหภูมิอากาศ 41.7°C ตามลำดับ

## คำสืบค้น

พลังงานแสงอาทิตย์ แผงรับแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ ประสิทธิภาพ

# PERFORMANCE OF AN ELECTRICITY AND THERMAL SYSTEM USING PV/T COLLECTOR

**Bank Srisuk and Withaya Yongchareon**

*<sup>1</sup>Energy Technology and Management (Interdisciplinary Program) Graduate School.*

*Chulalongkorn University Bangkok*

*<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering*

*Chulalongkorn University Bangkok*

*<sup>1</sup>twoeazk\_luk111@hotmail.com*

## ABSTRACT

The performance of PV/T system for producing electricity and thermal energy using water as a heat transfer media was studied in this research. The system consists of PV/T collector having an area of 0.79 square meters, storage tank with 80 liters of water, small water pump, water flow rate controller, battery charge controller, and battery. The PV/T collector system was installed on the roof of faculty of engineering building (N13.735558 E100.533257) Chulalongkorn University, Bangkok. The PV/T collector was installed at 15 degree to the floor plain and facing to the south. The test was conducted in October 2012. The parameters were solar intensity, the initial and the final water temperature inside storage tank, the inlet and outlet water temperature from PV/T collector and ambient temperature. During the test, the water flow rate was set constant at 1.2 liters/minute. All parameters were collected every 2 minutes during 8:00 AM to 4:00 PM in 10 days by using data logger. The parameters to analyze the electric power were the voltage and the electric current measured from wire wound resistance in a battery discharging circuit. The electric power then multiplied with time (hr) to result the electric energy. From data analysis, the mean daily thermal efficiency is 40.9%, the mean daily electricity efficiency is 3.0%, and the mean daily overall efficiency is 43.9%. With the historical data of the solar intensity and environment temperature in 2010, the predicted mean electrical energy and the thermal energy from the PV/T system were 78 Wh/day and 1,181 Wh/day, respectively at the hot water temperature of 41.7°C.

## KEYWORDS

Solar Energy, Photovoltaic Thermal Water Collector, Flat Plate, Efficiency

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

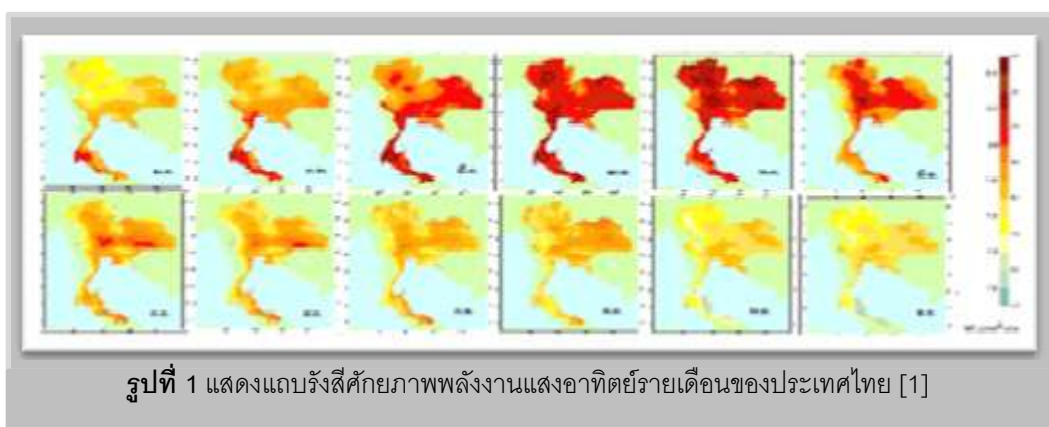
|                  |   |                                                                                                                       |
|------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $(\tau\alpha)_n$ | = | ค่าการทะลุผ่านและค่าการดูดซับแสงอาทิตย์                                                                               |
| $\eta_{th}$      | = | ประสิทธิภาพทางความร้อน                                                                                                |
| $\eta_{el}$      | = | ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า                                                                                                   |
| $U_t$            | = | สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม x เวลา ( $J/m^2K$ ) หรือ ( $MJ/m^2K$ )                                               |
| $U_w$            | = | ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของน้ำที่ไหลผ่านแผง PV/T ( $W/m^2K$ )                                                |
| $M$              | = | มวลของน้ำ (kg)                                                                                                        |
| $\dot{m}$        | = | อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)                                                                                             |
| $C_p$            | = | ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ ( $J/kg-K$ )                                                                                  |
| $T_{in}$         | = | อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเข้าแผง ( $^{\circ}C$ )                                                                              |
| $T_{out}$        | = | อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำออกจากแผง ( $^{\circ}C$ )                                                                            |
| $T_i$            | = | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเริ่มต้นในถังเก็บความร้อนเข้าแผง ( $^{\circ}C$ )                                                  |
| $T_f$            | = | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำสุดท้ายในถังเก็บความร้อน ( $^{\circ}C$ )                                                          |
| $T_a$            | = | อุณหภูมิของอากาศภายนอก ( $^{\circ}C$ )                                                                                |
| $I$              | = | กระแสไฟฟ้า (A)                                                                                                        |
| $V$              | = | แรงดันไฟฟ้า (V)                                                                                                       |
| $t$              | = | เวลา (hr)                                                                                                             |
| $H$              | = | พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงได้รับในช่วงเวลาหนึ่ง $\approx$ ความเข้มแสงอาทิตย์ (G) x เวลา (t)<br>( $J/m^2$ หรือ $MJ/m^2$ ) |
| $A_p$            | = | พื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์: PV/T ( $m^2$ )                                                                          |
| $G$              | = | ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ย ( $W/m^2$ )                                                                             |
| $F_R$            | = | ค่าแฟคเตอร์การดูดความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์                                                                          |

## 1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านพลังงานเป็นปัญหาสำคัญที่มีผลกระทบกับมนุษย์ทั่วโลก ทั้งในต่างประเทศและประเทศไทยเองจึงมีการส่งเสริมให้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปัญหาด้านพลังงาน เห็นได้จากจำนวนงานวิจัยที่เพิ่มมากขึ้นในการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม สาเหตุหลักที่ทำให้ต้องมีการอนุรักษ์พลังงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 สาเหตุหลัก อันได้แก่ การขาดแคลนและหมดสิ้นไปของทรัพยากรด้านพลังงาน สาเหตุที่ 2 ที่ไม่สามารถมองข้ามไปได้เลยก็คือ ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และสาเหตุสุดท้ายซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุทางอ้อมแต่ ณ ปัจจุบันถือว่าเป็นสาเหตุที่สำคัญอีกประการ คือ ปัญหาทางเศรษฐกิจ การใช้แผง PV/T เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดจำกัด ต้องการใช้ทั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าและระบบทำความร้อน และต้องการลดต้นทุนการติดตั้ง จากเดิมต้องติดตั้ง 2 แผงแยกกันเพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตไฟฟ้าแผงหนึ่งและในการผลิตความร้อนอีกแผงหนึ่ง แต่แผง PV/T จะรวมทั้งสองวัตถุประสงค์เข้าด้วยกัน ทำให้ลดการใช้แผงลงเหลือเพียง 1 แผงที่สามารถผลิตได้ทั้งไฟฟ้าและความร้อน แผง PV/T เริ่มนำมาติดตั้งในอาคารขนาดใหญ่ การวิจัยครั้งนี้จะเน้นการพัฒนางานวิจัยก่อนหน้า [5] ในเรื่องการปรับสมรรถนะของระบบแผงเพื่อให้

แผง PV/T เหมาะที่จะติดตั้งสำหรับใช้ในบ้านพักอาศัย งานวิจัยนี้จะใช้แผง PV/T ที่มีขนาดเล็ก ใช้พื้นที่ติดตั้งไม่มากนัก สำหรับการใช้งานในพื้นที่ขนาดเล็ก เนื่องจากโดยส่วนใหญ่พื้นที่ขนาดเล็กหรือบ้านพักอาศัยจะมีการใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนโดยวัตถุดิบจากทรัพยากรสิ้นเปลือง ดังนั้นหากการทำวิจัยนี้ประสบความสำเร็จก็น่าจะเป็นต้นแบบ การใช้พลังงานทางเลือกและลดการใช้พลังงานจากทรัพยากรสิ้นเปลือง เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและช่วยในการอนุรักษ์พลังงานเพิ่มมากขึ้น

## 2. ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

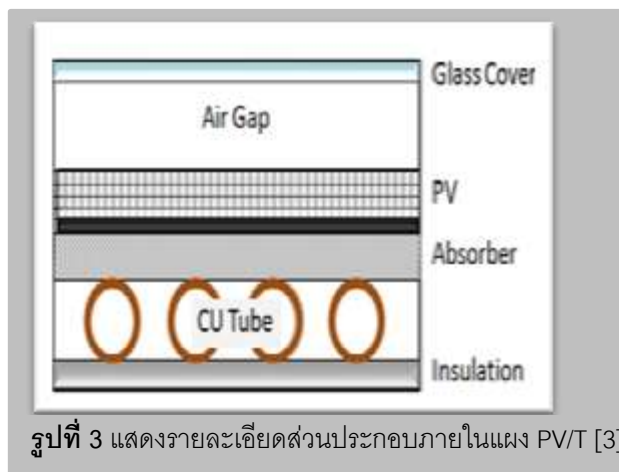


จากข้อมูลของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานร่วมกับคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร[1] ระบุว่าประเทศไทยมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนนั้นได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งประเทศไทยจะได้รับรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม โดยมีค่ารังสีแสงอาทิตย์ในช่วง  $20 - 24 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$  จากรูปที่ 1 แสดงแถบรังสีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือนของประเทศไทย เห็นได้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นที่เหมาะสมเป็นอย่างมาก จากข้อมูลของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ร่วมกับสำนักนโยบายและแผนยุทธศาสตร์ สำนักปลัดกระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน ระบุว่าประเทศไทยได้รับรังสีเฉลี่ยทั่วประเทศในแต่ละวันจะมีค่าประมาณ  $18.2 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$

### 3. แผงรับแสงอาทิตย์แบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Photovoltaic/Thermal: PV/T)



รูปที่ 2 แผง PV/T



รูปที่ 3 แสดงรายละเอียดส่วนประกอบภายในแผง PV/T [3]

แผงรับแสงอาทิตย์แบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (PV/T) เป็นแผงที่ได้แนวคิดและพัฒนามาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มารวมกับแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน โดยแผง PV/T จะใช้ของไหล 2 ชนิดหลักๆ มาเป็นตัวดูดซับความร้อน ได้แก่ น้ำและอากาศ [2] แผง PV/T ที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นแบบ PV/T ประเภทท่อและแผ่นเรียบ เนื่องจากสร้างง่ายและมีราคาถูก และค่าประสิทธิภาพอยู่ในช่วงที่ดีเหมาะกับการนำมาใช้งานจริง

แผง PV/T ที่ใช้ในการทดสอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous Silicon โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดของแผง  $63.5 \times 124.5$  ตารางเซนติเมตร, ขนาดพื้นที่  $0.79$  ตารางเมตร อุณหภูมิการทำงานของแผงตั้งแต่  $-40$  ถึง  $85^{\circ}\text{C}$  กำลังไฟฟ้าของแผงที่ระบุ  $40$  วัตต์ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด  $62.2$  โวลต์ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร  $1.14$  แอมป์ แรงดันไฟฟ้าขณะแผงทำงาน  $44.8$  โวลต์ กระแสไฟฟ้าขณะแผงทำงาน  $0.93$  แอมป์ และประสิทธิภาพของแผงภายใต้ Standard Test Conditions  $5.2\%$  ภายในแผง PV/T มีแผ่นอลูมิเนียมรับความร้อนและท่อทองแดงขดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $0.95$  เซนติเมตร เป็นท่อเดี่ยวต่อแบบอนุกรม ด้านบนแผงปิดด้วยแผ่นกระจกใส ด้านล่างของแผงมีแผ่นฉนวนกันความร้อนขนาด  $0.25$  เซนติเมตร ด้านข้างของแผงระหว่างแผ่นกระจกใสและแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ปิดด้วยฉนวนกันความร้อน กล่องของแผงทำด้วยแผ่นเหล็กพ่นสีกันสนิมปิดทับด้วยแผ่นโลหะบางและฉนวนกันความร้อน ในรูปที่ 3 แสดงรายละเอียดส่วนประกอบภายในแผง PV/T

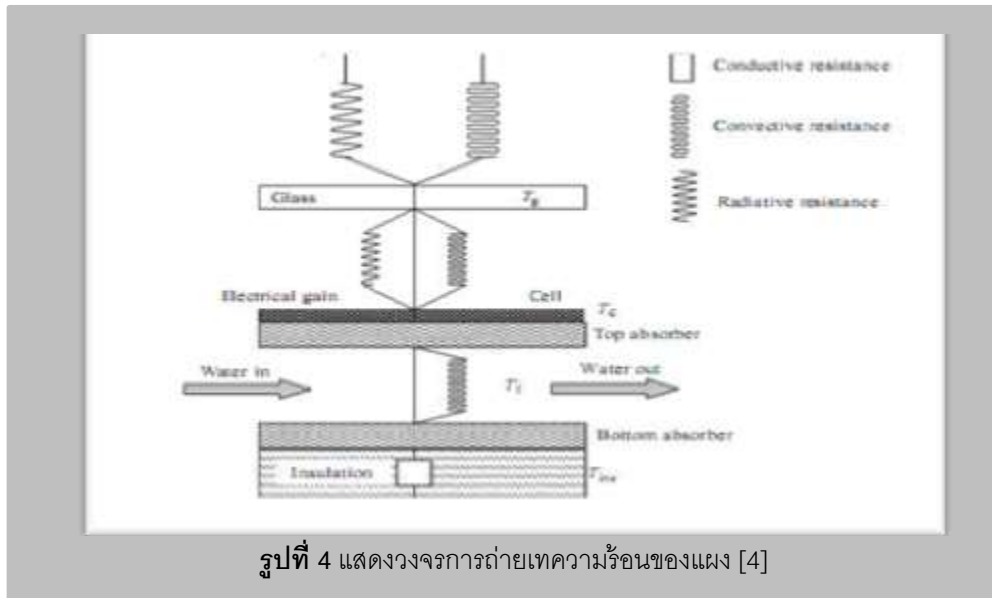
### 4. ระบบวงจรการถ่ายโอนพลังงานจากแสงอาทิตย์กับระบบ PV/T

ในการถ่ายโอนพลังงานแสงอาทิตย์เข้าแผงทดสอบ PV/T สามารถอธิบายได้โดยเมื่อแสงอาทิตย์แผ่รังสีและพาความร้อนผ่านอากาศมากระทบแผง โดยส่วนแรกที่กระทบเป็นแผ่นกระจกจากนั้นก็แผ่รังสีและพาความร้อนมาถึงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นก็เป็นการนำความร้อนไปยังแผ่นรับความร้อนและท่อทองแดง แล้วจึงถ่ายเทความร้อนไปยังน้ำที่เป็นตัวกลางในการรับพลังงานความร้อน [5]

สมการสมดุลพลังงานที่ระบบ PV/T

[แสงอาทิตย์และเวลาที่แผ่น PV/T ได้รับ] = [ความร้อน + ไฟฟ้า] + [พลังงานที่สูญเสียทั้งหมด]

$$(\tau\alpha)_n G A_p = [\dot{m} C_p \Delta T] + [IV] + [U_w A_p (T_p - T_a)] \quad (1)$$



## 5. ประสิทธิภาพแผงและระบบ PV/T

ประสิทธิภาพความร้อนของแผง PV/T [4]

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m} C_p (T_{out} - T_{in})}{H A_p} \quad (2)$$

ในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของระบบ PV/T ซึ่งจะมีทั้งแผง PV/T และถังเก็บน้ำร้อน จึงต้องใช้สมการหาค่าประสิทธิภาพความร้อนของระบบ PV/T ดังนี้

ประสิทธิภาพความร้อนของระบบ PV/T [5]

$$\eta_{th} = \frac{M C_p (T_f - T_i)}{H A_p} \quad (3)$$

ประสิทธิภาพไฟฟ้าของระบบ PV/T [4]

$$\eta_{el} = \frac{IV}{G A_p} \quad (4)$$

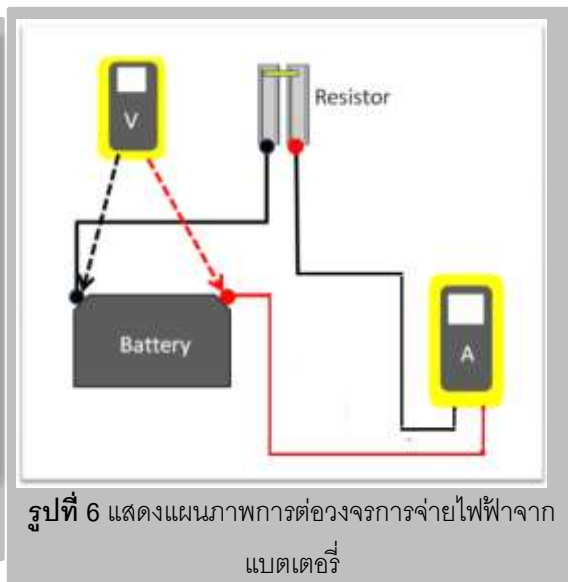
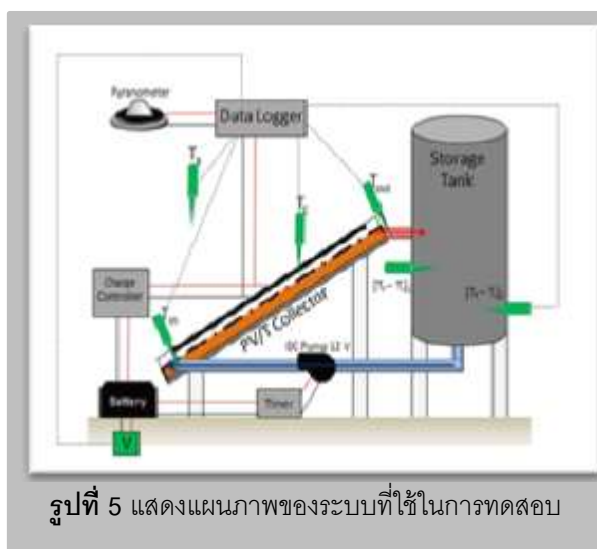
จากสมการ (4) กำลังไฟฟ้าคำนวณได้จากแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากการคายประจุ (Discharge) ออกจากแบตเตอรี่ ดังนั้นประสิทธิภาพทางไฟฟ้าจากแผง PV/T ที่ประจุลงในแบตเตอรี่จึงคำนวณได้จาก

$$\eta_{el} = \frac{IVt}{H A_p} \quad (5)$$

สำหรับอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นและอุณหภูมิน้ำสุดท้ายในถังเก็บความร้อน อุณหภูมิอากาศภายนอก และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะใช้ค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาคำนวณตามสมการข้างต้น ในส่วนของค่าประสิทธิภาพทางความร้อนและไฟฟ้าที่วัดและคำนวณได้จริงซึ่งเป็นผลรวมค่าความร้อนสูญเสียแล้วจึงไม่จำเป็นต้องนำค่าพลังงานความร้อนสูญเสียมาคำนวณ

## 6. การทดสอบแผง PV/T

ทำการทดสอบในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ.2555 ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยใช้พื้นที่บริเวณดาดฟ้าของอาคารอนุสาสน์ยันตรกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่โล่งแจ้งไม่มีเงาที่เกิดจากวัตถุมาบังแสงอาทิตย์ ในการทดสอบใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบ PV/T ซึ่งทำมาจากแผง PV ขนาด 40 W, 60 V นำมาประกอบเข้ากับแผงอลูมิเนียมรับความร้อนที่มีท่อทองแดงขดติดอยู่เพื่อใช้ระบายความร้อนโดยมีน้ำเป็นตัวรับความร้อน ส่วนประกอบทั้งหมดถูกบรรจุลงในกล่องที่บุด้วยฉนวนกันความร้อนและมีกระจกใสปิดเป็นฝาส่วนบนของแผง แผงรับแสงอาทิตย์หันหน้าไปทางทิศใต้ ทำมุม 15° กับพื้นราบ ช่วงเวลาในการทดสอบแผง PV/T ตั้งแต่เวลา 8:00 – 16:00 น. เป็นเวลา 10 วัน ในการบันทึกข้อมูลใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ซึ่งเครื่องจะบันทึกข้อมูลทุกๆ 2 นาที ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง อุณหภูมิน้ำในถังเก็บ อุณหภูมิบรรยากาศ อุณหภูมิแผง ความเข้มแสงอาทิตย์ และแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากแบตเตอรี่เก็บไฟฟ้า ปริมาณน้ำในถังเก็บที่ใช้ในการทดสอบ 80 ลิตร โดยใช้อัตราการไหลของน้ำเข้าแผงประมาณ 1.2 ลิตรต่อวินาที หรือ 72 ลิตรต่อชั่วโมง รูปที่ 5 แสดงแผนภาพของระบบที่ใช้ในการทดสอบ และรูปที่ 6 แสดงแผนภาพการต่อวงจรการจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่



ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดจุดตรวจวัด ค่าที่ตรวจวัด และเครื่องมือการตรวจวัดการทำงานของระบบแผงทดสอบ PV/T

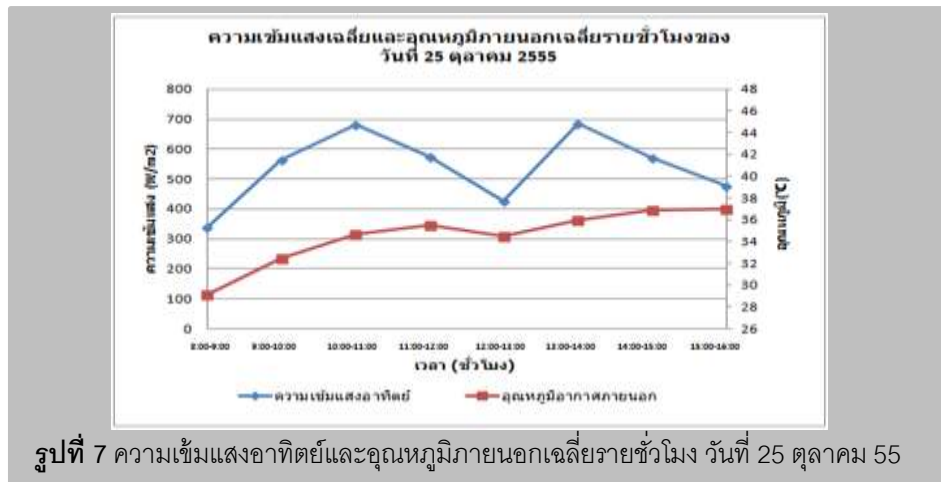
| จุดตรวจวัดที่ | บริเวณจุดตรวจวัด          | ค่าที่ตรวจวัด                  | เครื่องมือการตรวจวัด         |
|---------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 1             | จุดการเติมน้ำเข้าถัง      | ปริมาณน้ำที่กำหนดไว้ (80 ลิตร) | มิเตอร์วัดน้ำ                |
| 2             | จุดน้ำเข้าแผง PV/T        | อุณหภูมิน้ำ                    | เทอร์โมคัปเปิล               |
| 3             | จุดน้ำออกจากแผง PV/T      | อุณหภูมิน้ำ                    | เทอร์โมคัปเปิล               |
| 4             | น้ำในถังจุดที่ 1          | อุณหภูมิน้ำ                    | เทอร์โมคัปเปิล               |
| 5             | น้ำในถังจุดที่ 2          | อุณหภูมิน้ำ                    | เทอร์โมคัปเปิล               |
| 6             | สิ่งแวดล้อม               | อุณหภูมิอากาศ                  | เทอร์โมคัปเปิล               |
| 7             | แผง PV                    | อุณหภูมิแผง PV                 | เทอร์โมคัปเปิล               |
| 8             | จุดตรวจความเข้มแสงอาทิตย์ | ความเข้มแสงอาทิตย์             | เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ |
| 9             | แบตเตอรี่                 | แรงดันไฟฟ้า (Volt)             | เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า        |

จากตารางที่ 1 จุดตรวจวัดที่ 2 จุดน้ำเข้าแผง PV/T และจุดตรวจวัดที่ 3 จุดน้ำออกจากแผง PV/T เพื่อใช้เป็นค่าในการคำนวณหาประสิทธิภาพของแผง PV/T แต่ในงานวิจัยนี้คำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ PV/T ดังนั้นในการคำนวณจึงใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเริ่มต้นและสุดท้ายในถังเก็บน้ำร้อนแทน ในส่วนของค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าแผงและออกพานั้นเป็นการตรวจเพื่อแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในเวลาที่เปลี่ยนไปเท่านั้น ในส่วนของจุดตรวจวัดที่ 9 แบตเตอรี่ เป็นจุดตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ไม่ใช่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่นำมาคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าของระบบ หากแต่เป็นการตรวจวัดเพื่อให้ทราบค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงประจุผ่านเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ เพื่อให้ทราบค่าแรงดันไฟฟ้า ณ ขณะทำการทดสอบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจะไม่เกินจนส่งผลเสียต่อการทำงานของแบตเตอรี่ ซึ่งในส่วนการหาพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพไฟฟ้าของระบบนั้นจะทำการทดสอบการดิงประจุหลังจากการทดสอบระบบแผงเป็นเวลา 8 ชั่วโมงแล้ว รายละเอียดการต่อวงจรการจ่ายไฟฟ้าของแบตเตอรี่แสดงในรูปที่ 6 ที่แสดงในข้างต้น

## 7. ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอก

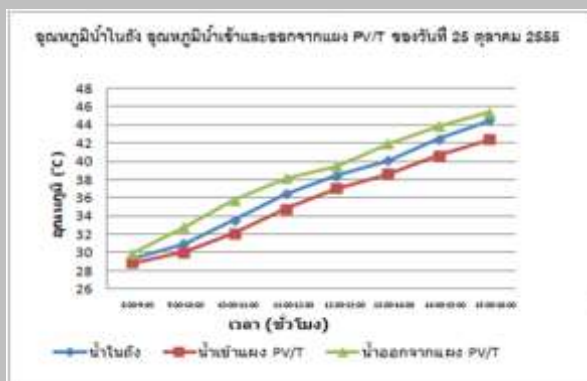
ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมงของวันที่ 25 ตุลาคม 2555 บริเวณศาลาฟ้าของอาคารอนุสาสน์ยันตรกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร แสดงในรูปที่ 7 ซึ่งมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยและค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเวลา 8:00 ถึง 16:00 น. มีค่า 539 และ 685 W/m<sup>2</sup> ตามลำดับ และอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยมีค่า 34.5 °C



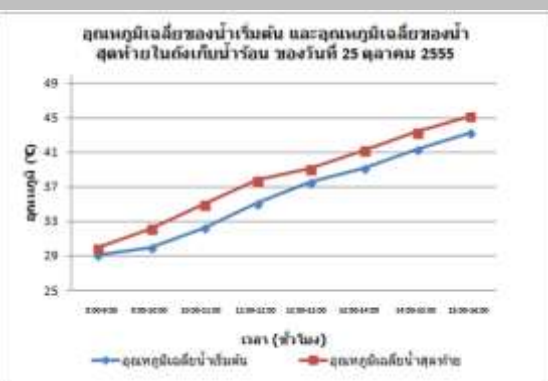


## 8. ผลการทดสอบระบบ PV/T

ข้อมูลในรูปที่ 8 แสดงอุณหภูมิน้ำในถัง อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง PV/T เฉลี่ยรายชั่วโมงของวันที่ 25 ตุลาคม 2555 และข้อมูลในรูปที่ 9 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเริ่มต้นในถังเก็บน้ำร้อน และอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำสุดท้ายในถังเก็บน้ำร้อน ของวันที่ 25 ตุลาคม 2555 อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเริ่มต้น  $29.1^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิเฉลี่ยน้ำสุดท้าย  $45.2^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 8 อุณหภูมิของน้ำในถัง เข้าและออกจากแผงเฉลี่ย รายชั่วโมง วันที่ 25 ตุลาคม 55



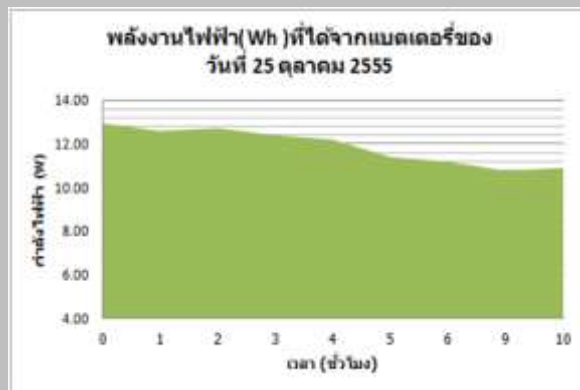
รูปที่ 9 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเริ่มต้นในถังเก็บน้ำร้อน และอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำสุดท้ายในถังเก็บน้ำร้อน วันที่ 25 ตุลาคม 55

ข้อมูลในตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดในการดิงประจุไฟฟ้า (Discharge) จากแบตเตอรี่ ของวันที่ 25 ตุลาคม 2555 โดยมี ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า และเวลาในการดิงประจุ จึงได้ค่าพลังงานไฟฟ้า และรูปที่ 10 แสดงกราฟพลังงานไฟฟ้า (Wh) จากแบตเตอรี่ของวันที่ 25 ตุลาคม 2555 ดังนี้

### ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดในการดิงประจุไฟฟ้า

(Discharge) จากแบตเตอรี่ ของวันที่ 25 ตุลาคม 55

| เวลา<br>(ชั่วโมง) | แรงดันไฟฟ้า<br>(V) | กระแสไฟฟ้า<br>(I) | กำลังไฟฟ้า<br>(W) | กำลังไฟฟ้ารวม<br>ชั่วโมง (Wh) |
|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|
| 0                 | 12.32              | 1.05              | 12.94             | 0.00                          |
| 1                 | 12.22              | 1.03              | 12.59             | 12.59                         |
| 2                 | 12.11              | 1.05              | 12.72             | 25.43                         |
| 3                 | 12.03              | 1.03              | 12.39             | 37.17                         |
| 4                 | 11.95              | 1.02              | 12.19             | 48.76                         |
| 5                 | 11.51              | 0.99              | 11.39             | 56.97                         |
| 6                 | 11.41              | 0.98              | 11.18             | 67.09                         |
| 9                 | 11.22              | 0.95              | 10.77             | 95.94                         |
| 10                | 11.12              | 0.95              | 10.90             | 108.98                        |



รูปที่ 10 แสดงกราฟพลังงานไฟฟ้า (Wh) จากแบตเตอรี่  
ของวันที่ 25 ตุลาคม 55

ประสิทธิภาพไฟฟ้าของระบบ PV/T หาได้จากการดิงประจุไฟฟ้า (Discharge) ออกจากแบตเตอรี่ขนาด 12V 18Ah วันที่ 25 ตุลาคม 2555 โดยแบตเตอรี่ให้พลังงานไฟฟ้าออกมาได้ 109.0 Wh เมื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพไฟฟ้ารายวันของวันที่ 25 ตุลาคม 2555 ได้ค่าประสิทธิภาพไฟฟ้ารายวัน 3.2% ประสิทธิภาพความร้อนรายวัน 44.0% ดังนั้นประสิทธิภาพรวมรายวัน มีค่า 47.2% ที่ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย  $539 \text{ W/m}^2$  และอัตราการไหลของน้ำที่ 1.2 ลิตรต่อวินาที ในตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดจากการคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนรายชั่วโมงของระบบ PV/T ทั้ง 10 วันที่ทำการทดสอบ ในตารางที่ 4 แสดงรายละเอียดจากการคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อนรายวันของระบบ PV/T ทั้ง 10 วันที่ทำการทดสอบ โดยใช้อัตราการไหล 1.2 ลิตรต่อวินาทีหรือ 72 ลิตรต่อชั่วโมง และในตารางที่ 5 แสดงรายละเอียดจากการคำนวณหาประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวันของแบตเตอรี่ขนาด 12V 18Ah เป็นเวลา 5 วันที่ทำการทดสอบ

### ตารางที่ 3 แสดงประสิทธิภาพทางความร้อนรายชั่วโมง (อัตราการไหลของน้ำ 72 ลิตรต่อชั่วโมง)

| วันที่     | ประสิทธิภาพทางความร้อนรายชั่วโมงของระบบแผง PV/T ในอัตราการไหลของน้ำเข้าแผง 72 ลิตรต่อชั่วโมง (%) |              |              |              |              |              |              |              |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|            | ชั่วโมงที่ 1                                                                                     | ชั่วโมงที่ 2 | ชั่วโมงที่ 3 | ชั่วโมงที่ 4 | ชั่วโมงที่ 5 | ชั่วโมงที่ 6 | ชั่วโมงที่ 7 | ชั่วโมงที่ 8 |
| 17 ต.ค. 55 | 36.5                                                                                             | 31.4         | 52.8         | 36.8         | 44.3         | 54.7         | 2.5          | 13.1         |
| 18 ต.ค. 55 | 30.8                                                                                             | 42.3         | 51.5         | 47.2         | 67.9         | 33.3         | 27.2         | 5.1          |
| 19 ต.ค. 55 | 34.5                                                                                             | 49.9         | 43.9         | 33.8         | 45.6         | 33.2         | 29.0         | 49.2         |
| 20 ต.ค. 55 | 6.6                                                                                              | 42.1         | 57.7         | 46.2         | 35.5         | 52.1         | 34.1         | 19.8         |
| 21 ต.ค. 55 | 4.3                                                                                              | 27.2         | 34.2         | 42.4         | 45.5         | 46.7         | 43.1         | 14.4         |
| 25 ต.ค. 55 | 27.9                                                                                             | 45.9         | 47.6         | 54.4         | 44.3         | 35.2         | 41.3         | 48.3         |
| 26 ต.ค. 55 | 21.2                                                                                             | 44.7         | 55.5         | 47.0         | 36.2         | 48.8         | 28.6         | -6.0         |
| 27 ต.ค. 55 | 24.5                                                                                             | 43.1         | 41.2         | 42.7         | 39.8         | 46.6         | 36.4         | 14.6         |
| 28 ต.ค. 55 | 34.4                                                                                             | 50.0         | 46.5         | 53.0         | 43.0         | 44.7         | 21.9         | 31.1         |
| 29 ต.ค. 55 | 11.4                                                                                             | 59.1         | 17.3         | 48.9         | 32.4         | 66.0         | -12.9        | 12.3         |

ตารางที่ 4 แสดงประสิทธิภาพทางความร้อนรายวัน (อัตราการไหลของน้ำ 72 ลิตรต่อชั่วโมง)

| ประสิทธิภาพทางความร้อนรายวันของระบบแผง PV/T ในอัตราการไหลของน้ำเข้าแผง 72 ลิตรต่อชั่วโมง (%) |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 17 ต.ค. 55                                                                                   | 18 ต.ค. 55 | 19 ต.ค. 55 | 20 ต.ค. 55 | 21 ต.ค. 55 | 25 ต.ค. 55 | 26 ต.ค. 55 | 27 ต.ค. 55 | 28 ต.ค. 55 | 29 ต.ค. 55 |
| 41.9                                                                                         | 42.4       | 43.5       | 41.0       | 38.5       | 44.0       | 40.7       | 39.2       | 43.1       | 34.3       |

ตารางที่ 5 แสดงประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวัน (ขนาดแบตเตอรี่ 12V 18Ah)

| ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวันของระบบแผง PV/T กับแบตเตอรี่ขนาด 12V 18Ah (%) |            |            |            |            |
|------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 25 ต.ค. 55                                                             | 26 ต.ค. 55 | 27 ต.ค. 55 | 28 ต.ค. 55 | 29 ต.ค. 55 |
| 3.2                                                                    | 3.2        | 2.9        | 2.9        | 2.6        |

## 9. การหาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพกับพารามิเตอร์ที่สำคัญ

การหาความสัมพันธ์นี้เป็นการนำข้อมูลของประสิทธิภาพทางความร้อนและไฟฟ้าของระบบ PV/T กับค่าตัวแปร (Ti-Ta)/H มาพล็อตกราฟเป็นสมการเส้นตรงตามมาตรฐานของ ASHRAE 93-77 [6] ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้สมการของประสิทธิภาพความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบดังนี้

$$GA_p(\tau\alpha)_n = [\dot{m}C_p(T_{out} - T_{in})] + [U_w A_p(T_p - T_a)] \quad (6)$$

แต่ในงานวิจัยนี้ใช้การหาประสิทธิภาพของระบบ PV/T จึงใช้เวลา  $t$  คูณเข้าไปกับค่าแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่แผ่น PV/T ได้รับ ด้วย เปลี่ยนจากการใช้อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ  $\dot{m}$  เป็นมวลของน้ำ  $M$  แทน และเปลี่ยนจากการใช้อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำเข้าแผง  $T_{in}$  และน้ำออกจากแผง  $T_{out}$  เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเริ่มต้นในถังเก็บน้ำร้อน  $T_i$  และน้ำสุดท้ายในถังเก็บน้ำร้อน  $T_f$  แทน จึงเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$GtA_p(\tau\alpha)_n = [MC_p(T_f - T_i)] + [U_t A_p(T_p - T_a)] \quad (7)$$

$$HA_p(\tau\alpha)_n = [MC_p(T_f - T_i)] + [U_t A_p(T_p - T_a)] \quad (8)$$

การหาพลังงานความร้อนของระบบ PV/T จากสมการข้างต้นจะได้

$$Q_{th} = HA_p(\tau\alpha)_n - [U_t A_p(T_p - T_a)] \quad (9)$$

การหาประสิทธิภาพความร้อนของระบบ PV/T จะมีสมการในรูปของสมการที่ (3) ในข้างต้นที่กล่าวมา ดังนั้นเมื่อหาประสิทธิภาพความร้อนของระบบ PV/T จะได้สมการดังนี้

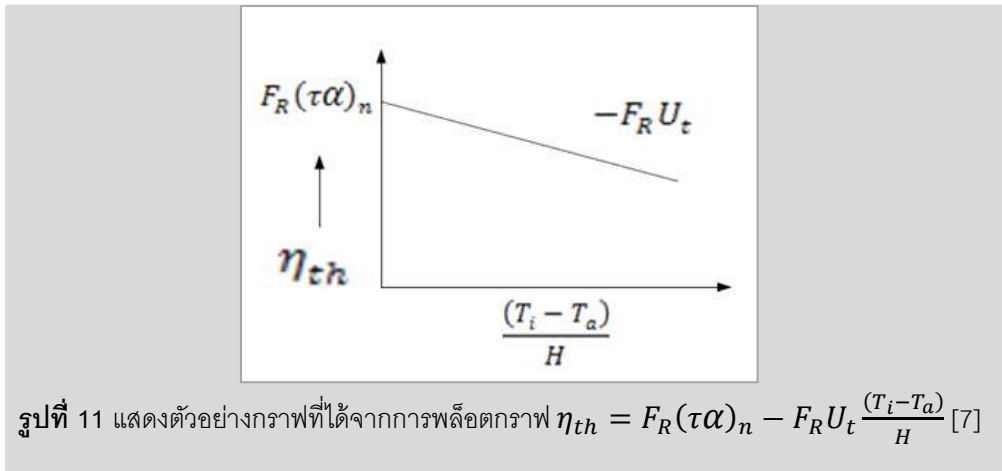
$$\eta_{th} = (\tau\alpha)_n - U_t \frac{(T_p - T_a)}{H} \quad (10)$$

ตามมาตรฐานของ ASHRAE 93-77 แนะนำให้จัดรูปแบบของการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบซึ่งแสดงสมรรถนะทางความร้อนในรูปสมการเส้นตรง โดยใช้ค่าแฟคเตอร์การสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์

(Heat Removal Factor,  $F_R$ ) เพื่อให้สามารถใช้อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นจากถังเก็บน้ำร้อนเข้าแผงแทนอุณหภูมิของแผ่นดูดซับความร้อนได้ดังนี้

$$\eta_{th} = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_t \frac{(T_i - T_a)}{H} \quad (11)$$

เมื่อนำมาพล็อตกราฟสมการเส้นตรงจะได้ข้อมูลแกน X เป็นค่า  $(T_i - T_a)/H$  และแกน Y เป็นค่าประสิทธิภาพความร้อนของระบบ  $\eta_{th}$  จะได้กราฟความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชันติดลบ [7] โดยที่ความชันของกราฟมีค่าเท่ากับ  $-F_R U_t$  และจุดตัดแกน Y มีค่าเท่ากับ  $F_R(\tau\alpha)_n$  ดังรูปที่ 11 แสดงตัวอย่างกราฟที่ได้จากการพล็อตกราฟ  $\eta_{th} = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_t \frac{(T_i - T_a)}{H}$



เมื่อแทนค่า  $F_R(\tau\alpha)_n$  เป็น A และแทนค่า  $-F_R U_t$  เป็น -B จึงเขียนรูปสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\eta_{th} = A - B \frac{(T_i - T_a)}{H} \quad (12)$$

ซึ่ง A และ B เป็นค่าคงที่จากการพล็อตกราฟสมการเส้นตรง

ในส่วนของประสิทธิภาพไฟฟ้าของระบบแผง PV/T จะประยุกต์ใช้สมการตามแบบ ASHRAE 93-77 มีความเกี่ยวข้องกัน เช่นเดียวกับประสิทธิภาพความร้อน เนื่องจากเป็นประสิทธิภาพทางความร้อนที่มีการผลิตไฟฟ้า และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่มีการผลิตความร้อน จึงสามารถเขียนสมการประสิทธิภาพไฟฟ้าในรูปสมการการถดถอยเชิงเส้นตามรูปแบบของมาตรฐาน ASHRAE ดังนี้

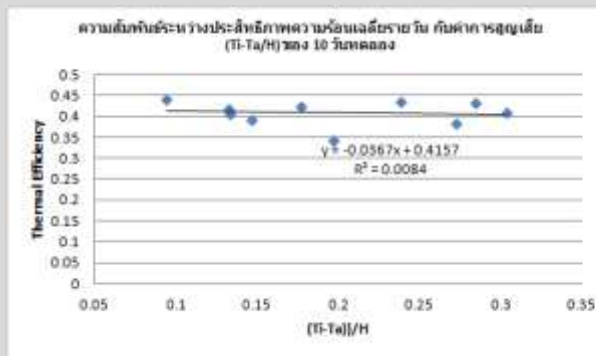
$$\eta_{el} = C - D \frac{(T_i - T_a)}{H} \quad (13)$$

ซึ่ง C และ D เป็นค่าคงที่จากการพล็อตกราฟสมการเส้นตรง

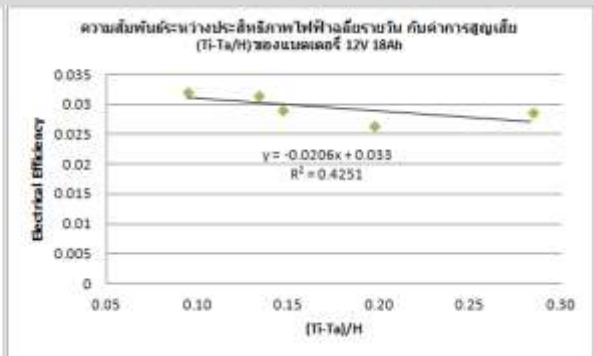
จากงานวิจัยนี้เมื่อพล็อตกราฟตามรูปแบบของ ASHRAE 93-77 จึงได้ค่า A B C และ D ในสมการเพื่อใช้ในการหาพลังงานความร้อนและไฟฟ้าตลอดทั้งปีดังต่อไปนี้

$$\eta_{th} = 0.4157 - 0.0367 \frac{(T_i - T_a)}{H} \quad (14)$$

$$\eta_{el} = 0.033 - 0.0206 \frac{(T_i - T_a)}{H} \quad (15)$$



รูปที่ 12 กราฟแสดงประสิทธิภาพความร้อนเฉลี่ยรายวัน  
เปรียบเทียบกับ (Ti-Ta)/H ของ 10 วันทดลอง



รูปที่ 13 กราฟแสดงประสิทธิภาพไฟฟ้าเฉลี่ยรายวัน  
เปรียบเทียบกับ (Ti-Ta)/H ของแบตเตอรี่ขนาด 12V 18Ah

จากสมการสามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ความสามารถของระบบ PV/T ที่ผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าตลอดทั้งปี ได้โดยใช้ข้อมูลของอุณหภูมิอากาศภายนอก และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปีซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลปี 2553 จาก กรมอุตุนิยมวิทยา มาวิเคราะห์พบว่าพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่ระบบ PV/T ผลิตได้ทั้งปีมีค่า 102 MJ และ 1,476 MJ ตามลำดับ ดังนั้นจากการพยากรณ์พลังงานความร้อนและไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระบบ PV/T ผลิตได้ตลอดทั้งปี สามารถผลิต พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนได้ 78 Wh/day และ 1,181 Wh/day เมื่อคำนวณหาความร้อนเฉลี่ยของน้ำ 80 ลิตร ที่แผงผลิตได้ใน 1 วันเฉลี่ยมีค่า 41.7 °C เมื่อทราบค่าพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แผงผลิตได้ใน 1 วันแล้วจะ สามารถนำมาใช้วิเคราะห์เกี่ยวกับการนำมาใช้ประโยชน์ด้านการเพิ่มจำนวนแผง PV/T ให้เหมาะสมกับความต้องการใช้ พลังงานไฟฟ้าและปริมาณน้ำที่ได้จากการเพิ่มแผงต่อไป

## 10. สรุป

จากการศึกษาและทดสอบสมรรถนะของระบบ PV/T ขนาดพื้นที่ของแผง 0.97 m<sup>2</sup> ใช้ปริมาณน้ำการทดสอบ 80 ลิตร อัตราการไหลของน้ำเข้าแผงที่ 1.2 ลิตรต่อนาที หรือ 72 ลิตรต่อชั่วโมง โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 10 วัน มี วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลเบื้องต้นของประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ประสิทธิภาพความร้อน และประสิทธิภาพรวมของ ระบบ PV/T จึงสรุปได้ว่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวันของระบบ PV/T คือ 3.0% ประสิทธิภาพทางความร้อนรายวันของ ระบบ PV/T คือ 40.9% และในส่วนประสิทธิภาพรวมเฉลี่ยรายวันของระบบ PV/T คือ 43.9% และจากการพยากรณ์โดยใช้ ข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอกปี 2553 สามารถหาค่าการพยากรณ์ที่ระบบ PV/T สามารถ ผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนเฉลี่ยได้ 78 Wh/day และ 1,181 Wh/day ที่อุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ย 41.7 °C ตามลำดับ

## บรรณานุกรม

- [1] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. แผนที่ยกยภาพพลังงานแสงอาทิตย์, กันยายน 2542.
- [2] เขียววิษณุ เถาว์หิรัญ. สมรรถนะของแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อน ชนิดแผ่นเรียบแบบใช้น้ำถ่ายเทความร้อน สำหรับใช้กับบ้านพักอาศัย. เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- [3] วิทยา ยงเจริญ. การศึกษาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบ PV/T. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, ตุลาคม, 2554.
- [4] สมชาย มณีวรรณ, ณรงค์ศักดิ์ พลแก้ว, และนิพนธ์ เกตุจ้อย. การเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบแบบใช้แผ่นปิดใสด้านบนและแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่แตกต่างกัน. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3, 23-25 พฤษภาคม 2550
- [5] ASHRAE, Standard 93-77. 1977. Methods of Testing Determine the Thermal Performance of Solar Collectors. American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers. New York
- [6] H.A. Zondag, D.W. de Vries, W.G.J. van Helden, R.J.C. van Zolingen, A.A. van Steenhoven. The yield of different combined PV-thermal collector designs. Solar Energy 74(2003): 253-269.
- [7] Ji Jie, Han Jun, Chow Tin-tai, Yi Hua, Lu Jianping, He Wei, Sun Wei. Effect of fluid flow and packing factor on energy performance of a wall-mounted hybrid photovoltaic/water-heating collector system. Energy and Buildings 38(2006): 1380-1387.