

สมรรถนะของแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อน ชนิดแผ่นเรียบแบบใช้น้ำถ่ายเทความร้อน
สำหรับใช้กับบ้านพักอาศัย

นายเชียววิชญ์ เถาว์หิรัญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

PERFORMANCE OF FLAT-PLATE PHOTOVOLTAIC/THERMAL WATER COLLECTOR
FOR RESIDENTIAL APPLICATION

Mr. Tienrawit Taohiran

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and Management

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

สมรรถนะของแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อน
ชนิดแผ่นเรียบแบบใช้น้ำถ่ายเทความร้อน
สำหรับใช้กับบ้านพักอาศัย

โดย

นายเชิรวิชญ์ เถาว์หิรัญ

สาขาวิชา

เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวลัย วิวรรณะเดช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ์ เข็ยมสอาด)

เชียววิชญ์ เกาว์ศิริ : สมรรถนะของแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อน ชนิดแผ่นเรียบแบบใช้น้ำถ่ายเทความร้อน สำหรับใช้กับบ้านพักอาศัย. (PERFORMANCE OF FLAT-PLATE PHOTOVOLTAIC / THERMAL WATER COLLECTOR FOR RESIDENTIAL APPLICATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. วิทยา ยงเจริญ, 136 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะของระบบแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อน ชนิดแผ่นเรียบแบบใช้น้ำถ่ายเทความร้อนที่มีขนาด 0.79 ตารางเมตร ซึ่งต่อเข้ากับถังน้ำร้อนที่มีปริมาตรน้ำ 120 ลิตร โดยทดสอบในกรณีหมุนเวียนน้ำด้วยปั๊มขนาดเล็ก และกรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ แผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนติดตั้งบนคานฟ้าของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วางหันไปทางทิศใต้ ทำมุม 15 องศาในแนวระดับ ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นในถังเก็บ อุณหภูมิน้ำเข้าแผง และอุณหภูมิอากาศภายนอก การเก็บข้อมูลจะเก็บในช่วงเวลาตั้งแต่ 8.00 – 16.00 น. ทุก ๆ 2 นาที แล้วนำข้อมูลที่ได้นำมาทำเป็นข้อมูลรายชั่วโมง และข้อมูลรายวัน จากนั้นนำข้อมูลรายวันมาคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อน และประสิทธิภาพทางไฟฟ้า และหาพลังงานความร้อนรายปีจากการประยุกต์ใช้สมการประสิทธิภาพจากการทดสอบ $\eta_{th} = 0.2532 - 0.0579 \frac{(T_i - T_a)}{H}$ ทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ย 25% ส่วนพลังงานไฟฟ้าได้จากการประยุกต์ใช้สมการประสิทธิภาพเฉลี่ยจากการทดสอบ $\eta_{el} = 0.0306 - 0.0105 \frac{(T_i - T_a)}{H}$ และทราบว่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเฉลี่ย 3% ดังนั้นประสิทธิภาพเฉลี่ยรวมของระบบเท่ากับ 28% สำหรับพลังงานรายปีที่ได้จากระบบแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อน โดยอาศัยข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอก ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 – พฤศจิกายน พ.ศ. 2554 เป็นระยะเวลา 1 ปี พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้ มีค่าเท่ากับ 1,023 MJ และ 127 MJ ตามลำดับ เมื่อทราบค่าพลังงานที่ได้จากระบบแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนแล้ว จะนำข้อมูลไปใช้หาจำนวนของแผงที่เหมาะสม เพื่อตอบสนองความต้องการใช้พลังงานความร้อนและไฟฟ้าในส่วนของบ้านพักอาศัย

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงานลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2554ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

5387534920 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORDS : PHOTOVOLTAIC THERMAL PERFORMANCE / FLAT PLATE PVT

TIENRAWIT TAOHIRAN : PERFORMANCE OF FLAT-PLATE PHOTOVOLTAIC
THERMAL WATER COLLECTOR FOR RESIDENTIAL APPLICATION.

ADVISOR : ASSOC. PROF. WITHAYA YONGCHAREON, Ph.D., 136 pp.

This research studied the performance of flat-plate photovoltaic/thermal system. The thermal side is a sheet and tube type using water to transfer heat. The panel area is 0.79 m^2 and connected to the insulated tank which storage 120 litres of water. The test divided in two cases, the small-size circulating pump was used in the first case and the natural circulating in the second case. The panel system was installed on the roof deck of building 5 in Chulalongkorn University at the angle of 15 degrees to the horizontal plane and facing the south direction. The important parameters that affect the system are solar intensity, initial water temperature, inlet water temperature and ambient temperature. The data were collected during 8.00 AM - 4.00 PM in two minutes interval and convert the data into hourly and daily basis.

Then the daily data was used to calculate thermal efficiency and electrical efficiency. The efficiency equation was obtain as $\eta_{th} = 0.2532 - 0.0579 \frac{(T_i - T_a)}{H}$ and this equation is applied to calculate the annual thermal energy. The average thermal efficiency was 25%. The electrical efficiency was also obtain as $\eta_{el} = 0.0306 - 0.0105 \frac{(T_i - T_a)}{H}$. The average electrical efficiency was 3% and average total system efficiency was 28%. For the calculation of yearly energy that received from the system on the solar intensity and ambient temperature data of Thai Meteorology Department at Bangkok station since December, 2010 to November, 2011 is used. The result showed that the average thermal energy and electrical efficiency was 1,023 MJ and 127 MJ respectively.

Field of Study : Energy Technology and Management Student's Signature

Academic Year : 2011 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือและความกรุณา จากอาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ ซึ่งได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ คอยช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่าง ๆ ในทุกสิ่งที่เป็นประโยชน์กับผู้วิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนการศึกษา และให้กำลังใจมาโดยตลอด ไม่ว่าจะเจออุปสรรคใดก็ทำให้มีพลังในการฟันฝ่าอุปสรรคนั้นมาได้จนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4

	หน้า
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	11
ประเภทของแผง PV/T.....	11
รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกมายังพื้นโลก.....	19
ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย.....	21
ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศ.....	22
ประสิทธิภาพของระบบ PV/T.....	25
การหาประสิทธิภาพรวมของแผง PV/T.....	28
การหาประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ PV/T.....	31
การหาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของระบบ PV/T.....	35
การหาพลังงานความร้อนที่ได้จากแผง PV/T.....	36
การหาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV/T.....	36
การใช้ประโยชน์จากแผง PV/T สำหรับบ้านพักอาศัย.....	37
วิธีคำนวณจำนวนแผง PV/T สำหรับการใช้งานกรณีใช้ไฟฟ้าเป็นหลัก.....	38
บทที่ 4 การดำเนินการทดสอบและชุดอุปกรณ์	39
ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	39
ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล.....	44
วิธีการทดสอบ.....	48

บทที่ 5 ผลการทดสอบ	51
ผลการทดสอบรายชั่วโมงกรณีหมุนเวียนน้ำโดยใช้ปริมาณน้ำขนาดเล็ก.....	51
ผลการทดสอบรายชั่วโมงกรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ.....	55
ผลจากการทดสอบที่อุณหภูมิน้ำเข้าแผงที่ 30, 35, 40, 45 และ 50°C.....	59
ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อนและไฟฟ้า.....	61
ผลจากการใช้ประโยชน์พลังงานความร้อนและไฟฟ้าที่ได้.....	64
บทที่ 6 อภิปรายและสรุปผลการทดสอบ	68
อภิปรายและสรุปผลการทดสอบ.....	68
ข้อเสนอแนะ.....	72
รายการอ้างอิง	74
ภาคผนวก	76
ภาคผนวก ก.....	77
ภาคผนวก ข.....	83
ภาคผนวก ค.....	86
ภาคผนวก ง.....	101
ภาคผนวก จ.....	108
ภาคผนวก ฉ.....	111
ภาคผนวก ช.....	123
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	136

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของแผง PV/T แบบต่าง ๆ.....	7
ตารางที่ 3.1 ความเข้มแสงอาทิตย์ตั้งแต่เดือน ธ.ค. 53 – พ.ย. 54.....	23
ตารางที่ 3.2 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมง เดือน ธ.ค. 53 – พ.ย. 54.....	24
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดแผง PV ที่ใช้ทำระบบแผง PV/T.....	40
ตารางที่ 4.2 รายละเอียดของถังน้ำร้อนและอุปกรณ์.....	40
ตารางที่ 5.1 ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม 2555.....	51
ตารางที่ 5.2 ประสิทธิภาพทางความร้อนกรณีใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำ.....	54
ตารางที่ 5.3 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ากรณีใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำ.....	54
ตารางที่ 5.4 ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 6 เมษายน 2555.....	55
ตารางที่ 5.5 ประสิทธิภาพทางความร้อนหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ.....	58
ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ากรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ.....	58
ตารางที่ 5.7 ข้อมูลในช่วงอุณหภูมิน้ำเข้าแผง 30, 35, 40, 45 และ 50°C.....	59
ตารางที่ 5.8 ประสิทธิภาพรายชั่วโมงในช่วงอุณหภูมิน้ำเข้าแผง 30, 35, 40, 45 และ 50°C.....	60
ตารางที่ 5.9 การใช้ประโยชน์จากไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV/T สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า.....	66
ตารางที่ 5.10 การใช้ประโยชน์จากน้ำร้อนที่ได้จากแผง PV/T ในการทำน้ำอุ่น.....	67

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ประสิทธิภาพรายวันของระบบ PV/T เปรียบเทียบกับระบบ Solar Water Heater แบบธรรมดา.....	5
รูปที่ 2.2 ประสิทธิภาพรวมของระบบ PV/T กับอัตรการไหล ในรูปแบบ Single Pass Rectangular Tunnel Absorber.....	8
รูปที่ 2.3 ประสิทธิภาพรวมของระบบ PV/T กับอัตรการไหล ในรูปแบบ Spiral Flow Absorber.....	9
รูปที่ 2.4 ประสิทธิภาพเทียบกับอัตรการไหลของแผง PV/T ชนิด a-silicon และ c-silicon.....	10
รูปที่ 3.1 ภาคตัดขวางของแผง Air – Based PV/T.....	12
รูปที่ 3.2 ภาคตัดขวางของแผง Water – Based PV/T.....	13
รูปที่ 3.3 ภาคตัดขวางของระบบแผง Refrigerant – Based PV/T.....	14
รูปที่ 3.4 แผนภาพของแผง Heat – Pipe – Based PV/T 3 ชนิดที่มีช่องเล็ก ๆ เรียงกันเป็นแถว.....	15
รูปที่ 3.5 ลักษณะของ Flat – Plate PV/T.....	16
รูปที่ 3.6 ลักษณะการใช้งานของ Building Integrated PV/T.....	17
รูปที่ 3.7 ลักษณะของแผง Concentrating V – Trough PV/T.....	18
รูปที่ 3.8 สมดุลรังสีดวงอาทิตย์กับบรรยากาศ.....	19
รูปที่ 3.9 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย พ.ศ. 2542.....	21

รูปที่ 3.10 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง เดือน ธ.ค. 53 – พ.ย. 54	24
รูปที่ 3.11 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมง เดือน ธ.ค. 53 – พ.ย. 54	25
รูปที่ 3.12 แสดงการเปรียบเทียบ PV, Solar Thermal และ PV/Thermal	26
รูปที่ 3.13 วงจรการถ่ายเทความร้อนของแผง PV/T	27
รูปที่ 4.1 ชุดแผง PV/T และถังน้ำร้อน	39
รูปที่ 4.2 แผ่นอลูมิเนียมและขดท่อทองแดงใต้แผ่น PV	40
รูปที่ 4.3 ป้อนน้ำ DC 12 Volt สำหรับหมูนเวียนน้ำ	41
รูปที่ 4.4 Wire Wound Resistor ที่ต่ออนุกรมกัน	42
รูปที่ 4.5 เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง DC Power Supply	43
รูปที่ 4.6 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer)	44
รูปที่ 4.7 เทอร์โมคัปเปิล Type K	45
รูปที่ 4.8 เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)	46
รูปที่ 4.9 คอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูล	47
รูปที่ 4.10 แผนภาพการทดสอบระบบ PV/T กรณีหมูนเวียนน้ำแบบใช้ปั๊ม	48
รูปที่ 4.11 แผนภาพการทดสอบระบบ PV/T กรณีหมูนเวียนน้ำแบบธรรมชาติ	50
รูปที่ 5.1 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 21 มี.ค. 55	52
รูปที่ 5.2 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 21 มี.ค. 55	52
รูปที่ 5.3 อุณหภูมิน้ำในถังและอากาศภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมงวันที่ 21 มี.ค. 55	53
รูปที่ 5.4 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 6 เม.ย. 55	56
รูปที่ 5.5 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 6 เม.ย. 55	56
รูปที่ 5.6 อุณหภูมิน้ำในถังและอากาศภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 6 เม.ย. 55	57

รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์รายชั่วโมงระหว่าง η_{th} กับ $T_i - T_a / H$ กรณีทดสอบที่ 30, 35, 40, 45 และ 50°C.....	60
รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์รายชั่วโมงระหว่าง η_{th} กับ $T_{in} - T_a / H$ กรณีทดสอบที่ 30, 35, 40, 45 และ 50°C.....	61
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์รายชั่วโมงระหว่าง η_{el} กับ $T_i - T_a / H$ กรณีทดสอบที่ 30, 35, 40, 45 และ 50°C.....	61
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์รายชั่วโมงระหว่าง η_{el} กับ $T_{in} - T_a / H$ กรณีทดสอบที่ 30, 35, 40, 45 และ 50°C.....	62
รูปที่ 5.11 ประสิทธิภาพทางความร้อนรายชั่วโมงเทียบกับ $T_i - T_a / H$	63
รูปที่ 5.12 ประสิทธิภาพทางความร้อนรายวันเทียบกับ $T_i - T_a / H$	64
รูปที่ 5.13 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายชั่วโมงเทียบกับ $T_i - T_a / H$	64
รูปที่ 5.14 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวันเทียบกับ $T_i - T_a / H$	65

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s)
C_p	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg-K)
T_{in}	อุณหภูมิน้ำเข้าแผง PV/T (°C)
T_{out}	อุณหภูมิน้ำออกแผง PV/T (°C)
T_i	อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นในถังเก็บน้ำร้อน (°C)
T_f	อุณหภูมิน้ำสุดท้ายในถังเก็บน้ำร้อน (°C)
T_a	อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (°C)
A_p	พื้นที่ของแผง PV/T (m ²)
G	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่ง (W/m ²)
H	พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่แผงได้รับในช่วงเวลาหนึ่ง (MJ)
M	มวลน้ำในถังเก็บน้ำร้อน (kg)
F_R	แฟกเตอร์การดูดความร้อน
$(\tau\alpha)_n$	ค่าการทะลุผ่าน และค่าการดูดซับแสงอาทิตย์
U_S	สัมประสิทธิ์อัตราการสูญเสียของระบบ (W/m ² -K)
U_t	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทั้งหมด
I	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)
V	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)
P	กำลังไฟฟ้า (W)

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในภาวะที่เชื้อเพลิงฟอสซิลมีราคาแพง และสร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลต้องผ่านกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา จึงเป็นตัวการสำคัญของภาวะโลกร้อน ทำให้พลังงานหมุนเวียนที่หาได้จากธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล เป็นทางเลือกที่ถูกนำมาใช้กันมากขึ้น แสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปหนึ่งที่สามารถผลิตไฟฟ้า และความร้อนได้ ที่สำคัญเป็นพลังงานสะอาดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ประโยชน์ที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ จะช่วยลดภาระการใช้ไฟฟ้าได้ระดับหนึ่ง ส่วนพลังงานความร้อนจะนำไปผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภค หรือใช้ในอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

ปัจจุบันมีการศึกษาค้นคว้า และพัฒนาแผง Photovoltaic (PV) หรือแผง Solar Cell สำหรับใช้ในการรับแสงอาทิตย์ เพื่อผลิตไฟฟ้า และแผง Solar Thermal รับแสงอาทิตย์ เพื่อผลิตความร้อน แต่เนื่องจากข้อจำกัดในหลายด้าน เช่น แผง PV มีราคาสูง และยังไม่ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าไม่มากพอ การใช้แผง PV จึงไม่แพร่หลายนัก สำหรับในส่วนของ Solar Thermal อาจมีข้อจำกัดน้อยกว่าในด้านราคา เพราะวัสดุที่ใช้เพื่อการรับแสงอาทิตย์มีราคาไม่สูงมาก และให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีกว่า โดยแผงรับแสงอาทิตย์ทั้งสองประเภทนี้เป็นคนละชุดกัน หากต้องการใช้ไฟฟ้า และความร้อนร่วมกัน จำเป็นต้องติดตั้งทั้งสองประเภทเพื่อให้ได้ทั้งไฟฟ้า และความร้อน ทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่ และต้นทุนในการติดตั้ง แต่เมื่อแผง Photovoltaic ถูกนำมารวมเข้ากับระบบ Solar Thermal หรือที่เรียกว่าระบบ Photovoltaic/Thermal (PV/T) ทำให้พื้นที่และต้นทุนในการติดตั้งลดลงได้มากกว่าระบบเดิม แผง PV/T สามารถให้ได้ทั้งไฟฟ้า และความร้อนในระบบเดียวกัน ซึ่งได้มีการติดตั้งใช้กับอาคารใหญ่ ๆ ที่ต้องการใช้ความร้อนในการต้มน้ำ และได้ไฟฟ้าไปใช้ในระบบแสงสว่างภายในอาคาร เช่น โรงพยาบาล โรงแรม เป็นต้น แต่การติดตั้งสำหรับบ้านพักอาศัยยังไม่แพร่หลายนัก จึงน่าสนใจที่จะนำระบบ PV/T ไปใช้ เนื่องจากบ้านพักอาศัยต้องการความร้อน เพื่อต้มน้ำอุปโภคบริโภค และไฟฟ้าเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บ้านพักอาศัยที่อยู่ในชนบท หรือห่างไกลจาก

ระบบสายส่งไฟฟ้า แต่ก่อนที่จะนำระบบ PV/T ไปใช้ จำเป็นต้องวิเคราะห์สมรรถนะของแผง PV/T แบบ Flat-plate ที่ใช้งานอยู่จริง เพื่อประยุกต์ใช้กับบ้านพักอาศัยต่อไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อหาสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อน และไฟฟ้าโดยใช้แผง Photovoltaic Thermal Water Collector (PV/T) แบบ Flat-plate ชนิด Amorphous Silicon สำหรับประยุกต์ใช้กับบ้านพักอาศัย
2. เพื่อให้ได้ผลการผลิตไฟฟ้า และความร้อนตลอดทั้งปี

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ติดตั้งระบบแผง PV/T ขนาด 40 W ร่วมกับถังน้ำร้อนโดยเติมน้ำในถัง 120 ลิตร และ Load Resistor
2. ทดสอบหาสมรรถนะทางด้านความร้อน และสมรรถนะทางด้านไฟฟ้า โดยพิจารณาผลของอุณหภูมิน้ำเข้าแผงที่ 30, 35, 40, 45 และ 50 °C ที่มีต่อประสิทธิภาพแผง PV/T จากการตรวจวัดจริง จำนวน 10 วัน เลือกวันที่สภาพอากาศแจ่มใส โดยแบ่งเป็นระบบหมุนเวียนน้ำแบบใช้ปั๊ม (Force Circulation) จำนวน 7 วัน และระบบหมุนเวียนน้ำแบบธรรมชาติ (Natural Circulation) หรือ Thermosyphon จำนวน 3 วัน
3. วิเคราะห์ผลการผลิตไฟฟ้า และความร้อนที่ได้ตลอดทั้งปี โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงสภาพอากาศตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2553 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2554

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาระบบ PV/T จากงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. ดำเนินการติดตั้ง และทดสอบระบบ PV/T รับแสงอาทิตย์
3. เก็บข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงของระบบ PV/T
4. นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ และสมรรถนะของระบบ PV/T ที่ใช้ในการทดสอบ

5. วิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนของระบบ PV/T โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2553 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2554 ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel
6. สรุปผลการทดสอบ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

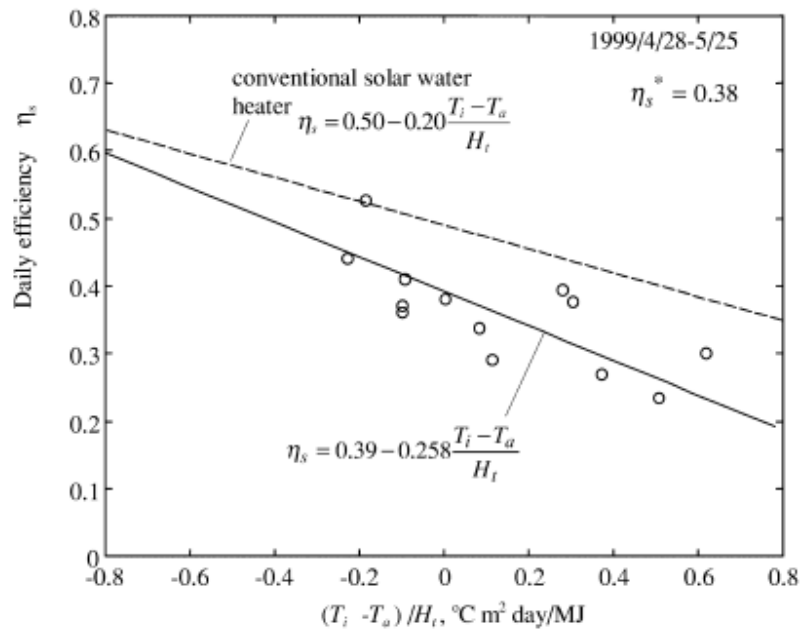
1. ทราบถึงสมรรถนะของระบบ PV/T แบบ Flat-plate Amorphous Silicon ชนิดใช้น้ำถ่ายเทความร้อน (Water Base) ที่มีอยู่ในปัจจุบัน
2. สามารถนำผลการวิเคราะห์สมรรถนะระบบ PV/T ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับบ้านพักอาศัย
3. ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาสมรรถนะระบบ PV/T แบบอื่น ๆ ได้

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในยุคของการศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ Solar Water Heater นักวิจัย **B. J. Huang, S. C. Du. [1]** ได้ศึกษาวิธีการทดสอบสมรรถนะระบบ Solar Thermosyphon โดยเสนอการทดสอบที่ประกอบด้วย ประสิทธิภาพระบบในช่วงการเก็บพลังงาน และในช่วงที่ระบบสูญเสียพลังงานในช่วงหล่อเย็น ซึ่งทั้งสองระบบทำการทดสอบกลางแจ้ง การทดสอบระบบที่สูญเสียพลังงานในช่วงหล่อเย็น ทำหลังจากการทดสอบประสิทธิภาพ ซึ่งใช้สูตรที่สำเร็จรูปสำหรับหาประสิทธิภาพระบบดังนี้ $(T_i - \bar{T}_a)/H_t$ ในช่วงการเก็บพลังงาน และเก็บผลเป็นรายวัน พบว่าจากการทดสอบด้วยสมการที่สำเร็จรูปที่เสนอขึ้นมานั้น ได้ผลประสิทธิภาพที่ดีเป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากมีการตรวจสอบความถูกต้องด้วยวิธีทางสถิติแล้ว ซึ่งทำการทดสอบกับระบบ Solar Water Heater ทั้งหมด 7 ตัวอย่าง เมื่อวิธีการนี้ใช้ได้ผลดี จึงถูกพัฒนาขึ้นและเริ่มต้นใช้ในมาตรฐาน R.O.C. National Standard (CNS B7277, 1990) และมาตรฐานการทดสอบนี้ถูกใช้เป็นมาตรฐานสำหรับตรวจสอบ Solar Water Heater ที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้วิธีนี้ยังใช้ทดสอบมากกว่า 31 ระบบในช่วงเวลามากกว่าหนึ่งปี (ระยะเวลาจากปีที่เริ่มใช้มาตรฐานทดสอบ ถึงประมาณปีที่ลบบทความ) และงานวิจัยนี้เป็นประโยชน์กับผู้ศึกษาสมรรถนะระบบ PV/T สำหรับใช้กับบ้านพักอาศัย โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการหาประสิทธิภาพแผง PV/T ได้ด้วย เนื่องจากเป็นระบบที่มีโครงสร้างทางกายภาพแบบเดียวกัน เพียงแต่ระบบ PV/T มีส่วนที่เพิ่มขึ้นมาคือแผ่น PV ที่ถูกประกอบเข้ากับแผง Solar Thermal

ต่อมาเมื่อมีการพัฒนาแนวคิดในการนำระบบผลิตความร้อนและไฟฟ้ามารวมเข้าด้วยกัน ซึ่งเกิดเป็นระบบ PV/T (Photovoltaic/Thermal) ขึ้นนั้น จึงเกิดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบ PV/T มากขึ้น โดยในปี ค.ศ.1999 **B. J. HUANG, T. H. LIN, W. C. Hung และ F. S. SUN [2]** ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินผลสมรรถนะของระบบ Photovoltaic/thermal มีจุดประสงค์หลักในการศึกษาคือทำความเข้าใจสมรรถนะของ ระบบ Integrated Photovoltaic and Thermal solar system (IPVTS) เปรียบเทียบกับระบบทำน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์แบบธรรมดา และแสดงถึงแนวคิดการออกแบบระบบ IPVTS ซึ่งแผ่น PV ที่ใช้ทำแผง PV/T เป็นชนิด Polycrystalline ผลการทดสอบโดยใช้วิธีการทดสอบจากงานของ **Huang, S. C. Du. [1]** พบว่าแผง PV/T ที่ทำจาก Polycarbonate ลักษณะถูกฟูกมีประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดี และได้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนรายวัน η_s^* เท่ากับ

38% ในขณะที่ระบบทำน้ำร้อน Solar Thermal แบบธรรมดา นั้น มีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนรายวันเท่ากับ 50% ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ประสิทธิภาพรายวันของระบบ PV/T เปรียบเทียบกับระบบ Solar Water Heater แบบธรรมดา [2]

นอกจากนั้นการศึกษายังได้อธิบายถึงแนวคิดประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานปฏุมภูมิในการประเมินผลระบบ PV/T โดยระบบที่ IPVTS มีค่าประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานปฏุมภูมิที่เกิดจากประสิทธิภาพทางความร้อนรวมกับประสิทธิภาพทางไฟฟ้าในเชิงพลังงานปฏุมภูมิ ได้ค่าเกินกว่า 60% ซึ่งสูงกว่าระบบทำน้ำร้อน Solar Thermal อย่างเดียว สำหรับสมรรถนะของ PV/T สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ ถ้าแผงรับความร้อน เซลล์ PV และกระจกปิดด้านบนแผง ถูกยึดรวมกันเพื่อสร้างเป็นแผงรับแบบ Glazing ในส่วนต้นทุนการผลิตแผง PV/T และต้นทุนระบบของชุด IPVTS จะสามารถลดลงได้ เนื่องจากใช้สายการผลิตเดียว ไม่ต้องแยกเป็นสองสายการผลิต และการศึกษาเกี่ยวกับแผง PV/T ซึ่งแสดงให้เห็นแนวคิดของระบบ IPVTS ที่มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ในปี ค.ศ.2003 งานวิจัยของ **H.A. Zondag et al. [3]** ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับผลผลิตที่แตกต่างกันของ PV/T ที่ออกแบบต่างกัน และไม่ง่ายสำหรับการตัดสินใจว่าแบบไหนดีกว่ากัน แต่การทดสอบแล้วเปรียบเทียบผล ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพและผลผลิตของแผงแต่ละแบบ โดยงานทดสอบนี้ประเมินผลจากแผง PV/T ซึ่งใช้น้ำในการถ่ายเทความร้อน ในสภาวะการไหลของน้ำคงที่ 175 ลิตรต่อชั่วโมง ทั้งหมด 9 แบบ ดังนี้

1. Uncovered sheet and tube PVT collector (แบบไม่มีกระจกใสปิด)
 2. One cover sheet and tube PVT collector (แบบมีกระจกใสปิดหนึ่งแผ่น)
 3. Two cover sheet and tube PVT collector (แบบมีกระจกใสปิดสองแผ่น)
 4. Channel above PV (แบบช่องทางน้ำอยู่ด้านบนแผ่น PV)
 5. Channel underneath opaque PV (แบบช่องทางน้ำอยู่ด้านล่างแผ่น PV ทึบแสง)
 6. Channel underneath transparent PV (แบบช่องทางน้ำอยู่ด้านล่างแผ่น PV โปร่งแสง)
 7. Free flow PVT collector (แบบทางน้ำไหลอิสระ)
 8. Two absorber PVT collector (insulate type) (แบบสองแผ่นรับความร้อนมีฉนวน)
 9. Two absorber PVT collector (non insulate type) (แบบสองแผ่นรับความร้อนไม่มีฉนวน)
- และจัดกลุ่มทั้ง 9 แบบของแผง PV/T ได้ 4 กลุ่ม คือ Sheet and tube PVT collectors, Channel PVT collectors, Free flow PVT collectors และ Two absorber PVT collectors

จากการทดสอบของ Sheet and tube PVT collectors ซึ่งเป็นโครงสร้างที่สร้างขึ้นได้ง่ายโดยการนำแผ่น PV มาวางลงบนแผง Solar Thermal แล้วมีกระจกใสปิดด้านบน พบว่าหากใช้กระจกสองแผ่นจะทำให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้กระจกแผ่นเดียว เนื่องจากเก็บความร้อนไว้ในชั้นกระจกได้มากกว่า แต่ในทางกลับกันหากใช้กระจกสองแผ่นประสิทธิภาพทางไฟฟ้าจะน้อยลงกว่าใช้กระจกแผ่นเดียว เนื่องจากแสงอาทิตย์ผ่านเข้ามายากกว่า แต่ถ้าไม่ใช้กระจกปิดด้านบน จะได้ประสิทธิภาพทางความร้อนน้อยที่สุด เพราะมีการสูญเสียความร้อนมาก ในขณะที่เดียวกันก็ให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ดีกว่า เนื่องจากได้รับแสงอาทิตย์ได้เต็มที่ สำหรับ Channel PVT collectors หากช่องทางน้ำผ่าน (Channel) อยู่ด้านบนของแผ่น PV จะทำให้การรับแสงอาทิตย์เกิดความไม่แน่นอน ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าจึงน้อย และอาจเกิดปัญหาการรับน้ำหนักของน้ำด้านบนแผ่น PV ได้ ถ้าช่องทางน้ำผ่านอยู่ด้านล่างแผ่น PV ซึ่งใช้แผ่น PV แบบโปร่งแสง และมีแผง Solar Thermal สีดำ จะได้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีกว่าแผ่น PV แบบทึบแสง แต่ราคาของแผ่น PV แบบโปร่งแสงจะแพงกว่าแบบทึบแสง ส่วน Free flow PVT collectors มีแผ่นกระจกปิดด้านบนสุดเพียงชั้นเดียว และมี

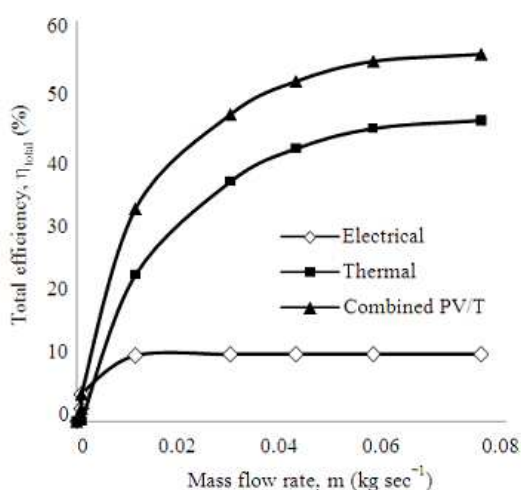
การไหลของน้ำผ่านด้านบนบนแผ่น PV ซึ่งไม่มีการบังคับให้ไหลในท่อหรือช่องทางน้ำ เมื่ออุณหภูมิน้ำสูงขึ้นจะเกิดการระเหยทำให้สูญเสียความร้อนไปมาก และการรับแสงอาทิตย์ที่ไม่แน่นอน เพราะมีน้ำไหลอยู่ด้านบนบนแผ่น PV ประสิทธิภาพทางความร้อนและไฟฟ้าจึงยังไม่ดีนัก สุดท้ายสำหรับ Two absorber PVT collectors จะใช้แผ่น PV แบบโปร่งแสงทำหน้าที่เป็นแผ่นรับความร้อน (absorber) แผ่นแรก และแผ่นโลหะสีดำทำหน้าที่เป็นแผ่นรับความร้อนแผ่นที่สอง ซึ่งมีช่องทางน้ำผ่านด้านบนในแต่ละแผ่นรับความร้อน โดยน้ำที่ไหลขึ้นผ่านช่องทางน้ำของแผ่นรับความร้อนแผ่นแรก จะไหลย้อนลงมายังช่องทางน้ำของแผ่นรับความร้อนแผ่นที่สอง ทำให้ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูง แต่มีข้อเสียที่ช่องทางน้ำมีถึงสองช่อง ทำให้แผงมีน้ำหนักมาก

ส่วนการคำนวณตลอดปี และผลจากการทดสอบประสิทธิภาพเฉลี่ยในหนึ่งปีเป็นดังตารางที่ 2.1 โดยแบบของแผง PV/T ที่ดีที่สุดในด้านผลผลิตทางความร้อนคือแบบ Channel above PV, แบบ Two cover sheet and tube PVT และแบบ Two absorber PVT (insulated type) แต่ถึงอย่างไร ประสิทธิภาพของทั้งสามแบบนี้ค่อนข้างต่ำ อันเนื่องมาจากจำนวนชั้นของกระจก และชั้นของน้ำบนแผ่น PV แต่จากการพิจารณาทั้งหมด 9 แบบ พบว่าแบบ Channel below transparent PV ให้ประสิทธิภาพทั้งในแง่ความร้อนและไฟฟ้าได้ดีที่สุดในขณะที่แบบ One cover sheet and tube เป็นทางเลือกสำหรับการนำไปใช้งาน ถึงประสิทธิภาพทางความร้อนทั้งปีจะน้อยกว่าแบบ Channel below transparent PV 2% แต่ก็ง่ายสำหรับการผลิตชุดแผงเพื่อใช้งาน ซึ่งเป็นเหตุผลที่ผู้วิจัยเลือกโครงสร้างแบบ One cover sheet and tube เพื่อการทดสอบสมรรถนะ PV/T สำหรับใช้กับบ้านพักอาศัย

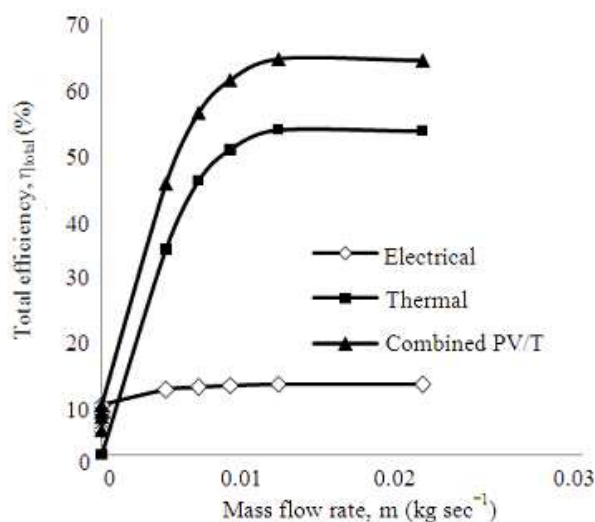
ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีของแผง PV/T แบบต่าง ๆ [3]

ระบบ	ประสิทธิภาพทางความร้อนรายปี (%)	ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายปี (%)
Uncovered sheet and tube PVT collector	24	7.6
One cover sheet and tube PVT collector	35	6.6
Two cover sheet and tube PVT collector	38	5.8
Channel above PV	38	6.1
Channel underneath opaque PV	35	6.7
Channel underneath transparent PV	37	6.5
Free flow PVT collector	34	6.3
Two absorber PVT collector (insulate type)	39	6.1
Two absorber PVT collector (non insulate type)	37	6.1

ต่อมาในช่วงปี ค.ศ.2009 นักวิจัย **Adnan Ibrahim et al. [4]** ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับประสิทธิภาพของแผง PV/T เพื่อหาผลของอัตราการไหลเชิงมวล ที่มีต่อไฟฟ้า ความร้อน และประสิทธิภาพไฟฟ้าความร้อนร่วมของแผง PV/T โดยได้ออกแบบและสร้างแผง PV/T ขึ้นสองแบบ แบบแรกเป็น Spiral flow absorber ออกแบบเพื่อผลิตน้ำร้อนและไฟฟ้า แบบที่สองเป็น Single pass rectangular tunnel absorber ออกแบบเพื่อผลิตอากาศร้อนและไฟฟ้า ทั้งสองแบบใช้ Polycrystalline silicon เป็นแผ่น PV พื้นที่ 0.65 m^2 ขนาดกำลังไฟฟ้า 80 W ที่ความเข้มแสง 800 W/m^2 โดยมีน้ำเป็นตัวถ่ายความร้อนในแผงแบบแรก ปรับอัตราการไหล $0.004 - 0.02 \text{ kg/s}$ และอากาศเป็นตัวถ่ายเทความร้อนในแผงแบบที่สอง ปรับอัตราการไหล $0.0110 - 0.0754 \text{ kg/s}$ ผลการทดลองพบว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำและอากาศเพิ่มขึ้นอุณหภูมิของแผ่น PV จะลดลง และได้ประสิทธิภาพทางความร้อนและไฟฟ้าดีขึ้น ซึ่งแผง PV/T แบบ Spiral flow absorber มีประสิทธิภาพรวม 64% ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า 11% อัตราการไหลที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.011 kg/s ณ อุณหภูมิพื้นผิวของแผ่น PV $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 25.35 W ส่วนแผง PV/T แบบ Single pass rectangular tunnel absorber มีประสิทธิภาพรวม 55% ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า 10% อัตราการไหลที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.0754 kg/s ณ อุณหภูมิพื้นผิวของแผ่น PV $39 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 22.45 W นอกจากนี้ การพัฒนาประสิทธิภาพระบบ อาจทำได้โดยการปรับปรุงพื้นผิวสัมผัสระหว่างแผง PV กับช่องรับความร้อนภายใต้แผงให้มีมากขึ้น และการใช้เซลล์ PV ชนิดอื่น เช่น Amorphous silicon ที่ฉาบสารคุณสมบัติดูดซับความร้อน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น



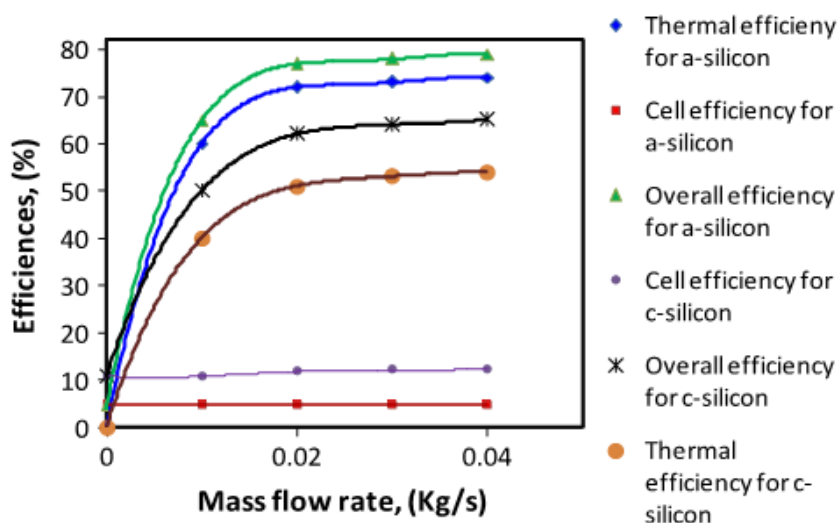
รูปที่ 2.2 ประสิทธิภาพของระบบ PV/T กับอัตราการไหลของอากาศในรูปแบบ Single Pass Rectangular Tunnel Absorber [4]



รูปที่ 2.3 ประสิทธิภาพของระบบ PV/T กับอัตราการไหลของน้ำในรูปแบบ Spiral Flow Absorber [4]

จากรูปที่ 2.2 – 2.3 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพทางความร้อน ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า และประสิทธิภาพรวมของระบบ PV/T ที่เมื่อมีอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพทั้งหมดก็เพิ่มขึ้นตามถึงแม้จะใช้ชนิดของตัวถ่ายเทความร้อนต่างกัน และในปีเดียวกันนั้น **Ronak Daghigh et al. [5]** ได้ศึกษาและจำลองเพื่อหาประสิทธิภาพของ BIPVT (Building Integrated Photovoltaic Thermal) ซึ่งเป็นแผง PV/T ที่ติดตั้งร่วมกับตัวอาคารชนิด Amorphous silicon (a-Si) และ Crystalline silicon (c-Si) โดยอ้างอิงสภาพภูมิอากาศในเดือนมีนาคมของประเทศมาเลเซีย ที่อัตราการไหล 0.02 kg/s ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ระหว่าง 700 และ 900 W/m² และสภาพอากาศภายนอกมีอุณหภูมิระหว่าง 22 °C และ 32 °C พบว่าแผง PV/T ชนิด Amorphous silicon มีประสิทธิภาพทางไฟฟ้า 4.9% ประสิทธิภาพทางความร้อน 72% และประสิทธิภาพรวม 77% ส่วนแผง PV/T ชนิด Crystalline silicon มีประสิทธิภาพทางไฟฟ้า 11.6% ประสิทธิภาพทางความร้อน 51% และประสิทธิภาพรวม 63% ทำให้ทราบว่าหากต้องการใช้ไฟฟ้ามกกว่าควรเลือกชนิด Crystalline silicon แต่ถ้าต้องการความร้อนและประสิทธิภาพรวมมากกว่าควรเลือกชนิด Amorphous silicon สำหรับประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ที่มีอุณหภูมิอากาศร้อนชื้น Amorphous silicon เหมาะที่จะนำมาใช้ทำแผง PV/T เนื่องจากคุณสมบัติทนอุณหภูมิสูงที่เกิดกับแผงในขณะที่ใช้งานได้ดีกว่า และราคาถูกกว่า Crystalline silicon ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้

แผ่น PV ชนิด Amorphous silicon ในการทดสอบสมรรถนะของแผง PV/T สำหรับใช้กับบ้านพักอาศัย



รูปที่ 2.4 ประสิทธิภาพเทียบกับอัตราการไหลของแผง PV/T ชนิด a-silicon และ c-silicon

จากรูปที่ 2.4 ทำให้ทราบว่าหากใช้แผ่น PV ชนิด Amorphous silicon จะได้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีกว่าแผ่น PV ชนิด Crystalline silicon แต่ได้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ต่ำกว่า และในขณะที่อัตราการไหลเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพทางความร้อนและไฟฟ้าของทั้ง Amorphous silicon และ Crystalline silicon ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน

จะเห็นได้ว่าที่ผ่านมามีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับแผง PV/T ในด้านประสิทธิภาพทางความร้อนและไฟฟ้า และตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพ เพื่อให้เกิดแนวคิดพัฒนาประสิทธิภาพแผง PV/T ให้ดีขึ้นเรื่อย ๆ และได้แผงแบบที่เหมาะสมกับการใช้งานตามความต้องการ ส่วนการศึกษาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับบ้านพักอาศัยอย่างจริงจัง ยังมีน้อย งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่การศึกษาสมรรถนะของแผง PV/T ชนิดแผ่นเรียบแบบใช้น้ำถ่ายเทความร้อน เพื่อทราบสมรรถนะก่อนการนำไปใช้งานจริง และเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนา รวมทั้งปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงระบบแผง PV/T ให้มีศักยภาพเพียงพอในการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าไว้ใช้ภายในบ้าน

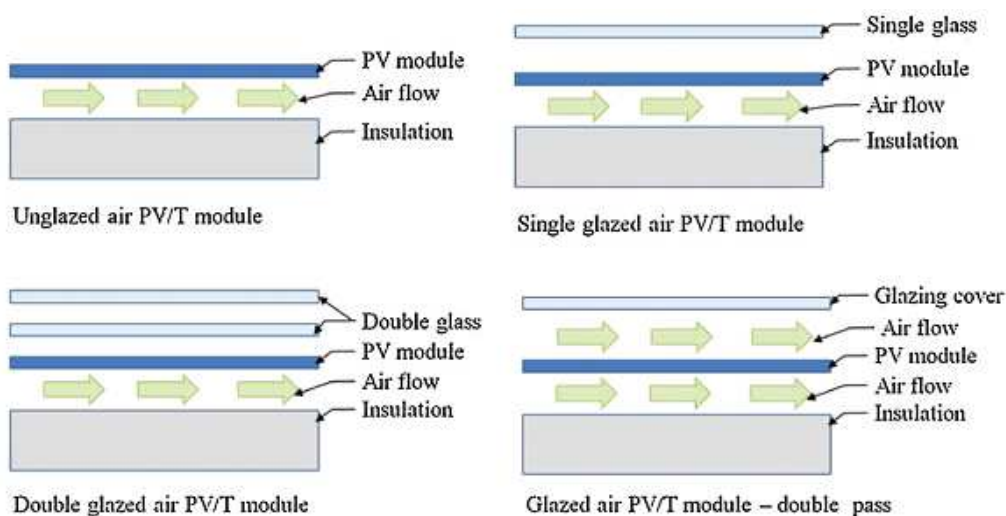
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ประเภทของแผง PV/T

แผง PV/T อาจมีโครงสร้างและการทำงานที่แตกต่างกัน แต่มีหลักการทำงานเหมือนกัน ถ้าต้องการแบ่งประเภทของแผง PV/T อาจแบ่งได้จากการหล่อเย็น หรือแบ่งตามโครงสร้างทางกายภาพ ดังนี้

ประเภทของแผง PV/T จากการหล่อเย็น

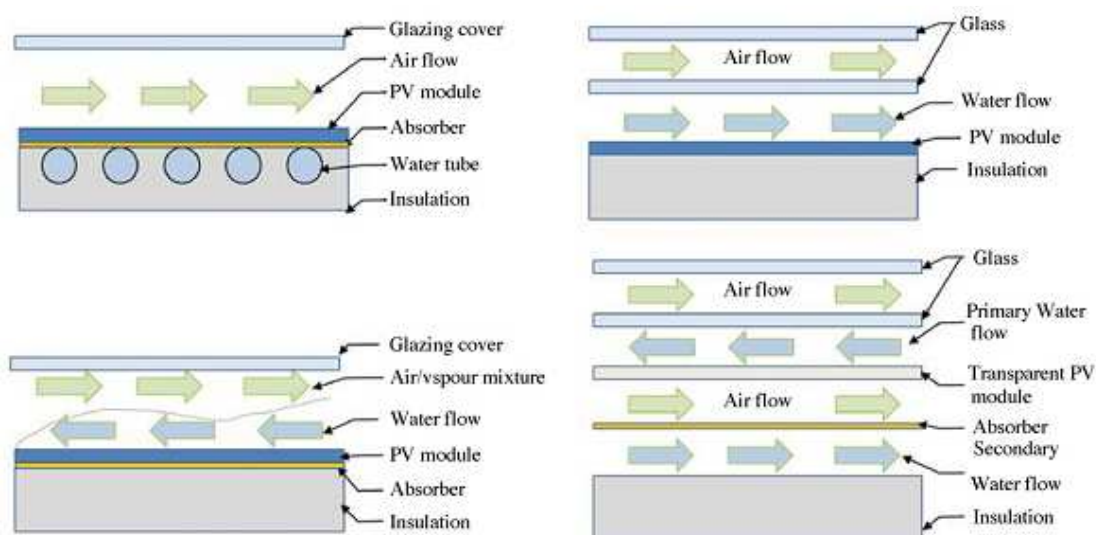
1. Air – Based PV/T เป็น Solar Air Heater ที่ประกอบด้วยชั้นของ PV และช่องสำหรับอากาศผ่าน เพื่อระบายความร้อนออกจากแผงด้วยอากาศ และอากาศจะถูกใช้เพื่อให้ความอบอุ่นภายในอาคาร หรือนำไปใช้สำหรับอบแห้งทางการเกษตร หรือการอบสมุนไพร พร้อมกันนั้นยังผลิตไฟฟ้าไปด้วยในตัว และจากรูปที่ 3.1 เป็นชนิดของแผง PV/T ที่ใช้อากาศในถ่ายเทความร้อนโดยมีการออกแบบที่ต่าง ๆ กันดังนี้ แบบแรก Unglazed air PV/T module เป็นแบบที่ใช้ไม่ใช้กระจกปิดด้านบนแผ่น PV และมีอากาศไหลผ่านทางด้านล่างของแผ่น PV ซึ่งด้านล่างเป็นฉนวนกันความร้อน แบบที่สองเป็นแบบ Single glazed air PV/T module มีลักษณะเดียวกับแบบ Unglazed air PV/T module เพียงแต่มีกระจกใสหนึ่งแผ่นปิดด้านบนแผ่น PV และมีช่องทางไหลของอากาศอยู่ด้านล่างแผ่น PV แบบที่สามเป็นแบบ Double glazed air PV/T module มีลักษณะเดียวกับสองแบบแรก แต่มีกระจกใสสองแผ่นปิดด้านบนแผ่น PV และมีช่องทางไหลของอากาศอยู่ด้านล่างแผ่น PV แบบที่สี่เป็น Glazed air PV/T module – double pass มีลักษณะเดียวกับ Single glazed air PV/T module แต่มีช่องทางไหลของอากาศทั้งทางด้านบนและด้านล่างของแผ่น PV



รูปที่ 3.1 ภาคตัดขวางของแผง Air – Based PV/T [7]

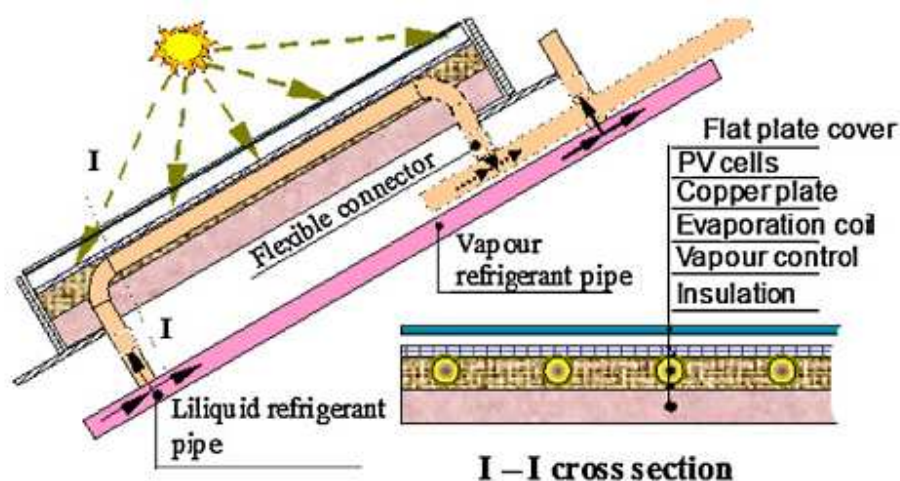
2. Water – Based PV/T เป็น Solar Water Heater ที่ประกอบด้วยชั้นของ PV และวางประกบเข้ากับแผ่นรับความร้อน ซึ่งโดยมากทำจากอะลูมิเนียมที่มีท่อทองแดงติดอยู่ในลักษณะอนุกรมหรือขนาน น้ำจะถูกบังคับให้ไหลผ่านภายในท่อ ถ้ารักษาระดับอุณหภูมิของน้ำไม่ให้สูงได้ ชั้นของ PV ก็จะเย็นตัว เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ในช่วงเวลานั้นน้ำที่ไหลผ่านจะร้อนขึ้น เนื่องจากถ่ายเทความร้อนจากแผ่นดูดซับความร้อน และนำน้ำที่ได้มาใช้ประโยชน์ในส่วนที่ต้องการน้ำอุณหภูมิสูงไม่มาก เช่น การอุ่นน้ำให้ร้อนก่อนเข้ากระบวนการทำน้ำร้อน ใช้เป็นน้ำอุ่นเพื่ออาบภายในบ้าน ใช้ซักอบรีดเสื้อผ้า ใช้ น้ำอุ่นเพื่อกายภาพบำบัดในโรงพยาบาล หรือทำสปา และอีกหลาย ๆ ด้าน หากเปรียบเทียบ Water – Based PV/T กับ Air – Based PV/T พบว่า Water – Based PV/T จะมีประสิทธิภาพทางความร้อนและไฟฟ้าที่ดีกว่า เนื่องจากน้ำมีมวลในการพาความร้อนได้มากกว่าอากาศ และจากรูปที่ 3.2 เป็นชนิดของแผง PV/T ที่ใช้น้ำถ่ายเทความร้อน โดยในแบบแรกมีแผ่นกระจกปิดด้านบนอยู่เหนือแผ่น PV ซึ่งด้านล่างกระจกมีช่องให้อากาศไหลผ่าน ชั้นต่อมาเป็นแผ่น PV วางอยู่บนแผ่นรับความร้อนและมีท่อน้ำด้านล่างแผ่นรับความร้อนที่อยู่ในชั้นของฉนวนกันความร้อน แบบที่สองเป็นแบบที่มีแผ่นกระจกสองชั้น ซึ่งชั้นล่างของกระจกแผ่นแรกเป็นช่องอากาศไหลผ่าน ส่วนชั้นล่างของกระจกแผ่นที่สองเป็นช่องทางน้ำไหลผ่าน ชั้นต่อมาเป็นแผ่น PV และฉนวนกันความร้อน

แบบที่สามมีกระจกปิดด้านบนชั้นเดียว ด้านล่างกระจกเป็นช่องทางที่มีน้ำและอากาศไหลรวมกันอยู่ จากนั้นเป็นชั้นของแผ่น PV แผ่นรับความร้อนและฉนวนกันความร้อน แบบที่สี่เป็นแบบที่มีความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น คือชั้นบนสุดเป็นกระจกปิดด้านบน ด้านล่างกระจกเป็นช่องอากาศผ่าน ชั้นต่อมาเป็นแผ่นกระจกชั้นหนึ่ง ด้านล่างมีช่องทางน้ำไหล ชั้นถัดมาเป็นแผ่น PV ชนิดโปร่งแสง ด้านล่างแผ่น PV มีช่องอากาศผ่าน ถัดมาอีกชั้นเป็นแผ่นรับความร้อน ด้านล่างแผ่นรับความร้อนเป็นช่องทางน้ำไหลอีกทางหนึ่ง ชั้นสุดท้ายเป็นฉนวนกันความร้อน แบบที่สี่นี้มีการไหลสวนทางของน้ำและอากาศ



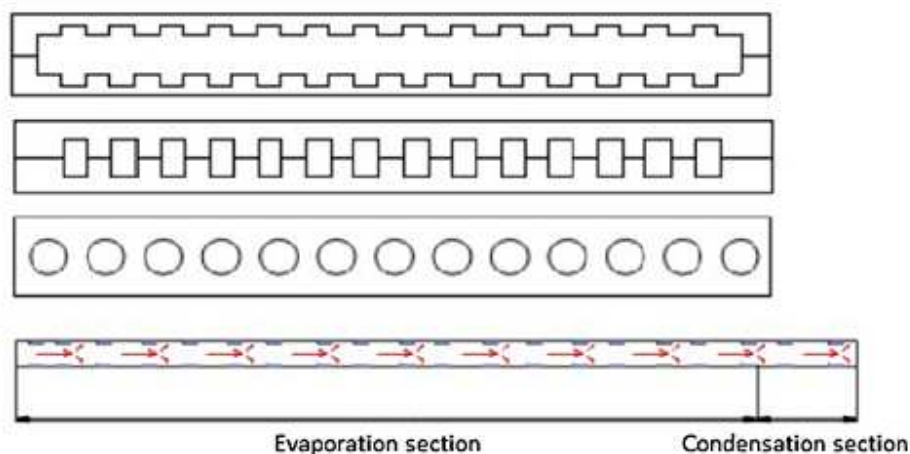
รูปที่ 3.2 ภาคตัดขวางของแผง Water – Based PV/T [7]

3. Refrigerant – Based PV/T เป็นแผง PV/T ที่ใช้สารทำความเย็น และระบบ Heat Pump ซึ่ง Kern และ Russell [6] ได้ประยุกต์หลักการของแผง PV/T เข้ากับระบบ Heat Pump โดยวาง Evaporation Coil ไว้ด้านล่างแผง PV ซึ่งทำให้สารทำความเย็นระเหยที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ในช่วงอุณหภูมิ $0 - 20^{\circ}\text{C}$ ผลที่ได้คือแผง PV จะเย็นลงที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้มีนัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนและไฟฟ้า ส่วน Compressor ใน Heat Pump จะเพิ่มความดันไอที่ได้จากแผง และส่งไปยัง Condenser เพื่อเตรียมการทำความร้อน ดังรูปที่ 3.3 และในการเดินระบบ Compressor ควรจะขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าที่ได้จากแผง



รูปที่ 3.3 ภาคตัดขวางของระบบแผง Refrigerant – Based PV/T [8]

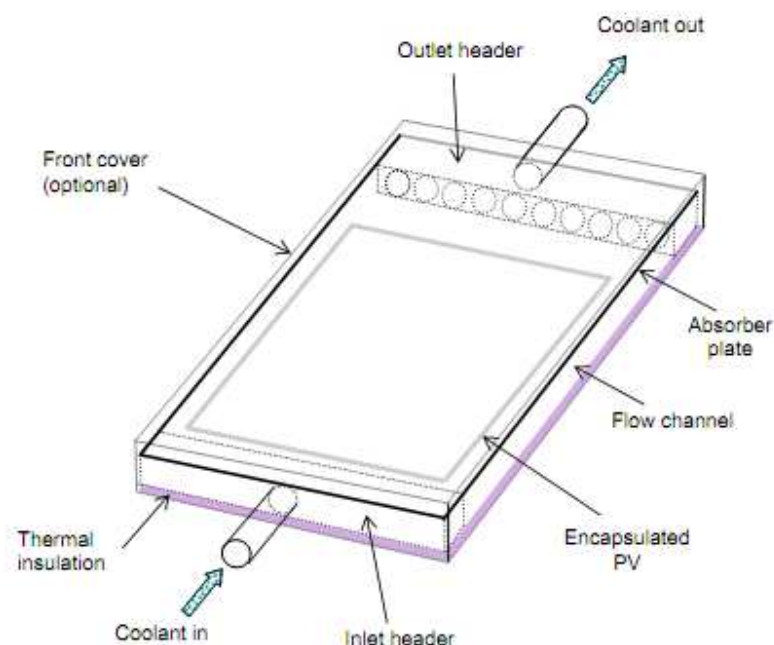
4. Heat – Pipe – Based PV/T เป็นแผง PV/T ที่รวมเอาหลักการนำความร้อน และ Phase Transition ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ Evaporate Section (Evaporator), Adiabatic Section และ Condensed Section (Condenser) แผง PV/T ชนิดนี้ Zhao และคณะ [9-11] ได้เสนอ PV/Flat – Plate – Heat pipes สำหรับการผลิตไฟฟ้า และน้ำร้อนหรืออากาศร้อนร่วม แผงต้นแบบนี้ประกอบด้วยชั้นของ PV และ Flat Plate Heat Pipe ที่มีช่องเล็กๆ เรียงกันเป็นแถว ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งทำหน้าที่ในส่วนการระเหย (Evaporation) ของ Heat Pipe ที่ส่วนปลายของ Heat Pipe เป็นส่วนของการควบแน่น (Condensation) และคาดว่าต้นแบบนี้จะมีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าได้ประมาณ 15 – 30% และประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดของแผงประมาณ 40%



รูปที่ 3.4 แผนภาพของแผง Heat – Pipe – Based PV/T 3 ชนิดที่มีช่องเล็ก ๆ เรียงกันเป็นแถว [9]

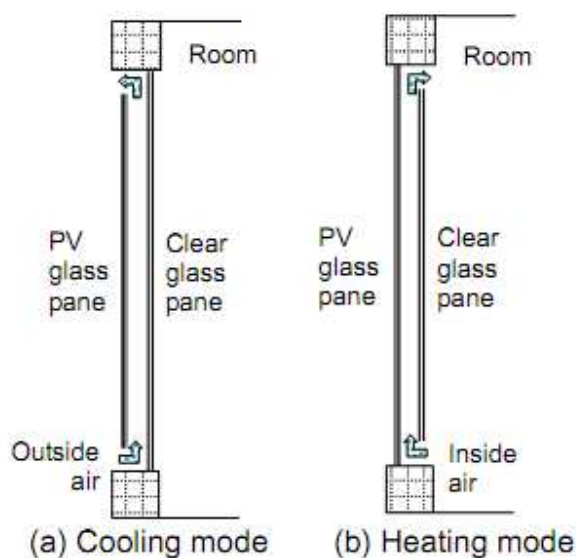
ประเภทของแผง PV/T ตามโครงสร้างทางกายภาพ

1. Flat – Plate PV/T เป็นแผง PV/T ที่มาจากการประยุกต์แนวคิดของแผง Solar Thermal Collector แบบแผ่นเรียบ โดยนำแผงหรือแผ่น PV มารวมเข้ากับแผง Solar Thermal Collector ซึ่งชั้นของแผงหรือแผ่น PV จะอยู่ด้านบนของแผง Solar Thermal Collector และในส่วนของแผง Solar Thermal Collector จะมีท่อหรือช่องสำหรับน้ำหรืออากาศไหลผ่าน เพื่อถ่ายเทความร้อนจากทั้งแผง PV และแผง Solar Thermal Collector ไปยังท่อหรือช่องที่มีน้ำหรืออากาศไหลผ่าน ดังรูปที่ 3.5 น้ำหรืออากาศนั้นจะร้อนขึ้นและถูกนำไปใช้ประโยชน์พร้อมกันนั้นยังได้ไฟฟ้าจากแผง PV ซึ่งในทางทฤษฎี น้ำหรืออากาศจะระบายความร้อนออกจากแผง PV ทำให้มีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าดีขึ้น Flat – Plate PV/T ยังแบ่งได้หลายชนิดขึ้นอยู่กับวิธีการไหล เช่น Sheet and Tube, Channel Flow, Free Flow, Dual Absorber และอื่น ๆ อีกหลายชนิด แต่ยังคงโครงสร้างแบบแผ่นเรียบเอาไว้



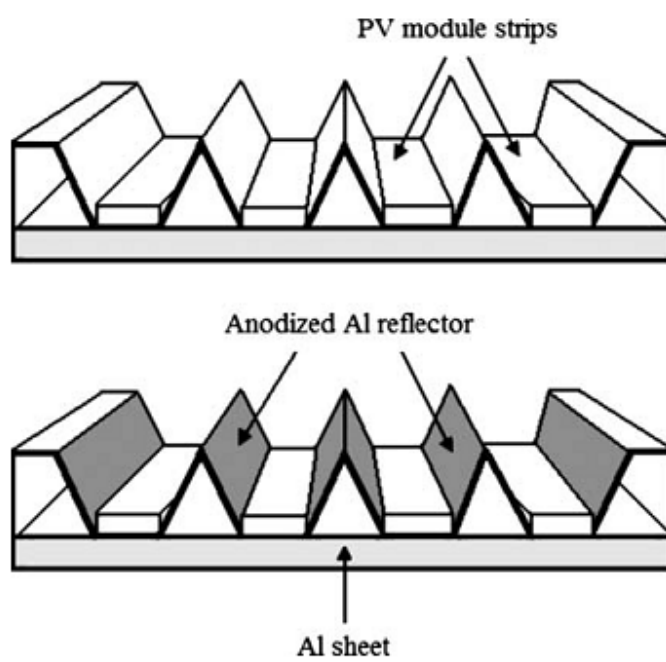
รูปที่ 3.5 ลักษณะของ Flat – Plate PV/T [12]

2. Building Integrated PV/T หรือ BIPVT คือแผง PV/T ที่ออกแบบมาสำหรับติดตั้งกับผนังอาคาร หรือส่วนของหลังคา เพื่อผลิตไฟฟ้าและความร้อน โดยอาศัยหลักการเดียวกับแผง PV/T ชนิดอื่น ๆ คือระบายความร้อนจากแผง PV ทำให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าดีขึ้น และนำความร้อนไปใช้ในอาคาร BIPVT นี้ มีทั้งที่ใช้อากาศและน้ำในการถ่ายเทความร้อน แต่ส่วนมากจะเป็นแบบใช้อากาศถ่ายเทความร้อน เนื่องจากการใช้งาน BIPVT จะเน้นเพื่อผลิตไฟฟ้า และช่วยลดอุณหภูมิของตัวอาคาร รวมทั้งประยุกต์ใช้อากาศร้อนทำให้ห้องภายในอาคารมีความอบอุ่นในฤดูหนาว ไม่นิยมแบบใช้น้ำถ่ายเทความร้อน เพราะการติดตั้งกับตัวอาคาร มีผลต่อมุมในการรับแสงอาทิตย์ที่รับได้ไม่เต็มที่ หากต้องการน้ำร้อนไปใช้ ควรติดตั้งแผง PV/T ประเภทอื่น ที่ติดตั้งในบริเวณที่เหมาะสมสำหรับการรับแสงอาทิตย์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีกว่า จากรูปที่ 3.7 เมื่อต้องการให้ด้านในอาคารเย็นจะใช้แบบ Cooling mode โดยมีช่องให้อากาศไหลผ่านบานกระจก PV ซึ่งอยู่ด้านนอก และบานกระจกใสปิดอยู่ด้านใน หากต้องการให้อากาศในห้องอบอุ่นจะปิดด้านนอกด้วยบานกระจก PV และให้อากาศไหลผ่านบานกระจกใสด้านในห้อง เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนจากบานกระจก PV ในแบบ Heating mode



รูปที่ 3.7 ลักษณะการใช้งานของ Building Integrated PV/T [12]

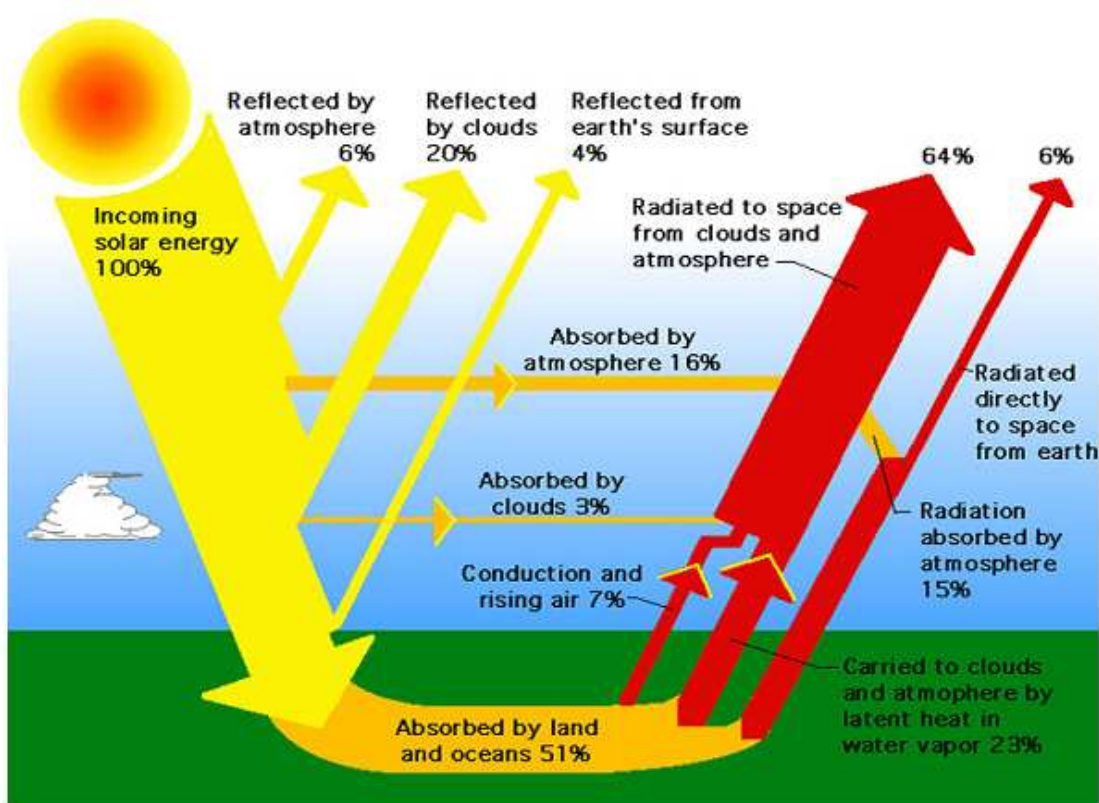
3. Concentrating PV/T คือแผง PV/T ชนิดรวมแสงให้มีความเข้มมาก โดยประยุกต์หลักการของแผง Concentrating PV Collector เพื่อจะผลิตไฟฟ้าได้มาก แต่ใช้พื้นที่น้อย และแน่นอนว่าการรวมแสงที่มากจะได้ความร้อนที่มากด้วย จึงต้องหาวิธีลดความร้อนที่เกิดขึ้นกับแผงเพื่อประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ดี การระบายความร้อนจากแผงจึงเกิดขึ้นพร้อมกับถ่ายเทความร้อนไปยังแผ่นอะลูมิเนียม และน้ำที่ไหลผ่านแผง ซึ่งส่วนมากโครงสร้างของ Concentrating PV/T จะออกแบบให้มีการสะท้อนแสงไปยังแถบหรือแผ่น PV ให้ได้มากที่สุด ดังเช่นโครงสร้างแบบ V – Trough Channels ที่ออกแบบโดย Solanki และคณะ [13] และจากรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของแผง PV/T ที่มีโครงสร้างแบบ V – Trough Channels โดยมีแถบของ PV อยู่ระหว่างโลหะรูปตัววีที่เคลือบอะลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งช่วยในการสะท้อนแสงไปยังแถบ PV และชั้นล่างมีแผ่นอะลูมิเนียมสำหรับรับความร้อน



รูปที่ 3.6 ลักษณะของแผง Concentrating V – Trough PV/T [13]

รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกมายังพื้นโลก

รังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามายังโลก จะถูกดูดซับและทำให้กระจายไปโดยอนุภาคต่าง ๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ ปริมาณของรังสีที่ตกลงมาขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอนุภาคก๊าซ น้ำไอน้ำ และฝุ่นละอองในอากาศที่มากีดขวางรังสี ซึ่งส่งผลให้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านลงมา มีปริมาณน้อยลงด้วย ดังรูป



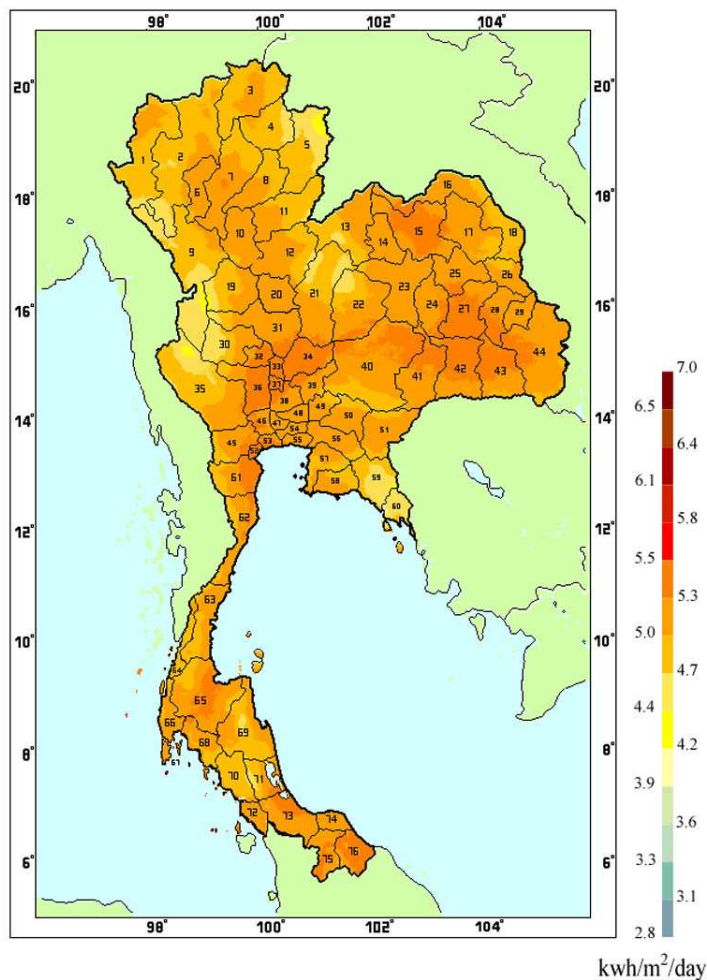
รูปที่ 3.8 สมดุลรังสีดวงอาทิตย์กับบรรยากาศ [14]

จะเห็นได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องเข้ามายังชั้นบรรยากาศโลก จะถูกสะท้อนกลับโดยบรรยากาศ 6% สะท้อนกลับโดยเมฆ 20% สะท้อนจากผิวโลกกลับไป 4% ถูกชั้นบรรยากาศดูดซับไว้ 16% ถูกเมฆดูดซับ 3% ดังนั้นจะสามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ลงมาสู่พื้นโลกได้ 51% ก่อนที่จะถูกดูดซับไปยังพื้นดินและมหาสมุทร

และรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. รังสีตรง (Beam Radiation) เป็นรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่องตรงมายังชั้นบนสุดของชั้นบรรยากาศ ผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามาถึงพื้นผิวด้านล่างของโลก โดยไม่มีการหักเห กระจาย หรือถูกดูดซับไว้ มีทิศทางที่แน่นอน
2. รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศโลกเข้ามา แต่เกิดการกระจายไปเนื่องจากฝุ่นละออง และอนุภาคต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศ อาจมีการหักเห หรือถูกดูดซับไว้ ทำให้กลายเป็นรังสีที่มีช่วงความยาวคลื่นสั้น ไม่มีทิศทางที่แน่นอน

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย [15]



รูปที่ 3.9 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย พ.ศ. 2542

ปกติศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับรังสีที่ตกลงพื้นดิน การศึกษาศักยภาพแต่ละพื้นที่ย่อมมีประโยชน์สำหรับการพัฒนาด้านพลังงานแสงอาทิตย์ ในประเทศไทยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ร่วมกับมหาวิทยาลัยศิลปากรได้จัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นในปี พ.ศ. 2542 โดยเป็นข้อมูลศักยภาพแสงอาทิตย์รายปี พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม ที่มีค่าอยู่ในช่วง

5.54 – 6.65 kWh/m²/day และมีรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั้งประเทศเท่ากับ 5.04 kWh/m²/day ซึ่งถือว่ามีความเหมาะสมแสงอาทิตย์ที่สูงพอสำหรับนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน

ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศ

ในการทดสอบหาประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุดของระบบแผง PV/T จำเป็นต้องเก็บข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอกเพื่อใช้ในการคำนวณ ซึ่งเก็บข้อมูลจากสถานที่ติดตั้งระบบแผง PV/T ณ บริเวณศาลฟ้าชั้น 5 อาคารอนุสาสน์ยันตรกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเก็บข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอก ตั้งแต่เวลาประมาณ 8.00 – 16.00 น. แล้วนำมาเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมง และรายวันต่อไป

นอกจากข้อมูลที่เก็บจากสถานที่ติดตั้งระบบแผง PV/T แล้ว ยังต้องใช้ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอก จากสถานีตรวจอากาศกรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ เดือนธันวาคม 2553 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2554 เพื่อใช้ในการคำนวณหาพลังงานที่ได้จากระบบแผง PV/T เป็นระยะเวลา 1 ปี และสาเหตุที่ไม่ใช้ข้อมูลตั้งแต่ เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2554 เนื่องจากในเดือนธันวาคม 2554 สถานีตรวจวัดอากาศกรุงเทพมหานคร ถูกน้ำท่วมอย่างหนัก จึงไม่มีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศของเดือนดังกล่าว

ลักษณะของข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์

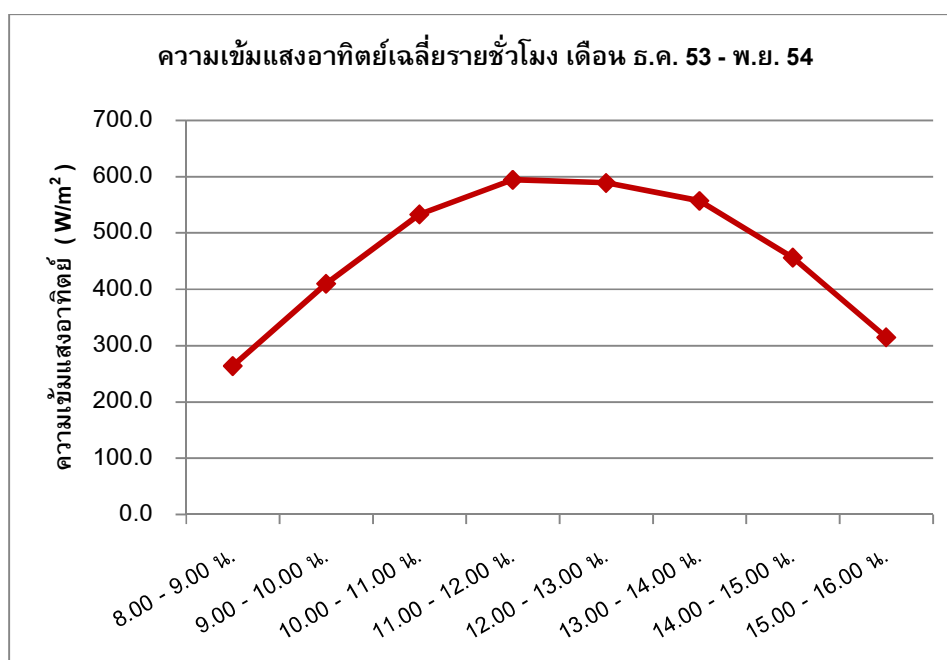
ข้อมูลแสงอาทิตย์ที่เก็บจะมีหน่วยเป็น W/m² แต่จะกลายเป็นพลังงาน (Joule) เมื่อมีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง ความเข้มแสงอาทิตย์เป็นตัวแปรสำคัญที่สามารถให้ทั้งพลังงานความร้อนและไฟฟ้า และจากกราฟของกรมอุตุนิยมวิทยาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน [16] จะพบว่าแนวโน้มความผันแปรของความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละปีไม่ค่อยมีความผันแปรไปจากอดีตสักเท่าไร ข้อมูลที่นำมาใช้ถึงจะล่าหลังประมาณหนึ่งปีหรือสองปี ก็ไม่ได้เป็นปัญหาสำหรับการนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพและพลังงานจากแสงอาทิตย์ และงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่ใกล้เคียงกับปัจจุบันในการคำนวณ

ลักษณะของข้อมูลอุณหภูมิอากาศ

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่เก็บมีหน่วยเป็น °C เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงย่อมมีความร้อนเกิดขึ้น ถ้ามีความร้อนก็มีพลังงานเกิดขึ้นเช่นกัน อุณหภูมิอากาศเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่สำคัญ ซึ่งใช้สำหรับคำนวณหาประสิทธิภาพและพลังงานที่ได้ออกมา สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่ใกล้เคียงกับปัจจุบันในช่วงเวลาเดียวกับข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์

ตารางที่ 3.1 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ตั้งแต่เดือน ธ.ค. 53 – พ.ย. 54

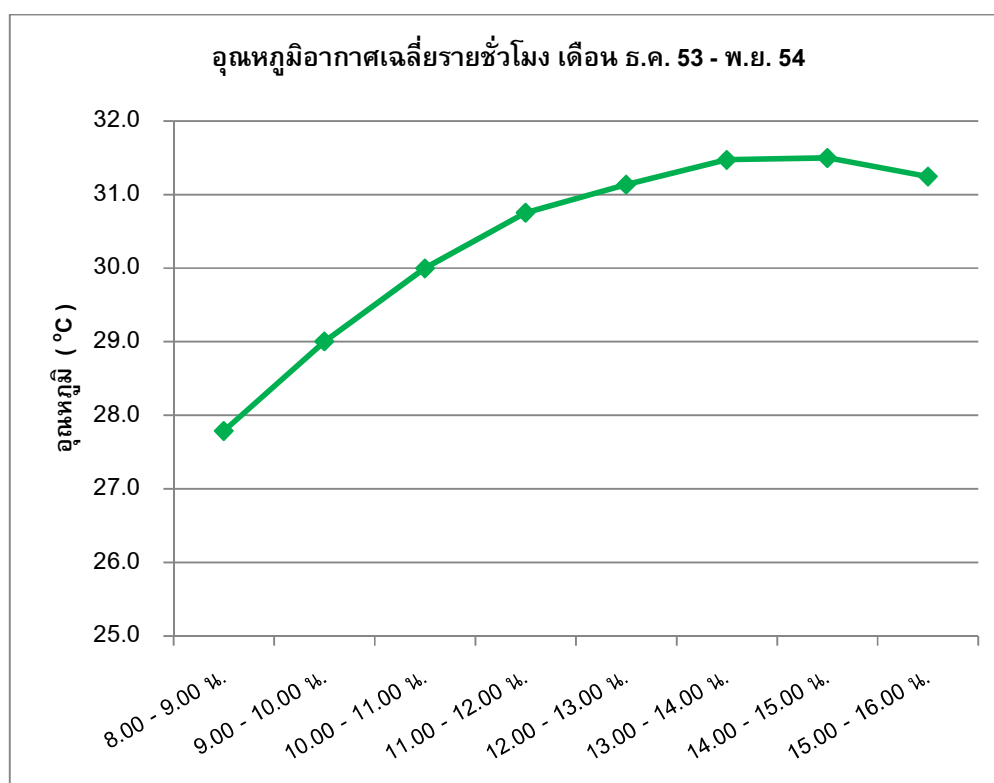
เดือน	ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)							
	8.00 ถึง 9.00 น.	9.00 ถึง 10.00 น.	10.00 ถึง 11.00 น.	11.00 ถึง 12.00 น.	12.00 ถึง 13.00 น.	13.00 ถึง 14.00 น.	14.00 ถึง 15.00 น.	15.00 ถึง 16.00 น.
ธ.ค. 53	230.6	354.6	485.6	559.5	550.5	521.9	401.3	275.6
ม.ค. 54	223.2	386.8	565.4	667.3	718.4	660.9	503.3	340.5
ก.พ. 54	206.8	365.1	521.0	617.0	678.9	651.1	544.3	373.7
มี.ค. 54	194.0	313.5	420.4	505.5	521.1	511.8	408.9	303.9
เม.ย. 54	279.8	423.0	519.0	584.3	624.3	663.4	560.1	397.0
พ.ค. 54	297.8	453.1	571.3	629.1	638.1	652.3	564.3	410.6
มิ.ย. 54	251.6	387.3	491.5	556.7	559.3	476.5	387.0	274.2
ก.ค. 54	294.3	446.8	543.9	606.9	594.8	549.4	460.4	347.9
ส.ค. 54	287.0	423.5	537.7	631.5	544.7	465.5	436.7	322.2
ก.ย. 54	285.0	422.0	542.8	565.2	514.3	493.5	428.3	261.2
ต.ค. 54	276.7	428.6	536.6	518.0	488.8	454.8	371.3	231.2
พ.ย. 54	343.3	517.7	662.4	693.3	637.5	586.9	410.2	240.9



รูปที่ 3.10 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง เดือน ธ.ค. 53 – พ.ย. 54

ตารางที่ 3.2 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมง เดือน ธ.ค. 53 – พ.ย. 54

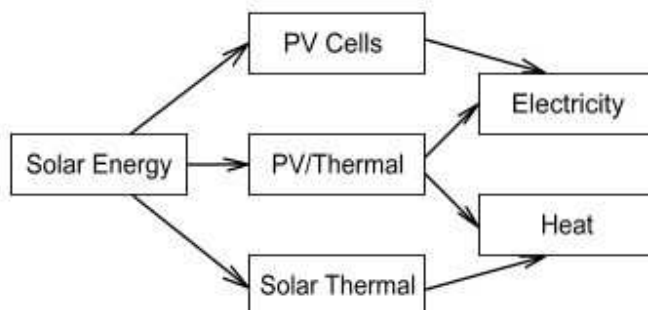
เดือน	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมง เดือน ธ.ค. 53 - พ.ย. 54 (°C)								
	8.00 ถึง	9.00 ถึง	10.00 ถึง	11.00 ถึง	12.00 ถึง	13.00 ถึง	14.00 ถึง	15.00 ถึง	
	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	
ธ.ค. 53	26.0	27.6	28.9	29.8	30.4	31.0	31.0	30.8	
ม.ค. 54	24.6	26.2	27.9	29.0	29.8	30.2	30.3	30.4	
ก.พ. 54	26.5	28.2	29.7	30.9	31.5	32.0	32.1	31.8	
มี.ค. 54	25.9	27.2	28.3	29.3	29.6	30.0	30.0	30.0	
เม.ย. 54	29.0	30.1	30.9	31.4	31.8	32.2	32.2	32.1	
พ.ค. 54	29.4	30.5	31.1	31.6	32.0	32.2	32.1	32.2	
มิ.ย. 54	29.2	30.1	31.0	31.4	31.3	31.7	32.0	31.5	
ก.ค. 54	28.6	29.7	30.4	30.9	31.4	31.5	31.6	31.5	
ส.ค. 54	28.7	29.7	30.5	31.2	31.6	32.0	31.4	30.8	
ก.ย. 54	28.5	29.5	30.3	30.9	31.2	31.5	31.5	30.8	
ต.ค. 54	28.1	29.1	30.0	30.7	30.8	31.0	31.2	30.7	
พ.ย. 54	29.0	30.1	31.0	32.0	32.2	32.6	32.6	32.3	



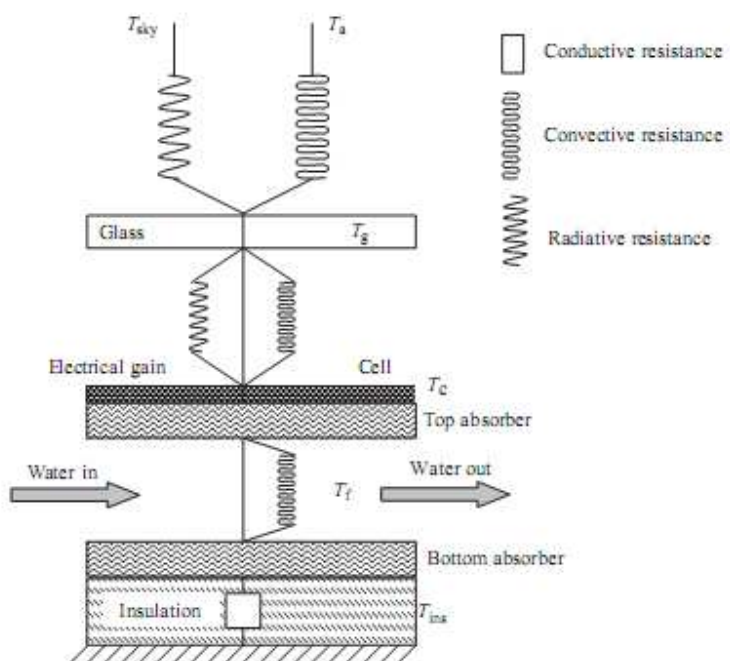
รูปที่ 3.11 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมง เดือน ธ.ค. 53 – พ.ย. 54

ประสิทธิภาพของระบบ PV/T

แผง PV/T เป็นอุปกรณ์ที่สามารถผลิตไฟฟ้า และความร้อนได้ ซึ่งระบบจะประกอบด้วยแผง PV และส่วนรับความร้อน เมื่อแสงอาทิตย์ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยแผง PV ความร้อนจากรังสีจะตกลงบนแผง PV ด้วย ซึ่งส่วนมากจะกลายเป็นความร้อนทิ้ง แต่ความร้อนทิ้งจะถูกถ่ายเทไปยังแผงรับความร้อน และนำความร้อนไปใช้ประโยชน์



รูปที่ 3.12 แสดงการเปรียบเทียบ PV, Solar Thermal และ PV/Thermal



รูปที่ 3.13 วงจรการถ่ายเทความร้อนของแผง PV/T [17]

จากรูปที่ 3.13 แสดงให้เห็นถึงการถ่ายเทความร้อนจากแสงอาทิตย์ และอากาศภายนอก ที่ตกกระทบบนแผง PV/T โดยความร้อนจากแสงอาทิตย์จะตกกระทบบนกระจกด้านบน เกิดการแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจกลงมากระทบบนแผ่น PV ทำให้แผ่น PV ร้อนขึ้น และถ่ายเทความร้อนไปยังแผ่นรับความร้อนไปที่น้ำ และเกิดการพาความร้อนจากแผ่น PV ออกสู่อากาศภายนอก แผ่น PV จะได้รับความร้อนและถ่ายเทความร้อนมายังแผ่นรับความร้อนและน้ำต่อไป

หลักการคิดคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ PV/T (η_o) [1] โดยทั่วไปจะใช้สมการ

$$\eta_o = \eta_{th} + \eta_{el}$$

โดยที่ η_{th} = ประสิทธิภาพทางความร้อน

η_{el} = ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

แต่ในงานของ Huang et al. [2] ระบุว่าไฟฟ้าและความร้อนเป็นพลังงานต่างประเภทกัน และไฟฟ้าเป็นพลังงานระดับสูงกว่า เนื่องจากตั้งแต่แรกเริ่ม ความร้อนถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า ความร้อนจึงถือเป็นพลังงานปฐมภูมิ และไฟฟ้าเป็นพลังงานทุติยภูมิ ดังนั้นการคำนวณที่น่าจะทำให้ผลถูกต้องมากขึ้น โดยการใช้ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานเข้ามาคำนวณในรูปของพลังงานปฐมภูมิ ดังสมการ

$$E_f = \frac{\eta_{el}}{\eta_{power}} + \eta_{th}$$

โดยที่ η_{el} = ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผง PV

η_{power} = ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าทั่วไป

η_{th} = ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ PV/T

การศึกษาปัจจุบัน η_{power} มีค่าเท่ากับ 0.38 หรือมากกว่า และประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบทำความร้อนทั่วไปสมมุติให้เป็น 100% จากการทดสอบได้บันทึกค่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar hot water) โดยเริ่มต้นระบบด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิปกติ พบว่าประสิทธิภาพมีค่าประมาณ 0.50 ค่านี้ใช้เป็นเกณฑ์การตรวจสอบประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ PV/T และคาดว่าประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานปฐมภูมิ E_f สำหรับระบบ PV/T ควรมีค่าเกิน 0.50 เพื่อที่จะแข่งขันกับระบบทำน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar hot water) ที่เป็นระบบเดี่ยวได้ แต่ในความเป็นจริงประสิทธิภาพโดยรวมของแผง PV/T สามารถใช้ η_o หรือ E_f ก็ได้ เนื่องจากค่าที่ได้เป็นเพียงค่าชี้วัดประสิทธิภาพ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันระหว่างประสิทธิภาพรวมของการผลิตไฟฟ้าและความร้อน ที่ได้จากอุปกรณ์ต่างชนิดกัน จะต้องทำให้อยู่ในเทอมอ้างอิงเดียวกัน ก็จะสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพกันได้

การหาประสิทธิภาพรวมของแผง PV/T

จากหลักการสมดุลพลังงาน

$$[\text{พลังงานที่แผ่น PV/T ได้รับ}] = [\text{พลังงานทั้งหมดที่ได้}] + [\text{พลังงานสูญเสีย}]$$

ทำให้ได้สมการสมดุลพลังงานของแผง PV/T ดังนี้

$$[\text{แสงอาทิตย์ที่แผ่น PV/T ได้รับ}] = [\text{น้ำร้อน} + \text{กำลังไฟฟ้า}] + [\text{ความร้อนสูญเสียทั้งหมด}]$$

$$(\tau\alpha)_n GA_p = MC\Delta T + IV + U_t A_p (T_p - T_a)$$

และงานวิจัยนี้ได้ใช้อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นในถัง T_i แทนอุณหภูมิแผง T_p [1] เนื่องจากมีความเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทางเดียวกัน จะได้สมการใหม่

$$(\tau\alpha)_n GA_p = MC\Delta T + IV + U_t A_p (T_i - T_a)$$

นำ GA_p หาคัดลออกทั้งสมการจะได้

$$(\tau\alpha)_n = \frac{MC\Delta T}{GA_p} + \frac{IV}{GA_p} + U_t \frac{(T_i - T_a)}{G}$$

โดย $(\tau\alpha)_n =$ ค่าการทะลุผ่าน และค่าการดูดซับแสงอาทิตย์

$$\frac{MC\Delta T}{GA_p} = \text{ประสิทธิภาพทางความร้อน } \eta_{th}$$

$$\frac{IV}{GA_p} = \text{ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า } \eta_{el}$$

$$U_t \frac{(T_i - T_a)}{G} = \text{ค่าการสูญเสียความร้อนทั้งหมด}$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้สมการประสิทธิภาพทางความร้อนรวมของแผง PV/T ดังนี้

$$\eta_{th} = (\tau\alpha)_n - \frac{IV}{GA_p} - U_t \frac{(T_i - T_a)}{G}$$

หรือ

$$\eta_{th} = (\tau\alpha)_n - \frac{IV}{GA_p} - U_t \frac{(T_i - T_a)}{H}$$

G = ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)

U_t = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทั้งหมด (MJ°C)

H = พลังงานความร้อนที่แผงได้รับในช่วงเวลาหนึ่ง = ความเข้มแสงอาทิตย์ x เวลา (MJ)

แทนค่าสมการประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบจะได้

$$\eta_{th} = (\tau\alpha)_n - \left[a - b \frac{(T_i - T_a)}{H} \right] - U_t \frac{(T_i - T_a)}{H}$$

จัดรูปจะได้สมการ

$$\eta_{th} = [(\tau\alpha)_n - a] - (b - U_t) \frac{(T_i - T_a)}{H}$$

เมื่อจัดรูปอีกครั้งจะได้สมการซึ่งตรงกับสมการประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้จากการทดสอบ

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

และประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารวมของแผง PV/T

$$\eta_{el} = (\tau\alpha)_n - \frac{MC\Delta T}{GA_p} - U_t \frac{(T_i - T_a)}{H}$$

แทนค่าสมการประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้จากการทดสอบจะได้

$$\eta_{el} = (\tau\alpha)_n - \left[c - d \frac{(T_i - T_a)}{H} \right] - U_t \frac{(T_i - T_a)}{H}$$

จัดรูปจะได้สมการ

$$\eta_{el} = [(\tau\alpha)_n - c] - (d - U_t) \frac{(T_i - T_a)}{H}$$

เมื่อจัดรูปอีกครั้งจะได้สมการซึ่งตรงกับสมการประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบ

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

การหาประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ PV/T

ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ PV/T แบ่งเป็น 2 ส่วนที่มีความสัมพันธ์กัน คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำในแผง PV/T และประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำในถัง ซึ่งถือว่าเป็นชุดเดียวกัน โดยไม่คิดการสูญเสียความร้อนจากระบบท่อและถัง

จากหลักการสมดุลพลังงานความร้อน

$$[\text{พลังงานความร้อนที่ใช้ได้}] = [\text{พลังงานความร้อนที่น้ำ ได้รับ}] - [\text{พลังงานความร้อนสูญเสีย}]$$

ประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำในแผง PV/T หาจากพลังงานความร้อนของน้ำที่ไหลเข้าแผง PV/T ซึ่งเป็น [พลังงานความร้อนของน้ำที่แผง PV/T ได้รับ]

$$Q_{pvt} = \dot{m}C_p(T_{in} - T_{out})$$

โดยที่ \dot{m} = อัตราการไหลของเชิงมวล (kg/s)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg-K)

T_{in} = อุณหภูมิน้ำเข้าแผง PV/T (°C)

T_{out} = อุณหภูมิน้ำออกแผง PV/T (°C)

และ [พลังงานความร้อนสูญเสีย] เท่ากับ

$$Q_L = U_w A_p (T_p - T_a)$$

โดยที่ U_w = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของน้ำที่ไหลผ่านแผง PV/T (J/s-°C)

T_p = อุณหภูมิแผง PV/T (°C)

T_a = อุณหภูมิภายนอก (°C)

A_p = พื้นที่แผง PV/T

แต่ความร้อนที่ได้จากการวัดจริง เป็นผลที่รวมค่าความร้อนสูญเสียไว้ด้วยกันแล้ว จึงไม่จำเป็นต้องนำ Q_L เข้ามาคำนวณด้วย ซึ่งจะได้สมการความร้อนสำหรับแผง PV/T ดังนี้

$$Q_{pvt} = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in})$$

และประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำในแผง PV/T จากการที่แสงอาทิตย์ตกลงบนพื้นที่ของแผง PV/T เป็นดังสมการ

$$\eta_{th/pvt} = \frac{\dot{m}C_p(T_{out} - T_{in})}{GA_p}$$

- โดยที่ \dot{m} = อัตราการไหลของเชิงมวล (kg/s)
 C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg-K)
 T_{in} = อุณหภูมิน้ำเข้าแผง PV/T (°C)
 T_{out} = อุณหภูมิน้ำออกแผง PV/T (°C)
 A_p = พื้นที่ของแผง PV/T (m²)
 G = ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²)

ประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำในถัง

จากหลักการสมดุลพลังงานความร้อน

$$[\text{พลังงานความร้อนที่ใช้ได้}] = [\text{พลังงานความร้อนของน้ำในถัง}] - [\text{พลังงานความร้อนสูญเสีย}]$$

ในกรณีนี้ไม่ถือว่ามี การสูญเสียความร้อนที่ถัง ดังนั้น

$$[\text{พลังงานความร้อนที่ใช้ได้}] = [\text{พลังงานความร้อนของน้ำในถัง}]$$

พลังงานความร้อนของน้ำในถัง หาได้จากสมการ

$$Q_{\text{tank}} = MC_p(T_f - T_i)$$

- โดยที่ M = มวลน้ำในถังเก็บน้ำร้อน (kg)
 C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg-K)
 T_i = อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นในถังเก็บน้ำร้อน ($^{\circ}\text{C}$)
 T_f = อุณหภูมิน้ำสุดท้ายในถังเก็บน้ำร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

และพลังงานความร้อนของน้ำที่เข้ามาในถัง (Q_{it}) จะมีค่าเท่ากับพลังงานความร้อนของน้ำที่ออกจากแผง PV/T ดังนี้ (โดยไม่คิดความร้อนสูญเสียของท่อ)

$$Q_{pvt} = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) = Q_{it}$$

ดังนั้นจะได้ประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำที่เก็บไว้ในถังในช่วงเวลาหนึ่ง

$$\eta_{th/tank} = \frac{Q_{\text{tank}}}{Q_{it}} = \frac{MC_p(T_f - T_i)}{\dot{m}C_p(T_{out} - T_{in})}$$

- โดยที่ M = มวลน้ำในถังเก็บน้ำร้อน (kg)
 C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg-K)
 T_i = อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นในถังเก็บน้ำร้อน ($^{\circ}\text{C}$)
 T_f = อุณหภูมิน้ำสุดท้ายในถังเก็บน้ำร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

เนื่องจากแผง PV/T รวมเป็นชุดเดียวกันกับถังน้ำร้อน ทำให้ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนในช่วงเวลาหนึ่งดังนี้

$$\eta_{th} = \eta_{th/pvt} \times \eta_{th/tank} = \frac{MC_p(T_f - T_i)}{G(t) A_p}$$

โดย $G(t) = H =$ พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยภายในช่วงเวลาหนึ่ง (J หรือ MJ)

เมื่อพิจารณาตามหลักสมดุลพลังงาน จะพบว่าพลังงานความร้อนที่แผง PV/T ได้รับมีลักษณะเดียวกับพลังงานความร้อนของระบบ เนื่องจากไม่คิดพลังงานความร้อนสูญเสียที่ระบบท่อและถัง ในระหว่างที่น้ำไหลออกจากแผง PV/T เข้าไปในถังเก็บน้ำร้อน จึงถือว่าประสิทธิภาพทางความร้อนมีลักษณะเดียวกันด้วย เมื่อพิจารณาที่ระบบซึ่งใช้ตัวแปรจากถังเก็บน้ำร้อน และประสิทธิภาพของระบบเป็นแบบเดียวกับประสิทธิภาพแผง PV/T ดังนั้นจะได้สมการเพื่อหาประสิทธิภาพที่มีตัวแปรอุณหภูมิ น้ำในถังเริ่มต้น (T_i) และอุณหภูมิภายนอก (T_a) เข้ามาเกี่ยวข้อง และสอดคล้องกับสมการจากงานของ Huang [1] ดังนี้

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

จากนั้นจัดกลุ่มตัวแปร $\eta_{th} = y$ และ $(T_i - T_a)/H = x$ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง η_{th} กับ $(T_i - T_a)/H$ โดยจัดให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น Regression จุดตัดแกน y มีค่าเท่ากับ A หรือเท่ากับประสิทธิภาพสูงสุด และมีความชันเท่ากับ B จะได้สมการที่ใช้ในการหาตัวแปรดังนี้

จากสมการชี้ให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเท่ากับอุณหภูมิภายนอก หรือไม่มีความร้อนสูญเสียที่เกิดขึ้นกับแผง PV/T ประสิทธิภาพจะมีค่าเท่ากับตัวแปร A (ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุด)

การหาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของระบบ PV/T

สำหรับประสิทธิภาพทางไฟฟ้า หาได้โดยการวัดค่ากระแส I และแรงดันไฟฟ้า V จากแผง PV ในระหว่างที่ระบบทำงาน และนำมาคำนวณด้วยสมการ

$$\eta_{el} = \frac{IV}{A_p G}$$

ซึ่ง I = กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)

V = แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)

A_p = พื้นที่ของแผง PV หรือแผง PV/T (m^2)

G = ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^2)

แต่เมื่ออุณหภูมิของแผง PV เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง ซึ่งประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดค่ากำลังไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ความเข้มแสงอาทิตย์ จะประยุกต์ใช้ในเทอมของความร้อนเช่นเดียวกับประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ เพื่อให้ได้สมการสำหรับหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ เมื่อมีตัวแปรอุณหภูมิภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนี้

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

โดยที่ T_i = อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น ($^{\circ}C$)

T_a = อุณหภูมิภายนอก ($^{\circ}C$)

H = พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่แผงได้รับในช่วงเวลาหนึ่ง (MJ)

สำหรับงานทดสอบนี้ได้นำแผง PV/T ชนิด Amorphous Silicon (a-Si) มาทดสอบหาสมรรถนะ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีเมื่อใช้กับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ทนอุณหภูมิสูงได้โดยไม่เสียหาย และมีราคาถูกกว่า เมื่อเทียบกับ Crystalline Silicon (c-Si) ถึงแม้ว่า Crystalline Silicon จะให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าได้ดีกว่า [4]

การหาพลังงานความร้อนที่ได้จากแผง PV/T

เมื่อไม่คิดพลังงานความร้อนสูญเสียที่ระบบท่อและถัง ในระหว่างที่น้ำไหลออกจากแผง PV/T เข้าไปในถังเก็บน้ำร้อน จึงถือว่าประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้จากถังเก็บน้ำร้อน มีลักษณะเดียวกันกับประสิทธิภาพที่ได้จากแผง PV/T

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

$$\text{นำค่าประสิทธิภาพแทนในสมการ } \eta_{th} = \frac{MC_p(T_f - T_i)}{HA_p}$$

ทำให้ได้ค่า ΔT หรือ $T_f - T_i$ เพื่อแทนในสมการพลังงานความร้อน

$$Q = MC_p \Delta T$$

การหาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV/T

เมื่อไม่คิดพลังงานความร้อนสูญเสียที่ระบบท่อและถัง ในระหว่างที่น้ำไหลออกจากแผง PV/T เข้าไปในถังเก็บน้ำร้อน จึงถือว่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ได้จากแผ่น PV มีลักษณะเดียวกันกับประสิทธิภาพที่ได้จากแผง PV/T

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

$$\text{นำค่าประสิทธิภาพแทนในสมการ } \eta_{el} = \frac{IV}{A_p G}$$

ทำให้ทราบค่ากำลังไฟฟ้า $P = IV$ และคำนวณเป็นพลังงานไฟฟ้าจากเวลาที่ใช้งานต่อไป

การใช้ประโยชน์จากแผง PV/T สำหรับบ้านพักอาศัย

โดยปกติบ้านพักอาศัยส่วนมากจะมีไฟฟ้าจากระบบสายส่งเข้าถึง ซึ่งตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้า และความร้อนที่ได้จากอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านอยู่แล้ว จึงไม่ค่อยให้ความสำคัญกับพลังงานหมุนเวียนเท่าที่ควร ถึงแม้ว่าจะมีระบบสายส่งไฟฟ้าเข้าถึง แต่การใช้พลังงานไฟฟ้าในลักษณะนี้เป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงฟอสซิลอย่างก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า และอาจมีวันหมดไปในอนาคต ทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ทำได้โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ที่ผ่านทางระบบแผง PV ที่ให้พลังงานไฟฟ้า ระบบแผง Solar Thermal Collector ที่ให้พลังงานความร้อน หรือระบบแผง PV/T ที่ให้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและความร้อนในเวลาเดียวกัน แต่ระบบแผง PV/T ให้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนได้ไม่มากเท่าระบบแผง PV และระบบแผง Solar Thermal Collector แต่ถึงอย่างไรระบบแผง PV/T ก็มีข้อได้เปรียบคือสามารถพลังงานไฟฟ้าและความร้อนในเวลาเดียวกัน และประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้ง รวมทั้งลดต้นทุนการผลิตแผงลงด้วย

การใช้ประโยชน์จากแผง PV/T ทางด้านไฟฟ้า หากแผง PV/T ใช้เซลล์ PV ชนิด Crystalline Silicon จะได้พลังงานไฟฟ้าที่ดี แต่แผง PV/T นี้ใช้เซลล์ PV ชนิด Amorphous Silicon ทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่า แต่มีอุณหภูมิการใช้งานที่ดีกว่า Crystalline Silicon และไฟฟ้าที่ได้ อาจนำไปใช้กับอุปกรณ์ ไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าต่ำโดยผ่านทางแบตเตอรี่ อุปกรณ์ที่รองรับไฟฟ้ากระแสตรง เช่น หลอดไฟ LED, วิทยุ ฯลฯ หากต้องการใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับต้องมีอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับที่ใช้กับอุปกรณ์ เช่น โทรทัศน์, พัดลม, คอมพิวเตอร์ ฯลฯ

ส่วนการใช้ประโยชน์จากแผง PV/T สำหรับบ้าน ในส่วนของความร้อนที่ได้จะนำไปทำน้ำอุ่นเพื่อใช้อาบเป็นหลัก โดยทั่วไปอุณหภูมิของน้ำอุ่นที่ใช้อาบจะอยู่ที่ 35 – 45°C แต่ในทางปฏิบัติต้องให้ได้น้ำที่อุณหภูมิสูงกว่า เพราะระหว่างทางที่ส่งน้ำจะสูญเสียความร้อนให้กับระบบท่อ ทำให้ไม่ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ จึงต้องเพิ่มจำนวนแผงในการทำความร้อนให้เพียงพอ และเนื่องจากอุณหภูมิน้ำจากแผง PV/T เพียงแผงเดียวไม่สูงพอที่จะนำไปใช้ในส่วนอื่น การใช้ประโยชน์ภายในบ้านก็น่าจะใช้สำหรับอาบน้ำ แต่ถ้าหากเพิ่มจำนวนแผงให้มากขึ้น จะได้น้ำร้อนที่ใช้งานอย่างอื่นได้อีก เช่น การล้างจาน ซักผ้า หรือกิจกรรมอื่น ๆ

วิธีคำนวณจำนวนแผง PV/T สำหรับการใช้งานกรณีใช้ไฟฟ้าเป็นหลัก

หากแผง PV/T ที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอกับความต้องการ การแก้ปัญหาคือต้องเพิ่มพื้นที่แผงหรือจำนวนแผงให้มากขึ้น แต่จะมากเท่าใดขึ้นอยู่กับตัวแปรการสูญเสียความร้อนออกจากระบบที่ได้จากแผง PV/T แต่ละชนิด ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพ ดังนั้นการจะทราบว่าใช้พื้นที่แผงหรือจำนวนแผงเท่าใด จะนำสมการประสิทธิภาพของระบบ PV/T ที่ขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรการสูญเสียความร้อนของแผงจากผลการทดสอบในงานวิจัยนี้ มาคำนวณโดยยึดกรณีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า
2. เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นกำลังไฟฟ้า
3. เมื่อทราบกำลังไฟฟ้าที่ต้องการแล้ว แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการ

$$\frac{P}{GA_p} = 0.0306 - 0.0105 \frac{(T_i - T_a)}{H}$$

4. ได้พื้นที่แผงที่ต้องใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้า และหาจำนวนแผงได้

สำหรับพลังงานความร้อนในกรณีนี้ถือเป็นผลพลอยได้จากการเพิ่มจำนวนแผงให้มากขึ้น โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. เมื่อทราบพื้นที่แผงที่ต้องใช้แล้ว แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการเพื่อหา ΔT

$$\frac{MC_p \Delta T}{HA_p} = 0.2532 - 0.0579 \frac{(T_i - T_a)}{H}$$

2. นำค่า ΔT แทนในสมการหาพลังงานความร้อน

$$Q = MC_p \Delta T$$

3. ทราบค่าพลังงานความร้อน พร้อมกับอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ได้ สำหรับใช้ประโยชน์ต่อไป

บทที่ 4

การดำเนินการทดสอบและชุดอุปกรณ์

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ PV/T ในการผลิตน้ำร้อนและไฟฟ้านี้ เพื่อให้ทราบถึงสมรรถนะการผลิตน้ำร้อนและไฟฟ้าของแผง PV/T แบบ Flat-Plate ชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ Amorphous Silicon ที่มีท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 9.53 มิลลิเมตร เป็นท่อเดี่ยว ฝังอยู่ในส่วนของแผ่นดูดซับความร้อนด้านในแผง PV/T ซึ่งมีการไหลแบบอนุกรม สำหรับการทดสอบจะใช้ชุดอุปกรณ์ดังนี้

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. แผงรับแสงอาทิตย์ PV/T แบบ Flat-Plate พร้อมถังน้ำร้อนขนาด 200 ลิตร



รูปที่ 4.1 ชุดแผง PV/T และถังน้ำร้อน



รูปที่ 4.2 แผ่นอลูมิเนียมและขดท่อทองแดงใต้แผ่น PV



ตารางที่ 4.1 รายละเอียดแผ่น PV ที่ใช้ทำระบบแผง PV/T

ชนิดของ PV Cell	Amorphous Silicon (a-Si)
อุณหภูมิทำงาน (°C)	-40 ถึง 85
ขนาดแผง (mm x mm)	635 x 1245
พื้นที่แผง (m ²)	0.79
กำลังไฟฟ้าที่ระบุ (W)	40
แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V)	62.2
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (A)	1.14
แรงดันไฟฟ้าขณะทำงาน (V)	44.8
กระแสไฟฟ้าขณะทำงาน (A)	0.93
แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบ (V)	600
ประสิทธิภาพที่ Standard Test Conditions (%)	5.27

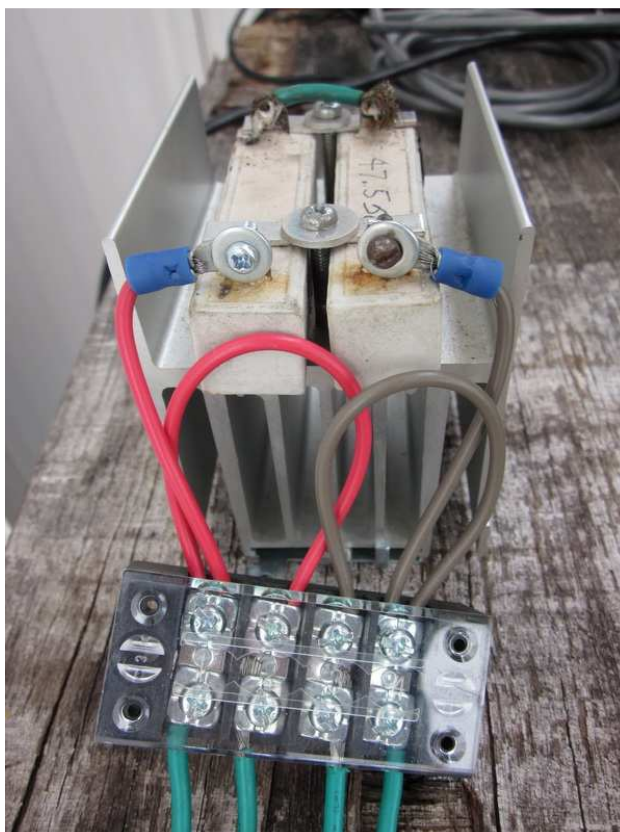
ตารางที่ 4.2 รายละเอียดของถังน้ำร้อนและอุปกรณ์

เส้นผ่านศูนย์กลางถังน้ำร้อน (mm)	600
ความสูงของถัง (mm)	700
ความจุของถังน้ำร้อน (Litre)	200
ปริมาณน้ำในถังสำหรับการทดสอบ (Litre)	120
ขนาดข้อต่อลด ทางน้ำเข้าและออก (mm)	19.05 – 9.53
ขนาดสายยางที่ใช้ (mm)	9.53
ขนาดฉนวนหุ้มสายยาง (mm)	9.53

2. ปั๊มน้ำขนาดเล็กสำหรับหมวนเวียนน้ำ

รายละเอียดของปั๊ม	
Size	5.0 cm x 5.5 cm x 7.5 cm
Rated Voltage	12 Volts
Rated Current	0.41 Amps
Power	0.65 W
Rotate Speed	2700 RPM
Capacity	2 L/Min
Pump Head	1.5 M
Working Temperature	0 to 105°C
Motor	Mini DC motor RF-370C-12560
Rotate Speed (No Load)	3700 RPM Current : ≤ 35 mA
At maximum efficiency	2700 RPM Current : ≤ 410 mA Power : 0.65 W
Pump	<div style="text-align: center;">  <p>1 2 3</p> <p>Gear Pump (external gear pump)</p>  </div> <p style="text-align: center;">รูปที่ 4.3 ปั๊มน้ำ DC 12 Volt สำหรับหมวนเวียนน้ำ</p>
Working life	10,000 hours up
I.D.	6 mm
O.D.	8 mm

3. อุปกรณ์ Wire Wound Resistor



รูปที่ 4.4 Wire Wound Resistor ที่ต่ออนุกรมกัน

ตัวต้านทานชนิดลวดพันหรือ Wire Wound Resistor เป็นตัวต้านทานที่มีโครงสร้างเกิดจากการใช้ลวดพันลงบนเส้นลวดแกนเซรามิก หลังจากนั้นต่อลวดตัวนำด้านหัวและท้ายของเส้นลวดที่พัน ส่วนค่าความต้านทานขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำเป็นลวดตัวนำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนเซรามิก และความยาวของลวดตัวนำ สอดท้ายจะเคลือบด้วยสารประเภทเซรามิกบริเวณรอบนอกอีกครั้งหนึ่ง ตัวต้านทานชนิดนี้ทนความร้อนได้ดี ใช้อากาศในการระบายความร้อน สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำ Wire Wound Resistor 2 ตัวต่ออนุกรมกัน ซึ่งมีความต้านทานรวม 47.5Ω มาใช้เป็นตัวต้านทานสำหรับหาค่ากำลังไฟฟ้าที่แผง PV/T ผลิตได้

4. เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า DC Power Supply



รูปที่ 4.5 เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง DC Power Supply

DC Power Supply หรือเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เป็นอุปกรณ์ที่แปลงแรงดันไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นกระแสตรง แล้วจ่ายให้กับอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง โดยสามารถปรับค่าแรงดันและกระแสได้ และสำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้ DC Power Supply จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ให้กับปฏิกิริยาขนาดเล็กที่ใช้หมุนเวียนน้ำเข้าแผง PV/T

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

1. เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer)



รูปที่ 4.6 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer)

Pyranometer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ ซึ่งมีแผ่นรับแสงแดดเป็นวัสดุสีดำในโดมแก้ว ซึ่งจะทำหน้าที่ดูดกลืนช่วงความยาวคลื่นของแสงตั้งแต่ 305 nm ถึง 2800 nm การดูดกลืนดังกล่าวจะทำให้แผ่นรับแสงร้อนขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะวัดโดยเทอร์โมไพล์ (เทอร์โมคัปเปิลที่ต่ออนุกรมกันหลายคู่) สัญญาณเอาต์พุตจากตัวเครื่องเป็นแรงดันไฟฟ้า (emf) ที่อยู่ในระดับไมโครโวลต์ และต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger) เพื่อเก็บผลเป็น W/m^2 ต่อไป ซึ่งงานทดสอบนี้ใช้ MIDDLETON SOLAR EQ08-S Pyranometer มี Sensitivity $16.53 \mu V/W\cdot m^2$

2. เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Type K Thermocouple)



รูปที่ 4.7 เทอร์โมคัปเปิล Type K

เทอร์โมคัปเปิล คืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงดันไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยให้เปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้เกิดการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง และในงานวิจัยนี้ใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K ซึ่งมีคุณสมบัติสำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ จะวัดได้จาก -180°C ถึงประมาณ $1,350^{\circ}\text{C}$ สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซิง หรือสภาวะแบบเฉื่อย (inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น ๆ สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่น ๆ และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน

3. เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)



รูปที่ 4.8 เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)

Data Logger คือ ระบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการและเก็บข้อมูล พื้นฐานของระบบ Data Logger ประกอบไปด้วย Scanner หรือ Multiplexer Digital – Voltmeter และตัวบันทึกข้อมูล ซึ่งรับอินพุตที่เป็นระบบ Analog จาก Sensor แล้วทำการเปลี่ยนข้อมูลเป็นระบบ Digital และเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำเพื่อการนำไปใช้ต่อไป ในงานวิจัยนี้ใช้ FLUKE 2625 HYDRA DATA LOGGER ในการเก็บข้อมูลจาก Pyranometer, Thermocouple และ Wire Wound Resistor

4. คอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูล



รูปที่ 4.9 คอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูล

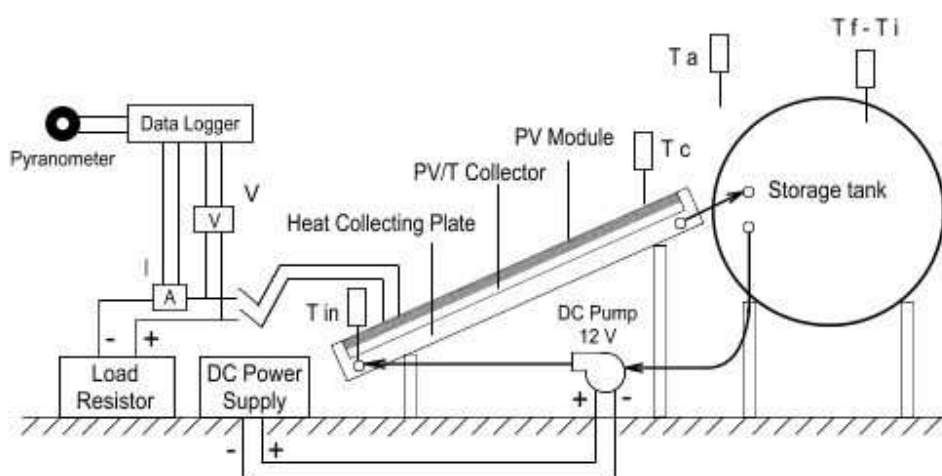
คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ใช้ในการดูผล ตรวจสอบ และบันทึกข้อมูลจาก Data Logger โดยต่อเข้ากับ Serial Port ของ Data Logger สำหรับงานวิจัยนี้ใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กในการดูผล และบันทึกข้อมูลแบบ Real Time โดยตั้งคอมพิวเตอร์ไว้ในบริเวณที่ทำการทดสอบระบบแผง PV/T ตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดสอบและเก็บข้อมูล

วิธีการทดสอบ

การทดสอบเริ่มจากการติดตั้งระบบ PV/T ไว้บริเวณกลางแจ้งชั้นบนสุดของอาคาร 5 ชั้น ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีเงาจากสิ่งกีดขวางใด ๆ มาบังแสงอาทิตย์ โดยตั้งแผงทำมุม 15° ทางทิศใต้ ซึ่งเป็นทิศที่จะทำให้ได้รับแสงอาทิตย์ได้อย่างเต็มที่ การทดสอบนี้ทำในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 เป็นช่วงฤดูร้อนที่มีแสงแดดค่อนข้างจัด โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณีคือ ทดสอบระบบ PV/T แบบใช้ปั๊มขนาดเล็กหมุนเวียนน้ำ และทดสอบระบบ PV/T แบบหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งทั้งสองกรณีนี้ต้องการหาปริมาณความร้อนและไฟฟ้าที่ได้จากระบบ เพื่อเปรียบเทียบว่าควรนำกรณีใดไปประยุกต์ใช้ต่อไป โดยมีตัวแปรควบคุมที่เหมือนกัน คือ ปริมาณน้ำในถังเท่ากับ 120 ลิตร ช่วงเวลาที่ทดสอบระบบโดยประมาณ 8.00 – 16.00 น. และทดสอบในสภาพอากาศใกล้เคียงกัน รูปแบบของการดำเนินการทดสอบมีดังนี้

1. การทดสอบสมรรถนะของแผง PV/T แบบใช้ปั๊มขนาดเล็กหมุนเวียนน้ำ

การทดสอบนี้จะดำเนินการเป็นเวลา 7 วัน ซึ่งภายในช่วงเวลานี้จะใช้ลักษณะของการถ่ายน้ำออกจากถัง 2 วัน อีก 5 วันจะให้ไม่ถ่ายน้ำออก เพื่อที่จะให้ได้อุณหภูมิน้ำเข้าแผงที่สูงพอจะนำมาวิเคราะห์ได้ หรืออีกนัยหนึ่งเปรียบเสมือนการใช้น้ำให้หมดในแต่ละวันแล้วเติมใหม่ กับวันที่ไม่ได้ใช้น้ำจากถังเลย โดยออกแบบการทดสอบดังแผนภาพ



รูปที่ 4.10 แผนภาพการทดสอบระบบ PV/T กรณีหมุนเวียนน้ำแบบใช้ปั๊ม

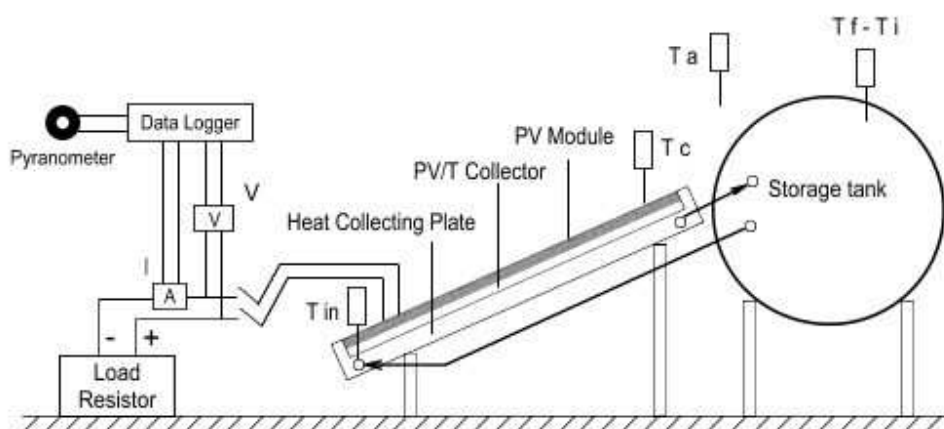
จากแผนภาพอธิบายการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นระบบ น้ำเย็นจากถังเก็บจะเข้าไปยังแผง PV/T โดยผ่านปั๊ม DC 12 Volt ขนาดเล็ก ซึ่งมี DC Power Supply จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับปั๊ม ปั๊มจะช่วยให้ น้ำไหลเข้าแผงได้เร็วขึ้น น้ำที่ผ่านแผง PV/T ออกมาจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อแสงอาทิตย์ตกลงบนแผง PV/T ที่มีแผง PV อยู่ด้านบนของแผ่น Heat Collecting Plate หรือแผ่นดูดซับความร้อน จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากแผ่นดูดซับความร้อนไปยังน้ำในท่อทองแดง น้ำจะไหลเข้าไปเก็บที่ถังเก็บ ส่วนหนึ่งจะสะสมความร้อนอยู่ในถัง และอีกส่วนหนึ่งจะไหลเวียนออกจากถังเข้าไปยังแผง PV/T เช่นเดิม ทำให้ได้น้ำที่อุณหภูมิสูงขึ้นเก็บสะสมอยู่ในถัง และในขณะเดียวกันก็ได้ไฟฟ้าจากแผง PV ไปด้วย สำหรับอุณหภูมิของน้ำเข้าแผง น้ำในถัง อุณหภูมิอากาศภายนอก และอุณหภูมิของแผง จะใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K ในการวัด ส่วนความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV จะต่อเข้ากับ Load Resistor เพื่อเป็นโหลดสำหรับหาค่ากำลังไฟฟ้า และแสงอาทิตย์จะใช้ Pyranometer วัดความเข้มแสง โดยข้อมูลทั้งหมดที่วัดจะถูกบันทึกโดย Data Logger

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เติมน้ำในถังให้มีปริมาณ 120 ลิตร
2. ติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูล Data Logger เข้ากับระบบ PV/T และเครื่องคอมพิวเตอร์
3. เดินระบบ PV/T พร้อมกับบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ น้ำเข้าแผง อุณหภูมิ น้ำในถัง อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิแผง และความเข้มแสงอาทิตย์ ด้วย Data Logger ทุก 2 นาที ตั้งแต่เวลาประมาณ 8.00 – 16.00 น.
4. เมื่อบันทึกข้อมูลเสร็จเรียบร้อย รวบรวมข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ผลต่อไป

2. การทดสอบสมรรถนะของแผง PV/T แบบหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ

การทดสอบนี้เริ่มขึ้นหลังจากทดสอบระบบ PV/T แบบใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำ และทำการทดสอบเป็นเวลา 3 วัน โดยไม่ถ่ายน้ำออกจากถัง การทดสอบนี้แตกต่างจากแบบใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำเนื่องจากให้ระบบเกิดการหมุนเวียนน้ำเอง ตามหลัก Thermosyphon ที่เมื่อน้ำในถังอุณหภูมิสูงขึ้นจะลอยตัวขึ้นด้านบน ส่วนน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะอยู่ด้านล่าง เมื่อเกิดความต่างของอุณหภูมิ น้ำด้านบนกับด้านล่าง น้ำด้านล่างจะถูกดันให้ไหล จึงเกิดการหมุนเวียนขึ้นได้



รูปที่ 4.11 แผนภาพการทดสอบระบบ PV/T กรณีหมุนเวียนน้ำแบบธรรมชาติ

แผนด้านบนนี้อธิบายการทำงานของระบบได้เช่นเดียวกับกับระบบ PV/T แบบใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำ เพียงแต่ระบบ PV/T แบบหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ ไม่ต้องใช้ปั๊มในการหมุนเวียนน้ำ และเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง DC Power Supply

ขั้นตอนการทดสอบ

สำหรับการทดสอบนี้มีขั้นตอนการทดสอบที่เหมือนกับระบบ PV/T แบบใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำ

บทที่ 5

ผลการทดสอบ

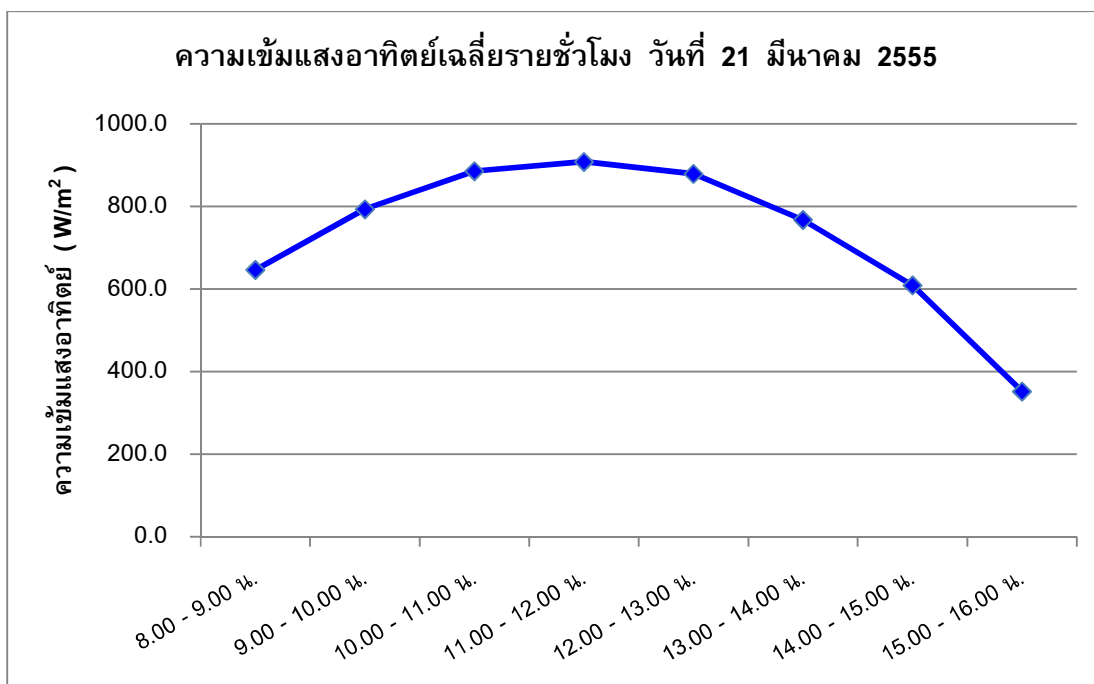
การทดสอบระบบ PV/T จะเก็บข้อมูลจากตัวแปรอุณหภูมิ ความเข้มแสงอาทิตย์ และกำลังไฟฟ้าที่ได้ โดยคำนวณเป็นรายชั่วโมง และการดำเนินการทดสอบระบบในกรณีใช้ปั๊มขนาดเล็ก หมุนเวียนน้ำ ซึ่งน้ำที่ไหลออกจากแผงมีอัตราการไหล 1.14 ลิตร ต่อนาที มีปริมาณน้ำในถัง 120 ลิตร อัตราส่วนมวลของน้ำต่อพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ หรือ M/A เท่ากับ 151.9 และตั้งแผงทำมุม 15° ในแนวระนาบ หันไปทางทิศใต้ ทำให้ได้ผลทดสอบที่แสดงได้ดังนี้

ผลการทดสอบรายชั่วโมงกรณีหมุนเวียนน้ำโดยใช้ปั๊มขนาดเล็ก

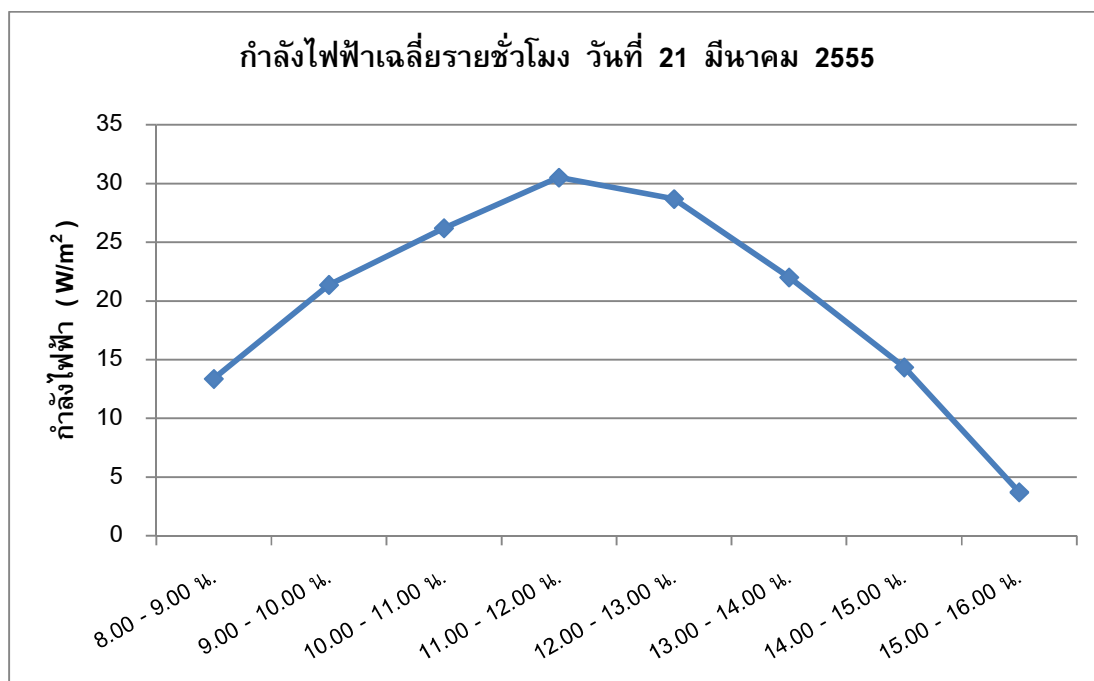
ตัวอย่างข้อมูลที่ได้อจากการทดสอบรายชั่วโมงของระบบ PV/T กรณีใช้ปั๊มขนาดเล็กหมุนเวียนน้ำ

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม 2555

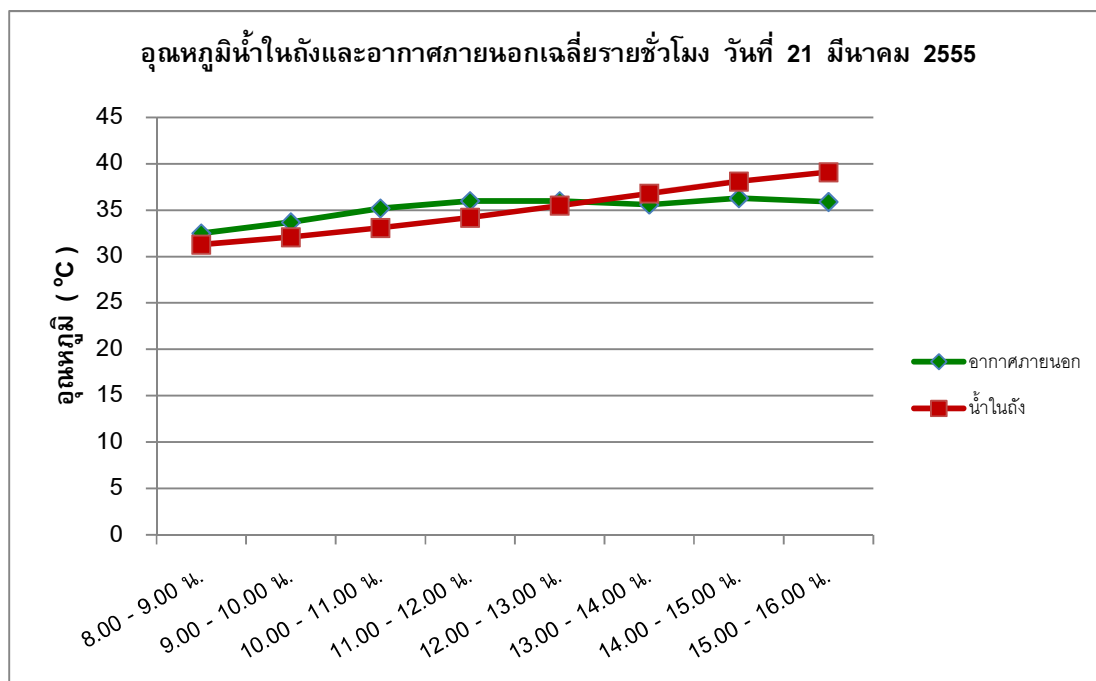
ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำ เริ่มต้น T_i ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิน้ำ เข้าแผง T_{in} ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก T_a ($^\circ\text{C}$)	อุณหภูมิแผง T_p ($^\circ\text{C}$)	ความเข้ม แสงอาทิตย์ G (W/m^2)	กำลังไฟฟ้า P (W)
1	31.3	31.9	32.5	49.2	647.2	13.38
2	32.1	34.5	33.7	59.8	794.0	21.38
3	33.1	37.5	35.2	66.6	886.2	26.21
4	34.2	41.0	36.0	70.4	908.7	30.52
5	35.5	42.2	36.0	70.4	879.5	28.70
6	36.8	43.4	35.6	67.3	768.2	22.02
7	38.1	43.4	36.3	61.5	609.6	14.36
8	39.1	43.9	35.9	57.0	352.5	3.72



รูปที่ 5.1 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 21 มี.ค. 55



รูปที่ 5.2 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 21 มี.ค. 55



รูปที่ 5.3 อุณหภูมิน้ำในถังและอากาศภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมงวันที่ 21 มี.ค. 55

จากผลการทดสอบในรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากในวันที่ 21 มี.ค. 55 ตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00 – 16.00 น. ท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ และอยู่ในช่วงต้นฤดูร้อน ส่วนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากรูปที่ 5.2 เห็นได้ชัดว่าหากมีความเข้มแสงอาทิตย์สูง จะได้กำลังไฟฟ้าจาก PV สูงตามไปด้วย เป็นตัวแปรที่แปรผันตามกัน และในรูปที่ 5.3 สำหรับระบบหมุนเวียนน้ำโดยใช้ปั๊มขนาดเล็ก พบว่าในช่วงแรกอุณหภูมิน้ำในถังมีค่าที่ต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก แต่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งถึงช่วง 13.00 น. อุณหภูมิน้ำในถังมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ไหลผ่านแผง PV/T ซึ่งได้รับความร้อนจากอากาศภายนอกและแสงอาทิตย์ เข้าไปสะสมในถังอย่างต่อเนื่อง

และข้อมูลข้างต้น แสดงให้เห็นถึงผลที่ได้จากการทดสอบระบบ PV/T แบบใช้ปั๊มขนาดเล็ก หมุนเวียนน้ำ ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลจริงใน 1 วัน หากต้องการทราบผลที่เก็บได้ทั้งหมด 7 วัน สำหรับระบบนี้ สามารถดูได้จากภาคผนวก ซ

ประสิทธิภาพรายชั่วโมงสำหรับกรณีใช้ปั๊มขนาดเด็กหมุนเวียนน้ำได้เป็นดังนี้

ตารางที่ 5.2 ประสิทธิภาพทางความร้อนกรณีใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำ

วันที่	ประสิทธิภาพทางความร้อนกรณีใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำ (%)								เฉลี่ย
	ชั่วโมง ที่ 1	ชั่วโมง ที่ 2	ชั่วโมง ที่ 3	ชั่วโมง ที่ 4	ชั่วโมง ที่ 5	ชั่วโมง ที่ 6	ชั่วโมง ที่ 7	ชั่วโมง ที่ 8	
20 มี.ค. 55	41.6	21.7	16.1	22.2	15.6	34.8	33.3	14.7	25.0
21 มี.ค. 55	23.2	16.7	16.9	26.2	23.1	33.3	33.3	45.1	25.2
27 มี.ค. 55	33.8	2.9	30.0	17.9	25.7	28.3	35.9	45.0	27.4
28 มี.ค. 55	5.8	17.4	25.4	23.1	14.9	51.3	34.2	55.1	28.4
29 มี.ค. 55	57.9	15.5	8.8	23.6	26.9	26.2	37.0	7.3	25.4
30 มี.ค. 55	15.4	13.7	21.3	22.5	23.3	30.2	22.3	51.8	25.1
2 เม.ย. 55	34.4	14.4	22.5	22.9	29.2	21.8	31.4	65.1	30.2

ตารางที่ 5.3 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ากรณีใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำ

วันที่	ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ากรณีใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำ (%)								เฉลี่ย
	ชั่วโมง ที่ 1	ชั่วโมง ที่ 2	ชั่วโมง ที่ 3	ชั่วโมง ที่ 4	ชั่วโมง ที่ 5	ชั่วโมง ที่ 6	ชั่วโมง ที่ 7	ชั่วโมง ที่ 8	
20 มี.ค. 55	1.7	2.7	3.4	3.7	4.0	3.9	3.3	2.6	3.1
21 มี.ค. 55	2.6	2.4	3.7	4.3	4.1	3.6	3.0	1.3	3.3
27 มี.ค. 55	1.7	2.7	3.4	3.8	3.7	3.3	2.7	1.8	2.9
28 มี.ค. 55	1.4	2.1	3.0	3.1	3.1	2.4	2.1	1.3	2.3
29 มี.ค. 55	1.6	2.6	3.3	3.7	3.7	3.4	2.9	2.0	2.9
30 มี.ค. 55	1.5	2.2	3.1	3.6	3.8	3.3	3.2	2.0	2.8
2 เม.ย. 55	1.3	2.1	2.9	3.3	3.4	3.2	2.6	1.7	2.6

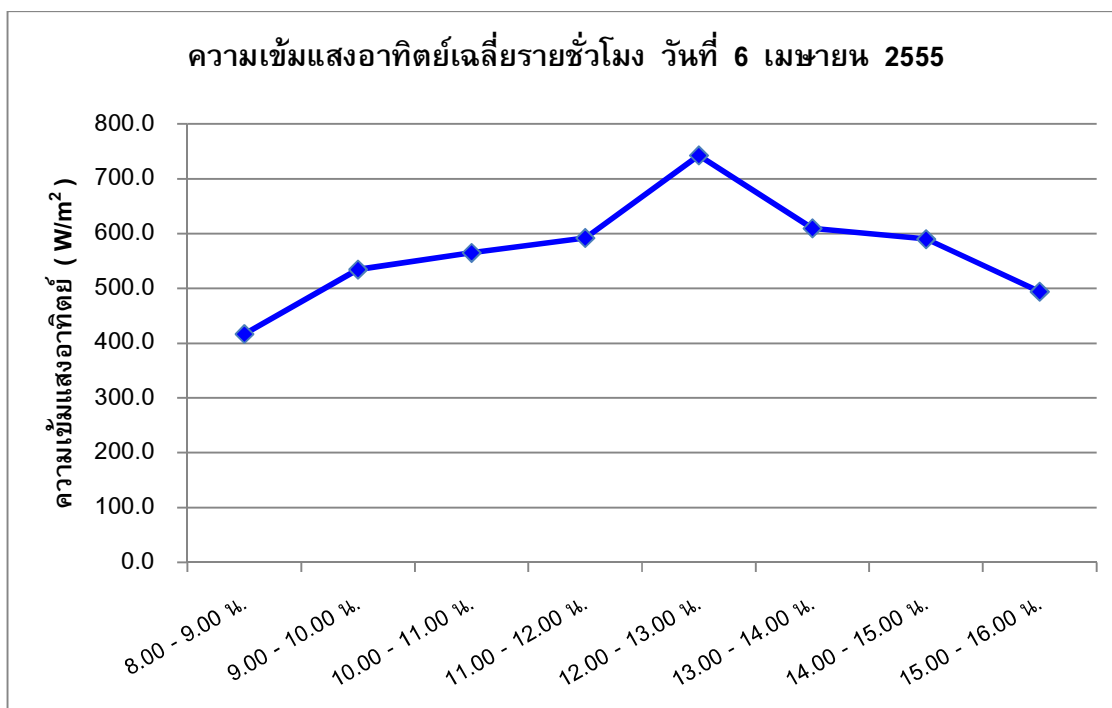
สำหรับการทดสอบในกรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ ข้อมูลจากตัวแปรที่เก็บจะเหมือนกับกรณีใช้ปั้มขนาดเล็กหมุนเวียนน้ำคือ มีปริมาณน้ำในถัง 120 ลิตร อัตราส่วนมวลของน้ำต่อพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ หรือ M/A เท่ากับ 151.9 และตั้งแผงทำมุม 15° ในแนวระนาบ หันไปทางทิศใต้เช่นเดียวกัน ทำให้ได้ผลทดสอบที่แสดงได้ดังนี้

ผลการทดสอบรายชั่วโมงกรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ

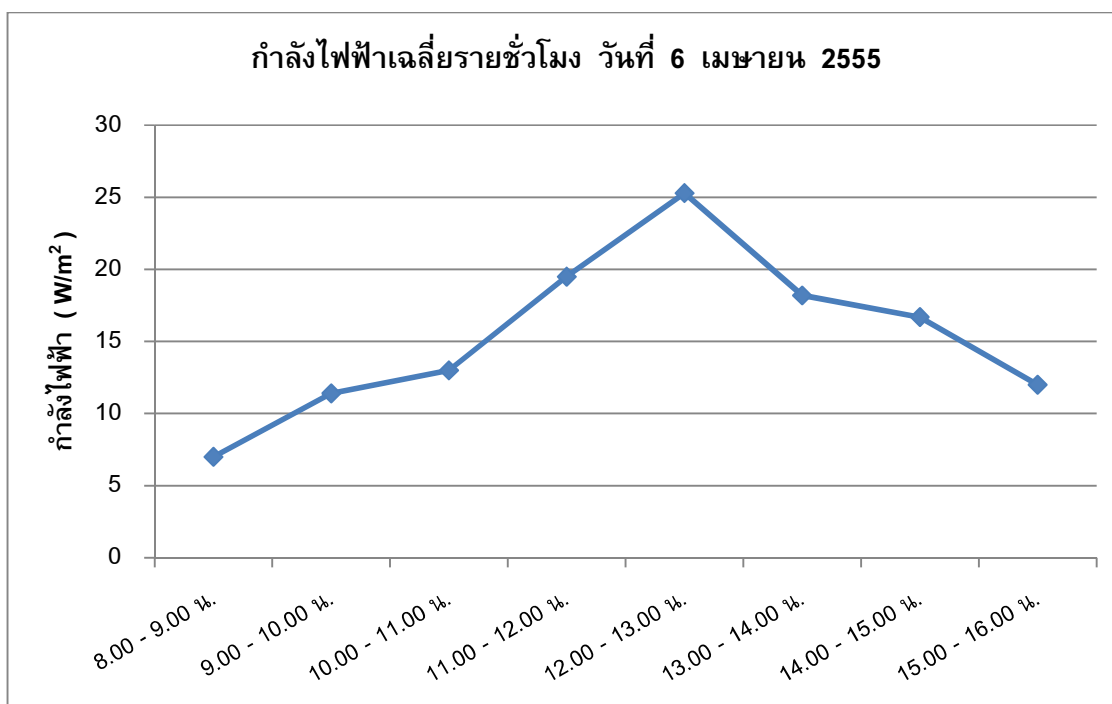
ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการทดสอบรายชั่วโมงของระบบ PV/T กรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 6 เมษายน 2555

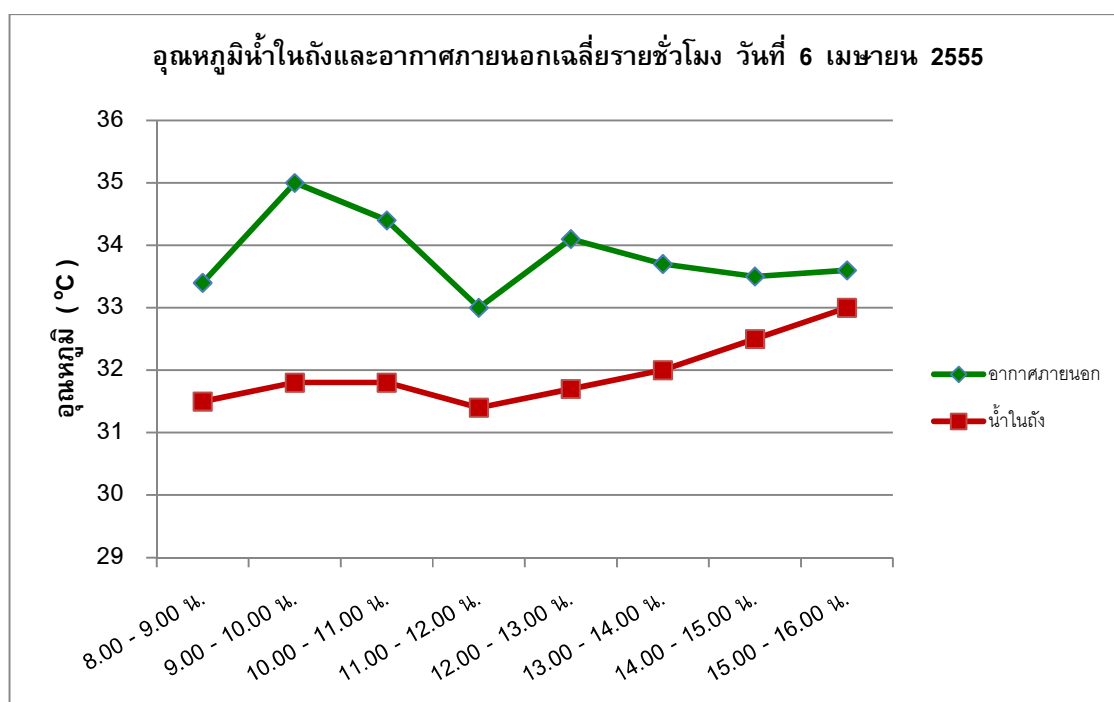
ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำ เริ่มต้น T_i ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิน้ำ เข้าแผง T_m ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก T_a ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิแผง T_p ($^{\circ}\text{C}$)	ความเข้ม แสงอาทิตย์ G (W/m^2)	กำลังไฟฟ้า P (W)
1	31.5	31.9	33.4	46.7	416.9	7.0
2	31.8	32.3	35.0	67.0	534.5	11.4
3	31.8	33.1	34.4	63.1	565.2	13.0
4	31.4	33.0	33.0	71.8	592.2	19.5
5	31.7	32.8	34.1	86.8	743.0	25.3
6	32.0	33.1	33.7	81.5	609.8	18.2
7	32.5	33.5	33.5	77.8	590.2	16.7
8	33.0	34.2	33.6	77.3	494.3	12.0



รูปที่ 5.4 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 6 เม.ย. 55



รูปที่ 5.5 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 6 เม.ย. 55



รูปที่ 5.6 อุณหภูมิน้ำในถังและอากาศภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 6 เม.ย. 55

จากผลการทดสอบในรูปที่ 5.4 เห็นได้ว่าในช่วงเวลา 12.00 น. ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นมามากกว่าในช่วงเวลาอื่น เนื่องจากในวันที่ 6 เม.ย. 55 ตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00 – 11.00 น. และช่วง 13.00 – 16.00 น. ท้องฟ้ามีเมฆประปราย แต่อยู่ในช่วงฤดูร้อนที่มีแสงอาทิตย์ค่อนข้างมาก จึงไม่เป็นปัญหาสำหรับการเก็บข้อมูล และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากรูปที่ 5.5 มีการแปรผันตามความเข้มแสงอาทิตย์ คือความเข้มแสงอาทิตย์สูงจะได้กำลังไฟฟ้าสูงตาม ส่วนในรูปที่ 5.6 เป็นผลจากระบบหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ พบว่าอุณหภูมิน้ำในถังมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก และมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดระยะเวลา 8.00 – 16.00 น. ซึ่งเกิดจากอัตราการหมุนเวียนน้ำที่ช้าและน้อยเกินไป ทำให้ถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดี

และข้อมูลข้างต้น แสดงให้เห็นถึงผลที่ได้จากการทดสอบระบบ PV/T แบบหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลจริงใน 1 วัน หากต้องการทราบผลที่เก็บได้ทั้งหมด 3 วัน สำหรับระบบนี้ สามารถดูได้จากภาคผนวก ฅ

ประสิทธิภาพรายชั่วโมงสำหรับกรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติเป็นดังนี้

ตารางที่ 5.5 ประสิทธิภาพทางความร้อนกรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ

วันที่	ประสิทธิภาพทางความร้อนกรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ (%)								
	ชั่วโมง ที่ 1	ชั่วโมง ที่ 2	ชั่วโมง ที่ 3	ชั่วโมง ที่ 4	ชั่วโมง ที่ 5	ชั่วโมง ที่ 6	ชั่วโมง ที่ 7	ชั่วโมง ที่ 8	เฉลี่ย
4 เม.ย. 55	-67.3	13.6	7.1	-62.2	-40.9	21.3	-11.6	13.5	-15.9
6 เม.ย. 55	12.7	-8.3	-6.3	-10.4	20.2	8.7	16.5	8.9	5.3
8 เม.ย. 55	-2.8	5.6	8.9	12.4	25.0	22.0	46.8	18.6	17.1

ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ากรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ

วันที่	ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ากรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ (%)								
	ชั่วโมง ที่ 1	ชั่วโมง ที่ 2	ชั่วโมง ที่ 3	ชั่วโมง ที่ 4	ชั่วโมง ที่ 5	ชั่วโมง ที่ 6	ชั่วโมง ที่ 7	ชั่วโมง ที่ 8	เฉลี่ย
4 เม.ย. 55	1.2	2.3	2.8	1.4	1.3	1.8	0.6	2.9	1.8
6 เม.ย. 55	2.1	2.7	2.9	4.2	4.3	3.8	3.6	3.1	3.3
8 เม.ย. 55	2.8	2.5	3.9	4.2	3.9	3.3	3.0	1.7	3.3

ผลจากการทดสอบที่อุณหภูมิน้ำเข้าแผงที่ 30, 35, 40, 45 และ 50°C

ประสิทธิภาพทางความร้อนรายชั่วโมงเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าแผง T_{in} อยู่ในช่วง 30, 35, 40, 45 และ 50°C สำหรับกรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ มีอุณหภูมิไม่ถึง 50°C และค่าอุณหภูมิน้ำเข้าแผงที่ได้มีความแปรปรวนมาก จึงพิจารณาได้จากกรณีใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำเพียงอย่างเดียว ซึ่งได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลในช่วงอุณหภูมิน้ำเข้าแผง 30, 35, 40, 45 และ 50°C

อุณหภูมิน้ำ เริ่มต้น T_i (°C)	อุณหภูมิน้ำ เข้าแผง T_{in} (°C)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก T_a (°C)	อุณหภูมิแผง T_p (°C)	ความเข้ม แสงอาทิตย์ G (W/m ²)	กำลังไฟฟ้า P (W)
30.8	30.8	31.6	44.3	446.2	5.83
35.1	35.3	31.6	46.6	418.2	5.71
39.3	40.0	33.2	55.9	457.0	7.51
39.7	45.0	36.6	74.7	687.6	17.96
45.2	50.0	39.5	73.2	595.3	13.89

ประสิทธิภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวสามารถหาได้จาก

$$\eta_{th} = \frac{MC_p(T_f - T_i)}{HA_p}$$

และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าหาได้จาก

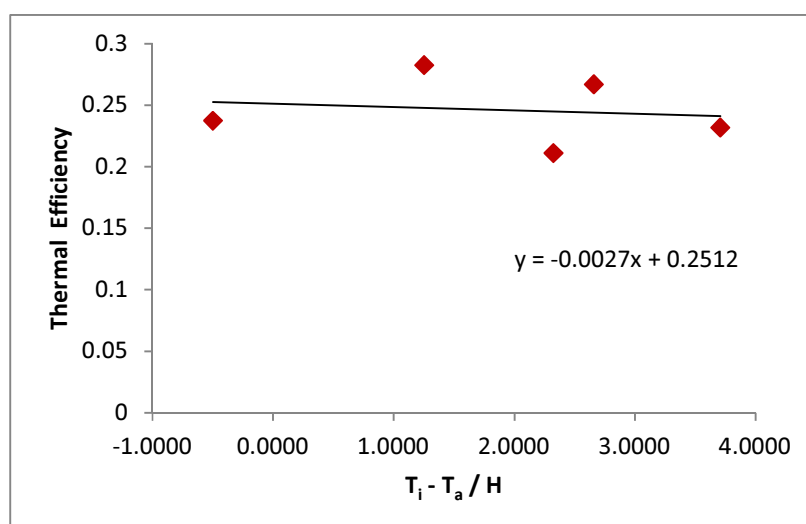
$$\eta_{el} = \frac{IV}{A_p G}$$

โดยให้ T_f มีค่าเท่ากับอุณหภูมิสุดท้ายของชั่วโมงและมี T_i เท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำต้นชั่วโมง ณ ช่วงเวลาเดียวกับอุณหภูมิน้ำเข้าแผง T_{in} ที่มีค่าประมาณ 30, 35, 40, 45 และ 50°C จะได้ประสิทธิภาพทางความร้อนและไฟฟ้าดังนี้

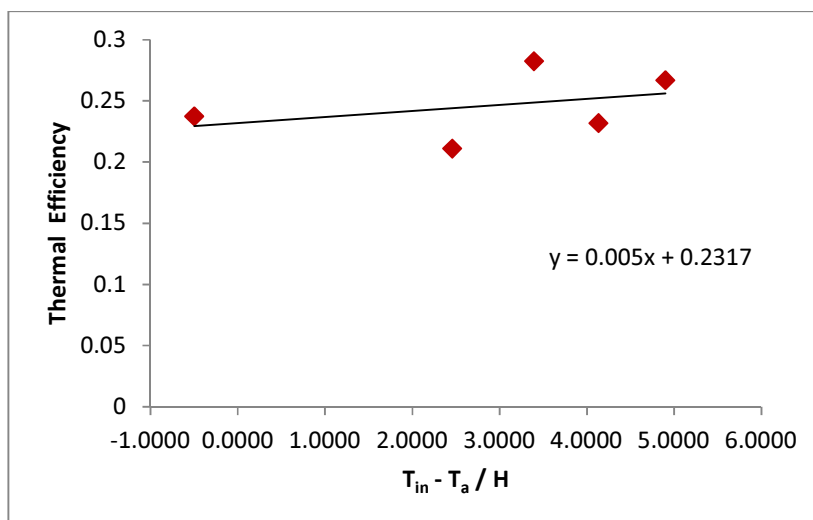
ตารางที่ 5.8 ประสิทธิภาพรายชั่วโมงในช่วงอุณหภูมิน้ำเข้าแผง 30, 35, 40, 45 และ 50°C

ประสิทธิภาพทางความร้อน (%)	ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า (%)	$T_i - T_a / H$	$T_{in} - T_a / H$
23.8	1.7	-0.5	-0.5
21.1	1.7	2.3	2.5
23.2	2.1	3.7	4.1
28.3	3.3	1.3	3.4
26.7	3.0	2.7	4.9

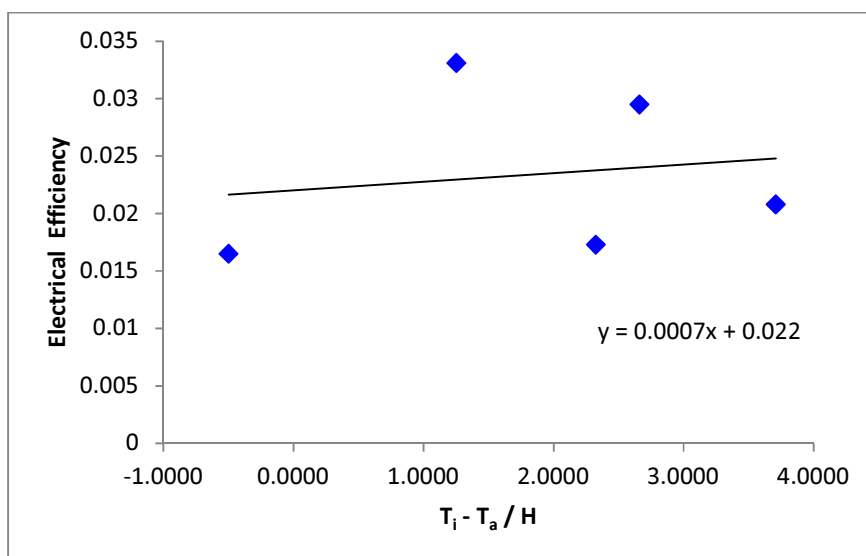
จากผลการทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อนรายชั่วโมงเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าแผง T_{in} อยู่ในช่วง 30, 35, 40, 45 และ 50°C จะพิจารณาจากระบบหมุนเวียนน้ำโดยใช้ปั๊มเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ และการสูญเสียความร้อนดังนี้



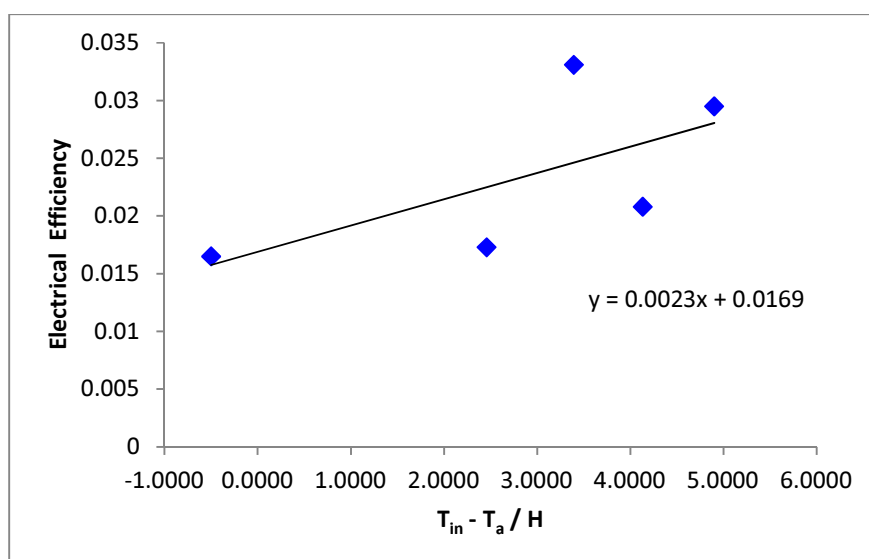
รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์รายชั่วโมงระหว่าง η_{th} กับ $T_i - T_a / H$ กรณีทดสอบที่ 30, 35, 40, 45 และ 50°C



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์รายชั่วโมงระหว่าง η_{th} กับ $T_{in} - T_a / H$
กรณีทดสอบที่ 30, 35, 40, 45 และ 50°C



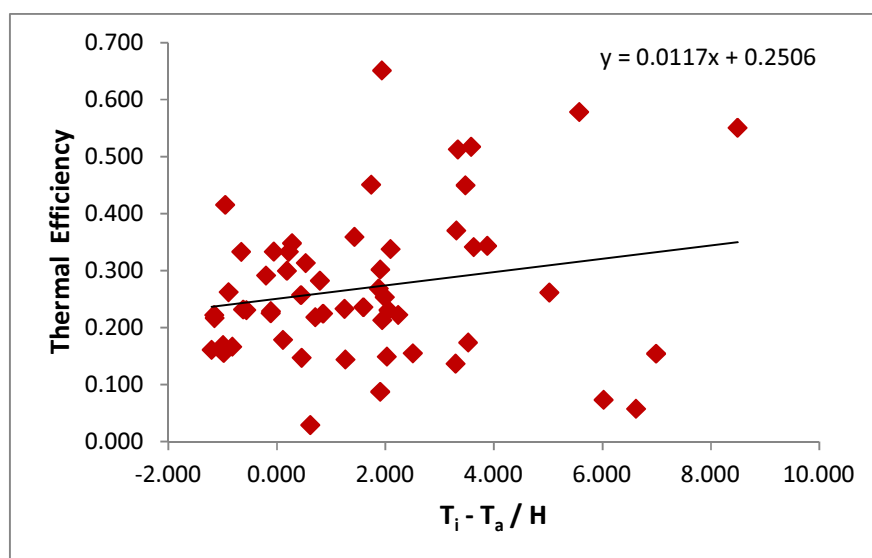
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์รายชั่วโมงระหว่าง η_{el} กับ $T_i - T_a / H$
กรณีทดสอบที่ 30, 35, 40, 45 และ 50°C



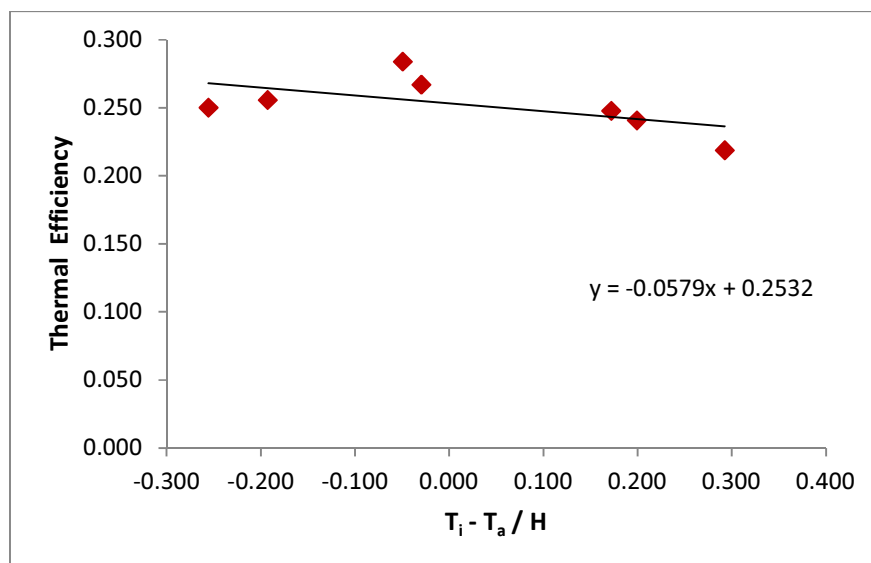
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์รายชั่วโมงระหว่าง η_{el} กับ $T_{in} - T_a / H$
กรณีทดสอบที่ 30, 35, 40, 45 และ 50°C

ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อนและไฟฟ้า

ในส่วนประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด แสดงเป็นเส้นกราฟเปรียบเทียบระหว่าง η_{th} ที่ได้จากในส่วนถังน้ำร้อนกับตัวแปรการสูญเสีย $\frac{(T_i - T_a)}{H}$ โดยเป็นข้อมูลรายชั่วโมงและรายวัน ซึ่งข้อมูลรายวันจะนำมาใช้ในการคำนวณหาพลังงาน จากข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศในระยะเวลา 1 ปี ดังนี้

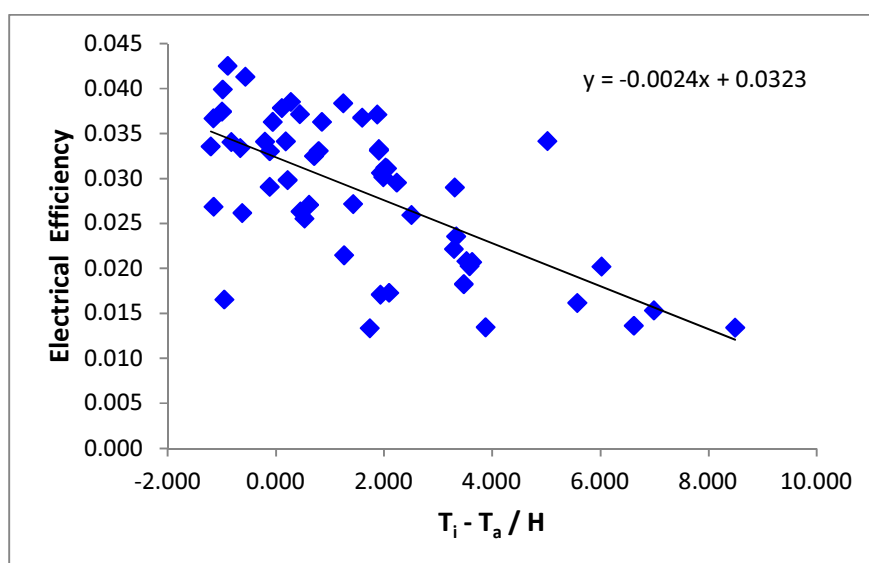


รูปที่ 5.11 ประสิทธิภาพทางความร้อนรายชั่วโมงเทียบกับ $T_i - T_a / H$

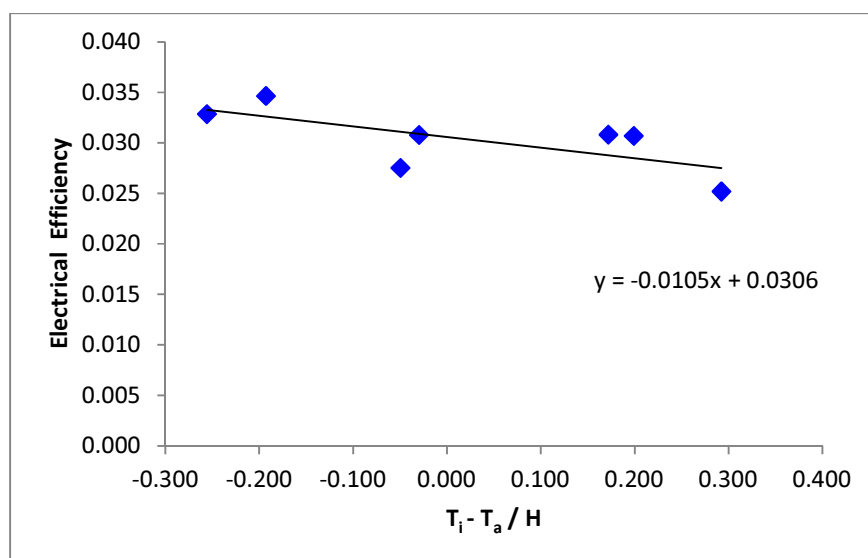


รูปที่ 5.12 ประสิทธิภาพทางความร้อนรายวันเทียบกับ $T_i - T_a / H$

สำหรับประสิทธิภาพทางไฟฟ้า จะนำมาเทียบในเชิงอุณหภูมิเช่นเดียวกับประสิทธิภาพทางความร้อน ซึ่งเป็นข้อมูลรายชั่วโมง และข้อมูลรายวัน โดยข้อมูลรายวันจะนำมาประยุกต์ใช้คำนวณหาพลังงาน จากข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศในระยะเวลา 1 ปี ดังนี้



รูปที่ 5.13 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายชั่วโมงเทียบกับ $T_i - T_a / H$



รูปที่ 5.14 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวันเทียบกับ $T_i - T_a / H$

ผลจากการใช้ประโยชน์พลังงานความร้อนและไฟฟ้าที่ได้

เนื่องจากพลังงานที่ได้จากแผง PV/T จำนวน 1 แผง (0.79 m²) ขนาด 40 W จากการคำนวณ ได้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 35.28 kWh ต่อปี ให้พลังงานไม่เพียงพอสำหรับการใช้งานภายในบ้าน จึงต้องเพิ่มพื้นที่หรือจำนวนแผงให้มากขึ้น โดยผลจากการคำนวณ ได้แผงสำหรับใช้งานจำนวน 11 แผง ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ภายในบ้านได้ดังนี้

ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่ได้จากแผง PV/T จำนวน 11 แผง

ตารางที่ 5.12 การใช้ประโยชน์จากไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV/T สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า
ในกรณีมีพลังงานไฟฟ้า 788.5 Wh

อุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	ชั่วโมงใช้งาน	พลังงานไฟฟ้า (Wh)
หลอดไฟ LED T8 Fluorescent 12 VDC ขนาด 60 ซม.	4	9	10	360
LED TV 19 นิ้ว (ใช้อินเวอร์เตอร์)	1	22	3	66
คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (ใช้อินเวอร์เตอร์)	1	65	2.5	162.5
พัดลม 16 นิ้ว (ใช้อินเวอร์เตอร์)	2	50	2	200

ผลของการทำน้ำอุ่นจากแผง PV/T จำนวน 1 แผง สำหรับน้ำ 120 ลิตร โดยมีอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 27 (°C) ได้อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในหนึ่งวัน เท่ากับ 32.6 (°C) ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับทำน้ำอุ่น และผลพลอยได้จากความต้องการไฟฟ้าโดยใช้แผง PV/T จำนวน 11 แผง ทำให้ได้อุณหภูมิสำหรับทำน้ำอุ่นเท่ากับ 88 (°C) แต่เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินอุณหภูมิทำงานของแผ่น PV ซึ่งเท่ากับ 85°C อาจทำให้แผ่น PV เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นต้องเพิ่มปริมาณน้ำเพื่อลดอุณหภูมิที่สูงเกินไป โดยกำหนดอุณหภูมิน้ำที่ได้เท่ากับ 75% ของอุณหภูมิทำงานของแผ่น PV หรือประมาณ 64°C และนำไปใช้ประโยชน์ดังตาราง

ตารางที่ 5.13 การใช้ประโยชน์จากน้ำร้อนที่ได้จากแผง PV/T ในการทำน้ำอุ่น

อุณหภูมิน้ำที่ได้จากแผง PV/T จำนวน 11 แผง (°C)	64
ปริมาณน้ำที่ได้ (ลิตร)	197
อุณหภูมิน้ำอุ่นที่ต้องการ (°C)	45
อุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสม (°C)	27
ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม (ลิตร)	207
ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ได้สำหรับอาบ (ลิตร)	404
ปริมาณน้ำที่ใช้ในแต่ละครั้ง (ลิตร)	40
จำนวนคนที่ใช้น้ำอาบ (คน)	5
จำนวนครั้งที่อาบน้ำต่อวัน (ครั้ง)	2

หากไม่มีการสูญเสียความร้อนที่ถังเก็บน้ำ หรือสูญเสียความร้อนรวมไม่เกิน 15% ไม่จำเป็นต้องใช้ฮีตเตอร์ เนื่องจากอุณหภูมิที่ได้จากการผสมน้ำอุณหภูมิ 64°C ปริมาณ 197 ลิตร กับน้ำอุณหภูมิ 27°C ปริมาณ 207 ลิตร ได้ปริมาณน้ำที่ผสมแล้วทั้งหมด 404 ลิตร ที่อุณหภูมิ 45°C และหากมีการสูญเสียความร้อนที่ถังเก็บน้ำและระบบท่อรวม 15% อุณหภูมิของน้ำจะเท่ากับ 38°C ซึ่งยังอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอาบ (35 – 45°C)

บทที่ 6

อภิปรายและสรุปผลการทดสอบ

อภิปรายและสรุปผลการทดสอบ

จากข้อมูลการทดสอบที่อุณหภูมิน้ำเข้าแผง (T_i) 30, 35, 40, 45 และ 50°C นั้น เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางความร้อนด้วยตัวแปร T_i จากแนวโน้มเส้นกราฟ Regression จะพบว่า ที่ประสิทธิภาพสูงจะมีค่าตัวแปรการสูญเสีย $\frac{(T_i - T_a)}{H}$ ที่ต่ำ และมีค่า R-Square = 0.023 และประสิทธิภาพทางความร้อนจากตัวแปร T_{in} จากแนวโน้มเส้นกราฟ regression ที่ประสิทธิภาพสูงจะมีค่าตัวแปรการสูญเสีย $\frac{(T_{in} - T_a)}{H}$ ที่สูง และมีค่า R-Square = 0.13 แต่หากสังเกตจะพบว่าที่อุณหภูมิ T_i และ T_{in} ต่ำ ค่าอุณหภูมิจะแตกต่างกันไม่มากนัก แต่ที่อุณหภูมิสูง ค่าอุณหภูมิ T_i จะแตกต่างกับอุณหภูมิ T_{in} มากกว่า จึงทำให้เกิดกราฟที่มีแนวโน้มประสิทธิภาพทางความร้อนสูง ซึ่งมีค่าการสูญเสียต่ำ และแนวโน้มประสิทธิภาพทางความร้อนสูง และมีค่าการสูญเสียสูง แต่ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกัน

ส่วนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าด้วยตัวแปร T_i และ T_{in} จากแนวโน้มเส้นกราฟ Regression จะพบว่า ที่ประสิทธิภาพสูงจะมีค่าตัวแปรการสูญเสีย $\frac{(T_i - T_a)}{H}$ และ $\frac{(T_{in} - T_a)}{H}$ ที่สูงเช่นกัน มีค่า R-Square = 0.025 และ 0.41 ตามลำดับ และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงสุดมีค่าไม่ห่างกันมากนัก แต่ข้อมูลที่อุณหภูมิน้ำเข้าแผง 30, 35, 40, 45 และ 50°C เป็นอุณหภูมิที่ไม่ได้เกิดขึ้นในวันเดียวกัน ค่า R-square จึงค่อนข้างน้อย แต่พอใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาได้

จากผลที่ได้ดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรการสูญเสียกรณีใช้ T_i จะพบว่าแนวโน้มประสิทธิภาพสูงจะมีค่าการสูญเสียต่ำ แต่ในกรณีที่ใช้ T_{in} จะพบว่าแนวโน้มประสิทธิภาพสูงจะมีค่าการสูญเสียสูง ส่วนประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรการสูญเสียกรณีใช้ T_i และ T_{in} จะพบว่าแนวโน้มประสิทธิภาพสูงจะมีค่าการสูญเสียที่สูงเช่นกัน ที่แนวโน้มเป็นเช่นนี้ อาจเกิดจากนำข้อมูลในวันที่ถ่ายน้ำออกจากถังและไม่ได้ถ่ายน้ำออกจากถัง มาใช้ร่วมกันเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สูงตามเป้าหมาย คือ 30, 35, 40, 45 และ 50°C

เนื่องจากภายในหนึ่งวัน ระบบแผง PV/T ไม่สามารถทำน้ำให้ร้อนถึงอุณหภูมิตั้งแต่ 30–50 °C ผลที่ออกมาจึงทำให้ได้กราฟที่มีแนวโน้มดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

สำหรับประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยสูงสุดที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะใช้ข้อมูลที่ได้จากกรณีใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำเพียงอย่างเดียว เนื่องจากกรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติข้อมูลที่ได้มีความแปรปรวน ส่วนวิธีการจะทราบประสิทธิภาพทางความร้อนนั้น จะหาจากประสิทธิภาพในส่วนถึงน้ำร้อน และหากไม่คิดการสูญเสียความร้อนระหว่างแผง PV/T กับถึงน้ำร้อนแล้ว ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ PV/T จะมีลักษณะเดียวกับประสิทธิภาพแผง PV/T และมีความเกี่ยวข้องกับสมการสมดุลพลังงานของแผง PV/T คือเป็นสมการชุดเดียวกันกับประสิทธิภาพทางความร้อนรวมของแผง PV/T เนื่องจากประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบของแผง PV/T เป็นประสิทธิภาพทางความร้อนในขณะที่มีการผลิตไฟฟ้าด้วย จึงสรุปได้ว่าสามารถใช้สมการประสิทธิภาพทางความร้อนในรูปแบบ

$$\eta_{th} = 0.2532 - 0.0579 \frac{(T_i - T_a)}{H}$$

สำหรับแผง PV/T และประยุกต์ใช้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนจากน้ำร้อนที่ได้ เพื่อหาปริมาณความร้อน แต่ก่อนที่จะหาปริมาณความร้อนที่ได้จากระบบ จะต้องพิจารณาความเหมาะสมของข้อมูลรายชั่วโมงหรือรายวัน

ในส่วนงานวิจัยนี้ ถึงแม้จะวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพรายชั่วโมง แต่จากการพิจารณาผลของข้อมูลแล้ว ควรเลือกใช้ข้อมูลรายวัน เนื่องจากตัวแปรมีความเหมาะสมในการคิดคำนวณ และประสิทธิภาพรายวันมีความเสถียรมากกว่ารายชั่วโมง นอกจากนั้นประสิทธิภาพรายวันยังสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพทางความร้อนที่น่าจะเป็นของระบบแผง PV/T ที่ติดตั้งขึ้นมาด้วย ในเมื่อการสูญเสียมีค่ามาก จะได้ประสิทธิภาพลดลง และจากการวิเคราะห์เชิงเส้นแบบ Linear Regression ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยรายวันสูงสุดของระบบ PV/T ในงานวิจัยนี้ มีค่าเท่ากับ 25% และการประยุกต์ใช้สมการประสิทธิภาพทางความร้อนรายวัน โดยกำหนดให้อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นของทุกวันเท่ากับ 27 °C จะได้พลังงานความร้อนโดยอาศัยข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และความเข้มแสงอาทิตย์จากกรมอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 เป็นระยะเวลา 1 ปี เท่ากับ 1,023 MJ

ในส่วนองประสิทธิภาพทางไฟฟ้าจะนำมาเทียบในเชิงอุณหภูมิจนเดียวกับประสิทธิภาพทางความร้อน ในสมการเชิงอุณหภูมิจน และประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ก็จะเท่ากับสมการเชิงอุณหภูมิจนหากไม่มีการสูญเสียความร้อนที่ระบบท่อ และมีความเกี่ยวข้องกัสมการสมดุลพลังงานของแผง PV/T คือ เป็นสมการชดเชยกันกับประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารวมของแผง PV/T เนื่องจากการประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบของแผง PV/T เป็นประสิทธิภาพทางไฟฟ้าในขณะที่มีการผลิตความร้อนด้วย จึงสรุปว่าสามารถใช้สมการประสิทธิภาพทางไฟฟ้าในรูปแบบ

$$\eta_{el} = 0.0306 - 0.0105 \frac{(T_i - T_a)}{H}$$

สำหรับแผง PV/T ในการคำนวณได้ และจากการวิเคราะห์เชิงเส้นแบบ Linear Regression ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันสูงสุดรายวันของระบบ PV/T ในงานวิจัยนี้ มีค่าเท่ากับ 3% ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการประยุกต์สมการประสิทธิภาพทางไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และความเข้มแสงอาทิตย์จากกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งกำหนดให้อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นของทุกวันเท่ากับ 27 °C ตั้งแต่เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2553 ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 เป็นระยะเวลา 1 ปี เท่ากับ 127 MJ หรือ 35.28 kWh

จากประสิทธิภาพเฉลี่ยทางความร้อนและไฟฟ้า ทำให้ได้ประสิทธิภาพเฉลี่ยรวมของระบบเท่ากับ 28% แต่เมื่อประสิทธิภาพทางความร้อน อยู่ในระบบเดียวกับประสิทธิภาพทางไฟฟ้า การที่จะรวมทั้งสองประสิทธิภาพเข้าด้วยกัน จะต้องทำให้อยู่ในรูปแบบของประสิทธิภาพพลังงานปฐมภูมิก่อน ซึ่งประสิทธิภาพทางความร้อนเป็นประสิทธิภาพพลังงานปฐมภูมิอยู่แล้ว แต่ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเป็นประสิทธิภาพพลังงานทุติยภูมิ จึงต้องเปลี่ยนประสิทธิภาพทางไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบประสิทธิภาพพลังงานปฐมภูมิ โดยหารค่าประสิทธิภาพนั้นด้วย 0.38 ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพของ Conventional Power Plant ที่ปัจจุบันยอมรับให้ใช้ในการเปลี่ยนประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเป็นประสิทธิภาพพลังงานปฐมภูมิได้ จะได้ประสิทธิภาพรวมของระบบแผง PV/T เป็นดังนี้

$$E_f = \frac{\eta_{el}}{0.38} + \eta_{th}$$

ดังนั้นประสิทธิภาพรวมเฉลี่ยของระบบ PV/T ในเชิงพลังงานปฏิกิริยา ของงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 33% และพลังงานที่ได้ทั้งหมดโดยอาศัยข้อมูลอุณหภูมิภายนอก และความเข้มแสงอาทิตย์ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2553 – พฤศจิกายน 2554 เท่ากับ 1,150 MJ

ผลของไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV/T เพียงแผงเดียว ซึ่งมีพื้นที่แผง 0.79 m^2 ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าสำหรับใช้งานภายในหนึ่งวันนั้นไม่เพียงพอ เนื่องจากประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ต่ำ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในหนึ่งวันเท่ากับ 97.43 Wh ดังนั้นหากต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพียงพอสำหรับใช้ภายในบ้าน จำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่หรือจำนวนแผงให้เหมาะสมกับความต้องการพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า และใช้ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายวัน ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2553 – พฤศจิกายน 2554 เท่ากับ 465 W/m^2 , 13.4 MJ และ 30.4°C ตามลำดับ รวมทั้งค่าการสูญเสียความร้อนจากผลการทดสอบ เพื่อคำนวณหาพื้นที่หรือจำนวนแผงที่ต้องการ

ส่วนการคำนวณหาพื้นที่แผงสำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้า 788.5 Wh ถ้ากำหนดให้ประสิทธิภาพในการประจุและการนำไปใช้งานมีค่า 0.8 และประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ 0.95 จะได้พลังงานไฟฟ้าที่นำไปใช้ประโยชน์ $788.5 \times 0.8 \times 0.95 = 599.26 \text{ Wh}$ ซึ่งยังไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น $788.5 - 599.26 = 189.24 \text{ Wh}$ และต้องผลิตไฟฟ้าได้ 977.74 Wh ภายใน 1 วัน จึงจะได้พลังงานไฟฟ้า 788.5 Wh จากการคำนวณพื้นที่แผงที่ต้องใช้ เท่ากับ 8.54 m^2 หรือต้องใช้จำนวนแผง PV/T ขนาด 0.79 m^2 ทั้งหมด 11 แผง

สำหรับพลังงานความร้อนของน้ำที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 30.64 MJ/Day และน้ำมีอุณหภูมิ 88°C จากการใช้แผง PV/T จำนวน 11 แผงในการผลิตน้ำร้อน 120 ลิตร แต่ป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับแผ่น PV จึงต้องลดอุณหภูมิน้ำลงโดยการเพิ่มปริมาณน้ำให้มากขึ้นในขณะที่มีพลังงานความร้อนเท่าเดิม และกำหนดให้อุณหภูมิน้ำที่ได้มีค่าเป็น 75% ของอุณหภูมิทำงาน 85°C ของแผ่น PV ซึ่งเท่ากับ 64°C จะได้ปริมาณน้ำ 197 ลิตร น้ำร้อนนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผสมทำน้ำอุ่นเพื่ออาบน้ำ นำไปใช้ล้างจาน ซักผ้า หรือกิจกรรมอื่น ๆ ตามความเหมาะสม

ข้อเสนอแนะ

การทดสอบระบบแผง PV/T ทดสอบระบบแผง PV/T แบบหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ โดยตั้งแผงหันหน้าไปทางทิศใต้เป็นมุมประมาณ 15° จากการทดสอบได้ผลไม่ดี น้ำในถังอุณหภูมิต่ำไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง คาดว่าน้ำในแผงไม่ค่อยหมุนเวียน ควรเลือกวิธีใช้ปั๊มเพื่อช่วยในการหมุนเวียนน้ำให้สามารถถ่ายเทความร้อนเข้าไปสู่ถังน้ำได้ดีขึ้น ส่วนปริมาณน้ำในถัง 120 ลิตร มากกว่าความสามารถของแผง PV/T ขนาด 0.79 m^2 จะทำให้น้ำร้อนถึงขั้นที่นำมาใช้ประโยชน์ตามความต้องการได้ ควรลดปริมาณของน้ำในถังลง เพื่อให้ความร้อนที่ได้จากแผงถ่ายเทไปยังน้ำได้มากขึ้น โดยให้อัตราส่วนมวลของน้ำต่อพื้นที่ M/A_p ของแผงมีค่าที่น้อยกว่าการทดสอบนี้ ($< 151.9 \text{ kg/m}^2$) ยิ่งมีค่าน้อยยิ่งดี และนอกจากการลดปริมาณน้ำในถังแล้ว ควรเลือกใช้ถังน้ำที่มีขนาดพอดีกับปริมาณน้ำที่ต้องการ เช่น ต้องการน้ำใช้ 150 ลิตร ให้เลือกใช้ถังที่มีขนาด 150 ลิตร เพื่อลดการสูญเสียพื้นที่เก็บน้ำ และให้มีช่องทางหมุนเวียนน้ำออกจากถังที่อยู่ในระดับต่ำกว่าทางน้ำเข้าถัง เพื่อให้น้ำเข้าถังที่อุณหภูมิสูงมีเวลาในการลอยขึ้นส่วนบนของถัง ทำให้น้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าซึ่งอยู่ด้านล่างของถังไหลออกจากถังไปเข้าแผงได้ และจากการทดสอบแผง PV/T ที่มีโครงสร้าง Sheet & Tube นั้นการถ่ายเทความร้อนไปยังน้ำยังทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากท่อน้ำกลมขดไปมาที่แผงมีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อย และขดของท่อทำให้น้ำไหลเวียนได้ยากขึ้น จึงถ่ายเทความร้อนได้น้อย หากเปลี่ยนมาใช้แบบ Channel Flow ซึ่งเป็นช่องน้ำสี่เหลี่ยมตรงมีผนังบาง จะได้พื้นที่ผิวสัมผัสจากการถ่ายเทความร้อนมากกว่า และการไหลเวียนน้ำดีขึ้น หากต้องการน้ำร้อนที่อุณหภูมิใช้งานที่สูงขึ้น แต่ใช้แผงแบบ Sheet & Tube ที่ขนาด 0.79 m^2 ต้องเพิ่มจำนวนแผงให้มากขึ้นจึงจะได้น้ำร้อนตามที่ต้องการ

การเลือกใช้ข้อมูลในการคำนวณหาพลังงานความร้อน และพลังงานไฟฟ้าที่ได้ ควรใช้ข้อมูลรายวันจะมีความเสถียรมากกว่าข้อมูลรายชั่วโมง เนื่องจากข้อมูลรายชั่วโมงนั้นเฉลี่ยในช่วงเวลาดังแต่ต้น ชั่วโมงที่มีแสงอาทิตย์จนถึงท้ายชั่วโมงที่ยังมีแสงอาทิตย์อยู่ จะได้ข้อมูลที่มีความแปรปรวนอยู่ แต่ข้อมูลรายวันเฉลี่ยในช่วงเวลาดังแต่เริ่มมีแสงอาทิตย์จนถึงหมดแสงอาทิตย์ ทำให้ได้ข้อมูลที่แปรปรวนน้อยเมื่อเทียบกับข้อมูลรายชั่วโมง

สำหรับไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV/T ควรต่อเข้ากับแบตเตอรี่ โดยผ่านเครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller) เพื่อควบคุมการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่อย่างเหมาะสม และได้ไฟฟ้าไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการไฟฟ้ากระแสตรง หากนำไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับต้องใช้ อินเวอร์เตอร์ในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับให้ใช้งานได้

รายการอ้างอิง

- [1] Huang B. J., Du S.C.. A performance test method of solar thermosyphon systems. Transactions of The American Society of Mechanical Engineers Solar Energy 113 (1991) : 172-179.
- [2] Huang B. J., Lin T. H., Hung W. C. and Sun F. S.. Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems. Solar Energy 2001, 70 : 443-448.
- [3] Zondag H.A., De Vries D.W., Van Helden W.G.J., Van Zolingen R.J.C. and Van Steenhoven A.A.. The yield of different combined PV-thermal collector designs. Solar Energy 74 (2003) : 253-269.
- [4] Adnan Ibrahim et al. Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) Air and Water Based Solar Collectors Suitable for Building Integrated Applications. American Journal of Environmental Sciences 5 (2009) : 618-624.
- [5] Ronak Daghigh et al. Predicting the performance of amorphous and crystalline silicon based Photovoltaic solar thermal collectors. Energy Conversion and Management 52 (2011) : 1741-1747.
- [6] Kern JREC, Russell MC. Combined photovoltaic and thermal hybrid collector systems. Proceedings of the 13th IEEE PV specialist conference (1978) : 1153-1159.
- [7] Xingxing Zhang, Xudong Zhao, Stefan Smith, Jihuan Xu, Xiaotong Yu. Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) : 599-617.
- [8] Zhao X, Zhang X, Riffat SB, Su X. Theoretical investigation of a novel PV/e roof module for heat pump operation. Energy Conversion and Management 52 (2011) : 603-616.
- [9] Zhao Y et al. Photovoltaic cell radiating and combined heat and power system, Patent CN 200820123998 U ; 04.12.08.
- [10] Quan Z, Li N, Zhao Y, Tang X. The experiment research for solar PV/T system based on flat-plate heat pipes. Proceeding the 17th Chinese national HVAC&R academic conference (2010)

- [11] Tang X, Zhao Y, Quan Z. The experimental research of using novel flat-plate heat pipe for solar cells cooling. Proceeding the Chinese thermal engineering physics of heat and mass transfer conference (2009) : 239–279.
- [12] Chow T. T.. A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. Applied Energy 87 (2010) : 365-379.
- [13] Solanki CS, Sangani CS, Gunashekar D, et al. Enhanced heat dissipation of V-trough PV modules for better performance. Solar Energy Materials Solar Cells 92 (2008) : 1634–1641.
- [14] Elisha B. Babatunde, Solar Radiation. 1st ed. Croatia : InTech, 2012.
- [15] พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและมหาวิทยาลัยศิลปากร, แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. กรุงเทพฯ : จีรังค์, 2542.
- [16] อุตุนิยวิทยา, กรม. สำนักบริการสารสนเทศอุตุนิยวิทยา. กราฟรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง ปี ค.ศ. 1964 – 2011. กรุงเทพฯ, 2555.
- [17] 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.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณโดยอาศัยข้อมูล ณ วันที่ 2 เมษายน 2555

การหาประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบแผง PV/T เมื่อทราบตัวแปร T_i และ T_f

การคำนวณที่ความเข้มแสงเฉลี่ยใน 1 วัน 555.9 W/m^2 , อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 34.8°C , อุณหภูมิน้ำสุดท้าย 42.0°C , พื้นที่แผง PV/T 0.79 m^2 และเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์ 8 ชั่วโมง

$$\text{ประสิทธิภาพทางความร้อน} = \frac{\text{พลังงานที่น้ำได้รับ}}{\text{พลังงานแสงอาทิตย์ที่ป้อนเข้าไป}}$$

$$\eta_{th} = \frac{MC_p(T_f - T_i)}{G(t) A_p}$$

โดยที่	M	=	มวลของน้ำในถัง 120 kg
	C_p	=	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ 4.186 kJ/kg-K
	T_i	=	อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น ($^\circ\text{C}$)
	T_f	=	อุณหภูมิน้ำในถังสุดท้าย ($^\circ\text{C}$)
	A_p	=	พื้นที่แผง PV/T (m^2)

แทนค่าในสมการจะได้

$$\eta_{th} = \frac{\left[120 \text{ kg} \times 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] (42 - 34.8^\circ\text{C})}{555.9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 0.79 \text{ m}^2 \times 3600 \text{ s} \times 8}$$

จะได้ $\eta_{th} = 0.284$

ดังนั้น ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบแผง PV/T = $0.284 \times 100 = 28.4\%$

การคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของแผง PV/T เมื่อทราบตัวแปร T_i และ T_a

จากข้อมูลการทดสอบทำให้ได้สมการประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยของแผง PV/T รายวันตามหลักสมดุลพลังงาน

[ประสิทธิภาพแผง PV/T] = [ประสิทธิภาพพลังงานทั้งหมดที่ได้] + [ประสิทธิภาพการสูญเสียความร้อน]

ทำให้ได้สมการเพื่อหาประสิทธิภาพเฉลี่ยภายใน 1 วัน

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

$$\eta_{th} = 0.2532 - 0.0579 \frac{(T_i - T_a)}{H}$$

โดยที่ A, B = ค่าคงที่ที่ได้จากการทดสอบ
 T_i = อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น ($^{\circ}\text{C}$)
 T_a = อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)
 H = พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่แผงได้รับ (MJ)

กำหนดให้อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น 34.8°C , อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย 35.6°C และพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 16 MJ

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \eta_{th} &= 0.2532 - 0.0579 \frac{\text{MJ}}{^{\circ}\text{C}} \left[\frac{(34.8 - 35.6^{\circ}\text{C})}{16 \text{ MJ}} \right] \\ \eta_{th} &= 0.256 \end{aligned}$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยภายใน 1 วัน $0.256 \times 100 = 25.6 \%$

การคำนวณพลังงานความร้อนที่ได้ภายใน 1 วัน

การคำนวณพลังงานความร้อนจากประสิทธิภาพทางความร้อนตามสมการที่ทราบตัวแปร T_i และ T_a เป็นดังนี้

จากสมการ

$$\eta_{th} = \frac{MC_p(T_f - T_i)}{G(t) A_p} = \frac{MC_p \Delta T}{HA_p}$$

โดยที่ ΔT = ค่าความต่างอุณหภูมิของน้ำ ($^{\circ}\text{C}$)
 H = พลังงานความร้อนเฉลี่ยที่แผงได้รับใน 1 วัน = $G(t)$
 η_{th} = ประสิทธิภาพทางความร้อนจากสมการที่ทราบตัวแปร T_i และ T_a

จะได้

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{\eta_{th} HA_p}{MC_p} \\ &= \frac{0.256 \times 16 \text{ MJ} \times 0.79 \text{ m}^2}{120 \text{ kg} \times 4186 \times 10^{-6} \frac{\text{MJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} \\ &= 6.44^{\circ}\text{C} \quad \text{หรือ} \quad \text{ต่างกันเท่ากับ } 6.44 \text{ K} \end{aligned}$$

แทนค่า ΔT ในสมการพลังงานความร้อน

$$\begin{aligned} Q &= MC_p \Delta T \\ &= 120 \text{ kg} \times 4186 \times 10^{-6} \frac{\text{MJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 6.44 \text{ K} \end{aligned}$$

ดังนั้น ได้พลังงานความร้อนใน 1 วัน = 3.23 MJ

การคำนวณหาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของระบบแผง PV/T เมื่อทราบตัวแปร I และ V

การคำนวณที่ความเข้มแสงเฉลี่ยใน 1 วัน 555.9 W/m^2 , พื้นที่แผง PV/T 0.79 m^2 , แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 23.1 V และความต้านทาน $47.5 \text{ } \Omega$

$$\text{ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ได้}}{\text{ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ป้อนเข้าไป}}$$

$$\eta_{el} = \frac{IV}{A_p G} = \frac{V^2/R}{A_p G}$$

โดยที่

I = กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)

V = แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)

A_p = พื้นที่ของแผง PV หรือแผง PV/T (m^2)

G = ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^2)

แทนค่าในสมการจะได้

$$\begin{aligned} \eta_{el} &= \frac{(23.1)^2 \text{ V}^2 / 47.5 \text{ } \Omega}{555.9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 0.79 \text{ m}^2} \\ &= 0.026 \end{aligned}$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของระบบแผง PV/T = $0.026 \times 100 = 2.6 \%$

การคำนวณประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผง PV/T เมื่อทราบตัวแปร T_i และ T_a

จากข้อมูลการทดสอบทำให้ได้สมการประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเฉลี่ยของแผง PV/T รายวัน ตามหลักสมดุลพลังงาน

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

$$\eta_{el} = 0.0306 - 0.0105 \frac{(T_i - T_a)}{H}$$

โดยที่

- C, D = ค่าคงที่ที่ได้จากการทดสอบ
- T_i = อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น ($^{\circ}\text{C}$)
- T_a = อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)
- H = พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่แผงได้รับ (MJ)

กำหนดให้อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น 34.8°C , อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย 35.6°C และพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 16 MJ

จะได้

$$\eta_{th} = 0.0306 - 0.0105 \frac{\text{MJ}}{^{\circ}\text{C}} \left[\frac{(34.8 - 35.6^{\circ}\text{C})}{16 \text{ MJ}} \right]$$

$$\eta_{th} = 0.031$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยภายใน 1 วัน $0.031 \times 100 = 3.1\%$

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ได้ภายใน 1 วัน

การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ได้จากค่าประสิทธิภาพทางความร้อนตามหลักสมดุลพลังงานเป็นดังนี้

จากสมการ

$$\eta_{el} = \frac{IV}{A_p G} = \frac{P}{A_p G}$$

โดยที่

$$P = \text{กำลังไฟฟ้า (W)}$$

จะได้

$$P = \eta_{el} A_p G$$

$$= 0.031 \times 555.9 \text{ W/m}^2 \times 0.79 \text{ m}^2$$

ดังนั้น ได้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 1 วัน

$$= 13.61 \text{ W} \times 8 \text{ hr}$$

$$= 108.88 \text{ Wh}$$

ภาคผนวก ข
การคำนวณแผง PV/T สำหรับการใช้งานในบ้าน
โดยคิดจากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า

กำหนดความต้องการใช้ไฟฟ้าภายใน 1 วัน เป็นดังนี้

อุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	ชั่วโมงใช้งาน	พลังงานไฟฟ้า (Wh)
หลอดไฟ LED T8 Fluorescent 12 VDC ขนาด 60 ซม.	4	9	10	360
LED TV 19 นิ้ว (ใช้อินเวอร์เตอร์)	1	22	3	66
คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (ใช้อินเวอร์เตอร์)	1	65	2.5	162.5
พัดลม 16 นิ้ว (ใช้อินเวอร์เตอร์)	2	50	2	200

พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการ	788.5 Wh
กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ	$788.5 \text{ Wh} / 8 \text{ hr} = 98.6 \text{ W}$
กำหนดให้ประสิทธิภาพในการประจุและการนำไปใช้งานมีค่า	0.80
กำหนดให้ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์	0.95
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	599.26 Wh
กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้	74.91 W
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย	465 W/m ²
พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย	13.4 MJ
อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย	30.4 °C
อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น	27 °C

เมื่อต่อเข้ากับแบตเตอรี่และอินเวอร์เตอร์ จะต้องเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้อีก $98.6 - 70.97 = 23.69 \text{ W}$
 ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต้องมีค่าเท่ากับ $98.6 + 23.69 = 122.29 \text{ W}$

แทนค่าตัวแปรในสมการ

$$\frac{P}{GA_p} = 0.0306 - 0.0105 \frac{(T_i - T_a)}{H}$$

จะได้

$$A_p = \frac{P}{[0.0306 - 0.0105(-0.24)] \times G}$$

$$A_p = \frac{122.29 \text{ W}}{0.0308 \times 465 \text{ W/m}^2}$$

$$\text{ได้พื้นที่แผงที่ต้องใช้} = 8.54 \text{ m}^2$$

$$\text{แต่แผง PV/T 1 แผง มีพื้นที่} = 0.79 \text{ m}^2$$

$$\text{ดังนั้นต้องใช้แผง PV/T ทั้งหมด} = \frac{8.54 \text{ m}^2}{0.79 \text{ m}^2} = 10.81 \text{ แผง หรือ } 11 \text{ แผง}$$

สำหรับพลังงานความร้อนที่ได้ในกรณีใช้แผง PV/T จำนวน 11 แผง สามารถหาได้จาก

$$\frac{MC_p\Delta T}{HA_p} = 0.2532 - 0.0579\frac{(T_i - T_a)}{H}$$

$$\Delta T = \frac{H \times A_p \times [0.2532 - 0.0579(-0.24)]}{MC_p}$$

$$= 61 \text{ }^\circ\text{C}$$

จะได้ น้ำที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ ΔT 61°C หรือต่างกัน 61 K

และได้ อุณหภูมิของน้ำจากแผง PV/T จำนวน 11 แผง เท่ากับ $27 + 61 = 88^\circ\text{C}$

จากนั้นแทนค่า ΔT ในสมการ

$$Q = MC_p\Delta T$$

$$= 120 \text{ kg} \times 4186 \times 10^{-6} \frac{\text{MJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \times 61 \text{ K}$$

ดังนั้นจะได้พลังงานความร้อน $= 30.64 \text{ MJ}$

หมายเหตุ : การคำนวณอุณหภูมิน้ำผสมหาได้ดังนี้

$$\text{อุณหภูมิน้ำผสม} = \frac{(T_1 \times C_{pw} \times M_1) + (T_2 \times C_{pw} \times M_2)}{M_1 + M_2}$$

โดยที่ $T_1, T_2 =$ อุณหภูมิน้ำที่นำมาผสม ($^\circ\text{C}$)

$M_1, M_2 =$ มวลของน้ำที่นำมาผสม ($^\circ\text{C}$)

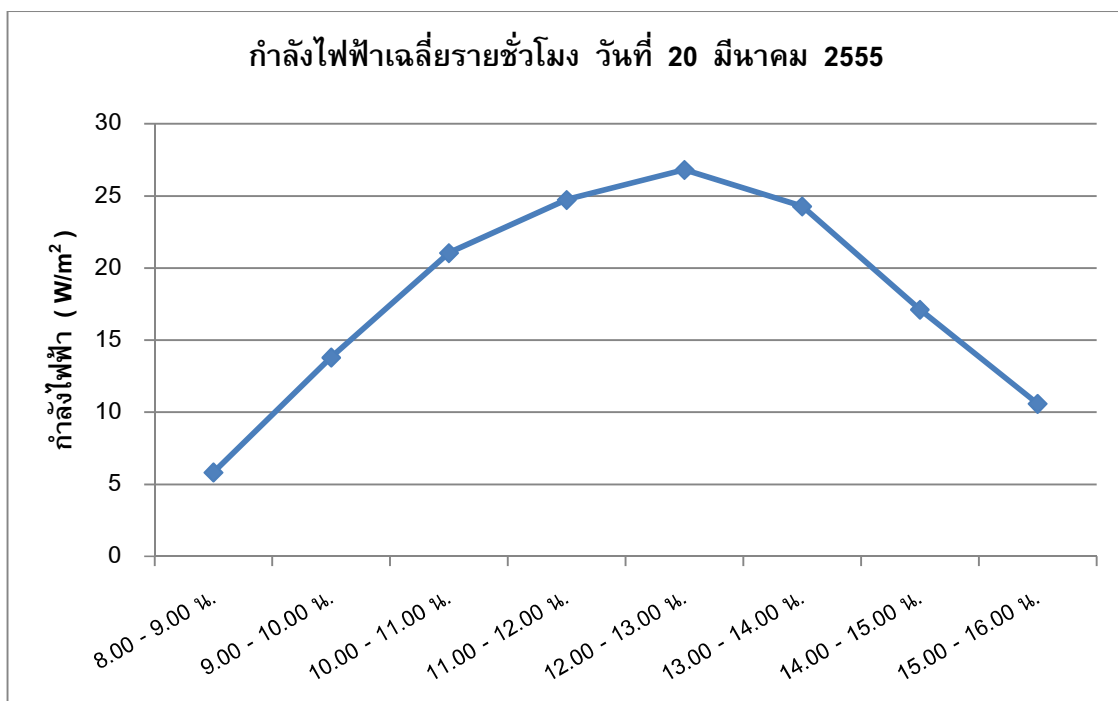
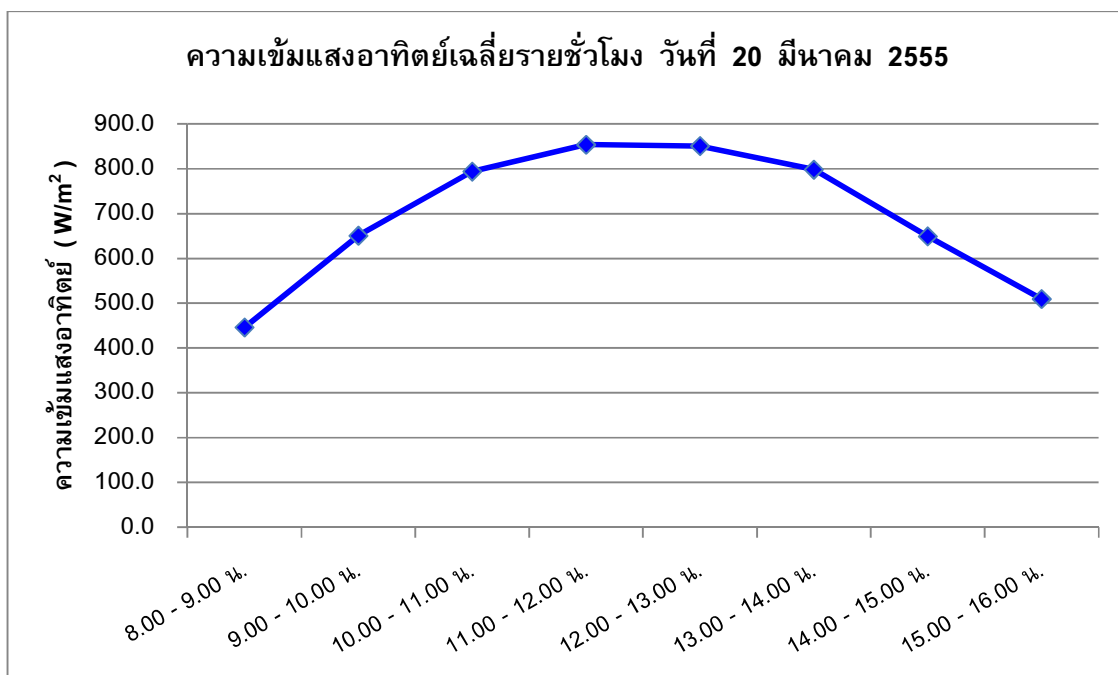
$C_{pw} =$ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ ($1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$)

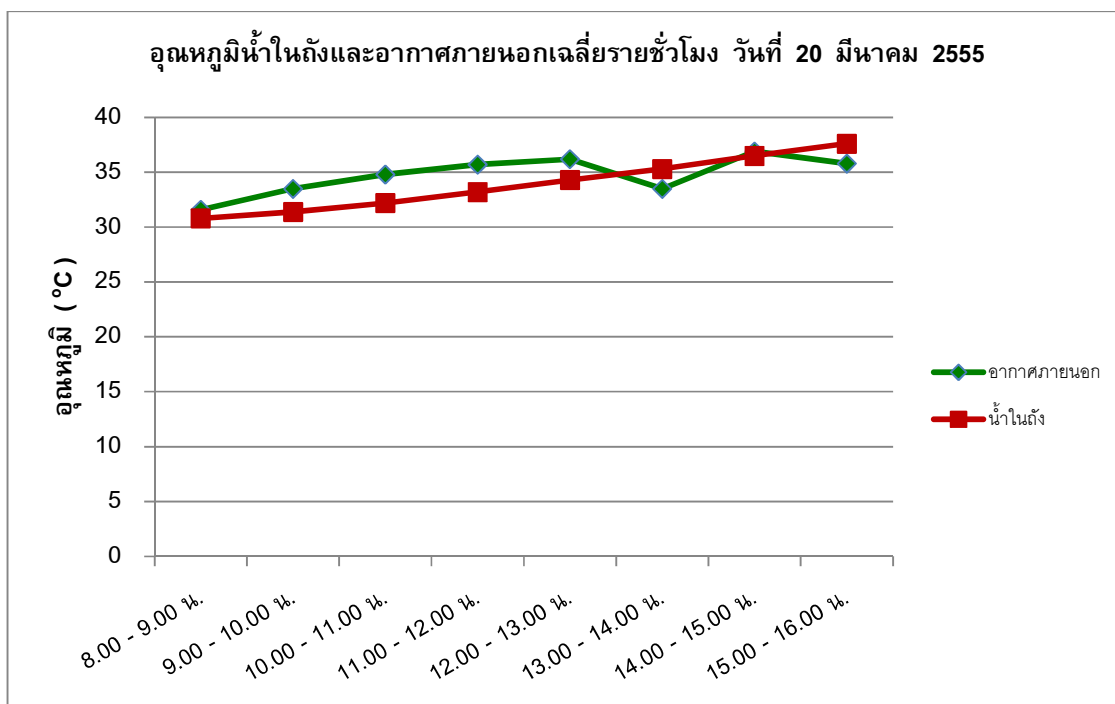
ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบรายชั่วโมงของระบบ PV/T กรณีใช้ปั๊มขนาดเล็กหมุนเวียนน้ำ

ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 20 มีนาคม 2555

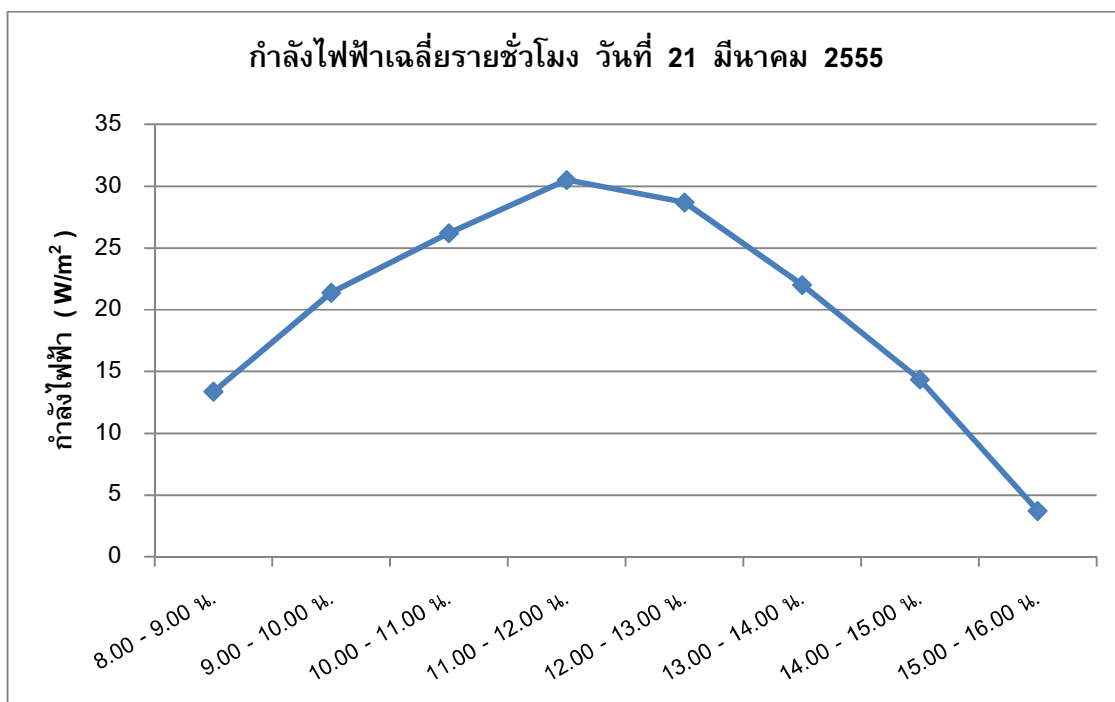
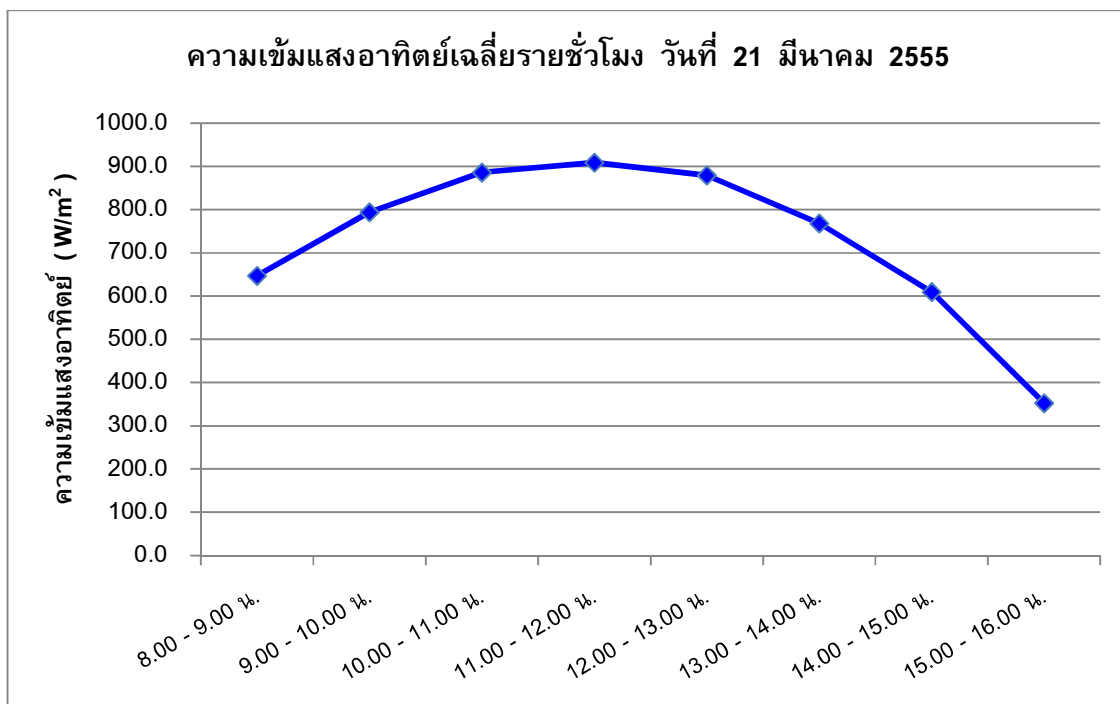
ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำ เริ่มต้น T_i ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิน้ำ เข้าแผง T_{in} ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก T_a ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิแผง T_p ($^{\circ}\text{C}$)	ความเข้ม แสงอาทิตย์ G (W/m^2)	กำลังไฟฟ้า P (W)
1	30.8	30.8	31.6	44.3	446.2	5.83
2	31.4	31.9	33.5	58.3	650.9	13.81
3	32.2	33.6	34.8	68.0	794.4	21.06
4	33.2	35.7	35.7	72.9	854.1	24.75
5	34.3	37.6	36.2	71.4	851.2	26.83
6	35.3	39.0	33.5	69.7	798.7	24.30
7	36.5	40.1	36.9	66.4	649.4	17.13
8	37.6	40.8	35.8	57.6	509.7	10.60

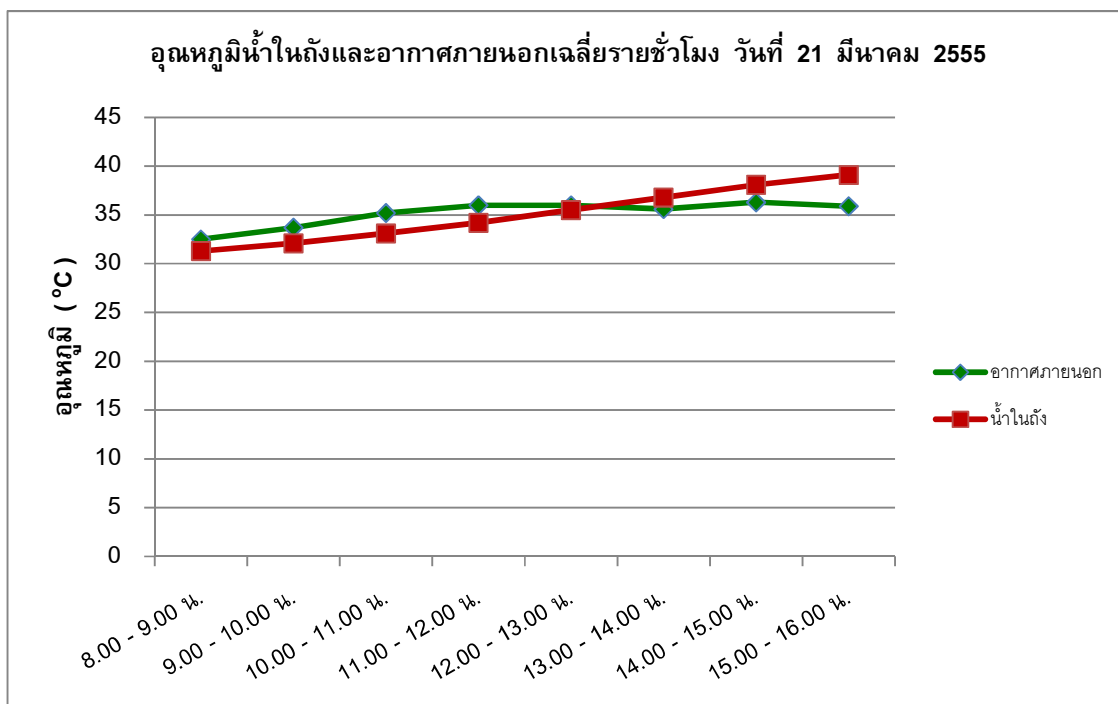




ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 21 มีนาคม 2555

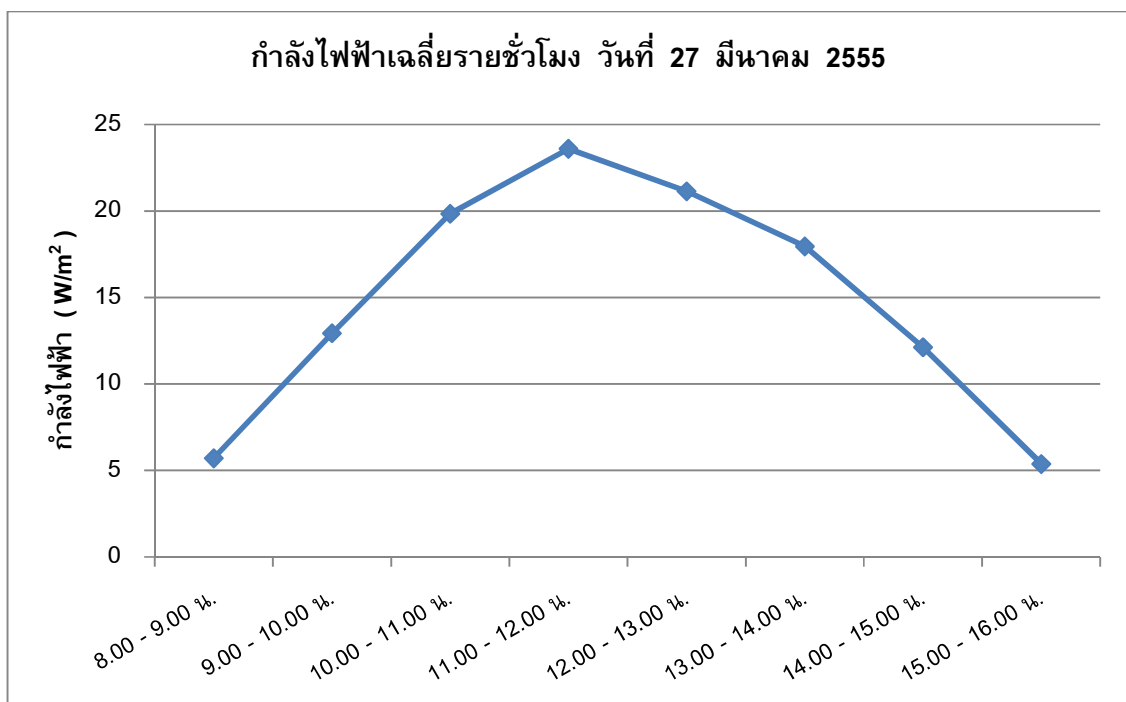
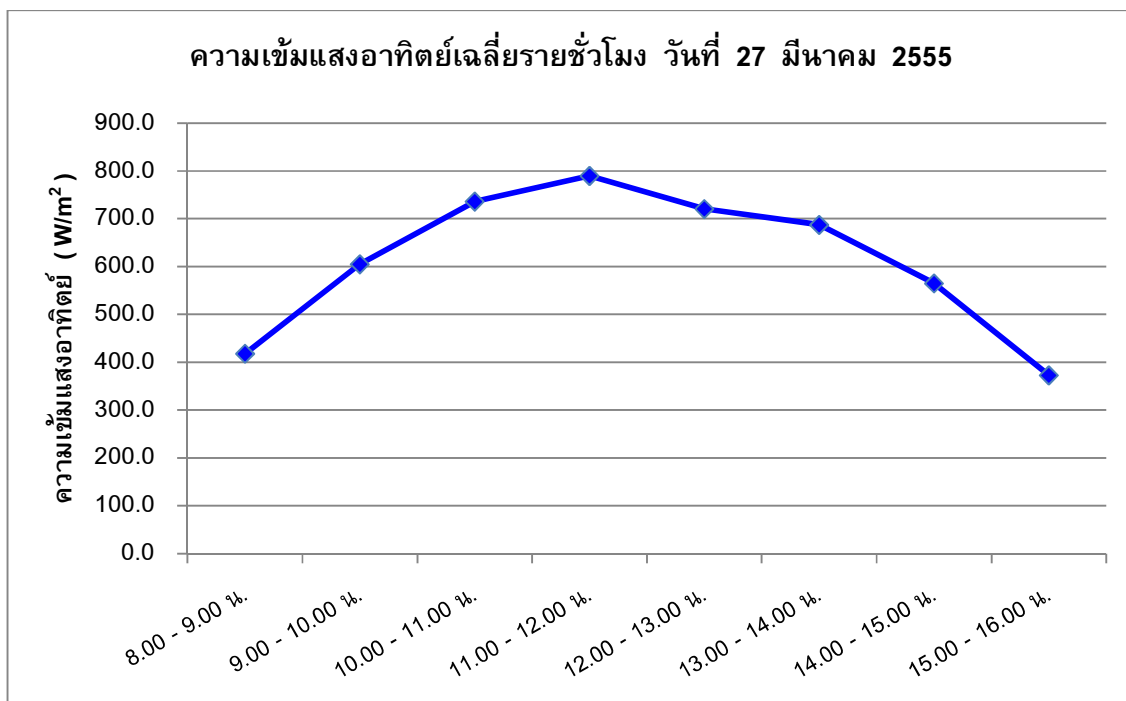
ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น T_i (°C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผง T_{in} (°C)	อุณหภูมิอากาศภายนอก T_a (°C)	อุณหภูมิแผง T_p (°C)	ความเข้มแสงอาทิตย์ G (W/m ²)	กำลังไฟฟ้า P (W)
1	31.3	31.9	32.5	49.2	647.2	13.38
2	32.1	34.5	33.7	59.8	794.0	21.38
3	33.1	37.5	35.2	66.6	886.2	26.21
4	34.2	41.0	36.0	70.4	908.7	30.52
5	35.5	42.2	36.0	70.4	879.5	28.70
6	36.8	43.4	35.6	67.3	768.2	22.02
7	38.1	43.4	36.3	61.5	609.6	14.36
8	39.1	43.9	35.9	57.0	352.5	3.72

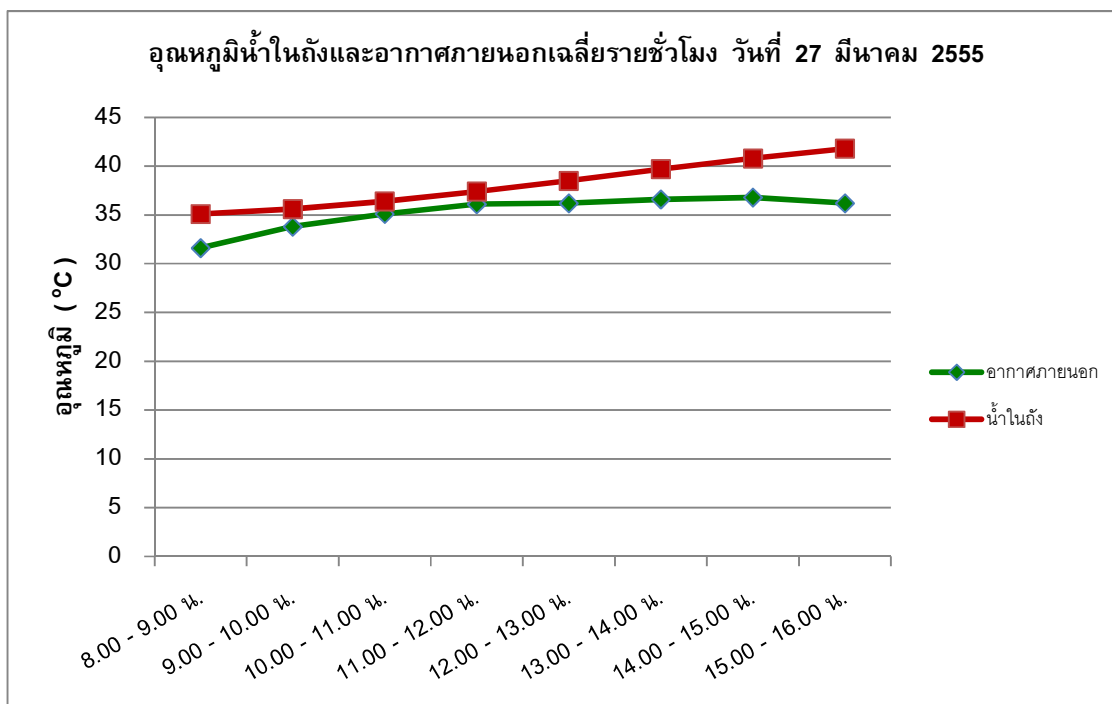




ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 27 มีนาคม 2555

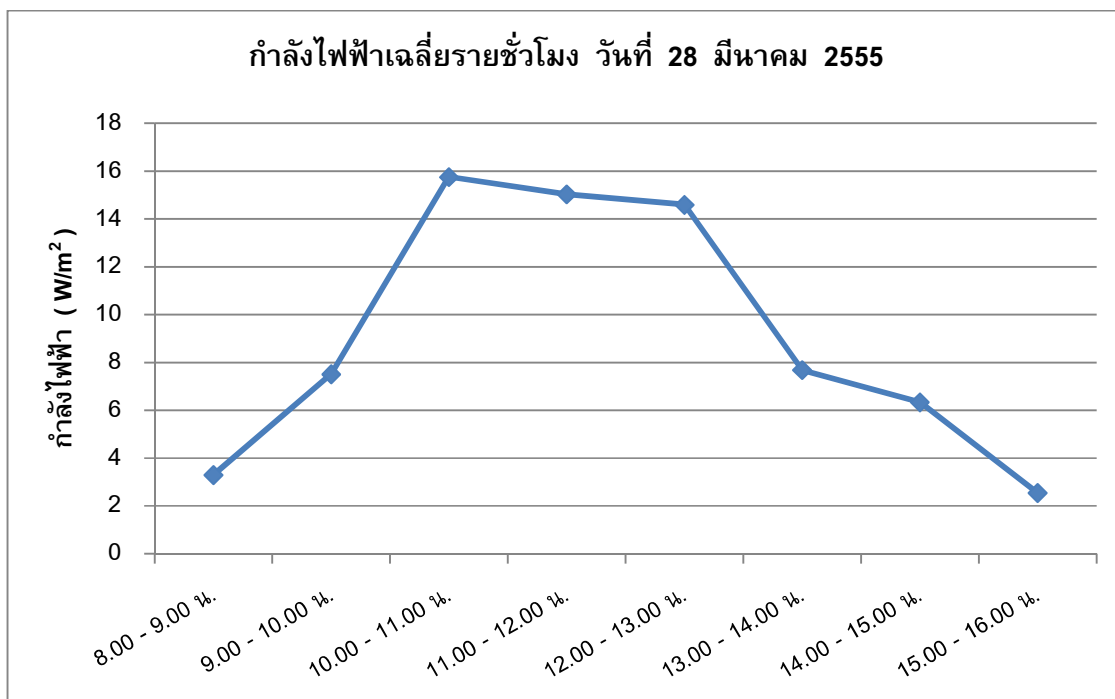
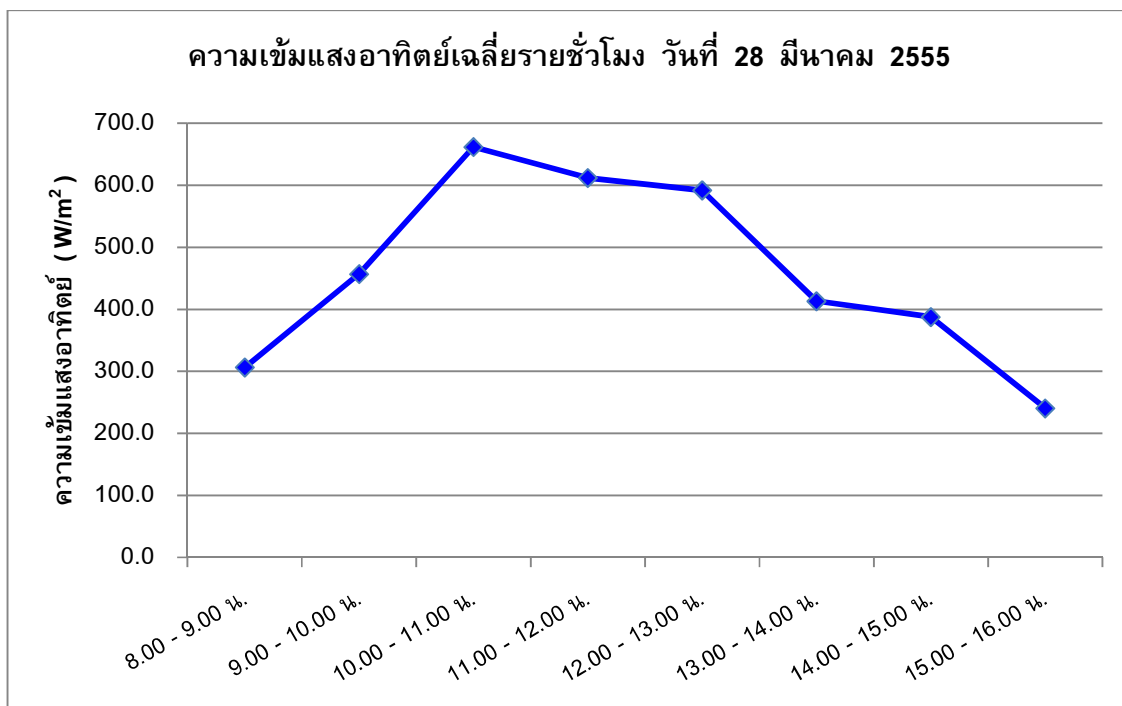
ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำ เริ่มต้น T_i ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิน้ำ เข้าแผง T_{in} ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก T_a ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิแผง T_p ($^{\circ}\text{C}$)	ความเข้ม แสงอาทิตย์ G (W/m^2)	กำลังไฟฟ้า P (W)
1	35.1	35.3	31.6	46.6	418.2	5.71
2	35.6	36.8	33.8	61.0	605.2	12.94
3	36.4	38.8	35.1	70.2	736.4	19.85
4	37.4	41.1	36.1	75.8	790.0	23.61
5	38.5	43.3	36.2	75.0	720.9	21.15
6	39.7	45.0	36.6	74.7	687.6	17.96
7	40.8	46.6	36.8	70.8	565.2	12.13
8	41.8	47.6	36.2	62.3	373.0	5.38

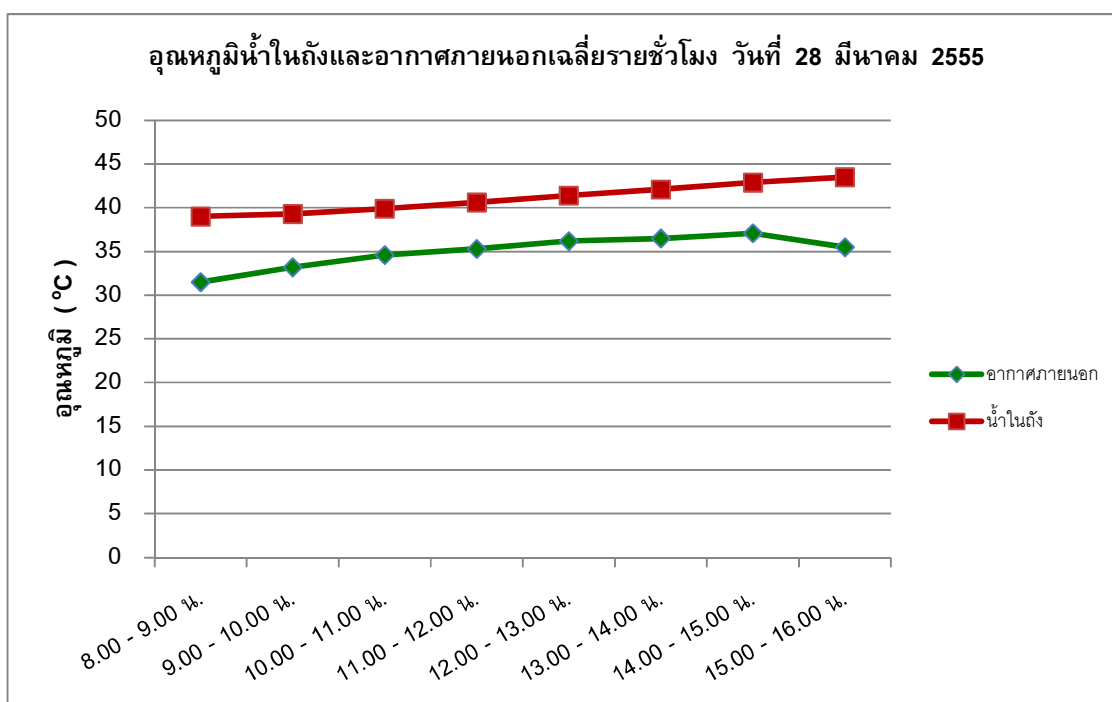




ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 28 มีนาคม 2555

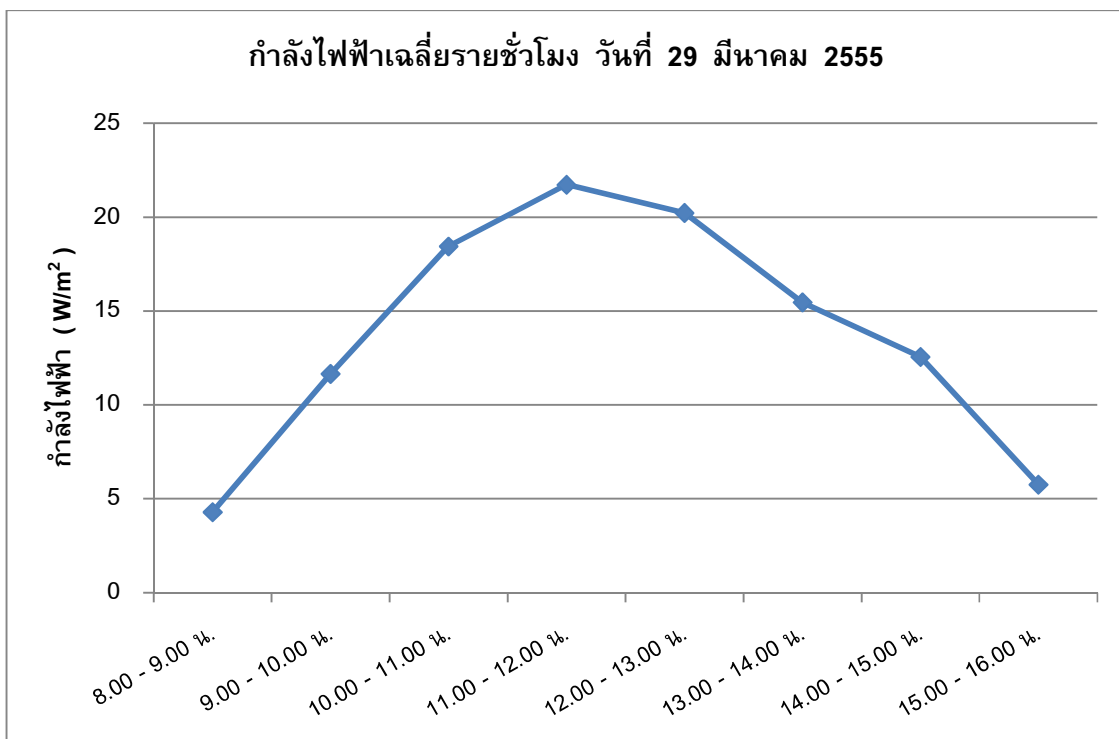
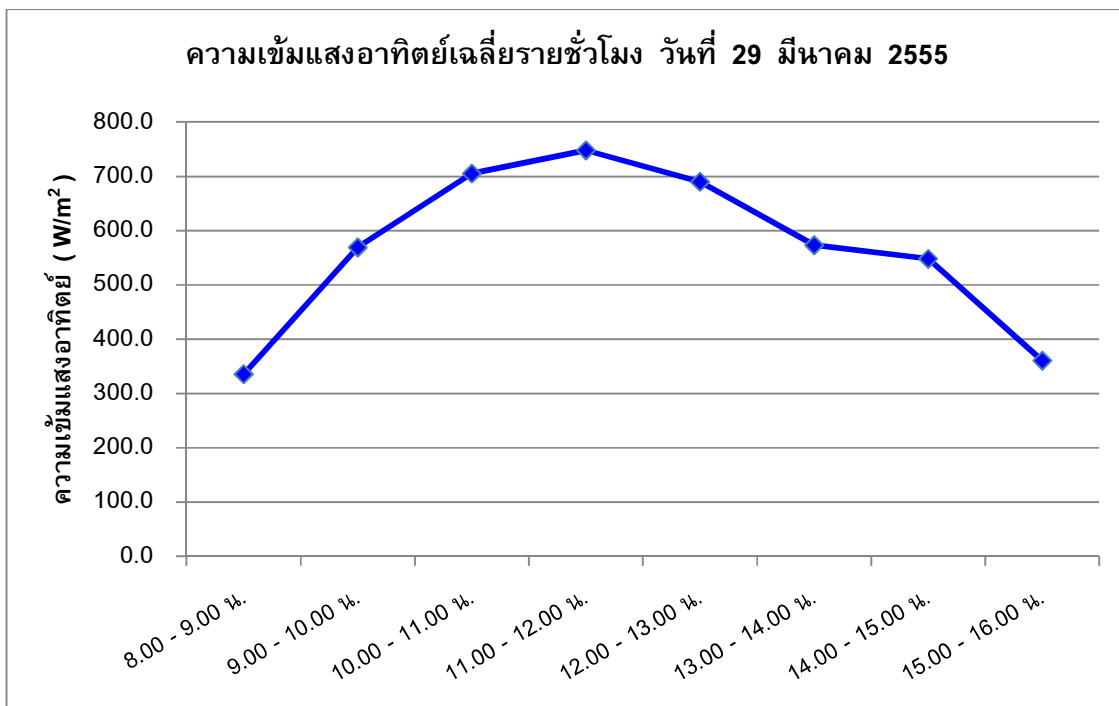
ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น T_i (°C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผง T_{in} (°C)	อุณหภูมิอากาศภายนอก T_a (°C)	อุณหภูมิแผง T_p (°C)	ความเข้มแสงอาทิตย์ G (W/m ²)	กำลังไฟฟ้า P (W)
1	39.0	39.4	31.5	42.4	306.5	3.30
2	39.3	40.0	33.2	55.9	457.0	7.51
3	39.9	41.4	34.6	66.2	661.7	15.76
4	40.6	43.4	35.3	70.1	612.0	15.04
5	41.4	44.7	36.2	67.8	592.0	14.60
6	42.1	46.0	36.5	65.0	413.3	7.69
7	42.9	46.5	37.1	62.7	387.7	6.34
8	43.5	47.0	35.5	54.2	240.5	2.55

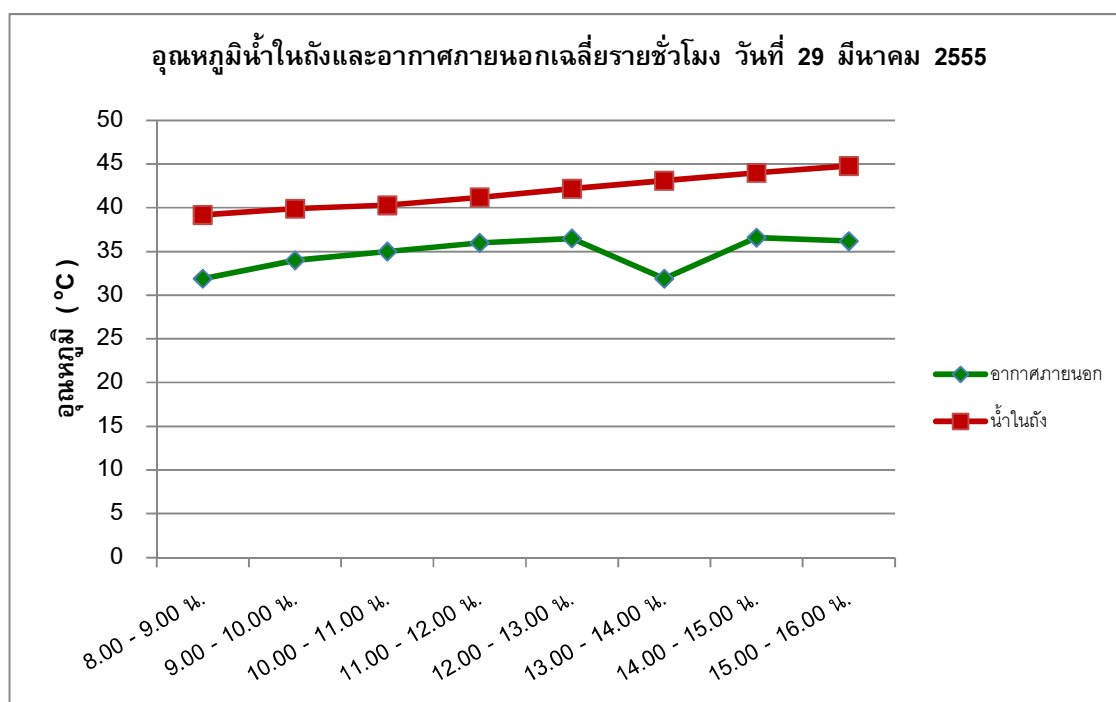




ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 29 มีนาคม 2555

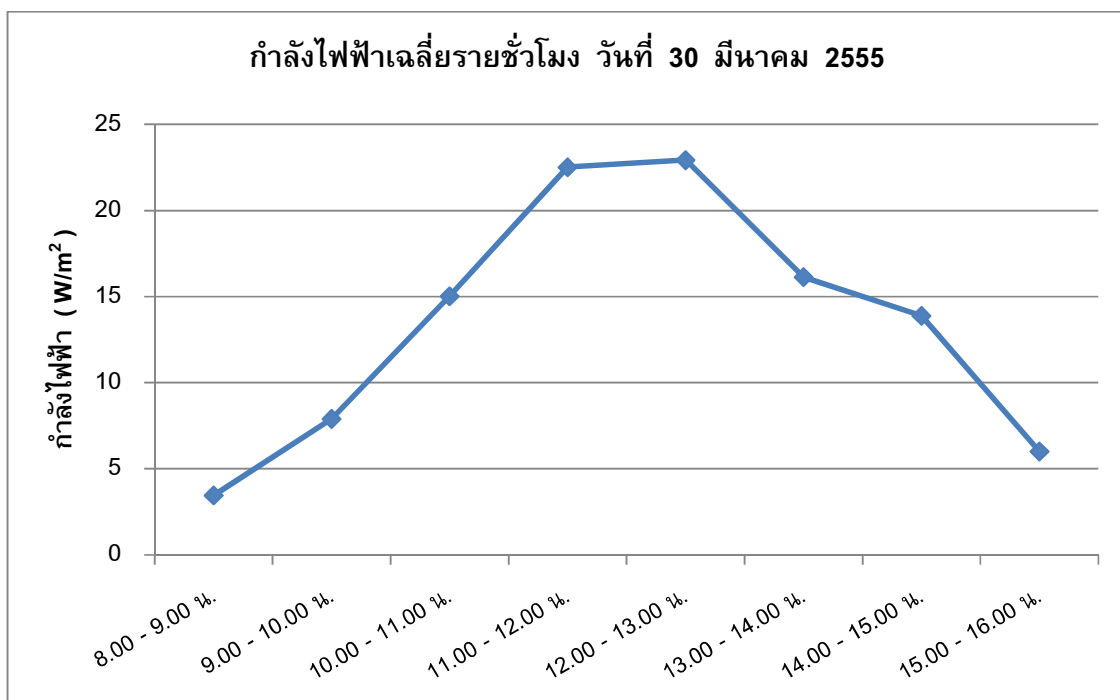
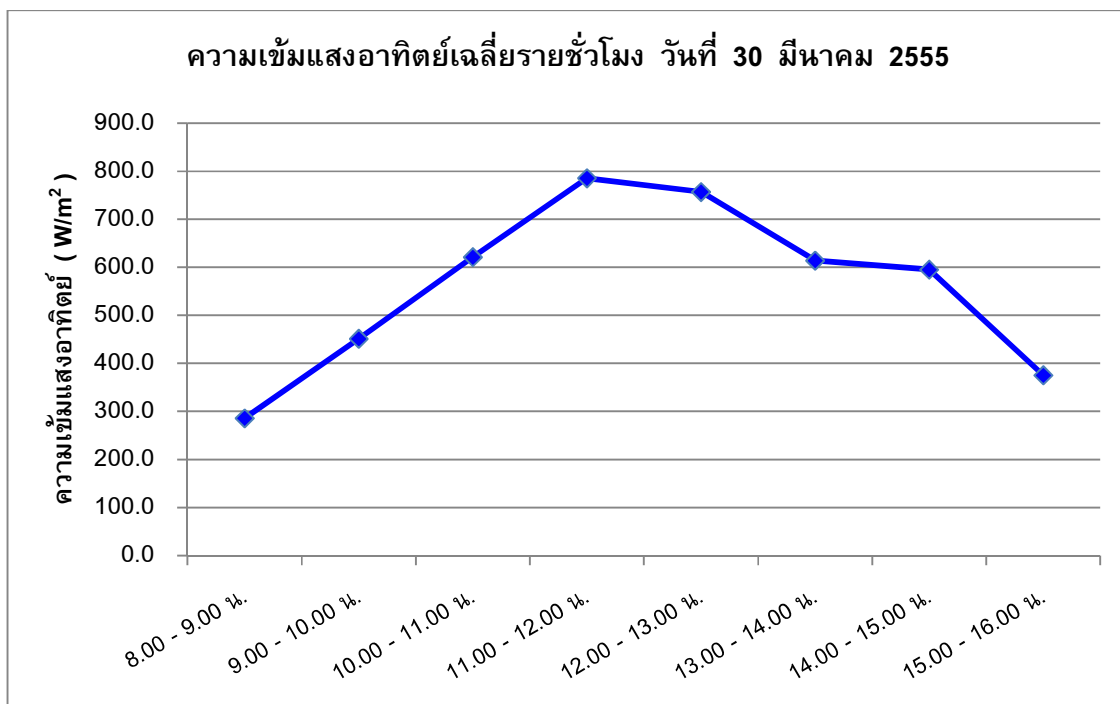
ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำ เริ่มต้น T_i (°C)	อุณหภูมิน้ำ เข้าแผง T_{in} (°C)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก T_{at} (°C)	อุณหภูมิแผง T_p (°C)	ความเข้ม แสงอาทิตย์ G_t (W/m ²)	กำลังไฟฟ้า P (W)
1	39.2	39.3	31.9	42.1	335.8	4.29
2	39.9	40.1	34.0	59.3	569.3	11.66
3	40.3	41.7	35.0	70.3	705.4	18.45
4	41.2	43.8	36.0	75.8	748.2	21.73
5	42.2	45.6	36.5	74.2	690.1	20.23
6	43.1	47.1	31.9	69.9	573.5	15.47
7	44.0	48.3	36.6	70.5	548.3	12.56
8	44.8	49.3	36.2	62.3	360.8	5.76

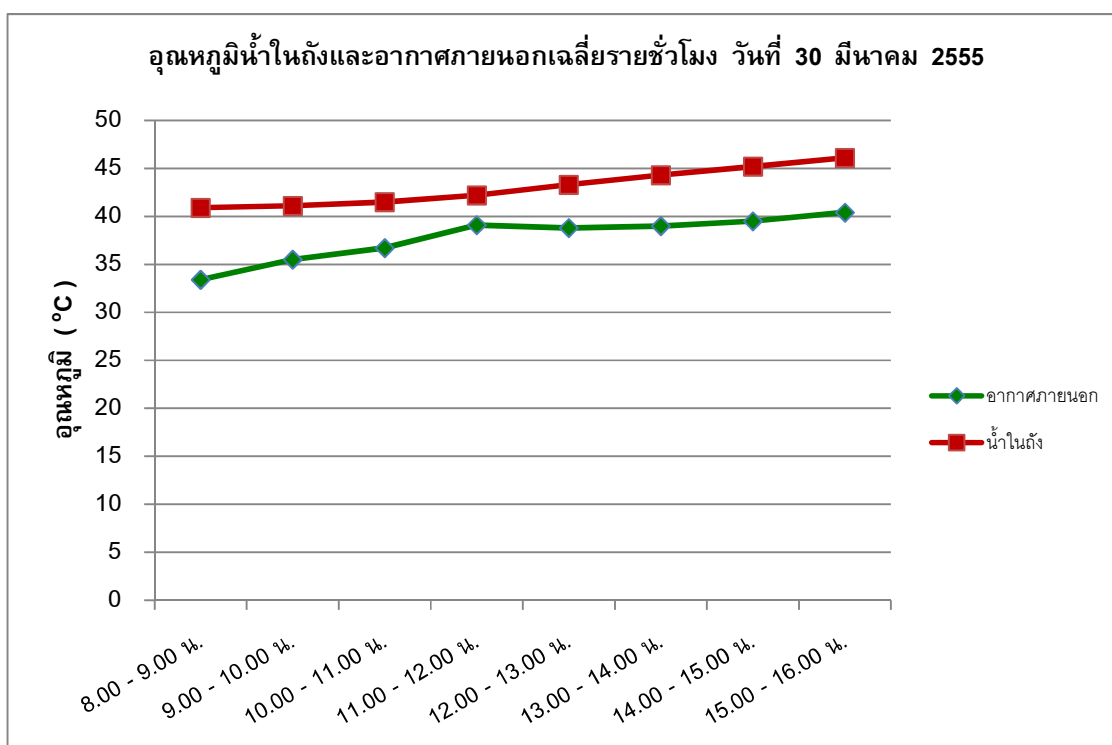




ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 30 มีนาคม 2555

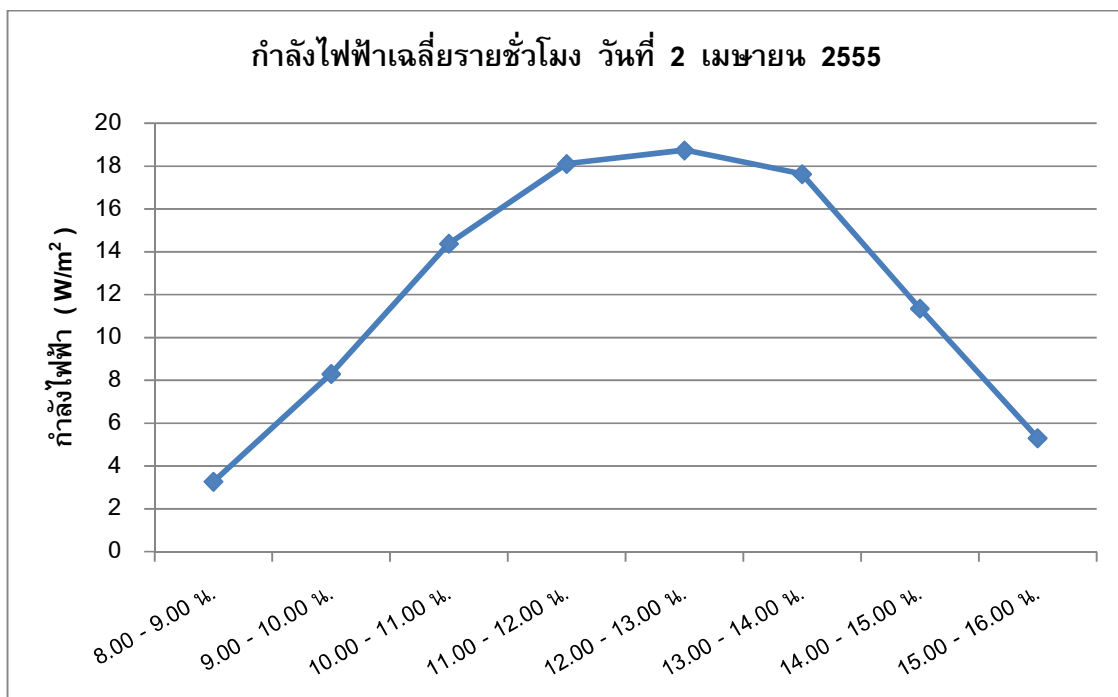
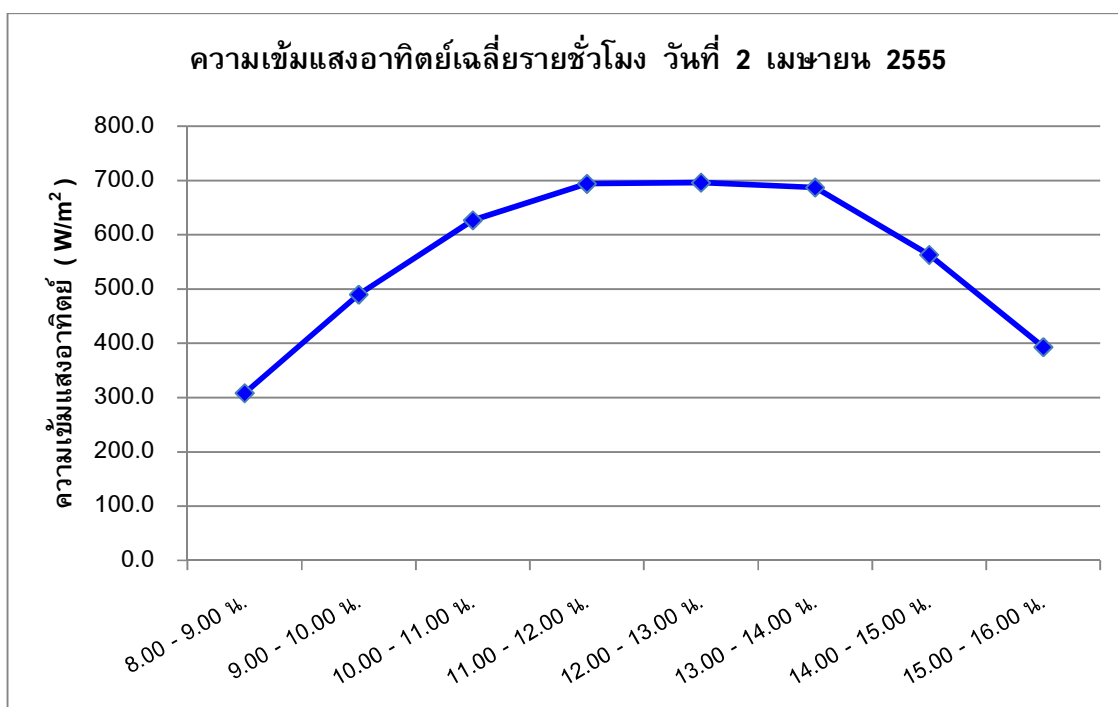
ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำ เริ่มต้น T_i (°C)	อุณหภูมิน้ำ เข้าแผง T_{in} (°C)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก T_{at} (°C)	อุณหภูมิแผง T_p (°C)	ความเข้ม แสงอาทิตย์ G_t (W/m ²)	กำลังไฟฟ้า P (W)
1	40.9	41.1	33.4	45.2	285.9	3.46
2	41.1	41.7	35.5	56.5	451.3	7.90
3	41.5	42.9	36.7	66.3	621.3	15.03
4	42.2	44.6	39.1	77.8	785.6	22.52
5	43.3	46.8	38.8	79.4	757.1	22.94
6	44.3	48.7	39.0	75.8	614.2	16.14
7	45.2	50.0	39.5	73.2	595.3	13.89
8	46.1	51.2	40.4	67.4	375.4	6.01

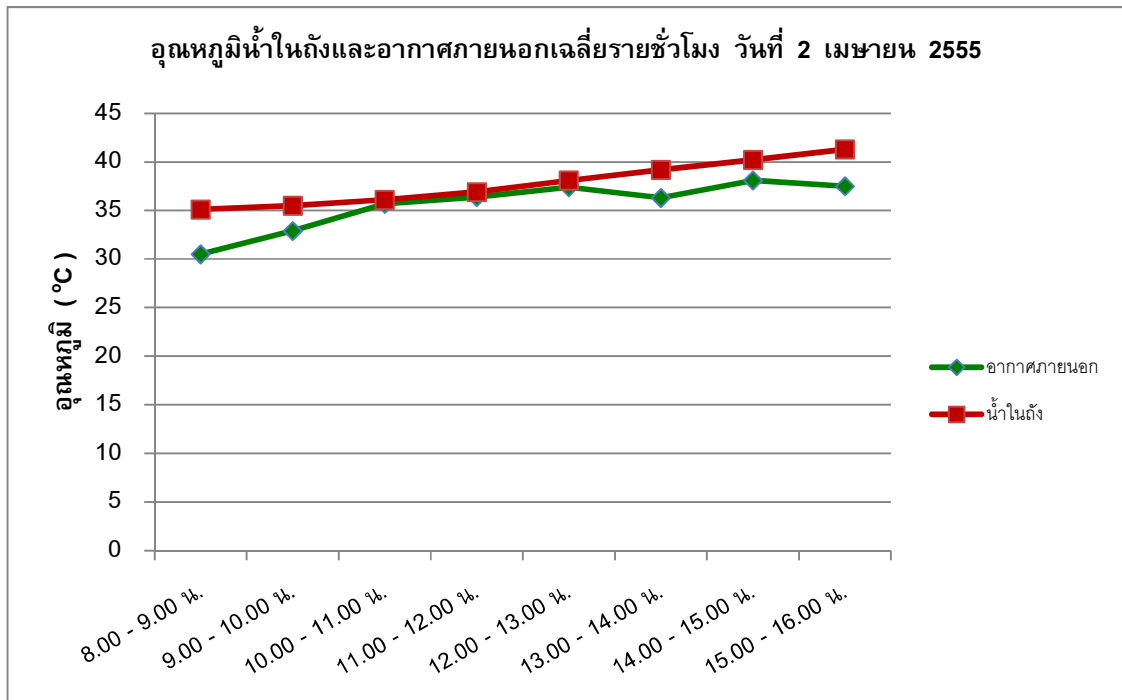




ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 2 เมษายน 2555

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น T_i (°C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผง T_{in} (°C)	อุณหภูมิอากาศภายนอก T_a (°C)	อุณหภูมิแผง T_p (°C)	ความเข้มแสงอาทิตย์ G (W/m ²)	กำลังไฟฟ้า P (W)
1	35.1	34.9	30.5	41.4	308.4	3.28
2	35.5	35.7	32.9	54.5	490.1	8.31
3	36.1	37.4	35.7	64.7	626.9	14.39
4	36.9	39.6	36.4	70.8	694.2	18.11
5	38.1	41.7	37.4	73.4	696.2	18.75
6	39.2	43.6	36.3	73.6	687.3	17.64
7	40.2	45.2	38.1	70.0	563.1	11.36
8	41.3	46.3	37.5	63.2	393.2	5.31



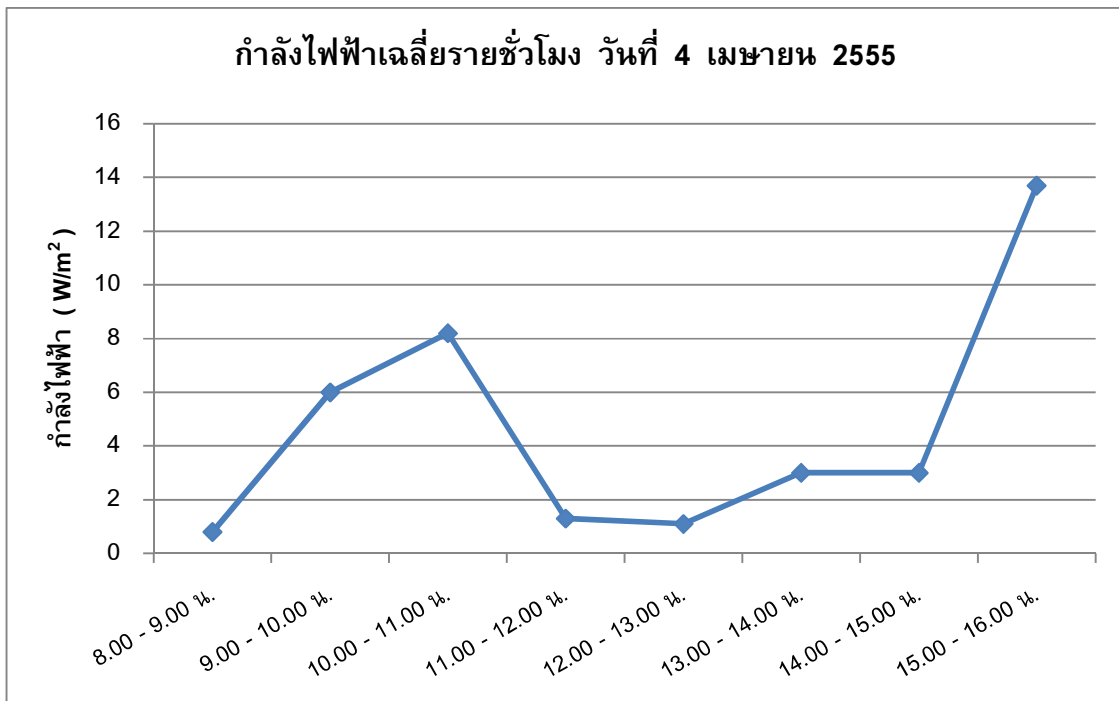


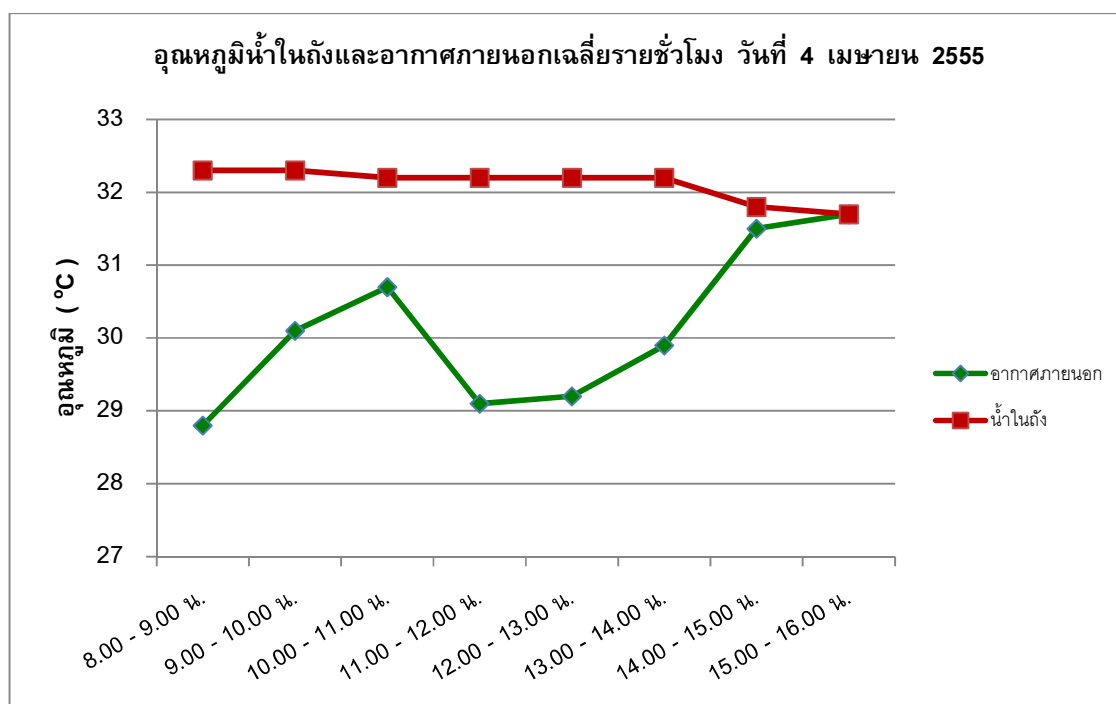
ภาคผนวก ง

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบรายชั่วโมงของระบบ PV/T กรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ

ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 4 เมษายน 2555

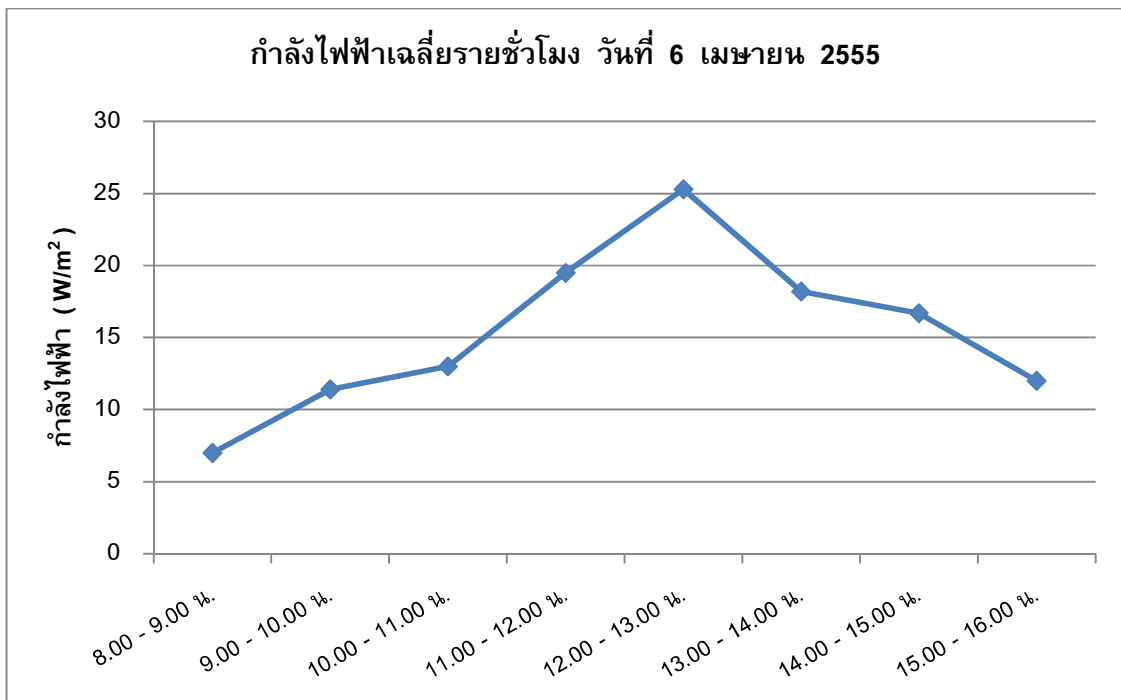
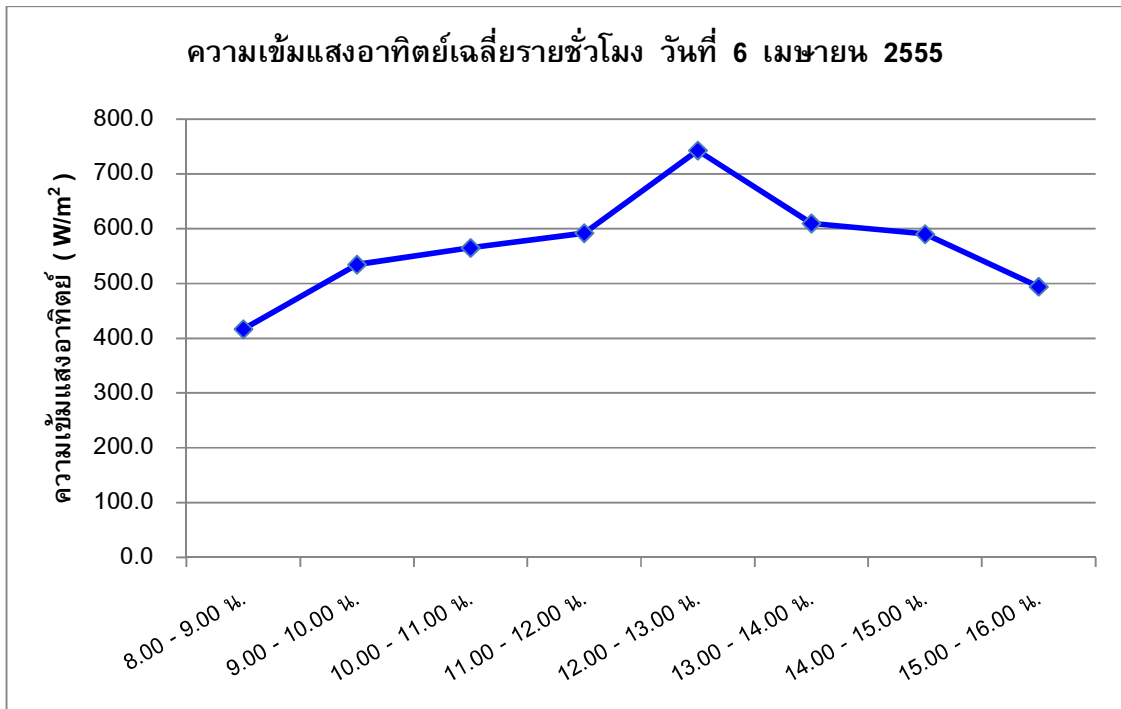
ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำ เริ่มต้น T_i ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิน้ำ เข้าแผง T_{in} ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก T_a ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิแผง T_p ($^{\circ}\text{C}$)	ความเข้ม แสงอาทิตย์ G (W/m^2)	กำลังไฟฟ้า P (W)
1	32.3	30.0	28.8	31.1	91.8	0.8
2	32.3	33.9	30.1	40.8	323.7	6.0
3	32.2	43.4	30.7	54.7	371.7	8.2
4	32.2	38.6	29.1	44.7	112.9	1.3
5	32.2	34.5	29.2	37.9	107.8	1.1
6	32.2	37.1	29.9	42.2	206.9	3.0
7	31.8	36.5	31.5	55.0	608.3	3.0
8	31.7	42.5	31.7	63.7	587.9	13.7

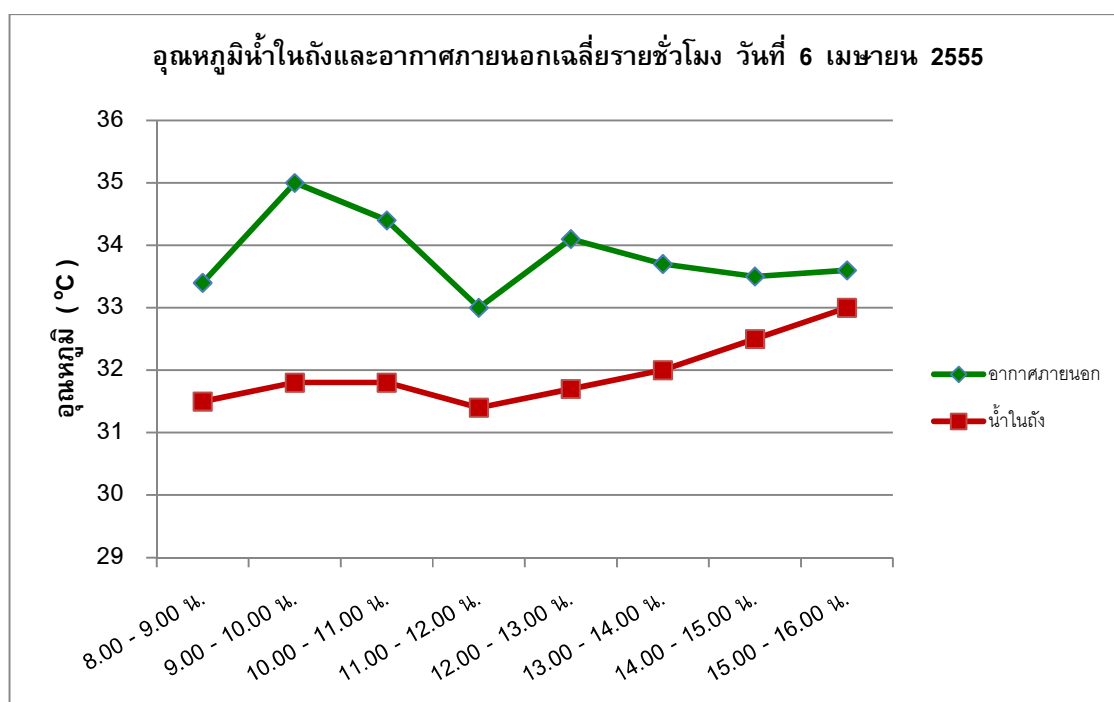




ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 6 เมษายน 2555

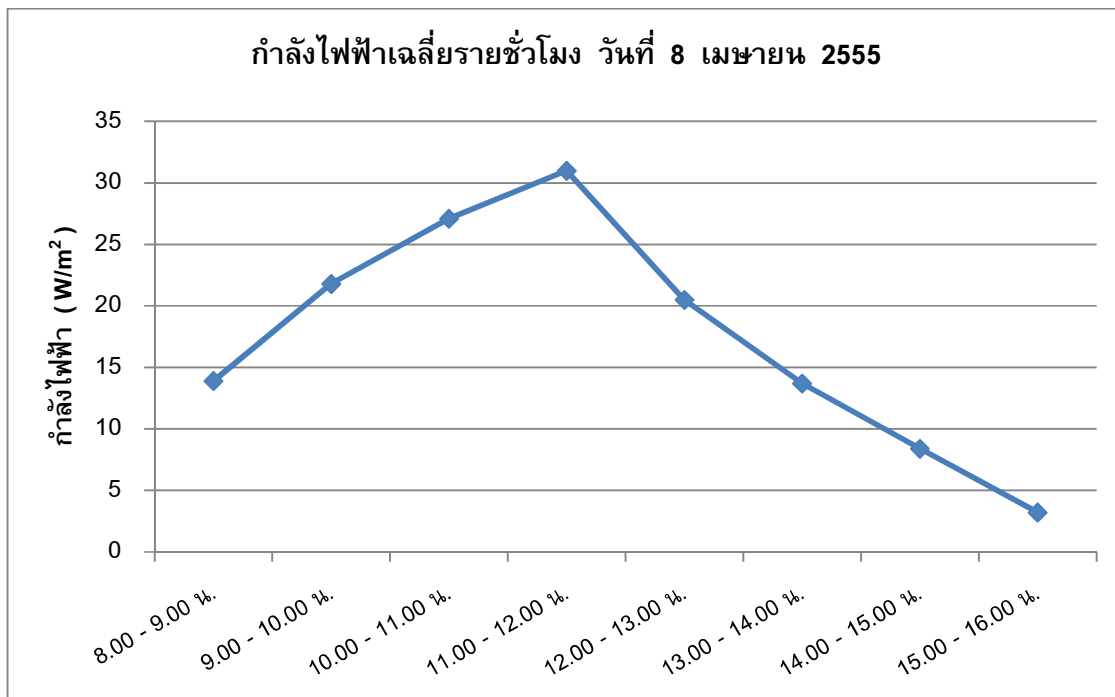
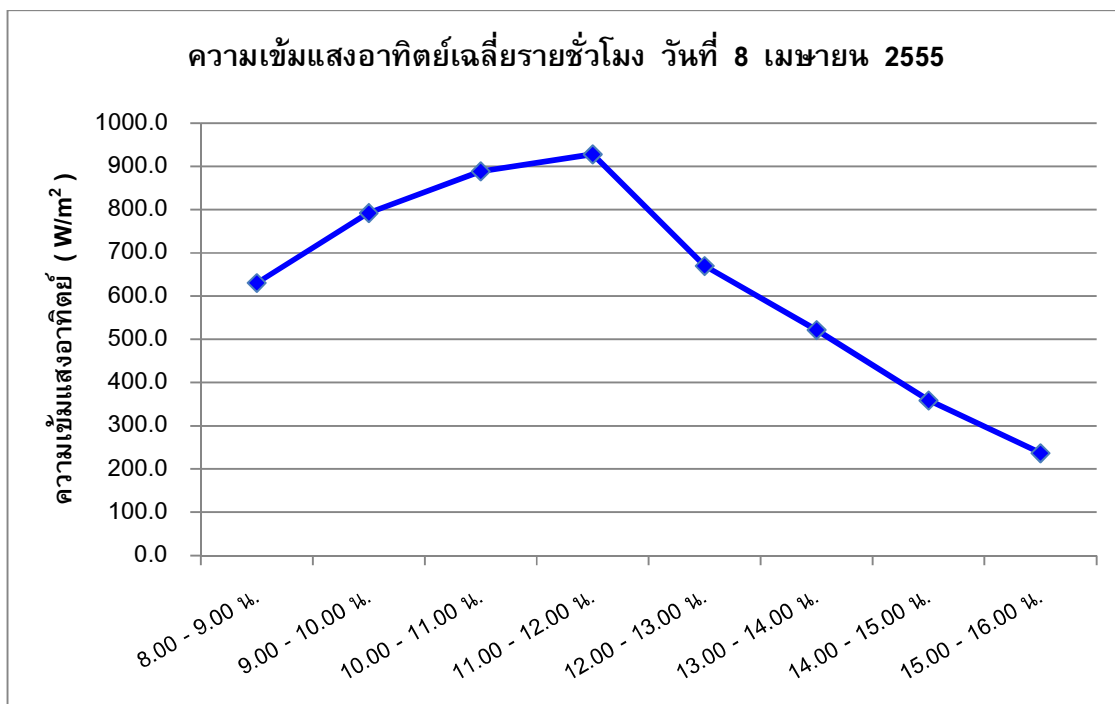
ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำ เริ่มต้น T_i (°C)	อุณหภูมิน้ำ เข้าแผง T_{in} (°C)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก T_a (°C)	อุณหภูมิแผง T_p (°C)	ความเข้ม แสงอาทิตย์ G (W/m ²)	กำลังไฟฟ้า P (W)
1	31.5	31.9	33.4	46.7	416.9	7.0
2	31.8	32.3	35.0	67.0	534.5	11.4
3	31.8	33.1	34.4	63.1	565.2	13.0
4	31.4	33.0	33.0	71.8	592.2	19.5
5	31.7	32.8	34.1	86.8	743.0	25.3
6	32.0	33.1	33.7	81.5	609.8	18.2
7	32.5	33.5	33.5	77.8	590.2	16.7
8	33.0	34.2	33.6	77.3	494.3	12.0

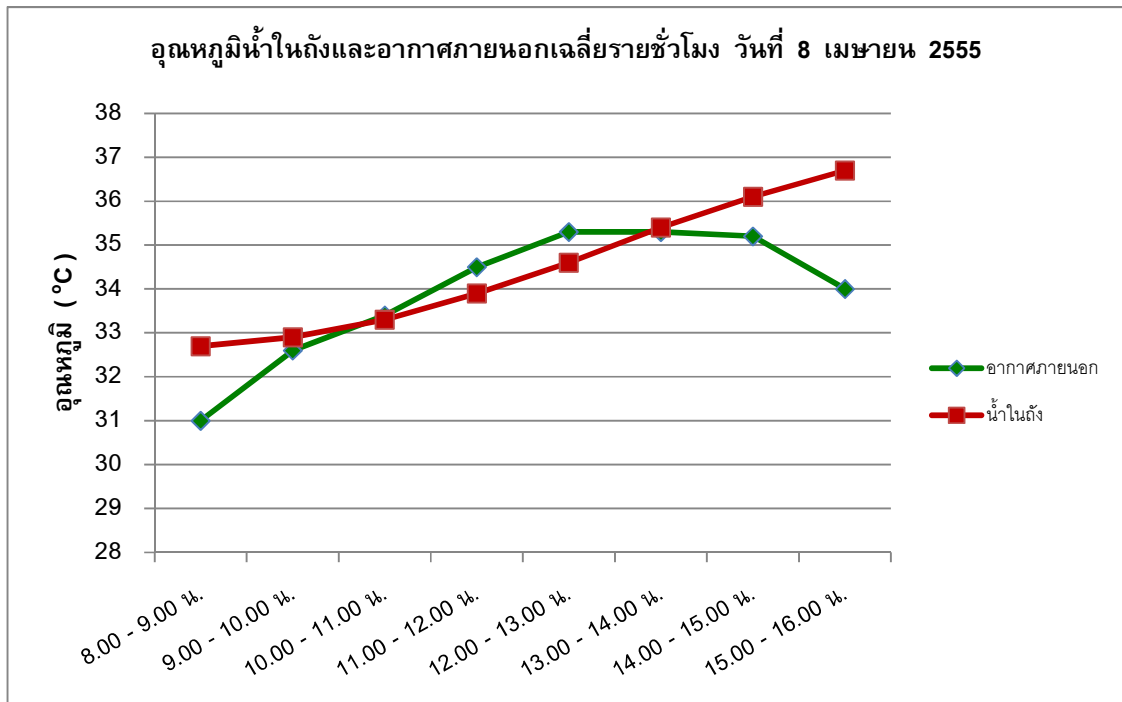




ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 8 เมษายน 2555

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำ เริ่มต้น T_i ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิน้ำ เข้าแผง T_{in} ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก T_a ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิแผง T_p ($^{\circ}\text{C}$)	ความเข้ม แสงอาทิตย์ G (W/m^2)	กำลังไฟฟ้า P (W)
1	32.7	37.8	31.0	57.3	630.8	13.9
2	32.9	35.0	32.6	84.5	792.4	21.8
3	33.3	34.9	33.4	95.1	888.9	27.1
4	33.9	34.9	34.5	99.8	928.4	31.0
5	34.6	35.5	35.3	92.8	670.1	20.5
6	35.4	36.1	35.3	80.4	522.1	13.7
7	36.1	37.1	35.2	75.7	358.8	8.4
8	36.7	36.3	34.0	56.1	237.0	3.2





ภาคผนวก จ

พลังงานที่ได้จากการประยุกต์ใช้สมการประสิทธิภาพรายวัน เดือน ธ.ค. 53 – มี.ค. 54

วันที่	ธันวาคม 53		มกราคม 54		กุมภาพันธ์ 54		มีนาคม 54		รวม
	(MJ)		(MJ)		(MJ)		(MJ)		
	ความร้อน	ไฟฟ้า	ความร้อน	ไฟฟ้า	ความร้อน	ไฟฟ้า	ความร้อน	ไฟฟ้า	
1	3.3	0.4	3.1	0.4	2.8	0.3	3.5	0.4	14.2
2	2.9	0.4	3.1	0.4	3.1	0.4	2.5	0.3	13.1
3	3.3	0.4	3.1	0.4	3.2	0.4	2.5	0.3	13.5
4	2.6	0.3	3.2	0.4	3.6	0.4	1.5	0.2	12.2
5	2.8	0.3	3.1	0.4	2.9	0.4	3.2	0.4	13.5
6	1.5	0.2	2.7	0.3	3.0	0.4	3.4	0.4	11.9
7	1.7	0.2	3.1	0.4	3.4	0.4	3.8	0.5	13.4
8	2.2	0.3	2.9	0.3	3.7	0.5	1.5	0.2	11.5
9	3.1	0.4	3.3	0.4	3.6	0.4	2.1	0.3	13.5
10	2.2	0.3	3.1	0.4	3.3	0.4	3.1	0.4	13.3
11	2.8	0.3	2.4	0.3	3.5	0.4	3.7	0.5	13.9
12	2.4	0.3	1.8	0.2	3.0	0.4	2.3	0.3	10.7
13	2.2	0.3	3.2	0.4	3.4	0.4	2.7	0.3	12.8
14	2.9	0.4	2.6	0.3	2.9	0.4	3.5	0.4	13.3
15	2.6	0.3	3.1	0.4	1.9	0.2	2.6	0.3	11.4
16	1.6	0.2	3.0	0.4	3.3	0.4	0.7	0.1	9.7
17	1.4	0.2	2.8	0.3	3.7	0.5	0.3	0.0	9.2
18	2.8	0.3	3.2	0.4	3.7	0.5	2.8	0.3	13.9
19	2.5	0.3	3.2	0.4	3.8	0.5	3.5	0.4	14.5
20	2.5	0.3	2.9	0.4	3.2	0.4	4.2	0.5	14.3
21	2.9	0.4	3.4	0.4	1.6	0.2	4.0	0.5	13.4
22	2.8	0.3	3.0	0.4	1.8	0.2	2.8	0.4	11.7
23	2.6	0.3	3.0	0.4	2.3	0.3	1.0	0.1	9.9
24	1.6	0.2	3.3	0.4	3.1	0.4	1.8	0.2	11.0
25	2.1	0.3	3.4	0.4	3.4	0.4	1.6	0.2	11.8
26	3.2	0.4	3.4	0.4	2.1	0.3	1.6	0.2	11.5
27	3.2	0.4	3.0	0.4	1.9	0.2	1.1	0.1	10.2
28	3.0	0.4	2.6	0.3	3.1	0.4	0.8	0.1	10.8
29	2.5	0.3	3.1	0.4			1.0	0.1	7.4
30	3.0	0.4	2.8	0.3			2.1	0.2	8.9
31	3.0	0.4	3.2	0.4			2.4	0.3	9.6
รวม	78.9	9.7	93.0	11.4	84.1	10.4	73.5	9.0	370.0

พลังงานที่ได้จากการประยุกต์ใช้สมการประสิทธิภาพรายวัน เดือน เม.ย. 54 – ก.ค. 54

วันที่	เมษายน 54		พฤษภาคม 54		มิถุนายน 54		กรกฎาคม 54		รวม
	(MJ)		(MJ)		(MJ)		(MJ)		
	ความร้อน	ไฟฟ้า	ความร้อน	ไฟฟ้า	ความร้อน	ไฟฟ้า	ความร้อน	ไฟฟ้า	
1	3.1	0.4	1.6	0.2	3.8	0.5	1.8	0.2	11.6
2	2.3	0.3	4.4	0.5	2.8	0.3	2.2	0.3	13.2
3	3.8	0.5	3.4	0.4	1.4	0.2	2.3	0.3	12.3
4	3.4	0.4	4.3	0.5	1.0	0.1	3.8	0.5	14.0
5	2.2	0.3	4.0	0.5	2.3	0.3	4.1	0.5	14.2
6	3.3	0.4	4.4	0.5	1.9	0.2	4.1	0.5	15.3
7	3.6	0.5	3.1	0.4	2.3	0.3	4.1	0.5	14.8
8	3.8	0.5	3.1	0.4	2.8	0.4	4.0	0.5	15.5
9	2.5	0.3	3.8	0.5	3.8	0.5	3.3	0.4	15.1
10	2.2	0.3	2.6	0.3	2.7	0.3	3.6	0.4	12.6
11	2.7	0.3	3.8	0.5	2.9	0.4	3.6	0.4	14.7
12	2.9	0.4	3.8	0.5	1.5	0.2	3.0	0.4	12.7
13	2.2	0.3	3.0	0.4	2.2	0.3	2.7	0.3	11.4
14	1.6	0.2	0.7	0.1	3.2	0.4	3.2	0.4	9.7
15	4.1	0.5	1.3	0.2	2.7	0.3	1.8	0.2	11.2
16	4.5	0.6	2.9	0.4	2.8	0.3	3.5	0.4	15.4
17	4.4	0.5	3.3	0.4	2.7	0.3	3.1	0.4	15.2
18	4.0	0.5	2.3	0.3	2.2	0.3	2.9	0.4	12.9
19	1.6	0.2	4.0	0.5	2.8	0.4	1.8	0.2	11.4
20	2.8	0.4	4.1	0.5	2.7	0.3	3.3	0.4	14.5
21	3.8	0.5	4.0	0.5	2.9	0.4	1.0	0.1	13.1
22	3.9	0.5	4.0	0.5	2.1	0.3	1.4	0.2	12.9
23	2.8	0.3	4.1	0.5	3.5	0.4	3.4	0.4	15.5
24	3.2	0.4	3.9	0.5	2.3	0.3	3.2	0.4	14.1
25	1.8	0.2	2.2	0.3	3.1	0.4	2.4	0.3	10.7
26	3.0	0.4	3.6	0.4	3.7	0.5	3.3	0.4	15.3
27	2.2	0.3	1.8	0.2	1.5	0.2	3.3	0.4	10.1
28	4.4	0.5	3.4	0.4	3.8	0.5	3.8	0.5	17.4
29	2.7	0.3	3.2	0.4	3.1	0.4	4.0	0.5	14.6
30	4.3	0.5	3.4	0.4	1.8	0.2	2.0	0.2	13.0
31			2.8	0.3			1.1	0.1	4.3
รวม	93.3	11.6	100.3	12.5	78.6	9.8	91.1	11.3	408.6

พลังงานที่ได้จากการประยุกต์ใช้สมการประสิทธิภาพรายวัน เดือน ส.ค. 54 – พ.ย. 54

วันที่	สิงหาคม 54		กันยายน 54		ตุลาคม 54		พฤศจิกายน 54		รวม
	(MJ)		(MJ)		(MJ)		(MJ)		
	ความร้อน	ไฟฟ้า	ความร้อน	ไฟฟ้า	ความร้อน	ไฟฟ้า	ความร้อน	ไฟฟ้า	
1	1.0	0.1	3.5	0.4	2.2	0.3	3.0	0.4	10.9
2	2.8	0.3	2.4	0.3	2.7	0.3	3.6	0.4	13.0
3	3.9	0.5	4.0	0.5	1.9	0.2	3.8	0.5	15.3
4	3.6	0.4	4.0	0.5	2.5	0.3	2.5	0.3	14.1
5	3.1	0.4	1.5	0.2	2.4	0.3	3.0	0.4	11.3
6	3.4	0.4	3.0	0.4	2.8	0.3	3.3	0.4	14.1
7	2.5	0.3	2.9	0.4	1.9	0.2	2.5	0.3	11.0
8	3.0	0.4	2.5	0.3	0.9	0.1	3.0	0.4	10.6
9	2.1	0.3	2.5	0.3	2.3	0.3	3.4	0.4	11.5
10	2.6	0.3	1.2	0.1	2.0	0.2	2.5	0.3	9.3
11	1.3	0.2	1.1	0.1	2.3	0.3	1.8	0.2	7.3
12	3.4	0.4	3.1	0.4	2.0	0.2	3.6	0.4	13.6
13	3.8	0.5	3.4	0.4	1.6	0.2	3.0	0.4	13.3
14	3.0	0.4	3.2	0.4	2.0	0.3	3.6	0.4	13.3
15	1.8	0.2	2.7	0.3	2.2	0.3	3.1	0.4	11.0
16	1.4	0.2	3.2	0.4	1.3	0.2	3.3	0.4	10.3
17	3.5	0.4	3.0	0.4	2.5	0.3	3.3	0.4	13.9
18	3.2	0.4	3.4	0.4	2.5	0.3	3.3	0.4	14.0
19	1.6	0.2	3.3	0.4	3.3	0.4	3.6	0.5	13.3
20	2.8	0.3	2.2	0.3	1.9	0.2	3.1	0.4	11.2
21	2.2	0.3	1.4	0.2	3.4	0.4	3.3	0.4	11.7
22	4.1	0.5	1.5	0.2	3.3	0.4	3.4	0.4	13.9
23	4.3	0.5	2.2	0.3	2.2	0.3	3.2	0.4	13.4
24	4.3	0.5	2.2	0.3	3.8	0.5	3.3	0.4	15.3
25	2.5	0.3	3.4	0.4	3.4	0.4	3.4	0.4	14.3
26	2.1	0.3	3.2	0.4	2.8	0.3	3.4	0.4	13.0
27	2.8	0.3	1.2	0.2	3.6	0.4	3.6	0.4	12.5
28	2.3	0.3	2.9	0.4	2.6	0.3	3.0	0.4	12.1
29	1.7	0.2	3.0	0.4			2.1	0.3	7.7
30	3.1	0.4	3.4	0.4			3.5	0.4	11.3
31	3.6	0.4							4.0
รวม	86.7	10.8	80.7	10.0	68.4	8.5	94.6	11.8	371.5

ภาคผนวก ฉ
ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกในระยะเวลา 1 ปี
อุณหภูมิอากาศภายนอก เดือนธันวาคม 2553 (°C)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	28.4	29.6	31.1	31.8	31.6	32.2	32.6	32.4	31.2
2	27.6	29.5	30.7	32.0	31.8	33.1	33.4	32.3	31.3
3	26.5	27.6	29.1	30.1	31.1	31.8	30.8	30.0	29.6
4	25.9	27.3	28.7	29.6	30.5	30.0	30.2	29.8	29.0
5	26.5	28.5	30.0	30.8	31.6	30.6	30.2	30.0	29.8
6	27.3	27.8	28.5	30.4	31.5	31.2	31.6	31.4	30.0
7	27.0	28.0	28.2	29.3	29.7	31.3	31.2	30.4	29.4
8	25.7	25.9	27.9	27.6	29.7	30.8	30.4	30.4	28.6
9	26.0	28.2	29.8	30.8	30.8	31.4	30.9	31.0	29.9
10	26.3	27.9	30.0	30.3	30.6	31.5	31.0	31.2	29.9
11	26.2	27.9	29.7	30.4	30.6	31.3	32.1	31.7	30.0
12	27.3	29.6	30.5	30.2	30.6	31.9	31.4	31.6	30.4
13	25.9	26.6	27.3	27.3	28.6	30.3	30.6	31.1	28.5
14	27.9	29.2	30.0	31.8	32.1	32.8	33.2	32.2	31.2
15	28.0	30.7	31.8	33.0	32.9	32.9	32.6	32.7	31.8
16	28.7	29.3	31.5	31.9	32.2	32.8	33.2	31.1	31.3
17	21.7	22.7	23.1	23.6	23.9	24.4	24.6	25.7	23.7
18	22.0	23.4	25.1	26.1	26.6	27.3	27.4	27.6	25.7
19	24.8	25.2	26.8	27.7	29.1	29.8	31.1	30.3	28.1
20	25.2	26.6	28.2	29.1	30.7	30.4	30.8	30.2	28.9
21	26.7	28.8	30.6	32.0	32.3	32.1	32.4	32.0	30.9
22	27.1	29.1	30.2	31.3	31.8	32.2	32.4	31.8	30.7
23	27.5	29.2	30.5	30.6	31.6	31.7	31.8	31.9	30.6
24	27.2	29.5	30.6	31.1	31.8	32.2	32.4	32.2	30.9
25	28.3	30.8	31.5	32.2	32.0	33.6	32.0	32.8	31.7
26	27.0	28.3	29.0	29.4	29.4	30.5	30.6	30.7	29.4
27	22.9	23.8	25.8	26.7	28.0	28.9	28.9	28.9	26.7
28	24.1	26.6	27.9	29.0	29.4	30.2	30.4	30.1	28.5
29	23.7	25.7	27.8	29.6	29.6	31.0	30.7	30.6	28.6
30	24.1	26.6	28.3	29.2	30.1	30.5	31.1	31.3	28.9
31	23.7	25.7	27.2	28.8	29.5	30.5	30.3	30.3	28.3
เฉลี่ย	26.0	27.6	28.9	29.8	30.4	31.0	31.0	30.8	

อุณหภูมิอากาศภายนอก เดือนมกราคม 2554 (°C)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	23.2	25.3	27.7	28.9	30.4	29.7	29.9	29.7	28.1
2	24.5	25.9	28.0	28.7	29.1	29.8	30.2	30.3	28.3
3	25.2	27.5	28.6	29.5	30.6	31.3	31.0	30.9	29.3
4	26.2	28.0	29.5	30.7	31.6	32.0	32.0	31.9	30.2
5	25.8	27.5	29.3	30.8	31.0	31.3	31.5	31.6	29.9
6	27.4	28.3	29.9	30.5	31.7	32.1	32.3	31.6	30.5
7	26.6	27.5	27.9	28.5	29.6	29.5	30.0	29.8	28.7
8	23.5	24.5	26.6	28.7	29.2	29.9	28.7	29.0	27.5
9	24.5	26.5	28.5	29.5	30.1	30.1	30.4	30.6	28.8
10	23.4	24.8	26.2	27.0	28.3	28.4	28.6	28.8	26.9
11	24.6	25.1	27.1	28.1	28.7	28.6	28.3	28.6	27.4
12	23.2	24.8	26.9	27.9	29.0	27.7	27.8	28.0	26.9
13	23.9	25.7	28.0	29.3	29.6	30.2	30.6	30.3	28.5
14	25.0	26.5	28.2	29.0	29.4	29.7	30.6	30.4	28.6
15	24.7	26.6	27.4	28.1	28.7	29.7	30.0	29.9	28.1
16	20.6	22.0	23.6	25.4	26.2	27.1	26.3	26.9	24.8
17	21.6	22.0	23.6	25.6	26.5	27.1	27.7	27.7	25.2
18	22.4	24.2	26.2	27.7	28.5	29.4	30.1	29.8	27.3
19	24.1	26.9	28.1	29.4	30.6	31.0	30.9	30.8	29.0
20	24.3	26.6	28.5	30.0	29.8	30.7	30.9	31.1	29.0
21	25.8	27.7	29.3	30.5	31.9	32.4	32.4	32.3	30.3
22	24.6	26.8	28.1	29.4	30.6	31.1	31.3	31.4	29.2
23	25.5	26.7	29.0	30.5	31.6	31.6	31.6	32.3	29.9
24	27.4	28.8	29.9	30.6	32.0	32.1	32.3	32.7	30.7
25	25.8	28.4	29.7	30.5	30.7	31.7	30.5	31.8	29.9
26	24.8	26.6	28.7	29.8	31.0	31.5	31.8	31.4	29.5
27	26.3	28.2	29.7	30.6	31.5	32.0	32.0	32.3	30.3
28	26.9	29.1	29.9	30.7	31.6	32.4	32.1	32.3	30.6
29	24.6	25.8	27.3	28.4	29.5	30.2	30.3	30.0	28.3
30	22.6	24.0	26.5	27.3	28.2	28.7	29.2	29.0	26.9
31	22.4	24.1	25.9	27.2	27.8	28.5	28.7	28.8	26.7
เฉลี่ย	24.6	26.2	27.9	29.0	29.8	30.2	30.3	30.4	

อุณหภูมิอากาศภายนอก เดือนกุมภาพันธ์ 2554 (°C)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	23.5	25.0	26.2	28.8	29.2	29.8	30.2	30.4	27.9
2	24.3	26.0	27.5	28.9	29.5	29.9	30.8	30.8	28.5
3	25.1	27.1	28.2	29.3	29.9	30.8	31.4	31.4	29.2
4	26.9	28.4	30.1	31.3	32.1	32.5	33.0	32.7	30.9
5	25.5	27.7	29.3	30.8	31.6	31.9	32.5	32.2	30.2
6	25.2	26.7	29.4	30.6	31.4	32.4	32.4	31.7	30.0
7	25.6	27.7	29.9	30.7	31.8	31.8	33.6	32.4	30.4
8	26.0	28.8	30.9	31.9	32.2	33.1	33.4	33.4	31.2
9	24.9	28.8	29.7	30.2	30.7	32.0	33.3	32.9	30.3
10	25.3	27.8	30.2	31.8	32.4	32.9	33.6	33.2	30.9
11	26.6	28.7	30.9	31.9	33.1	33.8	33.2	33.4	31.5
12	26.9	28.9	29.2	30.9	32.3	32.0	32.1	32.0	30.5
13	25.9	25.8	29.2	30.6	31.6	32.0	31.8	31.7	29.8
14	26.4	27.8	29.6	31.1	31.7	31.8	32.7	32.2	30.4
15	25.0	25.3	24.6	25.5	26.8	28.5	30.8	30.2	27.1
16	26.5	28.4	29.1	31.8	30.8	26.4	27.4	27.4	28.5
17	27.6	29.5	31.3	32.3	32.9	33.3	34.0	33.5	31.8
18	28.3	30.1	31.4	32.6	33.5	34.2	33.8	33.6	32.2
19	28.0	30.4	31.9	32.7	33.8	34.0	33.3	33.8	32.2
20	28.6	30.2	31.2	32.1	32.9	33.7	33.7	33.3	32.0
21	27.8	29.5	30.8	30.4	30.2	31.0	30.1	27.3	29.6
22	26.3	26.9	29.3	30.3	31.4	31.3	28.2	28.3	29.0
23	27.4	29.4	30.9	31.3	31.7	32.1	30.7	30.9	30.6
24	26.4	27.3	29.1	31.0	32.0	32.7	31.6	31.9	30.3
25	28.1	30.0	31.2	32.3	32.7	33.5	33.6	33.0	31.8
26	27.3	28.5	30.4	30.8	30.6	31.2	31.2	32.0	30.3
27	27.5	29.0	29.3	30.7	31.6	32.7	32.3	32.0	30.6
28	27.7	29.5	30.8	32.0	32.9	33.4	33.7	33.4	31.7
เฉลี่ย	26.5	28.2	29.7	30.9	31.5	32.0	32.1	31.8	

อุณหภูมิอากาศภายนอก เดือนมีนาคม 2554 (°C)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	29.1	30.6	32.0	32.5	33.4	33.4	33.5	33.3	32.2
2	28.9	30.7	32.3	32.2	28.4	32.4	32.7	33.2	31.4
3	29.1	30.3	31.7	31.5	33.1	32.9	34.0	33.4	32.0
4	27.0	28.2	29.4	30.5	30.9	31.4	30.8	31.1	29.9
5	27.7	30.1	31.3	32.7	33.4	34.2	33.8	34.0	32.2
6	29.5	31.7	33.2	34.7	35.3	35.5	34.7	34.0	33.6
7	28.1	30.5	32.2	33.3	34.8	34.5	35.3	34.9	33.0
8	28.6	29.9	31.1	32.1	32.2	32.1	30.8	29.4	30.8
9	28.6	30.0	30.7	32.1	31.9	32.9	32.8	29.8	31.1
10	28.0	29.7	31.3	32.7	33.2	33.2	33.0	33.2	31.8
11	28.6	30.5	32.0	32.4	33.2	34.0	34.3	33.9	32.4
12	28.5	29.6	30.7	32.0	32.7	34.0	34.0	34.0	31.9
13	27.5	29.3	31.1	32.7	33.5	32.9	33.1	33.4	31.7
14	29.5	31.2	32.6	32.4	33.0	35.0	33.7	33.8	32.7
15	24.9	26.9	28.5	30.8	32.2	31.6	32.4	32.6	30.0
16	23.1	24.0	24.9	25.0	24.7	24.7	24.3	24.1	24.4
17	18.7	18.1	18.0	18.3	17.8	17.0	17.7	18.0	18.0
18	19.4	21.6	22.5	23.6	24.0	24.0	23.9	24.2	22.9
19	22.7	24.2	25.3	27.7	29.4	30.5	30.9	30.8	27.7
20	28.6	30.2	31.5	33.1	33.3	33.6	33.6	34.4	32.3
21	29.8	31.3	32.7	34.0	34.2	33.8	32.0	33.5	32.7
22	29.0	30.9	32.0	33.7	33.9	34.0	34.8	35.2	32.9
23	23.1	23.5	24.0	24.0	24.8	25.5	25.8	26.8	24.7
24	25.6	26.4	26.9	28.5	29.6	30.3	30.4	30.4	28.5
25	26.4	27.5	28.8	30.3	29.6	29.4	29.6	29.6	28.9
26	26.2	26.9	27.2	27.0	26.4	27.2	28.2	28.6	27.2
27	24.6	25.4	25.7	25.6	25.2	25.5	24.7	24.9	25.2
28	21.0	21.4	21.2	21.8	21.6	21.3	21.2	21.9	21.4
29	20.5	20.1	20.6	20.9	21.2	21.7	21.4	21.2	21.0
30	19.7	20.7	21.8	22.7	23.8	24.0	24.0	24.5	22.7
31	21.2	22.3	24.0	26.0	26.5	27.0	27.5	27.5	25.3
เฉลี่ย	25.9	27.2	28.3	29.3	29.6	30.0	30.0	30.0	

อุณหภูมิอากาศภายนอก เดือนเมษายน 2554 (°C)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	26.7	28.2	30.2	31.7	31.8	33.0	32.7	32.8	30.9
2	29.3	30.3	31.3	32.7	33.7	34.5	33.7	33.4	32.4
3	28.6	29.3	31.8	33.1	33.3	33.5	34.5	34.4	32.3
4	28.9	29.9	31.3	32.6	32.8	33.3	33.6	33.5	32.0
5	28.3	29.6	30.7	31.2	31.5	23.6	25.7	25.6	28.3
6	28.2	29.5	30.6	32.2	32.0	32.3	33.1	33.1	31.4
7	29.5	30.5	31.4	31.9	33.2	33.1	32.9	32.8	31.9
8	29.5	30.2	31.8	32.7	34.5	33.7	34.0	33.8	32.5
9	27.4	29.0	29.8	31.1	31.8	32.5	33.0	32.7	30.9
10	26.7	28.2	29.4	30.6	30.7	31.9	31.3	32.0	30.1
11	28.9	29.9	30.0	31.3	31.8	33.3	32.1	30.5	31.0
12	29.8	30.0	30.2	30.8	32.6	32.9	32.9	32.4	31.5
13	29.5	28.8	29.2	30.1	29.9	30.4	31.7	32.6	30.3
14	27.8	28.8	29.8	28.6	27.1	28.2	28.8	29.5	28.6
15	29.2	31.0	32.5	32.3	32.8	33.5	33.5	33.6	32.3
16	30.6	32.0	32.8	33.5	34.5	34.6	34.5	33.8	33.3
17	30.8	31.7	32.8	34.1	33.7	34.4	34.2	34.2	33.2
18	31.1	32.6	33.0	34.2	35.2	35.5	35.7	34.5	34.0
19	29.4	31.4	23.0	24.7	27.0	28.6	30.0	29.8	28.0
20	28.3	31.5	32.0	32.7	32.8	34.2	33.5	30.3	31.9
21	30.0	31.1	31.2	31.8	30.9	30.5	28.9	31.4	30.7
22	30.7	31.2	32.6	33.5	33.0	33.4	33.2	34.4	32.8
23	30.1	31.7	31.8	32.9	32.5	33.9	24.9	23.9	30.2
24	25.8	27.6	29.7	30.9	30.9	32.5	33.0	32.8	30.4
25	25.0	25.8	26.9	28.4	30.1	29.6	30.1	30.2	28.3
26	29.2	30.1	31.4	31.4	31.4	32.1	31.5	31.5	31.1
27	29.2	30.4	31.5	27.6	30.9	31.8	33.3	33.5	31.0
28	30.8	31.2	33.0	33.6	33.8	33.9	34.2	33.9	33.1
29	29.7	30.5	31.9	27.6	25.6	27.1	31.1	32.4	29.5
30	30.5	31.3	32.2	32.4	33.5	33.2	33.6	33.8	32.6
เฉลี่ย	29.0	30.1	30.9	31.4	31.8	32.2	32.2	32.1	

อุณหภูมิอากาศภายนอก เดือนพฤษภาคม 2554 (°C)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	26.4	26.8	27.6	28.3	29.0	28.9	29.1	30.0	28.3
2	29.8	30.9	31.6	31.9	32.5	32.1	32.0	32.0	31.6
3	31.1	32.5	33.6	34.3	34.4	29.6	27.4	27.8	31.3
4	31.7	32.6	33.9	35.1	35.1	35.5	33.6	33.8	33.9
5	30.2	31.7	32.5	33.0	33.7	33.8	30.6	30.5	32.0
6	30.0	31.2	32.8	31.7	29.9	31.5	33.0	33.8	31.7
7	30.3	31.2	25.6	27.8	30.9	32.9	32.8	33.5	30.6
8	30.2	31.2	31.9	32.3	32.0	31.6	31.5	29.9	31.3
9	30.8	30.9	31.1	32.0	32.2	32.5	31.9	32.3	31.7
10	30.3	30.7	31.1	31.7	31.8	31.7	32.0	31.6	31.4
11	29.6	30.9	31.8	32.4	33.0	33.5	34.2	34.3	32.5
12	29.7	31.0	32.3	33.6	33.3	34.7	35.6	35.3	33.2
13	29.1	30.6	32.0	33.0	33.0	34.5	33.6	28.2	31.8
14	27.6	28.1	29.8	25.0	25.2	25.5	25.8	26.1	26.6
15	28.4	30.3	26.5	27.1	29.0	28.8	28.7	28.9	28.5
16	28.7	29.7	29.6	28.2	30.2	31.4	32.2	32.8	30.4
17	29.9	31.1	32.1	32.9	32.2	32.6	32.2	30.7	31.7
18	25.0	25.7	26.6	28.1	30.3	31.2	32.3	33.3	29.1
19	29.8	31.8	32.3	33.4	33.9	34.7	33.8	34.8	33.1
20	29.1	30.7	32.1	33.0	33.3	34.0	34.4	34.2	32.6
21	30.1	31.2	32.2	33.0	33.5	34.7	34.5	34.2	32.9
22	30.3	31.4	32.4	33.4	33.5	34.5	34.8	34.3	33.1
23	30.9	31.9	33.3	33.4	34.4	34.4	35.2	35.7	33.7
24	31.2	32.2	33.2	34.3	33.7	34.2	35.2	34.8	33.6
25	28.3	30.4	32.0	32.5	31.4	29.0	30.5	33.1	30.9
26	26.5	28.0	29.2	30.8	31.8	32.3	32.4	32.2	30.4
27	29.3	30.7	31.3	30.6	28.4	25.5	27.2	28.2	28.9
28	28.1	29.4	30.8	31.5	32.3	33.3	33.7	33.8	31.6
29	28.7	29.7	31.2	31.3	32.5	33.3	33.6	33.4	31.7
30	30.6	30.5	31.8	32.0	31.5	32.0	27.7	31.3	30.9
31	29.9	30.3	29.5	31.7	32.9	33.4	32.6	33.3	31.7
เฉลี่ย	29.4	30.5	31.1	31.6	32.0	32.2	32.1	32.2	

อุณหภูมิอากาศภายนอก เดือนมิถุนายน 2554 (°C)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	30.6	31.3	32.4	33.4	34.0	34.4	34.7	33.6	33.1
2	29.2	30.7	31.6	33.3	26.7	28.9	29.9	31.7	30.3
3	25.8	27.4	30.0	25.4	26.5	27.7	28.5	29.3	27.6
4	27.3	28.2	30.3	29.5	28.9	29.5	29.8	30.0	29.2
5	29.0	29.3	29.1	30.8	32.5	32.4	31.6	31.0	30.7
6	29.2	30.2	30.8	31.8	31.5	31.9	32.5	32.5	31.3
7	27.0	28.3	29.4	30.1	31.3	31.9	31.8	31.5	30.2
8	30.0	31.0	31.9	33.0	33.3	33.7	33.6	34.0	32.6
9	30.0	30.5	30.8	31.5	32.8	32.7	33.7	34.0	32.0
10	29.4	30.6	31.7	32.6	31.6	32.8	32.0	25.8	30.8
11	30.0	31.1	32.0	32.3	32.4	31.9	32.3	31.3	31.7
12	26.7	28.1	29.9	29.7	27.2	28.9	29.5	29.9	28.7
13	29.4	29.1	29.6	30.4	29.8	30.5	31.6	30.1	30.1
14	27.1	29.4	30.5	31.5	32.0	32.6	32.8	32.2	31.0
15	30.8	30.7	31.2	31.2	32.1	32.0	32.6	31.8	31.6
16	28.0	29.3	30.5	32.0	31.2	31.5	31.5	30.7	30.6
17	29.7	31.2	31.3	32.1	27.9	30.4	30.5	29.5	30.3
18	29.0	28.9	29.3	29.7	30.6	31.3	31.9	29.7	30.1
19	30.7	31.6	31.7	32.9	33.4	32.3	32.5	32.1	32.2
20	29.9	30.6	31.8	31.8	32.2	32.6	32.3	32.0	31.7
21	29.2	30.2	31.2	32.0	31.6	32.5	32.9	32.8	31.6
22	28.6	29.3	30.0	30.4	31.2	32.3	32.6	33.0	30.9
23	30.2	31.1	32.3	32.6	32.2	32.6	32.4	32.5	32.0
24	30.9	31.2	32.5	31.9	31.7	31.9	31.9	32.8	31.9
25	30.5	31.3	32.5	32.8	32.8	32.7	32.6	32.3	32.2
26	31.0	31.5	32.2	32.3	32.5	27.6	30.8	31.2	31.1
27	27.5	27.8	29.7	29.5	30.1	30.5	31.1	30.4	29.6
28	30.8	32.1	32.5	31.7	33.9	34.6	33.6	32.3	32.7
29	30.1	31.0	31.6	32.6	33.8	33.3	33.9	34.2	32.6
30	28.3	29.7	31.0	31.8	31.6	32.0	31.5	30.6	30.8
เฉลี่ย	29.2	30.1	31.0	31.4	31.3	31.7	32.0	31.5	

อุณหภูมิอากาศภายนอก เดือนกรกฎาคม 2554 (°C)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	27.0	27.9	28.9	29.0	29.1	29.4	29.8	30.1	28.9
2	27.1	28.5	29.0	29.9	30.1	30.3	30.7	30.9	29.6
3	26.8	28.1	29.4	30.6	30.9	31.1	31.1	30.8	29.9
4	27.0	28.7	30.0	31.3	31.7	31.9	31.9	30.8	30.4
5	28.9	29.9	30.9	32.2	33.1	32.5	30.6	27.0	30.6
6	29.4	30.4	31.4	31.9	32.1	33.0	33.0	33.7	31.9
7	29.9	30.9	31.8	32.5	33.3	33.6	34.4	34.5	32.6
8	30.5	31.3	32.4	33.2	33.9	34.9	34.9	35.4	33.3
9	30.8	31.6	32.4	33.1	33.7	34.3	34.3	33.9	33.0
10	30.2	30.5	31.4	32.6	33.4	33.9	34.3	34.2	32.6
11	29.0	30.3	31.4	31.6	32.8	32.7	33.3	32.0	31.6
12	28.5	29.8	26.3	27.4	29.6	31.1	30.3	30.4	29.2
13	29.2	30.8	31.6	31.7	32.2	32.0	31.7	31.4	31.3
14	30.3	31.0	31.9	32.4	32.9	32.8	32.7	31.8	32.0
15	28.8	29.5	30.0	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.1
16	28.4	29.6	30.4	30.5	31.2	31.1	31.6	31.8	30.6
17	29.6	30.5	30.9	31.5	31.6	31.5	31.6	31.6	31.1
18	28.9	30.7	31.0	31.6	31.8	31.6	31.7	32.0	31.2
19	30.1	31.1	31.0	31.3	29.3	25.6	26.9	27.5	29.1
20	29.7	30.6	31.5	31.0	31.9	32.4	32.0	32.1	31.4
21	28.3	28.1	27.3	27.7	28.0	27.8	28.9	29.5	28.2
22	26.7	28.3	28.8	29.7	29.4	28.6	27.4	28.0	28.4
23	28.9	30.1	30.8	31.7	31.9	32.3	32.9	33.2	31.5
24	27.3	28.9	29.9	30.5	31.0	31.8	32.5	31.7	30.5
25	27.6	29.0	30.2	28.3	30.2	30.4	31.2	31.2	29.8
26	27.5	29.7	30.3	31.3	31.8	32.0	32.3	32.8	31.0
27	28.7	30.2	30.9	31.4	32.1	32.5	32.9	33.1	31.5
28	29.3	30.6	31.1	32.4	32.2	32.9	32.7	32.8	31.8
29	29.2	30.3	31.5	32.3	32.6	32.7	33.1	32.9	31.8
30	28.2	29.1	29.5	29.7	30.2	30.1	30.0	29.5	29.5
31	26.1	25.9	27.3	27.2	27.5	28.2	28.6	28.5	27.4
เฉลี่ย	28.6	29.7	30.4	30.9	31.4	31.5	31.6	31.5	

อุณหภูมิอากาศภายนอก เดือนสิงหาคม 2554 (°C)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	26.5	26.7	26.8	27.2	27.2	27.1	26.1	26.4	26.8
2	29.2	29.5	29.8	31.2	30.9	31.2	30.7	30.0	30.3
3	30.2	31.5	32.1	32.1	32.8	32.8	32.5	32.4	32.1
4	29.5	30.3	31.1	31.6	32.8	33.0	33.9	34.3	32.1
5	30.4	31.2	31.8	32.6	32.6	32.3	30.5	30.0	31.4
6	30.2	30.9	32.1	33.3	32.3	33.7	33.5	30.8	32.1
7	29.5	31.4	31.2	32.6	32.5	33.5	33.0	33.0	32.1
8	29.3	29.8	31.1	31.2	32.3	33.1	33.1	32.9	31.6
9	29.1	30.4	30.7	31.6	31.7	32.6	32.1	30.2	31.1
10	28.1	29.4	30.5	30.0	30.7	31.6	31.9	31.6	30.5
11	28.4	28.6	27.4	29.4	30.2	30.2	30.0	30.5	29.3
12	27.3	28.7	30.5	31.6	31.0	31.4	32.3	30.6	30.4
13	27.7	29.1	29.7	31.4	31.8	32.7	32.5	33.6	31.1
14	28.5	30.1	31.5	32.7	33.4	32.6	31.6	27.5	31.0
15	26.4	27.3	29.4	30.3	30.6	30.0	25.8	23.2	27.9
16	27.0	28.0	28.9	29.3	29.5	29.8	30.5	30.7	29.2
17	27.0	28.2	29.6	30.6	31.7	31.5	32.2	32.0	30.4
18	28.6	29.4	30.7	31.0	31.5	31.4	30.8	30.5	30.5
19	28.5	29.1	30.3	30.7	30.7	30.6	30.6	24.8	29.4
20	28.1	28.9	29.7	30.5	31.3	31.8	31.6	31.1	30.4
21	29.0	30.3	30.7	31.4	32.3	32.3	32.3	32.1	31.3
22	29.7	30.4	31.3	32.3	32.6	33.6	33.0	33.3	32.0
23	30.2	31.3	31.8	32.1	33.4	33.9	34.1	34.4	32.7
24	29.8	31.0	32.2	32.6	33.3	34.2	34.6	34.4	32.8
25	29.6	30.4	32.0	31.9	33.5	33.3	33.7	34.1	32.3
26	28.5	30.1	32.1	32.3	32.0	32.6	28.3	30.3	30.8
27	28.9	30.2	31.2	31.5	31.8	32.7	28.3	26.6	30.2
28	27.5	29.7	29.2	30.8	30.6	31.2	28.0	28.6	29.5
29	27.9	28.4	27.8	27.1	28.4	30.4	30.9	31.0	29.0
30	28.8	30.0	31.1	31.9	32.2	31.7	32.2	31.8	31.2
31	29.3	30.2	31.3	32.0	32.0	32.5	33.1	33.2	31.7
เฉลี่ย	28.7	29.7	30.5	31.2	31.6	32.0	31.4	30.8	

อุณหภูมิอากาศภายนอก เดือนกันยายน 2554 (°C)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	29.6	30.3	31.6	32.6	32.3	31.9	33.1	29.4	31.4
2	27.3	27.8	29.7	30.4	31.1	31.3	31.3	31.8	30.1
3	30.0	30.7	31.6	32.5	33.4	32.7	33.9	33.7	32.3
4	28.9	29.8	31.1	31.5	32.7	33.7	33.8	32.6	31.8
5	29.2	30.1	31.3	32.0	31.2	29.6	29.9	30.0	30.4
6	29.1	30.0	30.9	31.7	31.1	31.8	32.2	28.3	30.6
7	29.0	30.4	31.4	31.2	31.4	32.1	32.3	32.1	31.2
8	28.9	29.5	30.7	31.0	31.8	32.0	32.4	32.3	31.1
9	28.3	29.5	30.3	31.5	31.5	31.7	32.9	32.3	31.0
10	25.5	25.5	25.5	26.3	27.3	27.8	27.7	27.6	26.7
11	25.6	26.6	27.7	28.2	28.3	29.9	29.4	27.0	27.8
12	27.7	29.0	29.7	30.3	30.1	30.3	30.4	29.8	29.7
13	29.2	30.3	30.4	31.1	30.9	31.1	31.0	31.2	30.7
14	29.6	30.9	30.8	32.2	32.4	32.1	31.7	31.1	31.4
15	29.1	30.8	30.8	31.8	32.0	31.4	31.3	30.5	31.0
16	29.1	30.2	31.0	31.7	32.9	32.5	31.8	32.5	31.5
17	29.4	30.5	31.7	31.5	32.3	32.0	32.7	32.8	31.6
18	29.4	31.2	31.7	32.8	32.5	33.3	33.1	33.7	32.2
19	29.3	30.2	31.2	31.7	32.0	33.1	33.0	33.0	31.7
20	28.7	29.9	30.7	31.4	31.6	31.6	31.8	31.5	30.9
21	28.5	29.1	28.2	28.3	28.1	28.7	29.0	29.1	28.6
22	28.4	29.2	28.0	27.7	29.4	30.9	30.8	24.5	28.6
23	26.9	27.6	28.7	30.5	30.8	31.1	31.3	30.7	29.7
24	27.0	28.0	29.3	30.5	30.2	31.0	31.1	31.0	29.8
25	28.4	29.3	30.7	31.4	32.0	32.4	32.7	31.9	31.1
26	28.8	29.8	31.2	31.8	32.3	32.6	32.8	33.1	31.6
27	27.1	27.6	28.4	29.1	29.7	28.9	26.5	25.8	27.9
28	28.6	29.8	30.7	31.3	31.4	31.9	32.1	31.7	30.9
29	29.5	30.3	31.3	31.8	31.7	31.4	32.3	31.8	31.3
30	28.8	30.7	31.9	32.6	33.0	32.7	31.7	30.9	31.5
เฉลี่ย	28.5	29.5	30.3	30.9	31.2	31.5	31.5	30.8	

อุณหภูมิอากาศภายนอก เดือนตุลาคม 2554 (°C)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	29.6	30.3	30.6	31.2	31.4	31.9	31.8	29.2	30.8
2	28.1	29.7	31.2	31.9	32.8	32.0	32.8	32.9	31.4
3	27.3	28.5	29.4	30.5	30.5	30.6	30.6	30.6	29.8
4	25.3	27.0	28.7	29.7	30.5	30.2	30.6	30.0	29.0
5	28.4	29.1	30.6	30.7	31.2	32.3	32.6	32.9	31.0
6	26.8	28.1	28.1	29.5	27.6	29.1	30.0	29.5	28.6
7	28.1	28.4	29.0	28.5	27.2	26.8	28.2	28.6	28.1
8	25.0	26.1	27.4	29.0	29.7	30.0	29.6	29.5	28.3
9	27.0	27.5	27.7	29.0	31.2	30.8	32.3	31.5	29.6
10	26.3	27.1	29.3	29.8	26.7	27.2	26.0	25.9	27.3
11	26.3	27.5	29.1	29.9	30.9	31.7	32.1	32.0	29.9
12	28.9	29.7	30.7	32.2	32.4	29.0	27.1	27.5	29.7
13	27.5	28.1	29.3	29.9	30.1	29.6	30.4	30.4	29.4
14	26.3	28.2	28.8	29.7	30.2	30.8	32.0	31.2	29.7
15	28.5	29.6	31.0	31.9	31.5	32.6	32.1	31.4	31.1
16	27.9	28.2	29.4	30.0	30.3	30.1	29.9	28.3	29.3
17	26.5	27.7	29.0	28.7	29.1	28.9	28.7	28.7	28.4
18	27.5	29.2	30.1	30.5	30.2	30.3	30.2	30.3	29.8
19	28.5	30.3	30.6	31.9	31.6	32.1	31.2	32.4	31.1
20	29.3	30.5	29.8	30.3	30.4	31.2	30.5	28.7	30.1
21	29.1	30.5	30.7	31.3	32.1	32.4	31.9	31.3	31.2
22	29.5	30.8	31.3	32.3	32.1	32.4	32.6	32.3	31.7
23	29.0	30.1	31.6	31.8	32.4	32.6	32.6	32.7	31.6
24	30.0	30.5	30.7	31.5	31.7	33.1	33.1	33.7	31.8
25	30.4	31.8	32.8	32.7	32.9	34.0	36.0	33.1	33.0
26	30.1	31.2	31.9	32.3	32.3	31.8	33.0	31.6	31.8
27	30.2	30.7	31.6	31.8	31.6	32.4	32.8	32.2	31.7
28	29.3	29.5	29.8	30.5	31.1	31.5	31.9	31.8	30.7
29	28.9	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เฉลี่ย	28.1	29.1	30.0	30.7	30.8	31.0	31.2	30.7	

อุณหภูมิอากาศภายนอก เดือนพฤศจิกายน 2554 (°C)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	29.0	30.1	30.7	31.7	32.1	32.0	31.8	31.7	31.1
2	29.5	30.4	31.1	31.4	31.8	32.0	31.8	32.0	31.3
3	29.0	30.0	30.8	31.3	31.8	32.5	32.9	33.3	32.5
4	29.4	30.3	30.5	31.5	32.1	32.5	32.2	32.0	31.3
5	29.6	30.8	31.7	32.2	32.6	32.7	32.4	31.7	31.7
6	30.5	31.5	32.2	32.0	33.1	33.5	33.4	33.4	32.5
7	29.5	31.5	32.5	33.4	32.6	33.2	32.5	31.1	32.0
8	31.1	32.3	33.4	34.2	32.9	34.9	33.7	33.4	33.2
9	30.0	31.6	32.9	33.1	33.3	33.4	33.1	32.4	32.5
10	28.0	29.0	29.6	30.2	30.1	30.0	30.0	30.7	29.7
11	27.3	28.8	29.7	29.9	30.3	30.9	31.0	30.9	29.9
12	28.0	28.9	30.2	30.7	31.3	31.5	31.9	31.7	30.5
13	28.4	28.7	29.9	31.4	31.6	32.2	32.5	31.9	30.8
14	29.2	29.8	30.3	31.4	32.7	32.4	32.6	32.6	31.4
15	28.5	29.6	30.4	31.4	32.2	33.5	32.7	32.3	31.3
16	28.5	29.9	30.5	31.5	32.3	33.0	33.2	32.6	31.4
17	29.8	30.6	31.3	32.4	32.9	33.0	32.9	32.9	32.0
18	30.4	31.9	32.7	32.8	33.6	34.1	34.5	34.0	33.0
19	30.4	31.8	32.7	33.6	33.9	34.7	35.0	34.2	33.3
20	28.4	29.6	31.4	31.9	33.0	33.3	33.1	32.8	31.7
21	28.4	28.5	30.3	31.4	31.2	31.9	32.3	31.8	30.7
22	29.3	30.5	31.0	32.5	33.0	32.8	33.3	33.0	31.9
23	29.3	30.3	30.6	31.5	31.8	32.2	32.8	32.5	31.4
24	27.5	28.6	29.5	30.4	30.5	31.0	30.3	30.8	29.8
25	26.8	27.9	28.9	30.0	30.9	31.4	30.9	31.0	29.7
26	27.8	28.3	29.8	29.9	31.4	31.8	31.8	31.4	30.3
27	28.9	29.9	30.4	31.0	31.5	32.3	32.5	32.3	31.1
28	29.6	30.4	31.6	32.5	32.7	33.3	33.6	33.0	32.1
29	28.8	30.5	32.4	32.5	32.9	33.0	34.5	32.3	32.1
30	29.1	30.8	31.9	32.3	33.0	33.1	33.9	34.0	32.3
เฉลี่ย	29.0	30.1	31.0	32.0	32.2	32.6	32.6	32.3	

ภาคผนวก ข
ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ในระยะเวลา 1 ปี
ความเข้มแสงอาทิตย์ เดือนธันวาคม 2553 (W/m²)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	302.8	486.1	683.3	736.1	702.8	655.6	500.0	233.3	537.5
2	297.2	472.2	652.8	725.0	711.1	386.1	272.2	250.0	470.8
3	300.0	458.3	661.1	738.9	730.6	691.7	480.6	300.0	545.1
4	230.6	380.6	461.1	558.3	597.2	580.6	450.0	275.0	441.7
5	277.8	455.6	644.4	688.9	661.1	522.2	305.6	113.9	458.7
6	252.8	258.3	188.9	186.1	219.4	313.9	241.7	269.4	241.3
7	100.0	177.8	422.2	325.0	308.3	216.7	322.2	325.0	274.7
8	172.2	225.0	311.1	541.7	380.6	569.4	469.4	297.2	370.8
9	283.3	444.4	630.6	686.1	711.1	586.1	472.2	302.8	514.6
10	255.6	413.9	466.7	344.4	252.8	458.3	438.9	280.6	363.9
11	183.3	213.9	530.6	613.9	688.9	650.0	463.9	300.0	455.6
12	222.2	305.6	255.6	411.1	572.2	566.7	438.9	316.7	386.1
13	102.8	119.4	188.9	400.0	452.8	702.8	527.8	419.4	364.2
14	261.1	372.2	502.8	550.0	691.7	602.8	455.6	269.4	463.2
15	263.9	413.9	405.6	494.4	544.4	447.2	413.9	305.6	411.1
16	152.8	191.7	263.9	558.3	188.9	363.9	127.8	147.2	249.3
17	22.2	127.8	138.9	550.0	383.3	347.2	302.8	300.0	271.5
18	277.8	419.4	577.8	647.2	669.4	566.7	441.7	313.9	489.2
19	208.3	297.2	555.6	438.9	622.2	538.9	427.8	300.0	423.6
20	252.8	405.6	538.9	600.0	505.6	358.3	427.8	241.7	416.3
21	255.6	402.8	602.8	644.4	725.0	586.1	383.3	155.6	469.4
22	225.0	369.4	513.9	591.7	677.8	572.2	452.8	244.4	455.9
23	216.7	330.6	386.1	627.8	525.0	591.7	411.1	261.1	418.8
24	241.7	402.8	355.6	494.4	150.0	111.1	97.2	175.0	253.5
25	216.7	363.9	527.8	413.9	322.2	341.7	216.7	150.0	319.1
26	263.9	436.1	630.6	680.6	727.8	680.6	513.9	325.0	532.3
27	283.3	452.8	661.1	694.4	752.8	694.4	530.6	350.0	552.4
28	252.8	422.2	597.2	638.9	708.3	652.8	475.0	325.0	509.0
29	255.6	338.9	452.8	444.4	522.2	622.2	433.3	266.7	417.0
30	269.4	419.4	608.3	652.8	697.2	591.7	486.1	347.2	509.0
31	250.0	413.9	636.1	666.7	663.9	608.3	458.3	383.3	510.1
เฉลี่ย	230.6	354.6	485.6	559.5	550.5	521.9	401.3	275.6	

ความเข้มแสงอาทิตย์ เดือนมกราคม 2554 (W/m²)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	265.4	431.4	625.4	676.5	727.9	688.4	510.1	352.9	534.8
2	258.8	425.2	619.1	679.8	729.2	681.0	510.8	335.9	530.0
3	243.6	399.3	590.1	671.2	720.5	670.0	496.3	310.6	512.7
4	269.0	436.7	641.1	696.8	702.6	630.2	441.2	378.9	524.6
5	221.2	362.1	528.9	701.8	730.7	704.1	589.5	340.4	522.3
6	301.2	425.7	412.8	369.5	714.5	667.9	317.5	359.2	446.0
7	279.2	478.1	679.5	584.0	745.4	678.6	518.0	287.2	531.3
8	193.1	388.5	480.2	597.6	739.7	705.2	532.7	315.8	494.1
9	246.0	417.8	629.1	721.4	748.6	703.5	559.9	375.7	550.2
10	249.7	437.7	622.9	710.7	702.1	715.9	539.6	360.2	542.4
11	240.5	435.2	640.0	564.9	409.1	377.8	339.7	280.3	410.9
12	37.5	95.0	308.8	580.5	630.5	527.9	204.2	137.5	315.2
13	260.3	429.6	630.2	720.9	734.7	708.7	483.3	340.6	538.5
14	258.9	418.0	611.5	725.0	684.9	378.8	265.8	235.3	447.3
15	233.9	306.8	476.0	723.1	797.0	723.3	560.2	352.2	521.6
16	243.0	360.4	549.1	723.6	744.0	706.9	561.5	365.8	531.8
17	178.1	337.2	589.7	663.6	716.0	669.5	532.1	344.8	503.9
18	242.5	411.4	615.3	725.2	744.4	703.3	554.3	362.6	544.9
19	215.0	393.6	619.8	729.4	754.4	671.6	562.1	374.0	540.0
20	217.7	359.7	586.0	717.5	684.8	536.6	399.0	355.0	482.0
21	259.5	432.9	634.0	744.7	760.8	721.2	578.9	384.2	564.5
22	186.0	346.9	542.7	707.4	704.2	639.1	536.3	359.8	502.8
23	176.2	385.6	579.4	692.8	653.2	613.4	446.6	407.0	494.3
24	238.9	403.7	594.7	717.1	742.6	715.6	577.0	377.1	545.9
25	245.4	438.1	654.5	748.9	776.5	735.4	593.6	381.2	571.7
26	234.5	417.7	641.1	740.7	767.5	736.1	610.3	387.5	566.9
27	175.9	339.1	478.3	508.0	762.4	722.0	588.3	317.2	486.4
28	133.9	285.3	355.9	492.5	725.3	653.0	501.6	258.5	425.8
29	167.7	422.8	603.4	717.2	730.4	689.3	557.5	360.1	531.0
30	203.4	351.1	380.5	613.3	746.2	702.8	556.6	373.2	490.9
31	243.9	417.5	607.1	719.7	740.3	709.7	576.8	383.9	549.9
เฉลี่ย	223.2	386.8	565.4	667.3	718.4	660.9	503.3	340.5	

ความเข้มแสงอาทิตย์ เดือนกุมภาพันธ์ 2554 (W/m²)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	113.1	288.7	362.1	624.2	728.9	701.5	565.9	384.3	471.1
2	224.0	382.7	564.1	700.6	714.4	676.9	531.5	370.4	520.6
3	228.4	395.1	578.8	707.2	740.0	711.3	573.6	383.4	539.7
4	262.9	449.3	665.4	753.7	789.0	755.1	618.9	406.5	587.6
5	228.5	392.5	610.9	697.5	637.5	550.4	356.7	308.8	472.8
6	206.9	370.1	561.7	574.0	624.4	704.9	551.3	335.7	491.1
7	218.9	390.4	595.4	722.0	764.6	728.0	616.5	401.1	554.6
8	274.0	477.7	698.5	787.6	810.8	758.0	631.7	407.2	605.7
9	194.5	496.0	672.0	780.8	789.3	772.5	621.9	409.5	592.1
10	204.9	307.2	567.0	705.9	780.1	752.8	650.7	409.9	547.3
11	258.0	443.5	526.6	674.8	789.1	765.1	642.7	428.2	566.0
12	173.1	356.1	451.4	645.4	702.1	709.4	570.0	379.6	498.4
13	234.2	416.6	610.3	660.8	768.6	734.1	634.0	415.0	559.2
14	197.1	322.4	357.6	590.9	617.1	717.5	566.7	375.0	468.0
15	157.1	24.4	27.2	220.6	575.9	546.4	614.1	429.1	324.4
16	256.1	302.2	550.7	775.4	797.8	763.4	655.4	441.9	567.9
17	276.0	467.2	689.3	712.0	817.3	766.9	674.7	442.0	605.7
18	222.3	426.2	696.4	731.1	829.6	737.4	673.9	466.6	597.9
19	257.0	475.6	676.4	810.7	820.4	749.1	673.1	458.8	615.1
20	224.3	461.6	428.7	546.7	691.2	736.4	677.3	429.7	524.5
21	167.0	206.8	250.3	350.1	692.3	337.0	49.4	42.7	261.9
22	111.9	229.2	501.9	499.2	409.2	341.6	158.0	178.8	303.7
23	66.0	373.9	635.9	392.5	401.4	358.1	354.8	348.1	366.3
24	141.7	199.4	568.8	713.8	671.1	754.9	624.4	402.4	509.5
25	251.8	459.1	522.5	741.2	759.9	713.9	590.7	389.1	553.5
26	153.0	395.5	426.3	282.8	341.4	455.7	378.1	230.8	333.0
27	252.6	331.6	262.3	348.9	352.4	168.5	406.2	345.3	308.5
28	236.5	381.2	530.8	526.8	594.5	764.6	579.6	442.5	507.1
เฉลี่ย	206.8	365.1	521.0	617.0	678.9	651.1	544.3	373.7	

ความเข้มแสงอาทิตย์ เดือนมีนาคม 2554 (W/m^2)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	216.9	397.6	598.5	709.5	807.3	745.2	573.8	429.6	559.8
2	233.5	290.4	332.7	504.4	467.3	465.9	505.7	443.6	405.4
3	252.7	420.8	434.2	378.6	304.5	505.6	536.5	353.4	398.3
4	85.0	185.5	264.7	373.8	370.2	166.9	227.7	202.0	234.5
5	219.7	399.4	455.1	680.5	790.1	667.2	554.5	375.8	517.8
6	269.2	457.5	678.3	785.4	796.4	640.5	298.5	318.6	530.5
7	325.1	412.1	679.9	717.1	771.0	795.4	682.6	454.0	604.7
8	197.5	224.5	159.6	314.6	378.9	259.3	122.4	144.4	225.2
9	349.4	275.4	437.0	471.7	589.2	265.1	125.3	127.1	330.0
10	197.8	396.5	508.0	622.7	843.3	673.7	513.4	299.8	506.9
11	287.6	498.4	713.9	797.5	788.3	775.8	607.3	377.2	605.8
12	296.9	301.0	332.7	504.4	519.1	316.8	231.0	412.5	364.3
13	284.9	558.4	506.6	184.6	194.8	735.5	589.9	353.4	426.0
14	273.8	289.7	596.8	775.1	724.5	751.4	621.8	405.8	554.8
15	60.9	469.7	321.7	585.5	711.4	628.2	359.3	311.7	431.0
16	144.9	209.2	260.9	153.9	173.9	106.5	105.8	53.4	151.1
17	87.4	87.7	130.1	120.4	113.0	174.1	152.9	127.3	124.1
18	153.2	350.6	614.6	686.5	681.8	585.4	566.0	465.3	512.9
19	226.2	449.4	707.3	821.7	836.9	766.8	609.2	373.1	598.8
20	350.3	572.9	751.0	880.7	836.2	822.6	728.3	489.5	678.9
21	348.7	541.6	746.9	784.2	866.4	827.8	699.2	447.2	657.7
22	267.2	425.1	366.9	652.5	465.7	759.7	383.5	196.4	439.6
23	14.8	36.4	102.6	91.4	192.4	366.9	398.1	283.9	185.8
24	55.9	74.1	182.2	568.3	578.7	267.6	270.4	365.5	295.4
25	169.5	261.4	326.7	401.8	336.3	324.9	155.4	105.8	260.2
26	80.3	177.7	523.2	336.5	271.5	361.3	276.3	162.5	273.6
27	196.6	297.0	269.2	243.1	102.3	167.3	132.0	174.1	197.7
28	118.9	186.6	163.7	193.1	261.3	165.4	218.5	210.4	189.7
29	60.2	117.5	173.7	291.6	324.1	389.3	208.2	173.2	217.2
30	104.8	257.9	419.3	600.4	446.1	590.2	541.1	275.5	404.4
31	84.5	95.1	274.4	439.1	612.3	798.1	680.4	509.5	436.7
เฉลี่ย	194.0	313.5	420.4	505.5	521.1	511.8	408.9	303.9	

ความเข้มแสงอาทิตย์ เดือนเมษายน 2554 (W/m²)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	282.4	392.4	680.3	838.9	581.4	704.7	381.1	256.1	514.7
2	173.5	344.1	435.7	635.6	564.9	207.3	179.9	312.8	356.7
3	223.6	352.8	709.6	815.2	833.3	798.1	701.0	532.7	620.8
4	188.3	325.4	632.3	686.4	583.5	798.8	689.0	469.9	546.7
5	188.5	323.6	549.0	607.2	689.2	494.1	122.7	50.6	378.1
6	335.5	407.2	374.8	379.2	720.8	823.6	722.6	513.2	534.6
7	317.7	413.1	497.7	757.9	720.8	802.7	727.4	503.6	592.6
8	307.8	455.8	742.8	809.5	813.1	722.5	646.4	411.4	613.7
9	289.7	415.5	470.6	540.1	694.6	457.7	185.6	211.1	408.1
10	271.3	476.4	436.0	336.9	240.5	507.5	335.1	313.4	364.6
11	308.0	493.2	384.7	683.9	156.5	650.9	528.6	332.5	442.3
12	222.8	234.3	149.0	345.9	824.4	807.3	715.9	498.8	474.8
13	192.1	151.1	384.0	94.9	123.2	670.5	711.1	489.2	352.0
14	163.5	129.1	280.9	249.4	378.8	507.5	262.1	214.8	273.3
15	330.0	539.0	752.2	798.4	896.3	836.4	733.6	528.5	676.8
16	402.0	661.1	807.3	892.5	913.2	862.8	755.4	549.0	730.4
17	353.8	638.1	796.2	882.5	903.5	857.2	751.2	538.7	715.2
18	354.5	572.1	668.3	677.6	793.7	837.1	728.8	519.1	643.9
19	254.8	290.2	32.7	45.5	160.0	549.4	511.6	292.0	267.0
20	341.0	605.4	725.4	502.3	428.1	323.3	552.6	111.8	448.7
21	315.9	591.3	648.3	693.4	888.1	830.7	658.6	361.5	623.5
22	274.6	568.6	648.2	727.9	693.9	836.1	721.1	521.7	624.0
23	126.0	404.3	560.1	488.2	643.1	707.8	690.5	47.8	458.5
24	331.4	446.3	561.0	720.5	478.7	605.3	604.8	429.7	522.2
25	92.4	150.2	251.6	474.6	492.8	285.1	343.5	313.7	300.5
26	368.8	375.1	206.9	549.9	578.0	833.1	642.8	359.3	489.2
27	204.6	143.5	111.0	156.6	530.3	658.2	561.6	499.2	358.1
28	372.1	632.9	719.6	878.6	908.9	853.2	751.5	557.5	709.3
29	373.7	587.7	484.5	410.3	590.2	247.2	223.7	617.7	441.9
30	434.3	571.1	869.1	849.3	906.5	824.6	664.1	551.5	708.8
เฉลี่ย	279.8	423.0	519.0	584.3	624.3	663.4	560.1	397.0	

ความเข้มแสงอาทิตย์ เดือนพฤษภาคม 2554 (W/m²)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	39.9	74.8	467.7	505.5	304.8	268.1	214.6	211.0	260.8
2	421.9	688.5	821.4	886.4	860.2	877.6	783.1	479.5	727.3
3	394.9	518.2	699.2	423.7	787.6	829.7	590.7	203.3	555.9
4	397.9	575.4	769.1	873.5	769.1	843.5	752.9	502.3	685.5
5	376.5	608.1	773.4	823.6	539.3	798.0	745.3	504.5	646.1
6	339.7	565.0	830.0	917.2	870.8	877.8	788.6	560.6	718.7
7	415.4	261.0	175.2	327.5	704.6	855.9	712.0	606.5	507.3
8	245.9	460.0	765.7	900.0	720.9	370.6	299.6	215.6	497.3
9	252.1	462.6	610.7	758.7	789.9	775.0	750.1	526.2	615.7
10	338.3	373.3	363.7	468.6	502.3	522.9	374.0	374.9	414.7
11	282.9	531.8	677.1	765.7	824.0	657.0	708.6	434.8	610.2
12	259.8	550.5	738.7	893.5	856.2	668.6	504.1	420.3	611.5
13	375.5	556.3	685.4	735.0	695.3	473.5	237.2	150.7	488.6
14	279.4	344.1	72.1	30.6	38.6	32.7	56.0	89.4	117.9
15	330.3	229.7	492.5	135.6	141.2	173.2	117.2	158.3	222.2
16	137.4	260.0	307.5	511.8	532.8	789.0	764.7	577.2	485.0
17	263.3	340.4	349.3	579.6	632.2	868.0	749.9	492.8	534.4
18	31.7	97.9	223.1	575.8	559.0	623.9	448.6	538.4	387.3
19	346.9	629.2	598.5	691.0	907.8	881.3	720.8	352.3	641.0
20	379.2	569.5	737.1	829.3	833.4	819.0	727.9	480.9	672.1
21	292.2	433.9	766.8	805.2	828.2	832.1	723.8	490.6	646.6
22	423.0	698.8	806.4	886.1	819.9	799.3	534.4	268.1	654.5
23	431.3	658.2	794.7	796.8	719.3	733.8	694.8	469.2	662.3
24	411.4	618.8	697.1	701.8	704.1	727.2	609.5	530.7	625.1
25	235.6	448.6	570.2	546.0	218.5	367.5	153.6	289.1	353.6
26	406.2	486.3	659.0	566.6	655.6	820.2	661.9	581.0	604.6
27	273.4	538.9	396.4	300.8	278.3	98.2	138.5	423.3	306.0
28	274.6	622.0	635.7	710.3	621.0	538.0	688.0	356.2	555.7
29	112.3	243.6	501.8	614.1	735.6	737.1	709.4	503.6	519.7
30	351.8	448.4	385.8	433.3	888.4	875.5	767.9	380.8	566.5
31	111.1	151.1	339.0	509.9	442.9	688.1	767.2	556.3	445.7
เฉลี่ย	297.8	453.1	571.3	629.1	638.1	652.3	564.3	410.6	

ความเข้มแสงอาทิตย์ เดือนมิถุนายน 2554 (W/m²)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	422.6	675.8	815.1	688.6	787.4	387.7	614.2	521.3	614.1
2	279.3	494.2	412.5	678.0	695.3	696.5	211.2	233.2	462.5
3	141.0	475.9	42.5	168.3	665.2	165.7	90.5	110.6	232.5
4	94.9	238.3	188.9	127.5	196.5	179.2	114.6	149.9	161.2
5	312.0	214.9	101.1	613.8	806.6	663.5	155.5	145.8	376.7
6	117.3	235.8	291.1	569.8	335.8	255.8	411.8	119.1	292.1
7	222.3	411.9	672.0	388.9	529.9	351.7	295.8	163.3	379.5
8	367.4	598.1	856.0	743.4	545.0	142.1	124.7	215.9	449.1
9	289.8	594.7	786.8	789.6	723.8	646.7	687.9	463.6	622.9
10	295.6	186.8	722.9	477.0	510.5	768.1	573.4	40.6	446.9
11	391.9	647.0	685.9	652.6	295.5	414.0	272.7	409.1	471.1
12	105.1	118.0	319.3	205.1	315.4	393.8	309.4	198.3	245.6
13	130.3	148.7	417.5	442.8	442.8	401.5	624.0	256.3	358.0
14	227.1	304.9	415.8	779.5	674.0	828.4	622.0	316.4	521.0
15	298.6	265.3	221.9	598.4	829.4	687.3	372.2	175.6	431.1
16	189.0	274.3	503.6	845.5	610.5	325.4	583.8	347.5	459.9
17	326.2	475.8	786.7	656.9	276.1	517.0	214.0	329.1	447.7
18	257.5	344.6	265.3	283.6	560.8	620.0	249.7	319.3	362.6
19	405.4	455.9	771.0	506.1	491.6	362.1	343.5	285.5	452.6
20	226.8	293.1	522.4	515.2	593.9	644.3	361.3	299.2	432.0
21	173.7	338.3	537.0	463.7	620.4	547.7	577.0	415.4	459.1
22	176.8	399.0	177.1	572.9	615.8	372.0	257.7	122.2	336.7
23	396.0	615.9	771.1	757.9	683.6	188.0	722.5	448.4	572.9
24	257.1	338.1	452.6	517.3	327.1	338.5	156.6	444.3	353.9
25	235.0	460.6	581.1	746.2	621.4	637.8	459.3	298.1	504.9
26	301.6	580.3	676.5	833.3	774.5	691.3	560.9	422.6	605.1
27	78.4	239.0	246.4	253.7	347.2	300.1	336.2	134.8	242.0
28	355.0	590.5	720.3	742.0	591.7	802.3	755.9	415.1	621.6
29	168.1	311.2	479.1	751.6	874.5	669.3	389.4	339.4	497.8
30	305.1	290.7	306.5	330.4	436.1	297.4	161.9	85.1	276.6
เฉลี่ย	251.6	387.3	491.5	556.7	559.3	476.5	387.0	274.2	

ความเข้มแสงอาทิตย์ เดือนกรกฎาคม 2554 (W/m^2)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	199.4	259.5	341.2	307.8	180.6	245.6	427.6	428.4	298.8
2	285.2	447.4	331.1	364.3	298.5	400.5	489.3	269.7	360.7
3	188.3	386.7	464.6	505.0	367.0	245.0	337.7	545.5	380.0
4	382.5	582.4	667.1	706.6	704.0	723.3	802.5	466.3	629.3
5	374.0	515.9	665.1	873.5	889.1	823.8	724.1	549.9	676.9
6	435.1	676.5	812.1	885.0	830.4	734.8	548.7	430.3	669.1
7	388.0	646.0	799.1	862.7	871.3	730.9	720.0	356.1	671.7
8	399.4	652.2	730.3	790.3	903.5	827.5	507.1	402.3	651.6
9	411.8	621.9	679.6	708.6	652.5	541.6	402.1	216.5	529.3
10	330.7	361.7	562.2	632.6	735.4	798.2	666.8	536.4	578.0
11	362.6	465.8	542.9	621.8	797.3	683.6	707.9	532.5	589.3
12	350.2	406.4	683.5	830.5	890.3	416.2	179.8	305.4	507.8
13	367.3	469.6	492.4	519.8	440.8	450.3	446.4	299.7	435.8
14	305.1	430.9	573.4	743.9	825.6	732.2	335.0	119.0	508.1
15	178.3	272.7	388.8	557.9	301.8	214.9	188.7	130.6	279.2
16	231.4	273.2	588.7	719.2	709.9	808.7	687.4	556.2	571.8
17	385.1	472.2	527.0	746.3	702.8	531.6	462.9	158.6	498.3
18	283.5	468.1	481.1	564.9	591.6	710.6	413.9	227.2	467.6
19	282.8	410.4	476.5	471.5	279.1	237.5	39.7	132.0	291.2
20	240.1	438.2	639.3	658.9	895.7	667.1	430.0	287.1	532.0
21	232.0	137.1	162.9	87.6	198.2	219.8	182.3	160.6	172.6
22	181.5	423.6	500.2	340.6	253.4	77.6	59.1	81.0	239.6
23	377.4	534.6	485.8	750.6	590.0	622.1	642.2	410.3	551.6
24	254.1	622.6	635.6	465.5	562.2	432.2	688.1	621.0	535.2
25	231.4	310.2	365.3	139.1	335.3	893.1	494.9	352.1	390.2
26	259.4	407.3	503.9	688.7	659.2	768.0	685.8	371.3	542.9
27	234.1	530.0	720.9	841.8	715.0	365.1	542.1	407.1	544.5
28	306.0	634.1	783.9	786.5	669.0	666.2	606.6	563.1	626.9
29	338.8	557.2	779.7	878.7	895.5	883.6	405.0	491.8	653.8
30	237.0	272.0	294.3	554.1	416.2	378.9	252.2	224.8	328.7
31	91.9	163.2	182.0	208.1	278.9	199.8	196.7	152.1	184.1
เฉลี่ย	294.3	446.8	543.9	606.9	594.8	549.4	460.4	347.9	

ความเข้มแสงอาทิตย์ เดือนสิงหาคม 2554 (W/m²)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	153.2	141.2	190.5	316.3	352.4	70.7	29.9	85.7	167.5
2	289.5	250.4	541.0	561.5	783.7	572.0	428.0	239.8	458.2
3	242.7	623.4	792.3	831.6	654.5	840.2	619.9	455.1	632.5
4	368.4	549.8	772.8	813.2	439.0	601.4	660.0	454.4	582.4
5	420.5	643.7	749.4	827.6	375.5	360.0	469.8	241.5	511.0
6	427.1	540.9	717.5	736.0	807.5	519.7	283.3	361.8	549.2
7	195.4	299.8	271.9	441.2	425.7	623.5	558.5	315.2	391.4
8	159.8	209.5	377.9	518.1	714.8	552.9	759.8	608.2	487.6
9	287.3	259.4	372.2	448.4	565.0	204.9	204.4	292.6	329.3
10	130.5	335.2	439.5	558.4	509.1	455.0	512.0	415.9	419.5
11	154.4	145.5	188.4	306.7	182.2	272.3	225.3	146.0	202.6
12	373.3	535.8	678.8	594.3	715.8	645.7	529.8	455.2	566.1
13	497.3	642.4	686.8	966.3	775.5	418.5	473.1	546.9	625.8
14	427.7	612.6	781.0	652.1	516.0	350.2	413.4	180.4	491.7
15	168.1	229.2	417.2	829.9	597.6	111.7	64.2	87.3	313.2
16	173.7	198.7	217.4	251.2	252.5	246.7	284.0	207.6	229.0
17	246.8	521.3	492.8	734.3	718.8	757.4	631.2	532.3	579.4
18	334.7	422.4	695.4	598.4	665.8	573.4	577.4	307.0	521.8
19	173.1	292.3	311.1	401.0	151.3	277.0	378.1	151.5	266.9
20	205.5	297.4	546.8	769.2	632.4	452.2	448.0	326.3	459.7
21	247.0	341.0	444.4	638.3	332.7	366.9	397.4	81.9	356.2
22	405.7	629.7	778.2	871.5	869.9	800.7	550.0	484.1	673.7
23	415.1	669.4	811.2	885.2	903.4	732.7	606.4	521.3	693.1
24	430.8	674.9	804.8	886.5	912.7	779.0	676.9	459.3	703.1
25	153.6	256.2	288.3	451.9	677.6	520.2	414.9	382.5	393.1
26	329.0	592.8	736.7	581.0	99.5	21.6	66.0	250.2	334.6
27	362.2	500.3	650.5	712.0	338.2	414.2	403.6	266.3	455.9
28	255.4	431.1	475.5	576.7	212.3	254.2	477.9	312.2	374.4
29	196.2	176.3	245.8	380.2	218.7	368.5	355.4	291.2	279.0
30	250.6	363.1	584.1	778.3	765.0	698.4	460.7	167.9	508.5
31	423.6	743.8	609.1	660.1	719.3	567.8	578.8	360.4	582.9
เฉลี่ย	287.0	423.5	537.7	631.5	544.7	465.5	436.7	322.2	

ความเข้มแสงอาทิตย์ เดือนกันยายน 2554 (W/m²)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	253.1	476.3	606.3	787.0	758.9	677.2	745.7	311.2	577.0
2	320.7	247.8	318.9	663.8	503.9	282.9	481.8	384.4	400.5
3	261.4	525.7	774.7	893.5	853.5	755.9	677.5	510.5	656.6
4	361.0	551.1	788.5	637.7	864.5	840.6	746.8	483.5	659.2
5	344.2	314.9	321.8	126.8	152.1	120.0	155.5	304.0	229.9
6	213.9	445.8	672.9	601.9	605.3	675.0	533.8	131.3	485.0
7	359.2	517.9	699.9	807.8	259.6	258.4	503.2	286.4	461.5
8	252.3	360.4	294.1	554.0	569.6	576.4	328.5	286.9	402.8
9	266.9	327.5	513.9	680.7	646.8	209.7	355.3	183.9	398.1
10	134.5	310.9	311.4	177.2	315.3	288.3	83.5	43.6	208.1
11	89.9	145.0	142.6	252.8	198.7	452.7	104.7	72.8	182.4
12	302.8	519.6	589.2	732.0	675.0	496.2	522.0	298.4	516.9
13	236.7	457.5	692.1	721.4	672.9	682.3	585.0	426.7	559.3
14	308.1	624.3	663.3	610.0	677.1	526.9	503.9	278.6	524.0
15	303.2	364.4	617.9	627.3	646.8	623.2	221.7	86.9	436.4
16	392.3	670.7	709.0	563.0	750.3	335.2	382.1	301.1	513.0
17	546.3	430.0	675.3	577.9	383.6	485.9	596.0	225.7	490.1
18	458.4	687.4	791.6	787.1	577.0	351.9	510.3	258.2	552.7
19	287.9	469.8	671.3	760.7	633.2	454.4	619.7	412.9	538.7
20	234.0	310.5	473.2	377.6	350.3	556.3	298.0	182.9	347.8
21	149.8	158.6	158.1	231.1	336.2	402.4	241.3	229.2	238.3
22	94.3	267.8	304.3	214.3	300.3	325.3	364.7	118.1	248.6
23	167.4	353.3	414.5	450.2	234.2	524.7	487.6	190.5	352.8
24	173.4	232.1	643.3	562.0	566.9	344.3	180.0	223.3	365.7
25	262.5	473.6	803.4	733.6	602.4	801.7	525.8	283.2	560.8
26	398.5	604.2	751.8	625.3	350.7	637.0	542.5	289.5	524.9
27	200.0	133.2	211.1	316.3	365.5	230.1	136.7	70.7	208.0
28	351.0	610.1	547.3	560.2	463.6	544.1	472.3	240.7	473.7
29	448.7	669.2	497.8	447.8	278.9	642.4	543.3	436.0	495.5
30	376.4	399.9	624.1	876.7	836.2	704.1	398.2	283.7	562.4
เฉลี่ย	285.0	422.0	542.8	565.2	514.3	493.5	428.3	261.2	

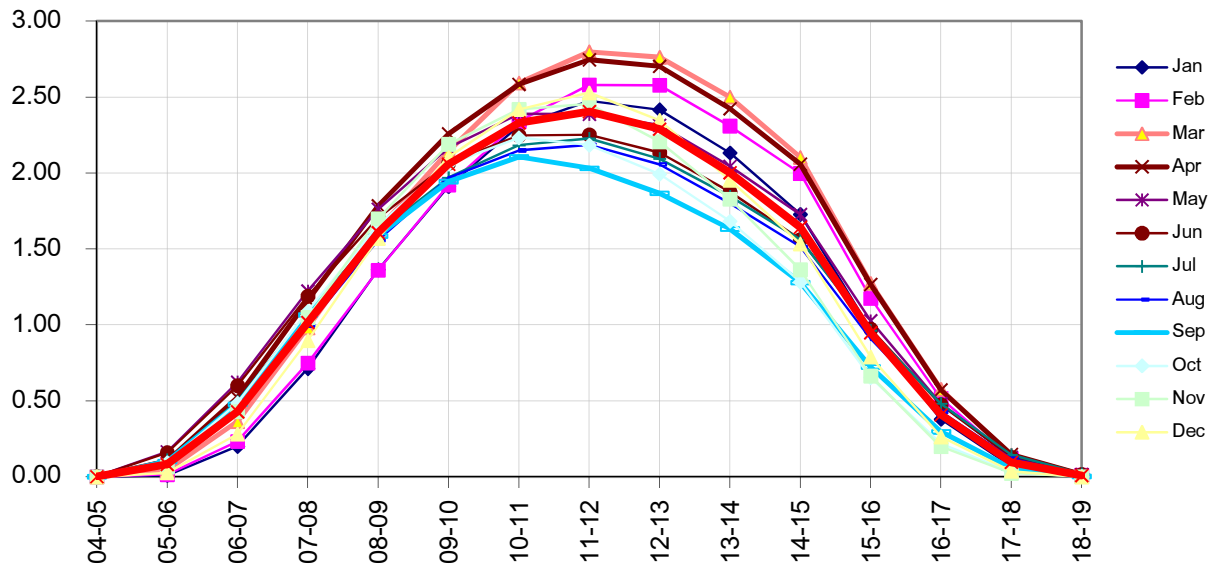
ความเข้มแสงอาทิตย์ เดือนตุลาคม 2554 (W/m²)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	334.6	358.8	519.7	334.4	393.5	385.0	362.4	186.1	359.3
2	216.5	481.8	553.6	701.8	624.7	277.1	450.0	229.6	441.9
3	87.8	205.8	307.9	505.9	463.5	390.8	372.5	198.7	316.6
4	215.5	433.0	594.2	435.9	546.0	431.5	184.6	446.8	410.9
5	247.3	367.3	607.4	608.4	461.2	270.8	375.6	143.1	385.1
6	261.7	176.0	498.8	791.1	751.4	464.9	567.9	315.1	478.4
7	124.7	218.8	297.4	459.9	508.7	571.8	220.4	134.6	317.0
8	54.8	214.7	198.7	178.3	152.5	130.7	135.9	159.6	153.1
9	178.5	434.3	352.4	289.2	364.0	497.3	425.7	426.8	371.0
10	79.2	173.4	512.1	352.1	433.7	489.9	482.1	177.0	337.4
11	263.3	227.4	502.0	710.7	391.3	592.3	261.2	99.6	381.0
12	260.5	645.3	691.7	371.9	114.2	296.9	127.9	48.2	319.6
13	152.2	225.1	203.1	215.2	260.1	377.1	429.5	237.3	262.4
14	194.2	365.9	516.4	297.6	64.1	190.5	674.4	329.4	329.1
15	283.9	528.3	345.7	618.1	432.2	145.9	215.3	173.3	342.8
16	267.6	294.0	521.5	150.2	117.9	80.8	83.9	205.4	215.2
17	384.4	318.0	597.2	705.2	669.6	556.2	104.2	73.1	426.0
18	221.0	436.4	630.8	644.6	412.8	355.8	404.6	197.6	412.9
19	409.2	615.4	755.0	780.0	778.7	430.1	229.3	289.7	535.9
20	370.7	401.1	345.1	222.8	239.6	302.6	283.6	267.4	304.1
21	356.5	467.7	672.9	560.1	732.8	685.4	588.7	352.9	552.1
22	366.1	633.0	787.0	493.8	670.8	637.9	403.7	311.9	538.0
23	328.1	517.8	234.1	386.2	204.9	395.3	514.2	234.0	351.8
24	380.7	605.5	676.7	762.4	816.8	737.9	576.9	354.1	613.9
25	375.6	628.8	734.4	720.8	613.6	615.2	515.2	208.3	551.5
26	271.8	318.4	484.9	411.1	701.8	787.0	423.2	149.3	443.4
27	353.2	586.6	732.2	716.0	822.2	724.3	387.2	351.5	584.2
28	357.1	493.7	607.6	727.1	514.5	324.1	227.3	107.6	419.9
29	389.8	632.4	694.9	765.4	645.6	579.0	351.4	185.8	530.5
30	401.5	673.3	721.5	626.5	532.7	623.6	593.9	241.5	551.8
31	388.3	608.9	739.1	515.2	718.8	751.5	538.5	332.4	574.1
เฉลี่ย	276.7	428.6	536.6	518.0	488.8	454.8	371.3	231.2	

ความเข้มแสงอาทิตย์ เดือนพฤศจิกายน 2554 (W/m^2)

วันที่	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	เฉลี่ย
1	384.8	599.2	711.6	808.7	681.8	327.2	247.8	149.3	488.8
2	385.4	613.2	748.2	833.1	748.1	572.5	508.3	337.1	593.2
3	379.8	602.4	724.4	820.6	809.8	696.5	569.3	268.4	608.9
4	350.4	420.1	456.4	725.9	400.5	372.8	266.1	196.4	398.6
5	298.3	445.5	595.5	658.4	658.4	667.0	388.6	219.7	491.4
6	391.4	593.8	643.5	705.0	581.8	644.5	375.2	351.9	535.9
7	325.0	479.2	715.2	486.0	380.5	409.8	320.2	64.2	397.5
8	363.3	569.8	563.5	277.3	574.0	618.5	459.8	325.2	468.9
9	355.4	623.2	726.1	738.3	762.0	585.1	323.2	224.5	542.2
10	371.0	573.0	703.9	652.1	192.0	361.9	193.7	298.3	418.2
11	341.7	425.9	271.0	477.4	219.0	358.6	126.4	106.4	290.8
12	366.0	559.6	732.9	791.6	783.5	708.0	538.5	330.9	601.4
13	209.6	337.9	703.9	786.4	569.4	666.5	507.4	186.8	496.0
14	373.5	577.6	723.3	779.0	782.5	720.0	513.3	210.1	584.9
15	374.7	509.9	607.1	472.9	784.0	685.3	284.7	265.4	498.0
16	351.9	533.7	708.1	777.0	588.1	699.7	476.8	133.9	533.6
17	346.9	535.2	695.8	699.7	711.8	510.4	492.8	310.4	537.9
18	339.8	506.5	679.4	767.7	765.4	687.7	294.7	204.3	530.7
19	328.5	495.3	694.3	755.4	755.1	706.1	530.4	323.9	573.6
20	317.8	374.5	527.4	621.1	553.0	709.5	522.7	321.4	493.4
21	327.5	519.8	684.1	734.2	741.1	687.8	476.7	220.5	549.0
22	358.6	555.1	713.5	760.8	705.2	612.2	484.4	224.6	551.8
23	322.4	550.8	697.5	761.6	698.7	502.3	435.7	247.9	527.1
24	357.3	548.5	706.1	757.6	736.6	562.8	529.1	216.5	551.8
25	332.2	513.9	683.8	742.7	745.6	682.0	494.5	303.1	562.2
26	333.2	502.8	680.6	747.4	754.9	686.6	510.7	331.0	568.4
27	340.5	521.5	697.2	786.9	776.7	700.9	511.7	335.0	583.8
28	344.3	536.0	705.6	718.0	792.7	473.2	180.2	72.2	477.8
29	315.3	495.5	664.3	386.1	127.7	296.1	218.0	122.9	328.2
30	311.1	412.9	709.1	770.2	746.7	695.3	526.2	325.8	562.2
เฉลี่ย	343.3	517.7	662.4	693.3	637.5	586.9	410.2	240.9	

**Average Hourly Global Radiation (MJ/m²)
1964-2011**



กราฟรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงปี ค.ศ. 1964 – 2011 โดยกรมอุตุนิยมวิทยา [21]

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเชียรวิชัย เถาว์หิรัญ เกิดวันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ในปี
การศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและ
การจัดการพลังงาน สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553