สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนด้วยแผง PV/T

นายแบงค์ ศรีสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

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 AN ELECTRICITY AND THERMAL SYSTEM

USING PV/T COLLECTOR

MR. BANK SRISUK

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 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนด้วยแผง PV/T
โดย	นายแบงค์ ศรีสุข
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.อุริช อัชชโคสิต)

แบงค์ ศรีสุข : สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนด้วยแผง PV/T. (PERFORMANCE OF AN ELECTRICITY AND THERMAL SYSTEM USING PV/T COLLECTOR) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ, 162 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนด้วยแผงรับความร้อนแบบใช้น้ำเป็นตัวถ่ายเทความร้อนของระบบ ซึ่งประกอบด้วยแผง PV/T ขนาด 0.79 ตารางเมตร ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 80 ลิตร เครื่องสูบน้ำขนาดเล็ก เครื่องควบคุมอัตราการไหลของน้ำ เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่และแบตเตอรี่ โดยทำการติดตั้งระบบ PV/T ติดตั้งบนดาดฟ้าของอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (N13.735558 E100.533257) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร โดยให้ แผง PV/T วางหันหน้าไปทางทิศใต้และทำมุมกับพื้น 15° ทำการทดสอบในช่วงเดือนตุลาคม ปี 2555 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ ได้แก่ ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ ข้อมูลอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ข้อมูลอุณหภูมิน้ำเข้าแผง และข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอก การทดสอบกำหนดค่าอัตราการไหลของน้ำคงที่ที่ 1.2 ลิตรต่อนาที ข้อมูลทั้งหมดจะถูกบันทึกทุกๆ 2 นาที ช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น. เป็นเวลา 10 วัน โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ส่วนการวิเคราะห์หาค่าพลังงานไฟฟ้าจะใช้ข้อมูลการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ โดยต่อวงจรกับตัวต้านทานชนิดไวร์วาวด์เพื่อหากำลังไฟฟ้า จากนั้นคูณกับเวลาที่ดึงประจุออกจากแบตเตอรี่จะได้เป็นพลังงานไฟฟ้า ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าระบบ PV/T มีประสิทธิภาพทางความร้อนรายวันเฉลี่ยที่ 40.9% ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวันเฉลี่ยที่ 3.0% และประสิทธิภาพรวมรายวันเฉลี่ยที่ 43.9% หากใช้ข้อมูลสถิติความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอกปี 2553 จะสามารถคำนวณค่าพยากรณ์ที่ระบบ PV/T สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนได้ 78 วัตต์-ชั่วโมง/วัน และ 1,181 วัตต์-ชั่วโมง/วัน ที่อุณหภูมิน้ำร้อน 41.7°C ตามลำดับ

สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต ....

ปีการศึกษา 2555 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..........................

5287635520 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORDS : SOLAR ENERGY/ PHOTOVOLTAIC THERMAL WATER COLLECTOR/ FLAT PLATE/ EFFICIENCY

BANK SRISUK : PERFORMANCE OF AN ELECTRICITY AND THERMAL SYSTEM USING PV/T COLLECTOR. ADVISOR : ASSOC.PROF. WITHAYA YONGCHAREON, Ph.D., 162 pp.

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

Field of Study: Energy Technology and Management	Student's Signature……………………
Academic Year: 2012	Advisor's Signature ……………………

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จากการช่วยเหลือและกรุณาให้คำปรึกษาจาก รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ ซึ่งเป็นผู้ชี้แนะแนวทางในการศึกษาและการทำการวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ คณะอาจารย์และเจ้าหน้าที่ของสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและความอนุเคราะห์เป็นอย่างดี ช่วยเหลือแนะนำแนวทางแก้ไขปัญหา ชี้แจงถึงข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอด ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

กราบขอบพระคุณ คุณสมคิด(บิดา) คุณนิตยา(มารดา) ศรีสุข ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษาด้วยดีตลอดมา รวมถึงคอยให้คำชี้แนะในการแก้ไขปัญหาอุปสรรคจนทำให้สามารถข้ามผ่านปัญหาเหล่านั้นจนประสบสำเร็จการศึกษาครั้งนี้ได้

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณทุกท่านอีกครั้งที่คอยสนับสนุนและส่งเสริมในการศึกษาและทำงานวิจัยจนประสบความสำเร็จในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแห่งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฏ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	**1**
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์การวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	3
วิธีดำเนินการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
โครงสร้างของวิทยานิพนธ์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**5**
เซลล์แสงอาทิตย์	5
ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	5
หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	7
สมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	9
ระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์	11
แผงรับแสงอาทิตย์แบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (PV/T)	13
ทฤษฎีกลไกการถ่ายเทความร้อน	14
แนวคิดการรับพลังงานจากแสงอาทิตย์และการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์	15
การจำแนกรังสีแสงอาทิตย์	16
ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	17

หน้า

ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และข้อมูลอุณหภูมิอากาศ.. 18
ตำแหน่งและทิศในการตั้งแผงทดสอบ PV/T.. 21
ระบบวงจรการถ่ายทอดพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์กับแผงทดสอบ PV/T.. 21
การหาประสิทธิภาพความร้อนของระบบ PV/T.. 22
การหาประสิทธิภาพความร้อนของถังเก็บความร้อน.. 23
การหาประสิทธิภาพไฟฟ้าของระบบ PV/T.. 24
การหาประสิทธิภาพรวมของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบรับความร้อน ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77.. 25
การคำนวณหาจำนวนแผง PV/T เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการใช้พลังงานฯ..... 28
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.. 29
บทที่ 3 รายละเอียดชุดอุปกรณ์ทดสอบและการดำเนินการทดสอบ.......................... 40
ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.. 40
ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล... 48
รายละเอียดการทดสอบและขั้นตอนการทดสอบ.. 55
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ.. 59
ผลการทดสอบแผง PV/T อัตราการไหลเข้าแผง 72 ลิตรต่อชั่วโมง ประจุไฟฟ้าใส่แบตเตอรี่ 12V 7Ah... 59
ผลการทดสอบแผง PV/T อัตราการไหลเข้าแผง 72 ลิตรต่อชั่วโมง ประจุไฟฟ้าใส่แบตเตอรี่ 12V 18Ah... 63
ผลประสิทธิภาพทางความร้อนและไฟฟ้าของระบบแผง PV/T ที่ทำการทดสอบ...... 66
พลังงานความร้อนและไฟฟ้าของระบบแผง PV/T ตลอดทั้งปี............................... 70
การใช้ประโยชน์พลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่ได้... 73
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ... 77
สรุปผลการวิจัย.. 77
ข้อเสนอแนะ... 80
รายการอ้างอิง.. 82

	หน้า
ภาคผนวก...	84
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ข้อมูล วันที่ 25 ตุลาคม 2555........................	85
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณการถดถอยเชิงเส้นตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77..	89
ภาคผนวก ค พลังงานที่ได้จากการคำนวณการถดถอยเชิงเส้นมาตรฐาน ASHRAE 93-77 ของเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2553.................	94
ภาคผนวก ง ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบรายชั่วโมงของระบบ PV/T ทั้ง 10 วันทำการทดสอบ..	107
ภาคผนวก จ ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ และข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกของเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2553...	138
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์กับลักษณะเมฆบนท้องฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ทดสอบ แผง PV/T รายชั่วโมงของ 10 วันทำการทดสอบ.................	152
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..	162

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนมกราคมถึงธันวาคม 53............. 19
ตารางที่ 2.2 แสดงความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนมกราคมถึงธันวาคม 53...... 20
ตารางที่ 2.3 แสดงผลประสิทธิภาพการทำความร้อน ณ อุณหภูมิที่ลดลงเท่ากับ 0 กับผลผลิตทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นพร้อมกันและประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ณ อุณหภูมิที่ลดลงเท่ากับ 0 ของแผง PV/T แต่ละประเภท.. 32
ตารางที่ 2.4 แสดงประสิทธิภาพรายปีของแผง PV/T แต่ละประเภท...................................... 33
ตารางที่ 2.5 แสดงผลประสิทธิภาพทางความร้อนของแผง PV/T แบบถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศและน้ำ.. 34
ตารางที่ 2.6 แสดงผลการทดสอบแผง PV/TW และ PV/TF... 37
ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดเครื่องควบคุมประจุยี่ห้อ LEONICS รุ่น Apollo S120-AM........ 45
ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดจุดตรวจวัด, ค่าที่ตรวจวัด, และเครื่องมือการตรวจวัดการทำงานของระบบแผงทดสอบ PV/T.. 55
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบแผง PV/T รายชั่วโมงของวันที่ 18 ตุลาคม 2555................. 59
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบแผง PV/T รายชั่วโมงของวันที่ 25 ตุลาคม 2555................. 63
ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพทางความร้อนรายชั่วโมง.. 66
ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพทางความร้อนรายวัน.. 66
ตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวัน (ขนาดแบตเตอรี่ 12V 7Ah)....................... 68
ตารางที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวัน (ขนาดแบตเตอรี่ 12V 18Ah)..................... 69
ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลพลังงานความร้อนและไฟฟ้าที่ได้จากคำนวณรายเดือน ปี 2553........ 71
ตารางที่ 4.8 แสดงรายละเอียดความต้องการใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 1... 74
ตารางที่ 4.9 แสดงรายละเอียดความต้องการใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 2... 75

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ.. 6
รูปที่ 2.2 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว แบบผลึกรวม และแบบอะมอร์ฟัส................. 6
รูปที่ 2.3 แสดงหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.. 7
รูปที่ 2.4 (ก) แสดงกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์, 2.4(ข) และ2.4
(ค) แสดงกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่อุณหภูมิและความเข้มแสงที่ต่างกัน.. 10
รูปที่ 2.5 แสดงปัจจัยการลดทอนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์..................... 11
รูปที่ 2.6 แสดงแผงรับแสงอาทิตย์ ชนิดแผ่นเรียบรับความร้อน (Flat Plate Collector)............ 12
รูปที่ 2.7 แสดงแผงรับแสงอาทิตย์ ชนิดหลอดแก้วสุญญากาศ (Vacuum Tube Collector...... 13
รูปที่ 2.8 แสดงแผงรับแสงอาทิตย์แบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (PV/T).......................... 14
รูปที่ 2.9 แสดงการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน, การพาความร้อน, และการแผ่รังสี
ความร้อน.. 15
รูปที่ 2.10 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่แตกต่างกันของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ 15
รูปที่ 2.11 แสดงรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านมายังชั้นบรรยากาศของโลก... 16
รูปที่ 2.12 สมดุลรังสีแสงอาทิตย์กับบรรยากาศ... 17
รูปที่ 2.13 แสดงแถบรังสีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือนของประเทศไทย......................18
รูปที่ 2.14 แสดงแผนภูมิการเปรียบเทียบปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ในประเทศต่างๆ..................... 18
รูปที่ 2.15 แสดงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนมกราคมถึงธันวาคม 53................. 20
รูปที่ 2.16 แสดงความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนมกราคมถึงธันวาคม 53.......... 21
รูปที่ 2.17 แสดงวงจรการถ่ายเทความร้อนของแผง... 22
รูปที่ 2.18 แสดงประเภทของแผง PV/T ที่ใช้กันในปัจจุบัน.. 29
รูปที่ 2.19 แสดงรายละเอียดแผง PV/T 4 ประเภทหลักตามงานวิจัยของ Zondag et al............ 29
รูปที่ 2.20 แสดงแผงผังระบบ PV/T แบบน้ำร้อนของงานวิจัยของ Brazilian et al..................... 30
รูปที่ 2.21 แสดงโครงสร้างแผง PV/T ในงานวิจัยของ (ก) Fujisawa et al. [12] และ (ข)
Huang et al.. 30

หน้า

รูปที่ 2.22 แสดงส่วนประกอบของแผง PV/T ในงานวิจัยของ Staebler et al........................... 31
รูปที่ 2.23 แสดงประเภทย่อย 9 ประเภทของแผง PV/T ในงานวิจัยของ Zondang et al........... 32
รูปที่ 2.24 แสดงส่วนประกอบของแผง PV/T ในงานวิจัยของ Jai Prakash............................. 34
รูปที่ 2.25 แสดงกราฟอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผง PV/T แบบ a-Si และแบบ c-Si.............. 35
รูปที่ 2.26 แสดงกราฟ (ก) ประสิทธิภาพโดยรวมทั้งหมดของแผง PV/T ทั้ง 2 แบบ, (ข) ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า a-Si, (ค) ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า c-Si............................... 36
รูปที่ 2.27 แสดงแผงผังของระบบทดสอบแผง PV/T กรณีใช้ปั๊มขนาดเล็กในการหมุนเวียนน้ำ... 38
รูปที่ 2.28 แสดงแผงผังของระบบทดสอบแผง PV/T กรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ.............. 39
รูปที่ 3.1 แผง PV/T... 40
รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดส่วนประกอบภายในแผง PV/T... 41
รูปที่ 3.3 ท่อทองแดงขดของแผง PV/T.. 41
รูปที่ 3.4 ถังเก็บน้ำร้อน.. 42
รูปที่ 3.5 เครื่องสูบน้ำ 12 VDC.. 43
รูปที่ 3.6 แบตเตอรี่.. 44
รูปที่ 3.7 เครื่องควบคุมประจุไฟฟ้า... 46
รูปที่ 3.8 เครื่องควบคุมการตัดกระแสไฟฟ้า... 46
รูปที่ 3.9 มาตรวัดน้ำ.. 47
รูปที่ 3.10 ตัวต้านทานแบบไวร์วาวด์... 48
รูปที่ 3.11 เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ.. 49
รูปที่ 3.12 คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูล... 50
รูปที่ 3.13 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์.. 51
รูปที่ 3.14 เครื่องวัดโวลต์มิเตอร์... 52
รูปที่ 3.15 เครื่องวัดแอมป์มิเตอร์.. 53
รูปที่ 3.16 เทอร์โมคัปเปิลแบบ K... 54
รูปที่ 3.17 แสดงแผนภาพการทดสอบแผง PV/T.. 56
รูปที่ 3.18 แสดงแผนภาพการต่อวงจรการจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่.. 57
รูปที่ 4.1 ความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 18 ตุลาคม 55....... 60

หน้า

รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของน้ำในถัง เข้าและออกจากแผงเฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 18 ตุลาคม 55........ 60
รูปที่ 4.3 พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่ วันที่ 18 ตุลาคม 55... 62
รูปที่ 4.4 ความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 25 ตุลาคม 55....... 63
รูปที่ 4.5 อุณหภูมิของน้ำในถัง เข้าและออกจากแผงเฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 25 ตุลาคม 55........ 64
รูปที่ 4.6 พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่ วันที่ 25 ตุลาคม 55... 65
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพทางความร้อนรายชั่วโมงเปรียบเทียบกับ (Ti-Ta)/H............................... 67
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพทางความร้อนรายวันเปรียบเทียบกับ (Ti-Ta)/H.................................. 68
รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวันของแบตเตอรี่ 12V 7Ah เปรียบเทียบกับ (Ti-Ta)/H....... 69
รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวันของแบตเตอรี่ 12V 18Ah เปรียบเทียบกับ (Ti-Ta)/H... 70
รูปที่ 4.11 พลังงานความร้อนที่ได้จากแผง PV/T ในแต่ละเดือนจากการคำนวณปี 53............... 72
รูปที่ 4.12 พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV/T ในแต่ละเดือนจากการคำนวณปี 53.......................73
รูปที่ 5.1 แสดงประสิทธิภาพความร้อน และไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ 12V 7Ah รายวัน...................... 78
รูปที่ 5.2 แสดงประสิทธิภาพความร้อน และไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ 12V 18Ah รายวัน.................... 79
รูปที่ 5.3 แสดงตัวอย่างการกำหนดจุดน้ำเข้าและออกจากถังและจุดตรวจวัดอุณหภูมิที่
เหมาะสม.. 81

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$\dot{m}$	=	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
C_p	=	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg- K)
T_{in}	=	อุณหภูมิน้ำเข้าแผง (^{o}C)
T_{out}	=	อุณหภูมิน้ำออกจากแผง (^{o}C)
U_w	=	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของน้ำที่ไหลผ่านแผง PV/T (W/m^{2}K)
T_p	=	อุณหภูมิแผง PV/T (^{o}C)
T_a	=	อุณหภูมิอากาศภายนอก (^{o}C)
A_p	=	พื้นที่แผง PV/T (m^2)
G	=	ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2)
M	=	มวลของน้ำในถัง (kg)
T_i	=	อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นในถังเก็บความร้อน (^{o}C)
T_f	=	อุณหภูมิของน้ำสุดท้ายในถังเก็บความร้อน (^{o}C)
I	=	กระแสไฟฟ้า (A)
V	=	แรงดันไฟฟ้า (V)
t	=	เวลา (hr)
H	=	พลังงานความร้อนที่แผงได้รับในช่วงเวลาหนึ่ง (MJ)
$(\tau\alpha)_n$	=	ค่าการทะลุผ่านและค่าการดูดซับแสงอาทิตย์
F_R	=	ค่าแฟคเตอร์การดูดความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาด้านพลังงานเป็นปัญหาสำคัญที่มีผลกระทบกับมนุษย์ทั่วโลก ทั้งในต่างประเทศและประเทศไทยเองจึงมีการส่งเสริมให้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปัญหาด้านพลังงาน เห็นได้จากจำนวนงานวิจัยที่เพิ่มมากขึ้นในการแก้ไขปัญหาและแนวทางการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม สาเหตุหลักที่ทำให้ต้องอนุรักษ์พลังงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 สาเหตุหลัก อันได้แก่ การขาดแคลนและหมดสิ้นไปของทรัพยากรด้านพลังงาน สาเหตุที่ 2 ที่ไม่สามารถมองข้ามไปได้เลยก็คือ ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และสาเหตุสุดท้ายซึ่งอาจจะเป็นปัญหาทางอ้อมแต่ ณ ปัจจุบันถือว่าเป็นสาเหตุที่สำคัญอีกประการ คือ ปัญหาทางเศรษฐกิจ ในงานวิจัยนี้ได้รับแรงบันดาลใจจากหัวข้อการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งพลังงานที่งานวิจัยนี้สนใจคือ การศึกษาและการนำพลังงานหมุนเวียนในธรรมชาติมาใช้เกิดประโยชน์ พลังงานหมุนเวียนสามารถแบ่งออกเป็นประเภทหลักๆได้ดังนี้ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานชีวมวล พลังงานจากขยะ เป็นต้น

โดยงานวิจัยฉบับนี้จะเน้นศึกษาในเรื่องพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งถือว่าเป็นพลังงานที่มีจำนวนมหาศาล โลกจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น 0.2-3 ไมครอน (ไมโครเมตร)ซึ่งมีพลังงานในรูปของ แสงที่ตามองเห็น(Visible Light) รังสีอินฟราเรด (Infrared) รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) เป็นต้น พลังงานแสงอาทิตย์จัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญที่สุด เป็นพลังงานสะอาดซึ่งไม่ก่อให้เกิดมลพิษในสิ่งแวดล้อมและเป็นพลังงานที่มีราคาประหยัด การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบันมีการใช้งาน 2 รูปแบบใหญ่ๆ ได้แก่ การผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยตรง และการผลิตด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ อุปกรณ์หลักทางอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าคือเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมาจากสารกึ่งตัวนำพวกซิลิคอน โดยทั่วไปจะเรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า “โซล่าเซลล์ (Solar Cell หรือ Photovoltaic: PV)” ซึ่งสารกึ่งตัวนำซิลิคอนจะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึงประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ ในระบบเก็บกระแสไฟฟ้าต้องใช้อุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า และแบตเตอรี่ เป็นต้น พลังงานจากแสงอาทิตย์ไม่ได้มีประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรงเพียงด้านเดียวแต่พลังงานแสงยังสามารถนำมาผลิตความร้อนได้อีกหนึ่งด้านหรือที่เรียกว่า “ระบบความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar

Thermal)” การใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานอยู่ในขณะนี้มีการใช้ทั้งวิธีการสะท้อนแสงอาทิตย์โดยตรง และการใช้โดยอ้อมโดยการใช้ไอน้ำหรือการใช้ลมร้อน ซึ่งในแต่ละประเภทจะมีลักษณะและขนาดที่แตกต่างกันไป ในปัจจุบันจึงเกิดแนวคิดในการนำระบบผลิตกระแสไฟฟ้าและผลิตความร้อนมาใช้ร่วมกัน เรียกระบบนี้ว่า “ระบบแผงรวมระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบผลิตความร้อน (Photovoltaic/Thermal)” เหมาะสำหรับสถานที่ที่มีการจำกัดขนาดพื้นที่ใช้สอย ปัจจุบันได้มีการศึกษาและพัฒนาในการเพิ่มประสิทธิภาพแผง PV/T อย่างต่อเนื่อง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่อีกหลายประการ ในงานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษาและพัฒนาแผง PV/T ที่เหมาะสมในการใช้ในประเทศไทย จากข้อมูลของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ร่วมกับสำนักนโยบายและแผนยุทธศาสตร์ สำนักปลัดกระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน ระบุว่าประเทศไทยได้รับรังสีเฉลี่ยทั่วประเทศในแต่ละวันจะมีค่าประมาณ 18.2 MJ/m2.day

การใช้แผง PV/T เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดจำกัด ต้องการใช้ทั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าและระบบทำความร้อน และต้องการลดต้นทุนการติดตั้ง จากเดิมต้องต้องตั้ง 2 แผงแยกกันเพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตไฟฟ้าแผงหนึ่งและในการผลิตความร้อนอีกแผงหนึ่ง แต่แผง PV/T จะรวมทั้งสองวัตถุประสงค์เข้าด้วยกัน ทำให้ลดการใช้แผงลงเหลือเพียง 1 แผงที่สามารถผลิตได้ทั้งไฟฟ้าและความร้อน แผง PV/T เริ่มนำมาติดตั้งในอาคารขนาดใหญ่ การวิจัยครั้งนี้จะเน้นการพัฒนางานวิจัยก่อนหน้า [18] ในเรื่องการปรับสมรรถนะของระบบแผงเพื่อให้แผง PV/T เหมาะที่จะติดตั้งสำหรับใช้ในบ้านพักอาศัย งานวิจัยนี้จะใช้แผง PV/T ที่มีขนาดเล็ก ใช้พื้นที่ติดตั้งไม่มากนัก สำหรับการใช้งานในพื้นที่ขนาดเล็ก โดยส่วนใหญ่พื้นที่ขนาดเล็กหรือบ้านพักอาศัยจะใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนด้วยแหล่งพลังงานที่มาจากจากทรัพยากรสิ้นเปลือง ดังนั้นหากการทำวิจัยนี้ประสบความสำเร็จก็น่าจะเป็นต้นแบบการใช้พลังงานทางเลือกและลดการใช้พลังงานจากทรัพยากรสิ้นเปลืองเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและช่วยในการอนุรักษ์พลังงานเพิ่มมากขึ้น หากแต่ก่อนจะนำไปใช้ได้จริงนั้นจำเป็นต้องมีการพัฒนา ปรับปรุง วิเคราะห์ระบบและประสิทธิภาพของแผงจึงจะสามารถให้แนวทางในการประยุกต์ใช้ได้จริงต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนโดยใช้แผง PV/T ให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริงในบ้านพักอาศัย
2. เพื่อหาสมรรถนะของแผง PV/T และวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า และความร้อนตลอดทั้งปี

ขอบเขตการวิจัย

1. ทำการออกแบบระบบแผง PV/T สำหรับใช้ในบ้านพักอาศัยได้อย่างเหมาะสม
2. ทำการทดลองโดยใช้แผง PV/T แบบใช้น้ำเป็นตัวรับความร้อน
3. ใช้อัตราการไหลของน้ำเข้าแผง PV/T ที่ 72 ลิตรต่อชั่วโมง และพิจารณาประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าและความร้อนแบบรายชั่วโมงที่ครอบคลุมอุณหภูมิน้ำเข้าแผงตั้งแต่ 30 – 45 ^{o}C และแบบรายวัน
4. วิเคราะห์การผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนโดยใช้ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอก ปี 2553 จากกรมอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการศึกษางานวิจัย
   - ศึกษาและรวบรวมเอกสารงานวิจัยก่อนหน้าที่เกี่ยวกับแผง Photovoltaic Thermal Water Collector
   - ศึกษาระบบแผง Photovoltaic Thermal Water Collector จากงานวิจัยต้นแบบเพื่อหาแนวทางการออกแบบแผงให้เหมาะสมกับการนำมาใช้จริงในบ้านพักอาศัย
2. ขั้นตอนการออกแบบและปรับปรุงระบบแผง PV/T
   - ดำเนินการออกแบบ ปรับปรุงแผง Photovoltaic Thermal Water Collector โดยการปรับปรุงจะมีการเพิ่มอุปกรณ์ในแผง PV/T โดยจะมีการเพิ่มขนาดของปั๊มน้ำ (Water Pump) เปลี่ยนขนาดแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับกับประจุไฟฟ้าจากแผง PV/T และเพิ่มเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า (Charger Controller) ในระบบแผง
3. ขั้นตอนการทดสอบ เก็บข้อมูลและสรุปผลงานวิจัย
   - ดำเนินการติดตั้งระบบแผง Photovoltaic Thermal Water Collector ซึ่งมีการปรับปรุงอุปกรณ์จากแผง PV/T ของงานวิจัยต้นแบบ
   - ดำเนินการทดสอบจริงของระบบแผง Photovoltaic Thermal Water Collector ที่ได้รับการปรับปรุงอุปกรณ์แล้ว โดยในส่วนของอัตราการไหลของน้ำจะใช้ Flow rate อยู่ในช่วง 72 ลิตรต่อชั่วโมง
   - เก็บข้อมูลที่ได้จากจุดตรวจวัดจริงของระบบแผง Photovoltaic Thermal Water Collector
   - วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจริงเพื่อหาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและความร้อนของแผง Photovoltaic Thermal Water Collector แบบรายชั่วโมงและรายวันของงานวิจัยนี้

- วิเคราะห์หาผลผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนของระบบแผง PV/T ตลอดทั้งปีโดยใช้ข้อมูลอ้างอิงจากกรมอุตุนิยมวิทยา
- สรุปผลงานวิจัย และนำเสนอ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบแผง Photovoltaic Thermal Water Collector (PV/T) ที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับพื้นที่ขนาดเล็กโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบ้านพักอาศัย
2. ใช้เป็นแนวทางศึกษาวิจัยสมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบแผง Photovoltaic Thermal Water Collector (PV/T) ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการใช้ประเภทอื่นๆ ในอนาคต
3. ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากกระบวนการผลิตจากพลังงานสิ้นเปลือง (เชื้อเพลิงจากฟอสซิล)
4. ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานสิ้นเปลือง

โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บท ได้แก่ บทนำ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ชุดอุปกรณ์ทดสอบและการดำเนินการทดสอบ การทดสอบและผลการทดสอบ และสรุปผลการวิจัยกับข้อเสนอแนะเป็นบทสุดท้าย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

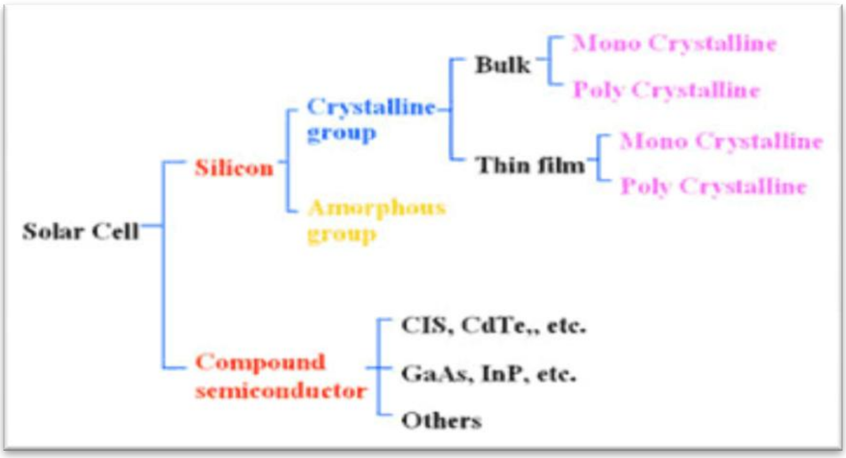
เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ Photovoltaic Cell:PV

เซลล์แสงอาทิตย์, เซลล์สุริยะ หรือ Photovoltaic Cell หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า โซล่าเซลล์ (Solar Cell) ความหมายของเซลล์แสงอาทิตย์ มาจากการผสมคำ 2 คำ คือ photo หมายถึง แสง และคำว่า volt หมายถึงแรงดันไฟฟ้า รวมคำแล้วจะได้ความหมายว่า กระบวนการผลิตไฟฟ้าโดยการใช้แสงตกกระทบบนวัตถุที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ซิลิคอนเป็นสารกึ่งตัวนำ ซึ่งมีราคาถูกและมีจำนวนมากมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ให้มีความบริสุทธิ์และโด๊ปสารเจือปน เมื่อมีแสงตกมากระทบบนแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ก็จะผลิตไฟฟ้าได้ทันที โดยรังสีแสงที่มีอนุภาคโฟตอน (Photon)จะถ่ายเทพลังงานให้กับอนุภาคอิเล็กตรอน (Electron) ในสารซิลิกอนจนมีพลังงานและโฮลมากจนกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) เกิดเป็ร์อิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระภายใต้สนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรก็จะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ขึ้นมา

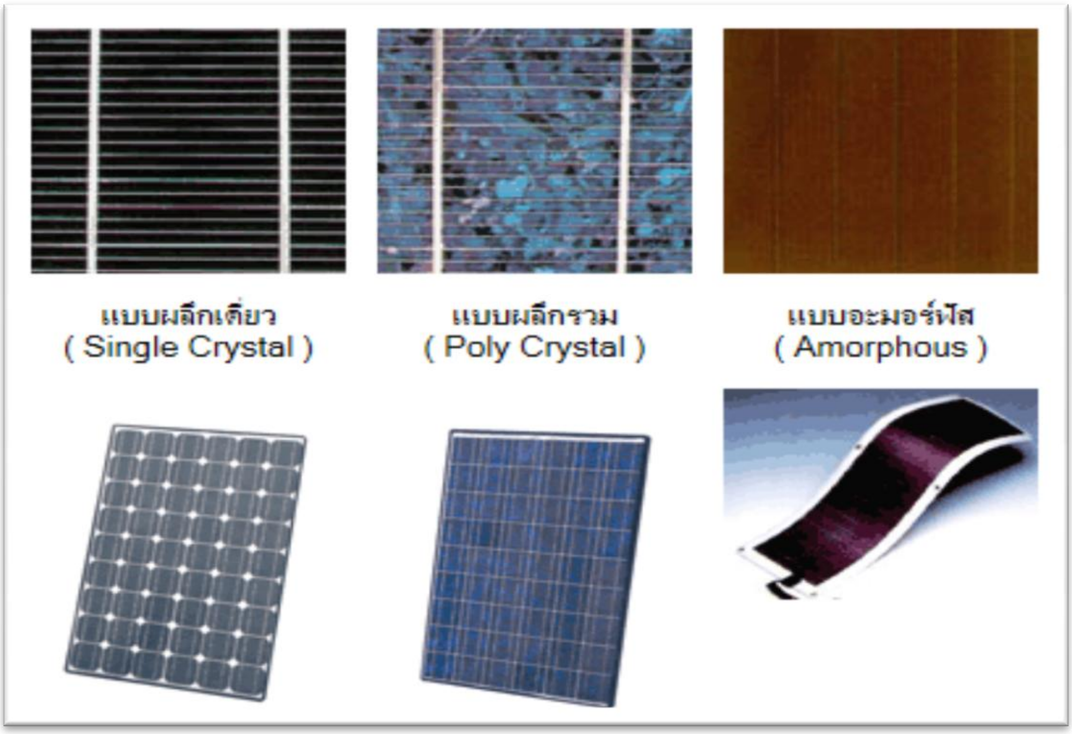
ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันที่นิยมใช้กันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

1. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน แบ่งตามลักษณะผลึกที่เกิดขึ้นได้แก่
    - แบบที่เป็นรูปผลึก หรือที่เรียกว่า แบบ Crystal
    - แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก หรือที่เรียกว่า แบบ Amorphous แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยว (Single หรือ Mono) และชนิดผลึกรวม (Poly)
2. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน แต่มีราคาสูงมาก ใช้ในงานสื่อสารผ่านดาวเทียม และใยแก้วนำแสง

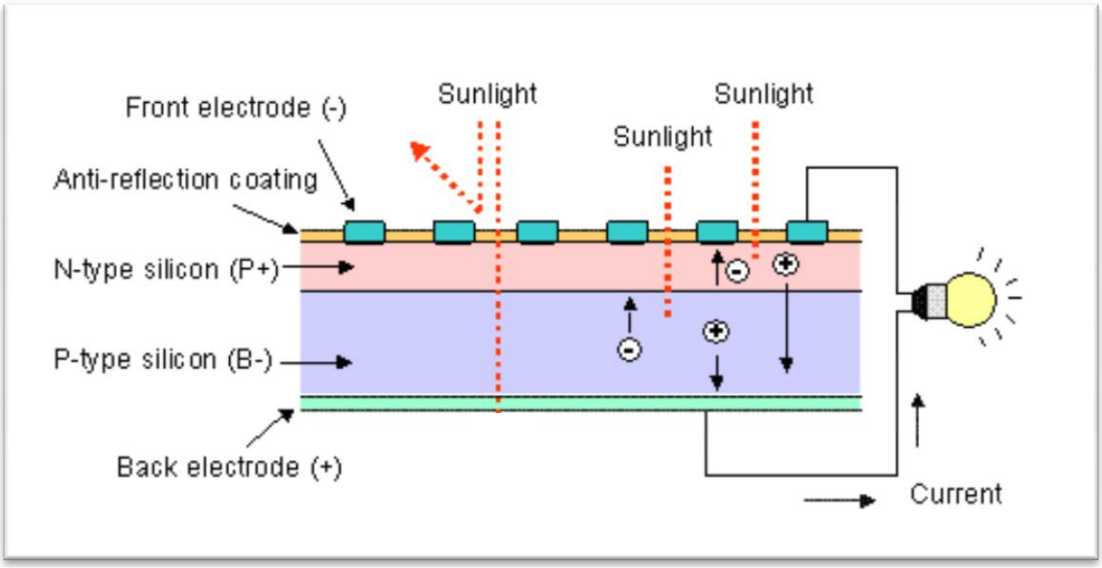


รูปที่ 2.1 แสดงประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ [1]



รูปที่ 2.2 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว แบบผลึกรวม และแบบอะมอร์ฟัส [2]

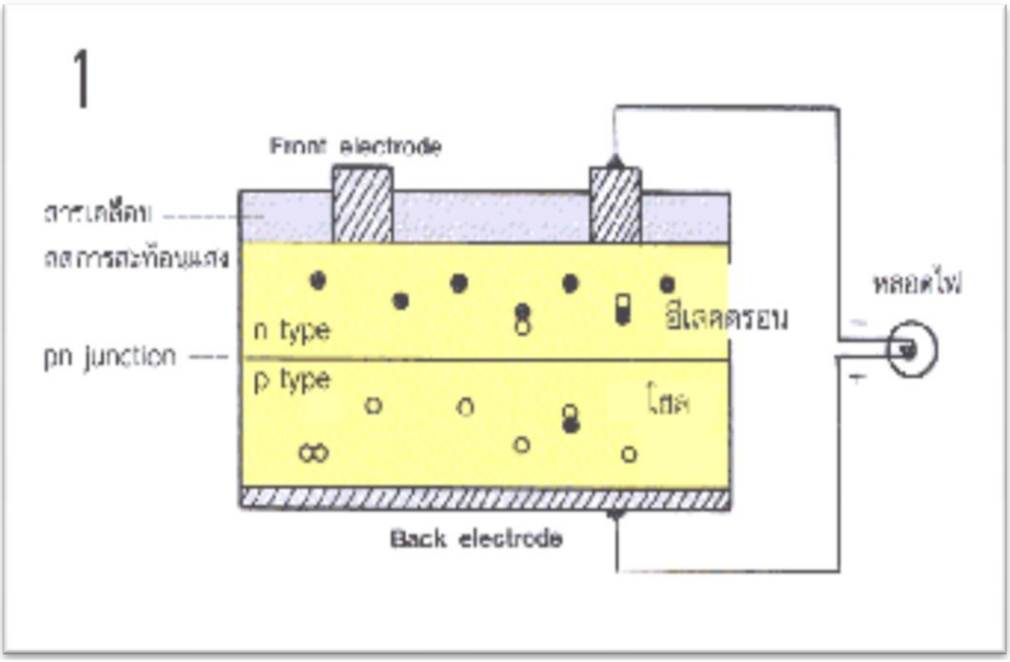
หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์



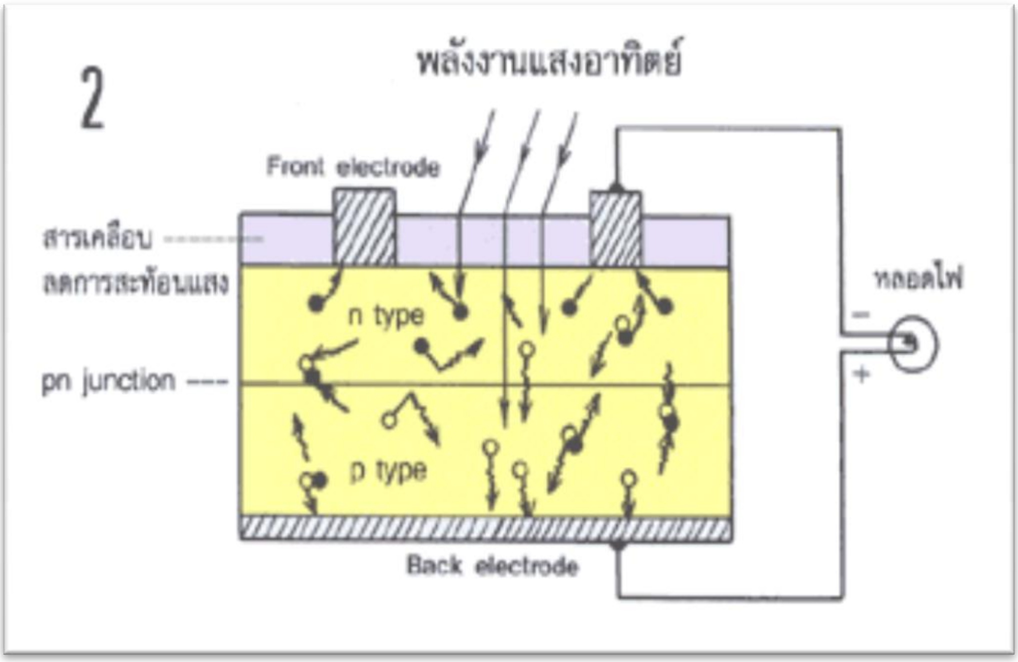
รูปที่ 2.3 แสดงหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง ดังนี้

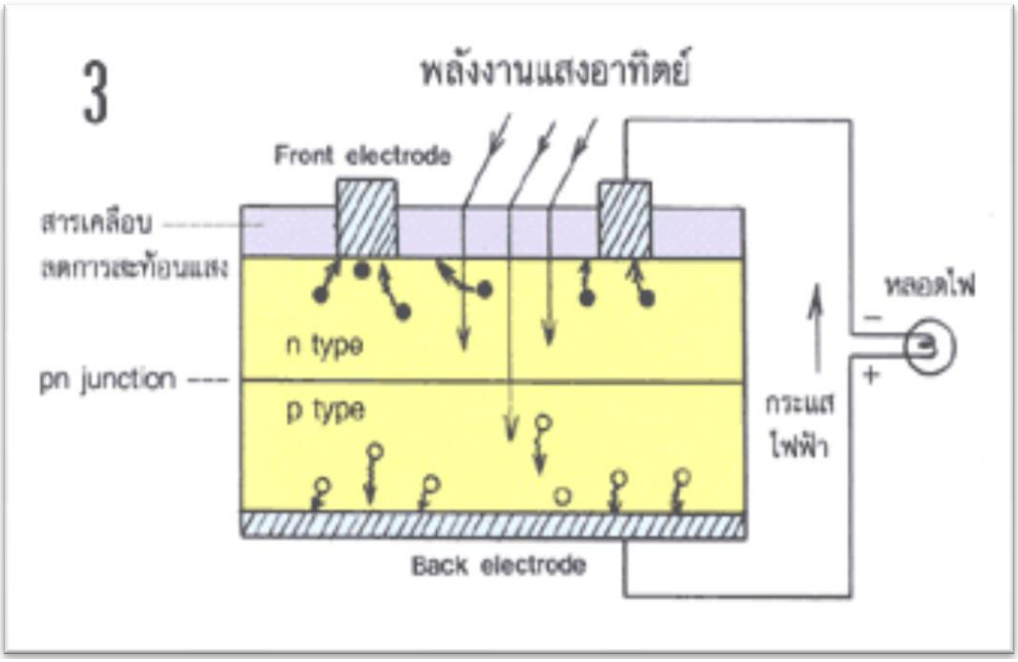
1. N – type ซิลิคอน เป็นสารกึ่งตัวนำที่ได้การโด๊ปด้วยสารฟอสฟอรัส ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อได้รับพลังงานแสงส่วน P – type ซิลิกอน เป็นส่วนเซลล์ที่ได้รับการโด๊ปสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของผลึกขาดอิเล็กตรอนทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำเซลล์ทั้ง 2 มาประกบติดกันเรียกว่าการ P-N junction จึงทำให้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ [1]



2. เมื่อมีแสงจากดวงอาทิตย์มาตกกระทบบนแผ่นเซลล์ แสงอาทิตย์จะถูกถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮลของ N และ P type ทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่อิสระภายใต้สนามไฟฟ้าของ PN junction เคลื่อนที่ไปยังอิเล็กโตรด [1]



3. อิเล็กตรอนจะวิ่งไปรวมตัวอยู่ที่บริเวณ Front electrode และโฮลจะวิ่งไปรวมที่ Back electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าครบจาก Front electrode และ Back electrode จะมีพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเกิดขึ้น [1]



สมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ

1. อุณหภูมิ

กระแสไฟ (current) จะไม่แปรผันตามอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลง และแรงดันไฟฟ้า (volt) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเฉลี่ยทุกๆ 1 องศา จะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.5 กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเป็นผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามไปด้วย

2. ความเข้มของแสงอาทิตย์

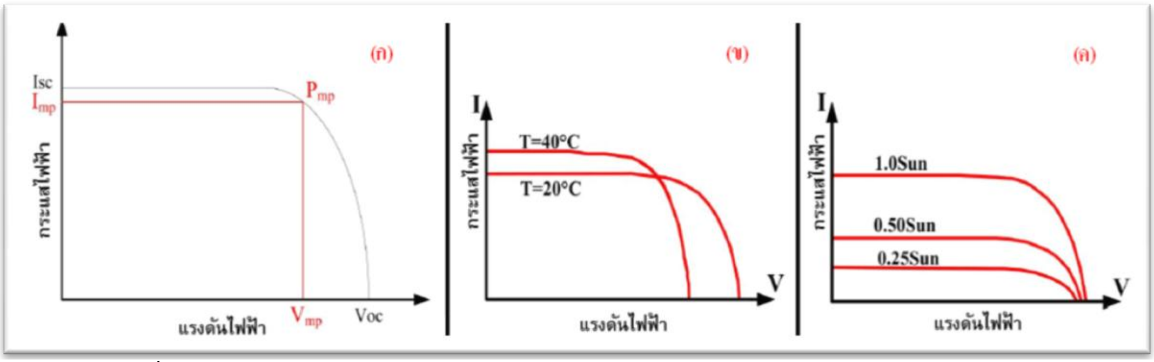
กระแสไฟ (current) จะแปรผันตรงกับความเข้มของแสงอาทิตย์ กล่าวคือ เมื่อความเข้มของแสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้น กระแสไฟที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะสูงขึ้นแต่ในขณะเดียวกัน แรงดันไฟฟ้า (volt) จะมีการเปลี่ยนแปลงในอัตราเพิ่มขึ้นที่น้อยมาก การระบุค่าสมรรถนะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้จากการทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า (I-V Curve) โดยการต่อภาระทางไฟฟ้าที่สามารถแปรค่าได้ตั้งแต่สภาวะวงจรเปิดไปจนถึงวงจรลัดเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วให้

แสงแก่แผงเซลล์ โดยมีการควบคุมสภาพแวดล้อมที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Test Condition: STC) ได้แก่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 1000 W/m^2 สเปกตรัมของแสงที่ Air Mass (AM) 1.5 และอุณหภูมิด้านหลังแผงเท่ากับ 25°C นอกจากนั้นการแสดงเครื่องหมายรับรองคุณภาพจากหน่วยงานต่างๆ และการอ้างอิงมาตรฐานจากการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หลักๆใช้มาตรฐานการรับรองคุณภาพจาก IEC 61215 สำหรับแผงแบบเซลล์ชนิดผลึก, IEC 61646 สำหรับแผงแบบฟิล์มบาง และยังมีมาตรฐานด้านความปลอดภัย เช่น IEC 61730 สำหรับแผงทั้ง 2 ชนิด TüV Safety Class II และ UL 1703 เป็นต้น

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

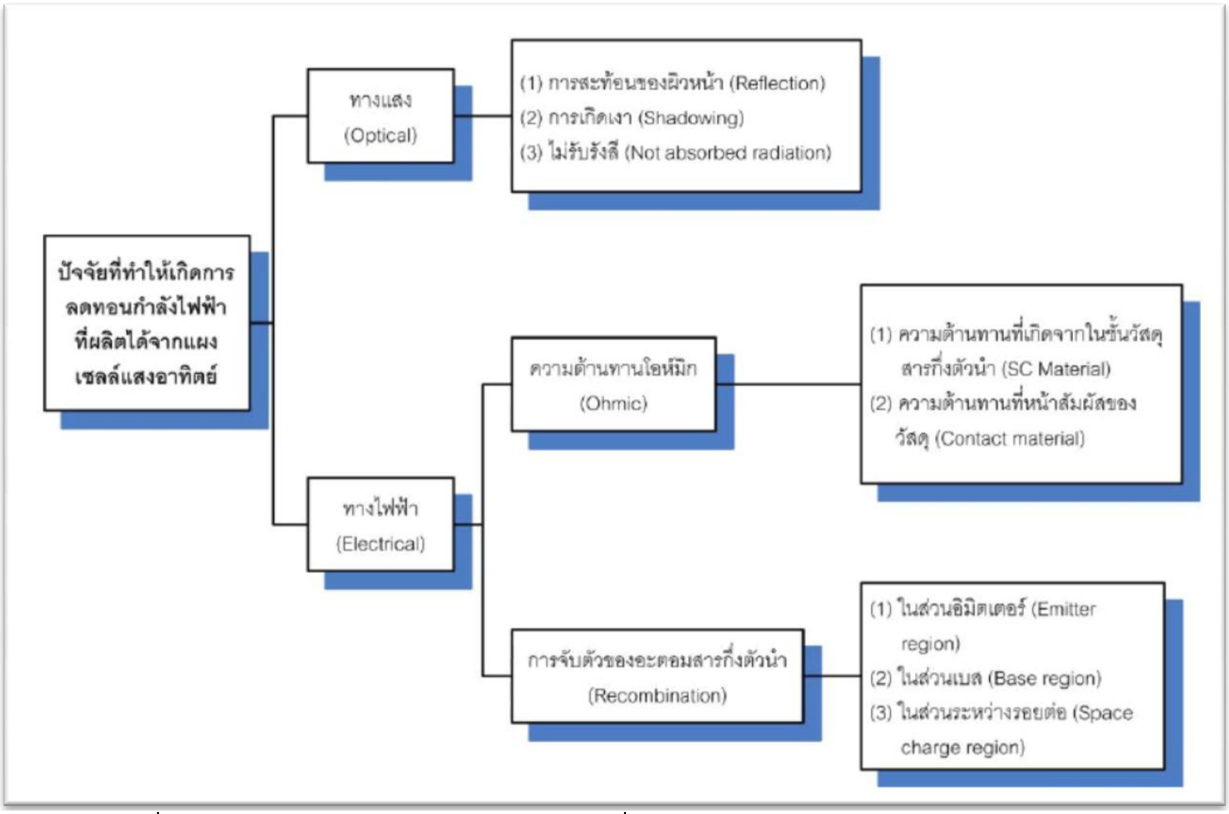
1. Peak Power (P max) กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ (W)
2. Operating Voltage (Vmp) แรงดันไฟฟ้าสูงสุดในขณะที่ต่อกับโหลด (V)
3. Operating Current (Imp) กระแสไฟฟ้าสูงสุดในขณะที่ต่อโหลด (A)
4. Open Circuit Voltage (Voc) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V)
5. Short Circuit Current (Isc) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (A)

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำงานในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกันจะทำให้ได้กราฟ I-V Curve ที่ระดับต่างกัน ดังรูปที่ 2.4(ข) เป็นกรณีที่ความเข้มของรังสีอาทิตย์คงที่แต่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงแต่กระแสไฟฟ้าลัดจรจะมีค่าที่สูงขึ้น ส่วนในรูปที่ 2.4(ค) แสดงการเปรียบเทียบให้เห็นว่าเมื่อความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงจะทำให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรเพิ่มขึ้นและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 2.4(ก) แสดงกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์, 2.4(ข) และ 2.4(ค) แสดงกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่อุณหภูมิและความเข้มแสงที่ต่างกัน [3]

ปัจจัยที่ผลต่อการลดทอนกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาจากสาเหตุหลักๆ 2 ประการ คือ ปัจจัยทางแสง และปัจจัยทางไฟฟ้ารายละเอียดดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงปัจจัยการลดทอนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [3]

ระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

ปัจจุบันการผลิตน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์จากแผงรับความร้อนที่มีใช้กันอยู่แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่ ชนิดแผ่นเรียบ (Flat Plate Collector) และชนิดหลอดแก้วสุญญากาศ (Vacuum Tube Collector)

- แผงรับแสงอาทิตย์ ชนิดแผ่นเรียบรับความร้อน (Flat Plate Collector) จะใช้แผ่นดูดรังสีซึ่งจะมีลักษณะเป็นท่อและครีบประกอบในกล่องโลหะเป็นกรอบด้านข้างและด้านหลังหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนและด้านบนกล่องปิดด้วยกระจกใส

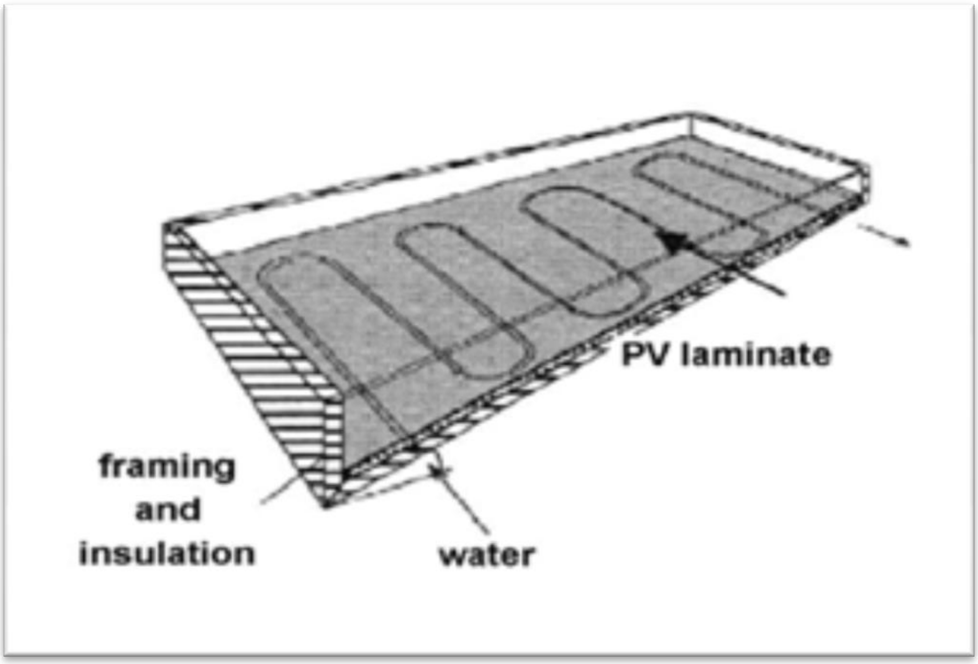
รูปที่ 2.6 แสดงแผงรับแสงอาทิตย์ ชนิดแผ่นเรียบรับความร้อน (Flat Plate Collector) [4]

- แผงรับแสงอาทิตย์ ชนิดหลอดแก้วสุญญากาศ (Vacuum Tube Collector) เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากหลอดแก้วสุญญากาศโดยมีชั้นนอกเป็นหลอดแก้วชนิดโปร่งแสงซึ่งรังสีแสงสามารถผ่านได้ แต่จะสะท้อนกลับได้น้อย ส่วนชั้นในเป็นหลอดแก้วจะเคลือบผิวด้วยสารที่มีประสิทธิภาพดูดซับความร้อนได้สูงเป็นพิเศษ และส่วนด้านปลายทั้ง 2 ด้านจะถูกหลอมให้ติดเข้าด้วยกัน อากาศภายในถูกดูดออกเพื่อให้เป็นสุญญากาศ

รูปที่ 2.7 แสดงแผงรับแสงอาทิตย์ ชนิดหลอดแก้วสุญญากาศ (Vacuum Tube Collector) [4]

แผงรับแสงอาทิตย์แบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Photovoltaic/Thermal: PV/T)

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



รูปที่ 2.8 แสดงแผงรับแสงอาทิตย์แบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (PV/T) [5]

ทฤษฎีกลไกการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) เราแบ่งกลไกการถ่ายเทความร้อนออกเป็น 3 ชนิด คือ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

1. การนำความร้อน (Conduction)

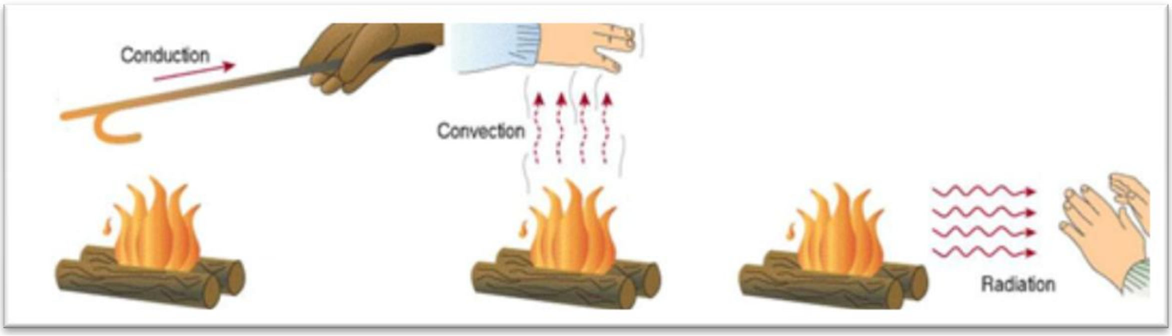
เป็นการถ่ายเทความร้อนไปตามเนื้อวัตถุเดียวกันจากโมเลกุลหนึ่งหรืออะตอมหนึ่งไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่งหรืออะตอมหนึ่งซึ่งอยู่ติดกันไปเรื่อยๆ จากอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ โลหะเป็นตัวนำความร้อนที่ดี ส่วนอโลหะและอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี

2. การพาความร้อน (Convection)

เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลหรืออะตอมของสสารซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวและก๊าซ การพาความร้อนพบได้ทั่วไปในชั้นบรรยากาศ มหาสมุทร ลม และการอาบน้ำเป็นต้น

3. การแผ่รังสี (Radiation)

เป็นการถ่ายเทความร้อนทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทพลังงาน วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงจะแผ่รังสีคลื่นสั้น ส่วนวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำจะแผ่รังสีคลื่นยาว

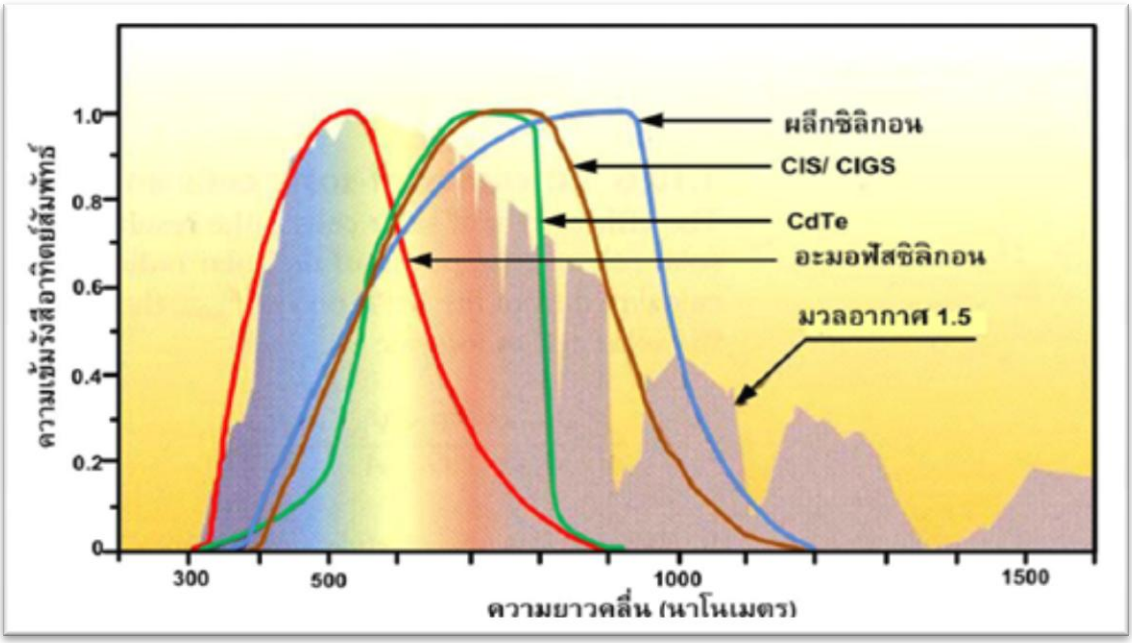


(ที่มา: สื่อออนไลน์ http://power.cheap-blog.com)

รูปที่ 2.9 แสดงการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

แนวคิดการรับพลังงานจากแสงอาทิตย์และการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์

พลังงานจากดวงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์มายังโลกในรูปของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ต้องคำนึงถึงสเปกตรัมแสงและการตอบสนองต่อสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ด้วยเช่นกัน สเปกตรัมของแสงอาทิตย์มีช่วงค่อนข้างกว้างตั้งแต่ 380 ถึง 1100 นาโนเมตร แต่เซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิคอนมีข้อจำกัดที่จะตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงช่วงที่ตามองเห็นและแสงอินฟราเรด ดังนั้นช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งานจริงจึงอยู่ในช่วงที่แคบลง ดังรูปที่ 2.10 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่แตกต่างกันของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ



รูปที่ 2.10 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่แตกต่างกันของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ [3]

การจำแนกรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านมายังชั้นบรรยากาศของโลกได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. รังสีตรง (Direct radiation)

เป็นรังสีที่ส่งตรงจากดวงอาทิตย์มายังโลก ไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง มีความเข้มแสงสูง

2. รังสีกระจาย (Diffuse หรือ Scattered radiation)

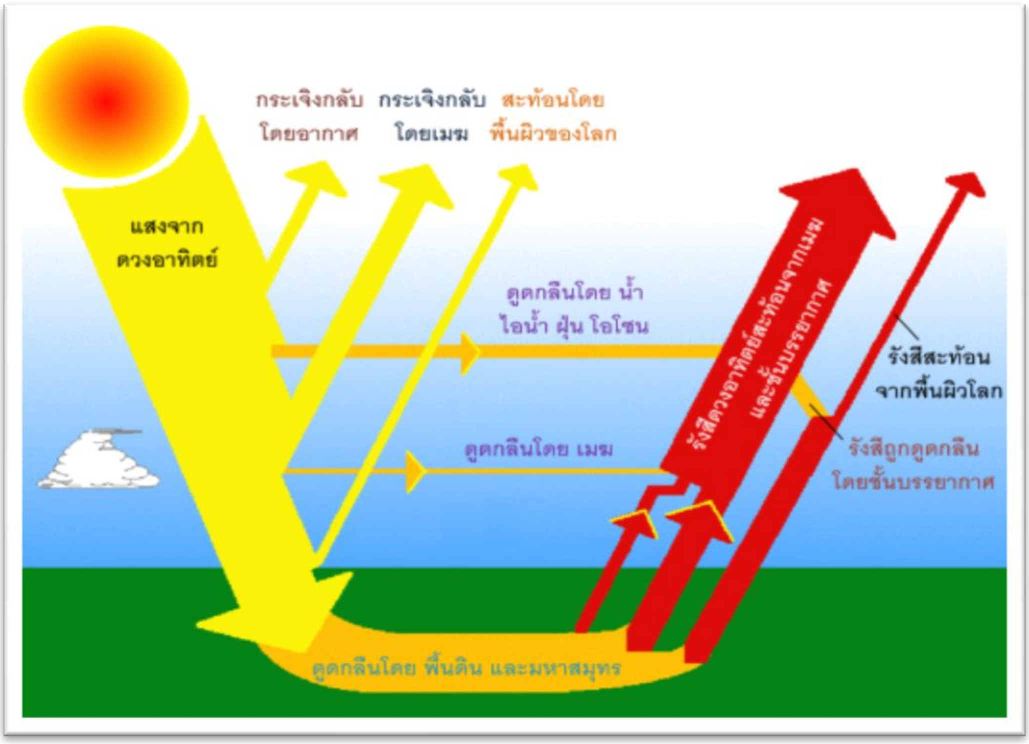
เป็นรังสีที่เกิดการชนกับอนุภาคต่างๆในชั้นบรรยากาศ เช่น เมฆ หมอก เป็นต้น หรือเกิดการกระเจิงรังสีกับอนุภาคในบรรยากาศ ค่าความเข้มแสงสูงแต่น้อยกว่าความเข้มแสงของรังสีตรง

3. รังสีรวม (Global solar radiation)

เป็นรังสีที่มีผลรวมมาจากรังสีตรงและรังสีกระจาย

รูปที่ 2.11 แสดงรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านมายังชั้นบรรยากาศของโลก [4]

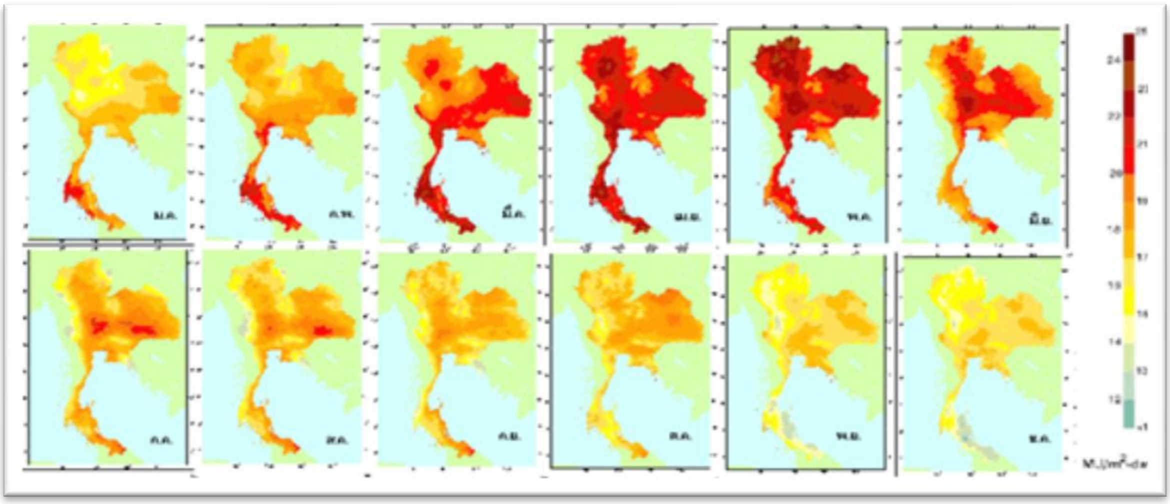
ในการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้โดยมีการเปลี่ยนรูปพลังงาน จะต้องอาศัยทฤษฎีที่เกี่ยวกับระบบแสงอาทิตย์เบื้องต้น ดังนี้ รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศมายังผิวโลก บางส่วนจะถูกดูดกลืน บางส่วนจะมีการสะท้อนกลับ และบางส่วนจะทำให้รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) ซึ่งทำให้ค่ารังสีตรง (Direct Beam Radiation) ตกสู่พื้นผิวโลกน้อยลง ดังนั้นรังสีที่ตกสู่พื้นผิวโลกจะมีทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย รวมเรียกว่า รังสีรวม (Global Radiation) กล่าวสรุปได้ว่าพฤติกรรมของรังสีจากดวงอาทิตย์สามารถแบ่งได้เป็นพฤติกรรมการกระเจิงเมื่อรังสีกระทบกับอากาศ เมฆ และพื้นผิวโลก อีกส่วนหนึ่งคือพฤติกรรมการดูดกลืนเมื่อรังสีกระทบกับไอน้ำ ฝุ่น โอโซน เมฆ และพื้นผิวโลกเช่นกัน



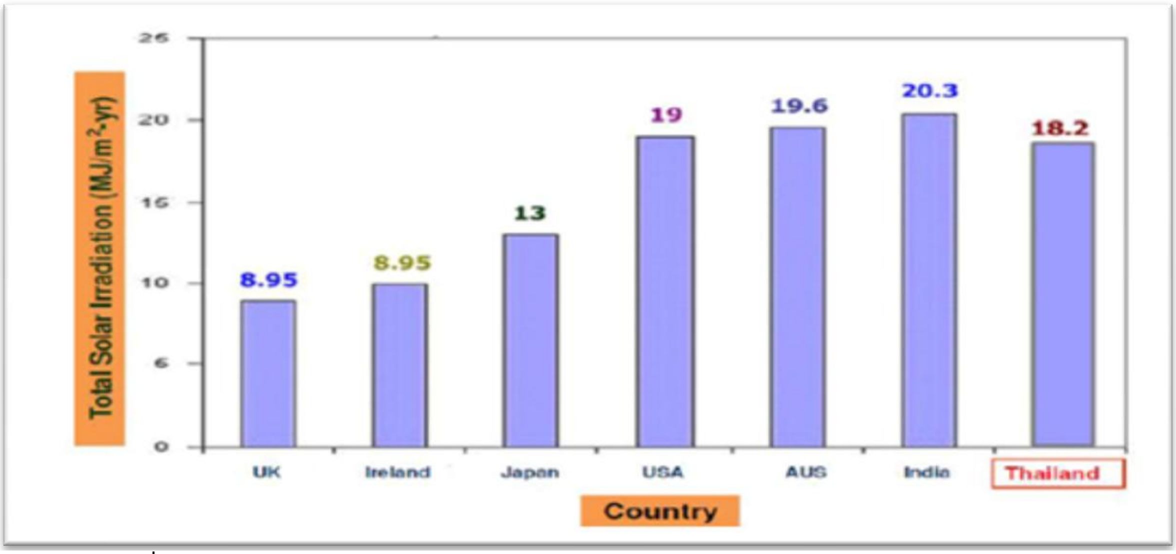
รูปที่ 2.12 สมดุลรังสีแสงอาทิตย์กับบรรยากาศ [4]

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

จากข้อมูลของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานร่วมกับคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ระบุว่าประเทศไทยมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนนั้นได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งประเทศไทยจะได้รับรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม โดยมีค่ารังสีแสงอาทิตย์ในช่วง 20 – 24 MJ/m^2.day จากรูปที่ 2.13 แสดงแถบรังสีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือนของประเทศไทย เห็นได้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นที่เหมาะสมเป็นอย่างมาก จากข้อมูลของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ร่วมกับสำนักนโยบายและแผนยุทธศาสตร์ สำนักปลัดกระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน ระบุว่าประเทศไทยได้รับรังสีเฉลี่ยทั่วประเทศในแต่ละวันจะมีค่าประมาณ 18.2 MJ/m^2.day ในรูปที่ 2.14 แสดงแผนภูมิการเปรียบเทียบปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ในประเทศต่างๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้วประเทศไทยถือว่ามีศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่าประเทศอื่นๆอยู่มาก



รูปที่ 2.13 แสดงแถบรังสีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือนของประเทศไทย [6]



รูปที่2.14 แสดงแผนภูมิการเปรียบเทียบปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ในประเทศต่างๆ [7]

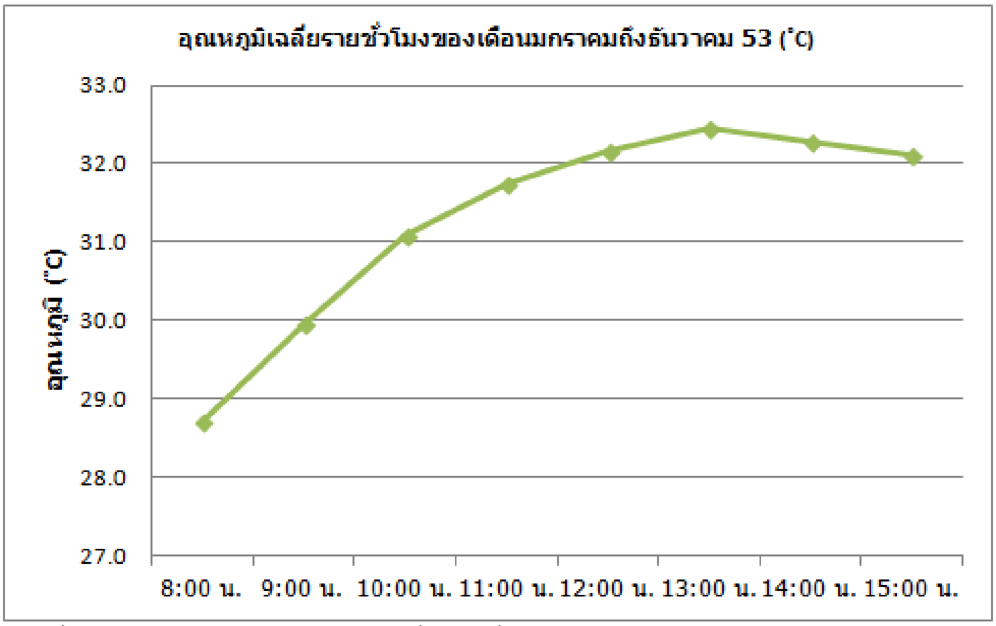
ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และข้อมูลอุณหภูมิอากาศ [8]

การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและทางความร้อนของระบบแผงทดสอบ PV/T มีการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสง และตรวจวัดอุณหภูมิอากาศภายนอกบริเวณที่ตั้งแผงทดสอบ PV/T ซึ่งตั้งบริเวณดาดฟ้าของอาคารอนุสาสน์ยันตรกรรม (N13.735558 E100.533257) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งนอกจากข้อมูลที่ตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศ ณ สถานที่ทดสอบจริงแล้วนั้นยังมีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอกของสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานครในช่วงเดือนธันวาคม 2553 ถึง พฤศจิกายน 2554 เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาพลังงานที่ได้จากระบบแผงทดสอบ PV/T ใน

ระยะเวลา 1 ปี ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนมกราคมถึงธันวาคม 53 [8]

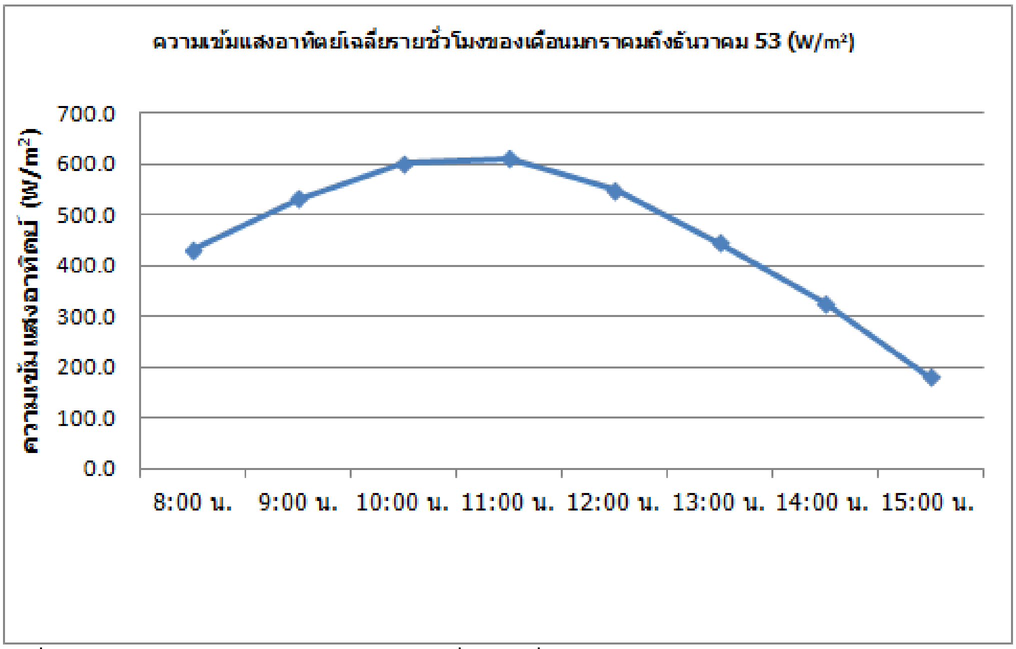
เดือน/ปี	อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนมกราคมถึงธันวาคม 53 (°C)							
	8:00 น.	9:00 น.	10:00 น.	11:00 น.	12:00 น.	13:00 น.	14:00 น.	15:00 น.
ม.ค.-53	26.1	27.6	29.1	30.0	30.3	30.7	30.5	30.5
ก.พ.-53	28.6	30.1	31.6	32.3	32.8	33.0	33.0	33.0
มี.ค.-53	29.4	31.0	32.3	33.4	33.8	34.4	34.5	34.3
เม.ย.-53	31.5	32.8	34.1	35.1	35.6	35.6	35.1	35.1
พ.ค.-53	31.3	32.3	33.2	33.2	33.8	34.2	33.9	34.0
มิ.ย.-53	30.5	31.6	32.5	33.1	33.8	34.0	33.5	33.7
ก.ค.-53	29.2	30.2	31.1	31.6	31.7	32.0	32.3	32.0
ส.ค.-53	28.4	29.6	30.5	31.2	31.4	31.5	31.5	30.8
ก.ย.-53	28.6	29.8	30.7	31.0	31.4	31.6	31.1	30.6
ต.ค.-53	27.6	28.4	29.1	29.8	30.0	30.2	30.0	29.7
พ.ย.-53	27.3	28.6	29.8	30.5	30.9	31.1	31.1	30.8
ธ.ค.-53	26.0	27.6	28.9	29.8	30.4	31.0	31.0	30.8
เฉลี่ย	**28.7**	**30.0**	**31.1**	**31.8**	**32.2**	**32.4**	**32.3**	**32.1**



รูปที่ 2.15 แสดงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนมกราคมถึงธันวาคม 53 [8]

ตารางที่ 2.2 แสดงความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนมกราคมถึงธันวาคม 53 [8]

เดือน/ปี	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนมกราคมถึงธันวาคม 53 (W/m^2)							
	8:00 น.	9:00 น.	10:00 น.	11:00 น.	12:00 น.	13:00 น.	14:00 น.	15:00 น.
ม.ค.-53	402.3	532.5	613.0	626.7	625.4	492.1	365.5	200.7
ก.พ.-53	409.3	586.0	755.5	804.7	805.2	717.0	661.8	329.1
มี.ค.-53	518.5	679.2	825.3	860.9	808.7	686.6	513.3	318.8
เม.ย.-53	558.7	740.8	840.4	887.5	882.7	757.0	577.2	339.0
พ.ค.-53	431.6	472.9	522.8	518.8	520.9	431.1	314.5	206.9
มิ.ย.-53	466.8	536.5	566.4	592.4	148.4	120.5	67.3	38.6
ก.ค.-53	436.2	489.9	574.9	554.1	521.0	403.3	282.4	164.2
ส.ค.-53	393.2	447.7	491.2	500.5	474.7	360.1	251.8	128.3
ก.ย.-53	582.7	570.2	465.8	352.0	250.7	121.4	32.0	121.4
ต.ค.-53	370.1	431.0	472.1	479.8	454.5	366.8	218.6	100.9
พ.ย.-53	259.3	411.8	542.3	594.4	570.2	489.0	355.6	96.8
ธ.ค.-53	355.0	486.2	560.2	551.3	522.6	401.8	275.2	127.0
เฉลี่ย	432.0	532.1	602.5	610.3	548.8	445.6	326.3	181.0



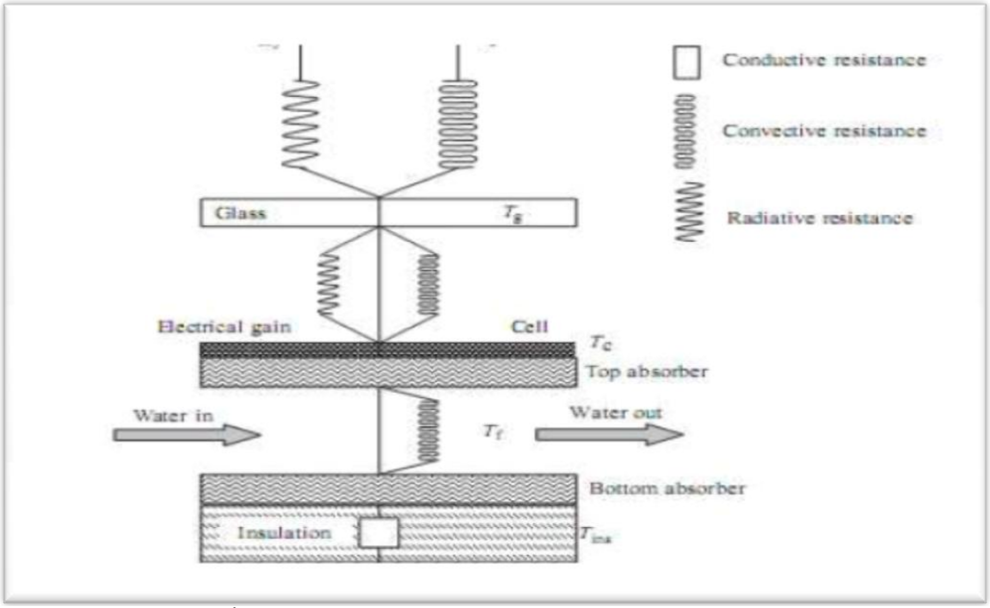
รูปที่ 2.16 แสดงความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนมกราคมถึงธันวาคม 53 [8]

ตำแหน่งและทิศในการตั้งแผงทดสอบ PV/T

ตำแหน่งที่ควรติดตั้งแผงทดสอบ PV/T ควรเป็นตำแหน่งที่สามารถรับแสงได้ดีตลอดทั้งวัน และตลอดทั้งปี จะต้องไม่มีอาคารสิ่งปลูกสร้างหรือสิ่งของวัตถุอื่นใดมาบดบังแสงอาทิตย์ สถานที่ตั้งแผงทดสอบไม่ควรมีฝุ่นหรือไอระเหยจากน้ำมันมากเกินไป ในประเทศไทยจะติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์โดยหันหน้าแผงรับแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ และทำมุมเอียงกับพื้นโลกประมาณ 15°

ระบบวงจรการถ่ายทอดพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์กับแผงทดสอบ PV/T

แผงทดสอบ PV/T เป็นแผงรับแสงอาทิตย์ที่ได้รับแนวคิดการนำความร้อนที่ไม่เกิดประโยชน์ที่แผง PV ได้รับมาผลิตและเก็บพลังงานความร้อนเพื่อนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยใช้แผงรับความร้อนมาเป็นตัวถ่ายเทพลังงานความร้อนและใช้น้ำหรืออากาศเป็นตัวรับพลังงานความร้อนเพื่อนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในที่สุด การทำงานของ PV/T สามารถอธิบายได้โดยเมื่อแสงอาทิตย์แผ่รังสีและพาความร้อนผ่านอากาศมากระทบแผง โดยส่วนแรกที่กระทบเป็นแผ่นกระจกจากนั้นก็แผ่รังสีและพาความร้อนมาถึงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นก็เป็นการนำความร้อนไปยังแผ่นรับความร้อนและท่อทองแดงถ่ายเทความร้อนไปยังน้ำที่เป็นตัวรับพลังงานความร้อนซึ่งเมื่อน้ำได้รับพลังงานความร้อนและกักเก็บลงในถังเก็บน้ำร้อนก็จะได้น้ำร้อนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในที่สุด



รูปที่ 2.17 แสดงวงจรการถ่ายเทความร้อนของแผง [9]

สมการสมดุลพลังงานของแผง PV/T

[ช่วงเวลาของแสงอาทิตย์ที่แผง PV/T ได้รับพลังงาน] = [พลังงานความร้อน + พลังงานไฟฟ้า] + [พลังงานความร้อนที่สูญเสียทั้งหมด]

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

การหาประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ PV/T

การหาประสิทธิภาพของระบบแผง PV/T จากการใช้ PV และ Solar Thermal Collector รวมกันในแผงเดียวกันดังนั้นจึงเป็นแผงที่สามารถผลิตได้ทั้งพลังงานความร้อนและกระแสไฟฟ้า โดยนำแนวคิดจากสมการพื้นฐานของประสิทธิภาพทางพลังงานความร้อน โดยไม่คิดการสูญเสียความร้อนของระบบท่อและถังเก็บน้ำร้อน ได้ดังนี้

ประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงเมื่อมีแสงอาทิตย์กระทบกับพื้นที่แผง PV/T จะได้สมการดังนี้

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

โดยที่

$\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg-K)

T_{in} = อุณหภูมิน้ำเข้าแผง (°C)

T_{out} = อุณหภูมิน้ำออกจากแผง (^{o}C)

A_p = พื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์: PV (m^{2})

G = ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^{2})

การหาประสิทธิภาพความร้อนของน้ำในถังเก็บความร้อน

ความร้อนของน้ำที่ถังเก็บหาได้จากสมการดังนี้

$$Q_{ST} = MC_p \bullet \Delta T$$

$$Q_{ST} = MC_p\left(T_f - T_i\right)$$

โดยที่

M = มวลของน้ำในถัง (kg)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg-^{o}C)

T_i = อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นในถังเก็บความร้อน (^{o}C)

T_f = อุณหภูมิของน้ำสุดท้ายในถังเก็บความร้อน (^{o}C)

พลังงานของน้ำที่เข้าถัง (Q_{it}) จะมีค่าเท่ากับพลังงานความร้อนของน้ำที่ออกจากแผง PV/T โดยจะไม่คิดความร้อนสูญเสียของท่อน้ำในระบบ

$$Q_{pv/t} = \dot{m}C_p\left(T_f - T_i\right) = Q_{it}$$

ประสิทธิภาพทางความร้อนถังเก็บในถังเก็บในช่วงเวลาหนึ่ง จะได้สมการดังนี้

$$\eta_{th(ST)} = \frac{Q_{ST}}{Q_{it}} = \frac{MC_p\left(T_f - T_i\right)}{\dot{m}C_p(T_{out} - T_{in})}$$

โดย

M = มวลของน้ำในถัง (kg)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg-^{o}C)

T_i = อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นในถังเก็บความร้อน (^{o}C)

T_f = อุณหภูมิของน้ำสุดท้ายในถังเก็บความร้อน (°C)

T_{in} = อุณหภูมิน้ำเข้าแผง (°C)

T_{out} = อุณหภูมิน้ำออกจากแผง PV/T (°C)

ในงานวิจัยนี้ไม่คิดความร้อนสูญเสียที่ถังเก็บเนื่องจากถังเก็บมีฉนวนกันความร้อนหุ้มอย่างดี ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวถังเป็น 100% ดังนี้

$$\dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) = MC_p(T_f - T_i)$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของแผงจะได้สมการ

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

โดยที่

$G(t)$ คือ พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยภายในช่วงเวลาหนึ่ง (J หรือ MJ) ซึ่ง $G(t)$ มีค่าเท่ากับ H

การหาประสิทธิภาพไฟฟ้าของระบบ PV/T

ในงานวิจัยของ Charalambous et al.มีการหาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าหาได้จากค่ากระแสไฟฟ้า (I) และแรงดันไฟฟ้า (V) ของระบบการทำงานของแผง PV ได้จากสมการ

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

แต่ในงานวิจัยนี้หาค่าประสิทธิภาพไฟฟ้าจากการ Discharge พลังงานไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ จึงใช้สมการดังต่อไปนี้เพื่อหาค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าจากแผง PV/T ประจุลงในแบตเตอรี่ ดังนี้

$$\eta_{el} = \frac{IVt}{A_p\, G(t)}$$

โดยที่

I = กระแสไฟฟ้า (A)

V = แรงดันไฟฟ้า (V)

A_p = พื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์: PV (m^2)

G = ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2)

t = เวลา (hr)

การหาประสิทธิภาพรวมของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77

ความร้อนที่ได้รับจากแผงรับแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อน (Q_{th}) หาได้จากสมการสมดุลพลังงานของแผงรับแสงอาทิตย์ดังนี้

$$GA_p(\tau\alpha)_n = \dot{m}C_p(T_f - T_i) + U_wA_p(T_p - T_a)$$

$$Q_{th} = GA_p(\tau\alpha)_n - U_wA_p(T_p - T_a)$$

โดยนำอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นของถังเก็บเข้าแผง (T_i) และอุณหภูมิน้ำสุดท้ายของถังเก็บ (T_f) และมวลของน้ำแทนในสมการหาค่า Q_{th} ซึ่งค่า Q_{th} จะเป็นค่าพลังงานความร้อนของระบบจะเป็นพลังงานกับเวลาต่อพื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ทั้งหมด ดังนั้นการหาประสิทธิภาพความร้อนจะมีรูปสมการดังนี้

$$\eta_{th} = \frac{Q_{th}}{GA_p} = \frac{\dot{m}C_p(T_f - T_i)}{GA_p}$$

$$\eta_{th} = (\tau\alpha)_n - U_w\frac{(T_p - T_a)}{G}$$

ตามมาตรฐานของ ASHRAE 93-77 แนะนำให้จัดรูปแบบของการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบซึ่งแสดงสมรรถนะทางความร้อนในรูปสมการเส้นตรง โดยใช้ค่าแฟคเตอร์การดูดความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ $(Heat\ Removal\ Factor, F_R)$ เพื่อให้สามารถใช้อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นจากถังเก็บน้ำร้อนเข้าแผงแทนอุณหภูมิของแผ่นดูซับความร้อนได้ดังนี้

$$\eta_{th} = F_R\left[(\tau\alpha)_n - U_w\frac{(T_i - T_a)}{G}\right]$$

$$\eta_{th} = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_w \frac{(T_i - T_a)}{G}$$

เมื่อ

F_R = ค่าแฟคเตอร์การดูดความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์

$(\tau\alpha)_n$ = ผลคูณค่าการทะลุผ่านและค่าการดูดซับ(Transmittance and Absorbtance) ของแผ่นรับแสงที่มุมตกกระทบ n

U_w = ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของน้ำที่ไหลผ่านแผง PV/T (W/m^2K)

T_i = อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นในถังเก็บความร้อนเข้าสู่แผง (°C)

T_a = อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)

G = ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2)

โดยทั่วไปประสิทธิภาพของถังเก็บน้ำร้อนและระบบท่อจะขึ้นอยู่กับการสูญเสียความร้อนผ่านผนังถังเก็บความร้อนซึ่งจะมีการหุ้มฉนวนป้องกันจึงทำให้มีความร้อนสูญเสียน้อย โดยปกติจะมีการสูญเสียความร้อนน้อยกว่า 5% ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนจึงมีลักษณะเดียวกันกับประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ตามสมการที่ได้จากการพล็อตกราฟดังนี้

$$y = -Bx + A$$

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

จัดรูปสมการประสิทธิภาพความร้อนในรูปสมการเส้นตรงถดถอยใหม่ได้

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

เมื่อ A และ B เป็นค่าคงที่

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

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

เมื่อ C และ D เป็นค่าคงที่

การคำนวณหาจำนวนแผง PV/T เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อน

การใช้แผง PV/T จำนวน 1แผงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจะให้ค่าพลังงานไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ที่มาก จึงจำเป็นต้องเพิ่มขนาดพื้นที่หรือจำนวนของแผง PV/T ให้มากขึ้นซึ่งจะต้องใช้จำนวนแผงในการผลิตพลังงานมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความต้องการใช้พลังงานด้วยว่าต้องการใช้มากน้อยเพียงใดและขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรการสูญเสียความร้อนของระบบแผง PV/T แต่ละชนิดซึ่งจะเป็นผลโดยตรงต่อค่าประสิทธิภาพของชนิดแผงนั้นๆ หากต้องการทราบว่าจะต้องใช้ขนาดพื้นที่หรือจำนวนแผงมากเท่าใด จำเป็นจะต้องนำสมการประสิทธิภาพของระบบแผง PV/T ที่ได้จากการทดสอบในงานวิจัยนี้มาคำนวณ โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

1. คำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงผลิตได้ใน 1 วัน โดยใช้สมการประสิทธิภาพไฟฟ้าของระบบแผง PV/T กับข้อมูลรายปี แล้วคำนวณหาพลังงานที่แผงผลิตได้ใน 1 วันโดยใช้สมการ

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

2. กำหนดความต้องใช้พลังงานไฟฟ้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้
3. คำนวณหาจำนวนแผง PV/T ที่ต้องการใช้จากข้อมูลความต้องการใช้พลังงานเปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผง PV/T ผลิตได้ใน 1 วัน

ในส่วนของการคำนวณหาพลังงานความร้อนถือเป็นผลพลอยได้จากการเพิ่มจำนวนแผงที่ได้จากการคำนวณโดยมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

1. เมื่อทราบขนาดพื้นที่แผงที่ต้องการแล้ว ให้แทนค่าต่างๆ ในสมการหาค่า ΔT

$$\frac{MCp\Delta T}{HAp} = 0.4157 - 0.0367\frac{(Ti-Ta)}{H}$$

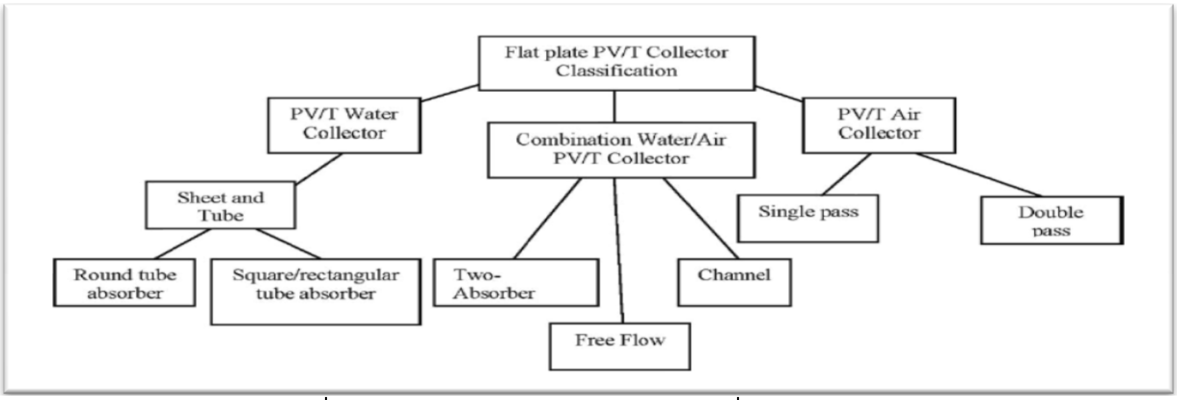
$$\Delta T = \frac{Q_{th-day}}{MC_p}$$

2. นำค่าΔT บวกกับค่าอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น T_i จะได้ค่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้ เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณหาการเพิ่มจำนวนแผงต่อไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

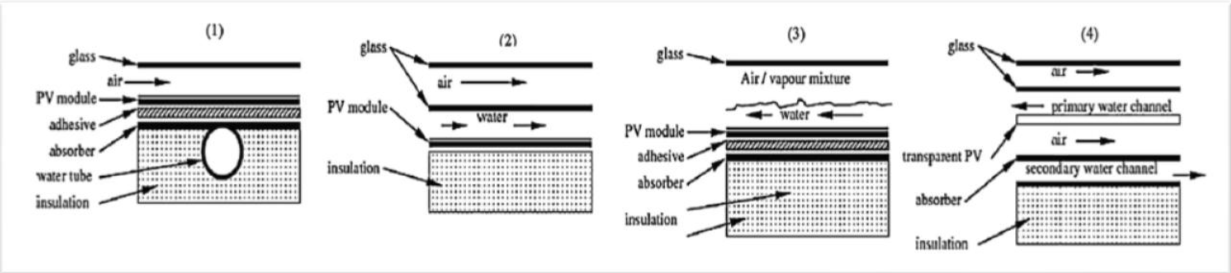
1. **เรื่อง** Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors (Adnan Ibrahim*, Mohd Yusof Othman, Mohd Hafidz Ruslan, Sohif Mat, Kamaruzzaman Sopian; Solar Energy Reserch Institute University Kebangsaan Malaysia) [5]

งานวิจัยนี้เสนอเกี่ยวกับเรื่องการออกแบบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ PV/T รวมถึงการออกแบบระบบแผง PV/T ทั้งที่ใช้น้ำและอากาศในการถ่ายเทความร้อน ในการศึกษาแบ่งการใช้แผง PV/T ออกเป็น 3 รูปแบบได้ดังนี้ แบบใช้น้ำถ่ายเทความร้อน แบบใช้อากาศถ่ายเทความร้อ, และแบบใช้น้ำร่วมกับอากาศถ่ายเทความร้อน รายละเอียดดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงประเภทของแผง PV/T ที่ใช้กันในปัจจุบัน [5]

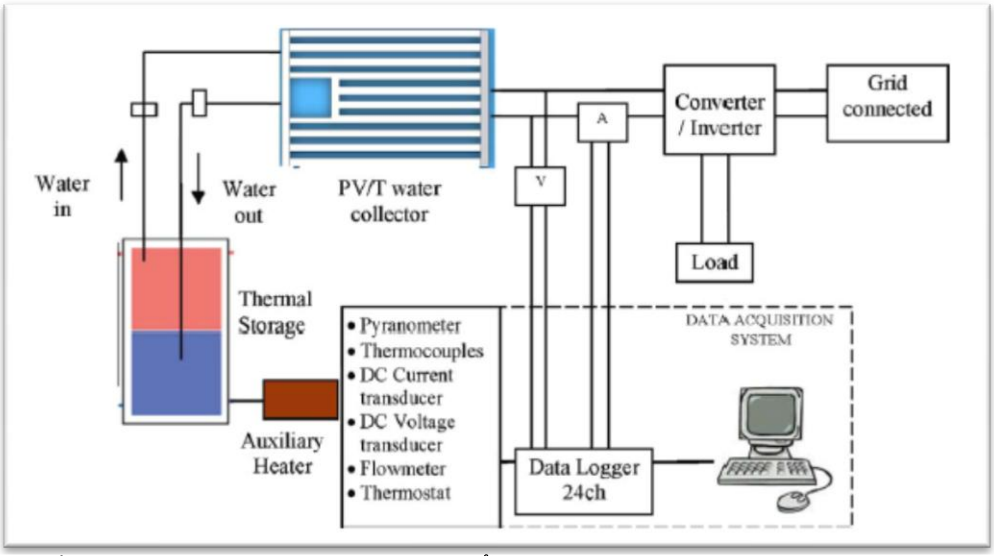
ในบทความวิจัยนี้ได้อธิบายประเภทของแผง PV/T เพิ่มเติมตามงานวิจัยของ Zondag et al.[10] ไว้ 4 ประเภท ดังนี้ 1. แผงที่ประกอบด้วยแผ่นและท่อรับความร้อน (Sheet and Tube) 2. แผงรับความร้อนแบบช่อง (Channel) 3. แผงแบบไหลอิสระ (Free Flow) และ4. แผงแบบตัวดูดความร้อน 2 ชั้น (Two-absorber) รายละเอียดประเภทแผงต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น แสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงรายละเอียดแผง PV/T 4 ประเภทหลักตามงานวิจัยของ Zondag et al. [10]

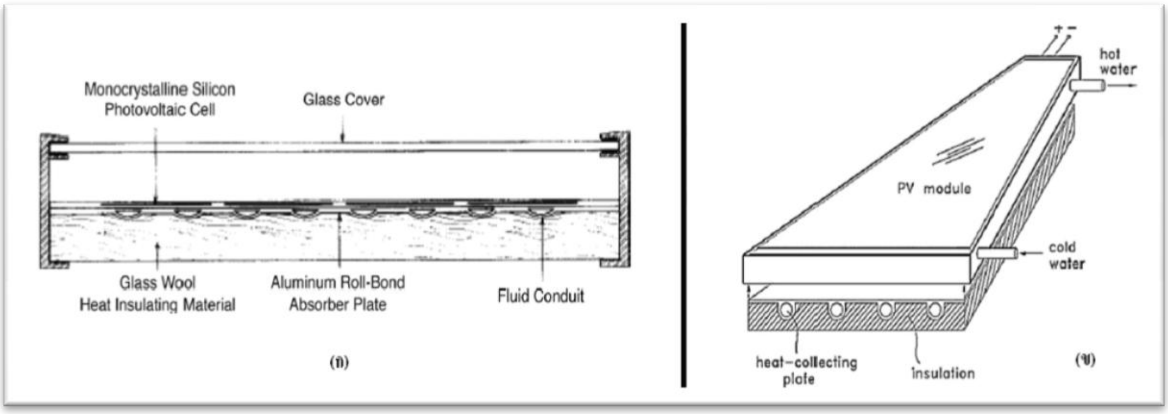
แนวคิดของระบบแผง PV/T แบบน้ำร้อน แผ่นรับความร้อน และท่อ

ในงานวิจัยนี้กล่าวถึงปัญหาการใช้พื้นที่ติดตั้งระบบแผงผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ และระบบแผงผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ ว่าถ้าพื้นที่ติดตั้งมีขนาดจำกัดการติดตั้งแผง 2 ระบบแยกกันก็จะไม่มีพื้นที่ในการติดตั้ง อีกทั้งปัญหาราคา PV cell ที่มีราคาสูงแต่ประสิทธิภาพจะต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยทั่วไปแผง PV จะสามารถแปลงไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 6-8 และจะไม่คงที่หากแผง PV มีความร้อนเพิ่มขึ้น ในรูปที่ 2.20 จากงานวิจัยของ Bazilian et al.[11] แสดงแผงผังระบบ PV/T แบบน้ำร้อน การรวมระบบแผง PV/T ช่วยแก้ปัญหาเรื่องประสิทธิภาพทางไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการใช้น้ำเป็นตัวช่วยให้อุณหภูมิของแผง PV/T เย็นลงตามหลักการการถ่ายเทพลังงาน



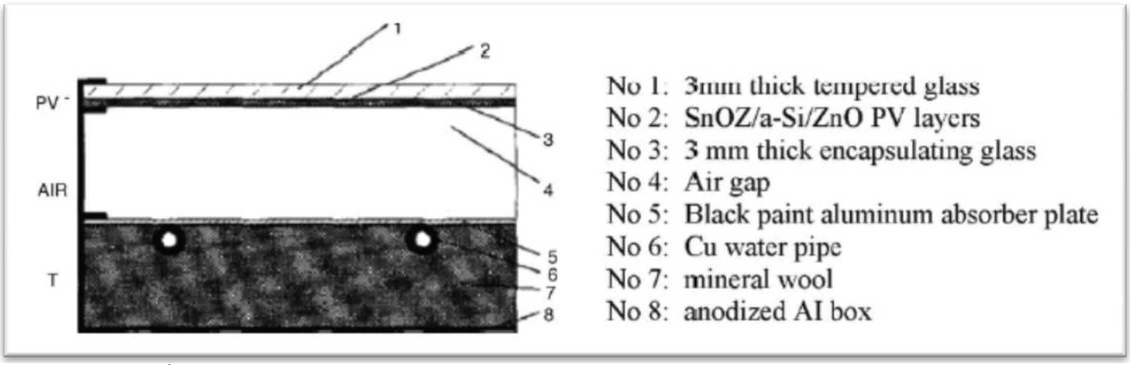
รูปที่ 2.20 แสดงแผงผังระบบ PV/T แบบน้ำร้อนของงานวิจัยของ Brazilian et al. [11]

แนวคิดการสร้างแผงรับความร้อนและระบบท่อ จากงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงแนวคิดงานวิจัยของ Fujisawa et al.[12] ได้ออกแบบโดยใช้ non-selective aluminium พันรอบท่อเป็นตัวรับความร้อน มีการใช้กระจกปิดด้านบนลักษณะคล้ายเป็นกล่อง ใช้ PV cell แบบ Monocrytalline Silicon เป็นตัวรับแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และใช้ฉนวนใยแก้วเพื่อเป็นฉนวนความร้อน รายละเอียดดังรูปที่ 2.21-ก ต่อมาในงานวิจัยของ Huang et al.[13] ทำการศึกษาเปรียบเทียบระบบทำความร้อนแบบเดิมกับระบบทำความร้อนแบบ Integrated Photovoltaic and Thermal solar system (IPVTS) รายละเอียดดังรูปที่ 2.21-ข โดยแผง PV ที่ใช้เป็นแบบ Polycrystalline PV module ซึ่งผลิตมาจาก Polycarbonate แผง IPVTS ให้ประสิทธิภาพความร้อนที่สูงกว่าระบบทำความร้อนแบบเดิมถึงประมาณร้อยละ 76



รูปที่ 2.21 แสดงโครงสร้างแผง PV/T ในงานวิจัยของ (ก) Fujisawa et al. [12]
และ (ข) Huang et al. [13]

จากข้อมูลของ Staebler et al.[14]ได้ทำการศึกษาโดยการใช้ Amorphous Silicon ในแผงรับแสงอาทิตย์ PV/T แบบแผ่นเรียบ โดยใช้ท่อทองแดงเป็นท่อรับความร้อนจากแผ่นรับความร้อน ได้ค่าประสิทธิภาพความร้อนประมาณร้อยละ 32.5 โดยการทดลองน้ำเข้าระบบมีอุณหภูมิอยู่ที่ 30.2^{o}C เมื่อน้ำออกจากระบบมีอุณภูมิสูงสุดที่ 52 ^{o}C และให้ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าประมาณร้อยละ 18.6 รายละเอียดส่วนประกอบของแผง PV/T ของ [14] ดังรูปที่ 2.22

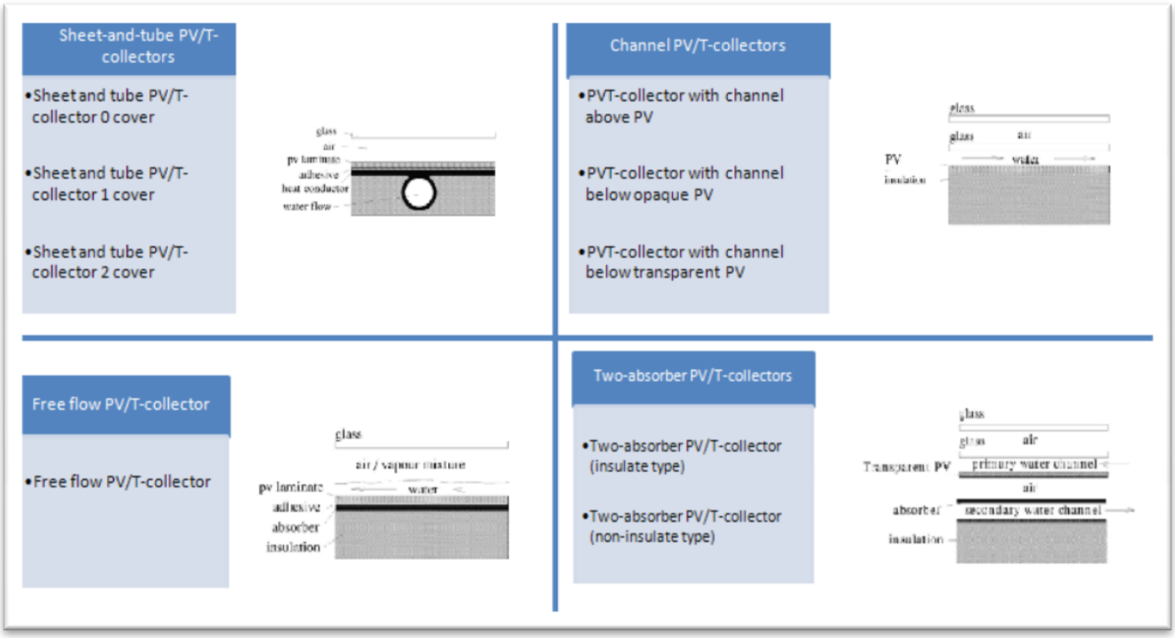


รูปที่ 2.22 แสดงส่วนประกอบของแผง PV/T ในงานวิจัยของ Staebler et al. [14]

2. **เรื่อง** The yield of different combined PV-thermal collector designs (H.A. Zondang[a,]*, D.W de Vries[a], W.G.J. van Helden[b], R.J.C. van Zolingen[c], A.A. van Steenhovan[a]; Eindhoven University of Technology) [10]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อหาผลประสิทธิภาพที่แตกต่างทางไฟฟ้าและความร้อนของแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ PV/T ที่ออกแบบแตกต่างกัน ซึ่งแต่ละแบบจะให้ผลประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและการทำความร้อนมากน้อยต่างกันออกไปโดยงานวิจัยนี้จะให้ความชัดเจนมากขึ้นและให้รู้ถึง

ข้อมูลประสิทธิภาพที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในรูปแบบต่างๆ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งแผง PV/T ออกเป็น 4 ประเภทหลักๆ ได้แก่ 1. แบบแผ่นรับความร้อนและท่อ (Sheet-and-Tube PV/T) 2. แบบช่อง (Channel PV/T) 3. แบบไหลอิสระ (Free Flow) 4. แบบตัวดูดความร้อน 2 ชั้น (Two-absorber PV/T) โดยใน 4 ประเภทดังกล่าวในงานวิจัยแบ่งออกเป็นแผงประเภทย่อยได้ 9 แบบดังรายละเอียดแสดงในรูปที่ 2.23 ดังนี้



รูปที่ 2.23 แสดงประเภทย่อย 9 ประเภทของแผง PV/T ในงานวิจัยของ Zondang et al. [10]

สภาวะแวดล้อมภายนอกที่นำมาคิดวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ได้แก่ อุณหภูมิสภาพแวดล้อมอยู่ที่ 20 $^{\circ}$C ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ 800 W/m^2 ความเร็วลม 1 m/s อัตราการไหลของน้ำในระบบ 76 kg/m^2.h แผงทำมุมเอียงที่ 45° ตารางที่ 2.3 แสดงผลประสิทธิภาพการทำความร้อน ณ อุณหภูมิที่ลดลงเท่ากับ 0 กับผลผลิตทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นพร้อมกันและประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ณ อุณหภูมิที่ลดลงเท่ากับ 0 ของแผง PV/T แบบต่างๆในงานวิจัย

ตารางที่ 2.3 แสดงผลประสิทธิภาพการทำความร้อน ณ อุณหภูมิที่ลดลงเท่ากับ 0 กับผลผลิตทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นพร้อมกันและประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ณ อุณหภูมิที่ลดลงเท่ากับ 0 ของแผง PV/T แต่ละประเภท [10]

Thermal efficiency at zero reduced temperature with simultaneous production of electricity and corresponding electrical efficiency at zero reduced temperature for various PVT-collector design concepts

Panel type	Thermal efficiency	Electrical efficiency
PV laminate	–	0.097
Sheet and tube PVT-collector 0 cover	0.52	0.097
Sheet and tube PVT-collector 1 cover	0.58	0.089
Sheet and tube PVT-collector 2 covers	0.58	0.081
PVT-collector with channel above PV	0.65	0.084
PVT-collector with channel below opaque PV	0.60	0.090
PVT-collector with channel below transparent PV	0.63	0.090
Free flow PVT-collector	0.64	0.086
Two-absorber PVT-collector (insulated type)	0.66	0.085
Two-absorber PVT-collector (non-insulated type)	0.65	0.084
Thermal collector	0.83	–

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้คือแผงรับแสงอาทิตย์แบบ PVT-collector with channel below transparent PV ให้ผลประสิทธิภาพที่ดีที่สุด แต่ถ้าวิเคราะห์ประสิทธิภาพรายปีของแผงระบบทำความร้อนแบบแผ่นรับความร้อนและท่อจะลดลงประมาณร้อยละ 2 รายละเอียดผลประสิทธิภาพรายปีแสดงในตารางที่ 2.4 แต่แผง PV/T แบบแผ่นรับความร้อนและท่อจะง่ายต่อการผลิตซึ่งแผงในลักษณะนี้น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีในการนำไปใช้

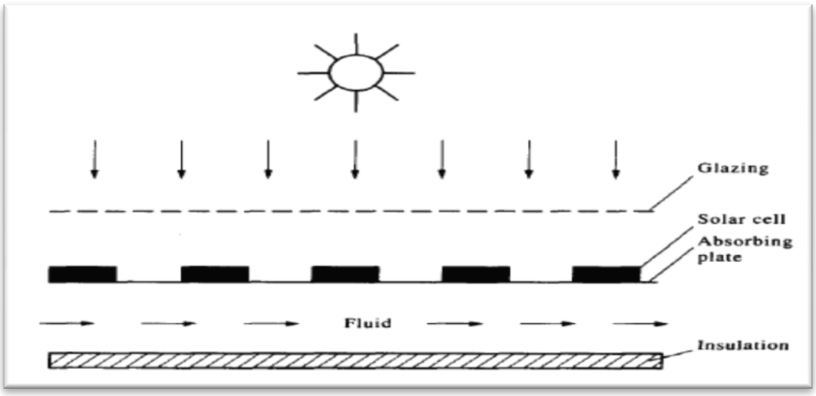
ตารางที่ 2.4 แสดงประสิทธิภาพรายปีของแผง PV/T แต่ละประเภท [10]

System	Annual thermal efficiency	Annual electrical efficiency
PV	–	0.072
Sheet and tube PVT-collector uncovered	0.24	0.076
Sheet and tube PVT-collector 1 cover	0.35	0.066
Sheet and tube PVT-collector 2 covers	0.38	0.058
PVT-collector with channel above PV	0.38	0.061
PVT-collector with channel below opaque PV	0.35	0.067
PVT-collector with channel below transparent PV	0.37	0.065 ประสิทธิภาพดีที่สุด
Free flow PVT-collector	0.34	0.063
Two-absorber PVT-collector (insulated type)	0.39	0.061
Two-absorber PVT-collector (non-insulated type)	0.37	0.061
Thermal collector	0.51	–

3. **เรื่อง** Transient Analysis of a Photovoltaic-Thermal Solar Collector for Co-Generation of Electricity and Hot Air/Water (Jai Prakash; Department of Physics, Ramjas College, University of Delhi, India) [14]

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบแผง PV/T โดยมีแผ่นกระจกหนา 3 มิลลิเมตร โดยมีแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์อยู่บนแผ่นรับความร้อนซึ่ง โดยบนแผงรับความร้อนจะมีเซลล์แสงอาทิตย์รูปวงกลมประมาณร้อยละ 75 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 25 ได้ทาสีดำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดความร้อน ใต้แผ่นรับความร้อนมีท่อน้ำหรือท่ออากาศในการรับถ่ายเทความร้อนออกนอกแผง ระบบน้ำควบคุมระบบโดยใช้ประตู

เปิด-ปิดน้ำ ส่วนในระบบอากาศจะใช้ปั๊มอากาศ ด้านล่างแผงติดฉนวนกันความร้อนไว้ รายละเอียดโครงสร้างของแผง PV/T แสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงส่วนประกอบของแผง PV/T ในงานวิจัยของ Jai Prakash [14]

ผลจากการวิจัยพบว่าใช้ระบบน้ำในการถ่ายเทความร้อนให้ประสิทธิภาพทางความร้อนอยู่ระหว่างร้อยละ 50 ถึง 67 ส่วนในระบบอากาศถ่ายเทความร้อนจะมีประสิทธิภาพทางความร้อนประมาณร้อยละ 17 ถึง 51 รายละเอียดประสิทธิภาพทางความร้อนของงานวิจัยแสดงในตารางที่ 2.5 ในงานวิจัยนี้จะเห็นว่าระบบอากาศมีประสิทธิภาพต่ำกว่าระบบน้ำ

ตารางที่ 2.5 แสดงผลประสิทธิภาพทางความร้อนของแผง PV/T แบบถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศและน้ำ [14]

Thermal efficiency (%) for PV/T panels with air/water heating

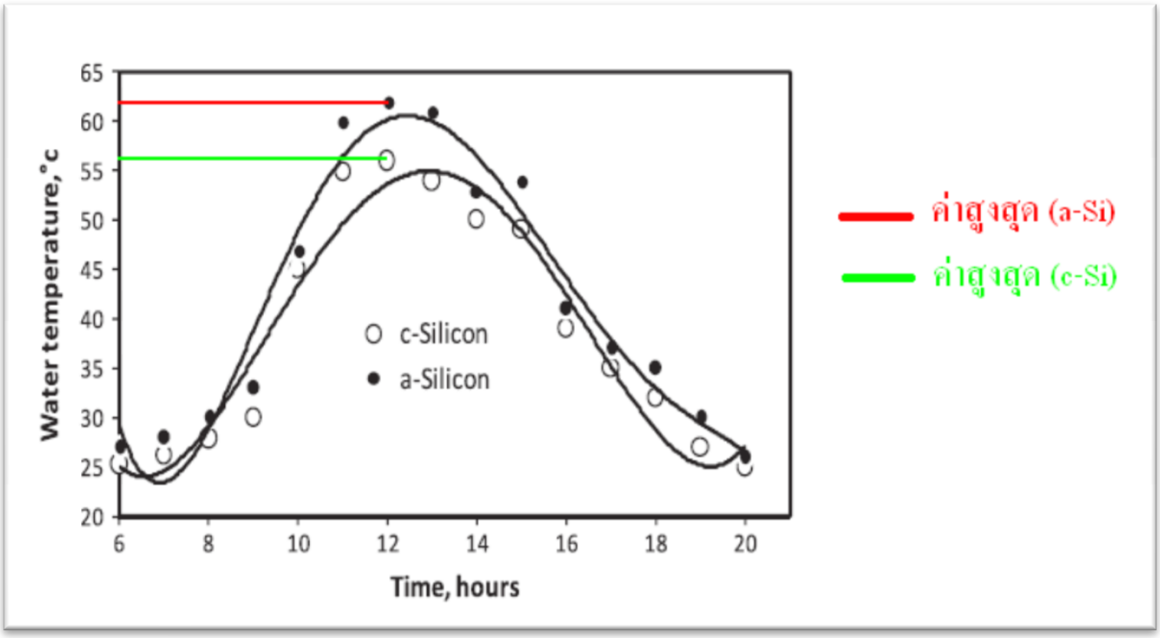
Flow rate (kg/h) / Duct depth (cm)	Air heater			Water heater		
	Average thermal efficiency (%)					
	100	200	300	40	80	120
1	34	45	51	64	66	67
2	22	33	38	57	60	61
3	17	25	31	50	54	55

4. **เรื่อง** Predicting the performance of amorphous and crystalline silicon based photovoltaic solar thermal collectors (Ronak Daghigh[a,b,*], Adnan Ibrahim[a], Goh Li Jin[a], Modh Hafidz Ruslan[a], Kamaruzzaman Sopian[a]; Solar Energy Research Institute, Universiti Kebangsaan Malaysia) [15]

วัตถุประสงค์ในการศึกษาของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบแผง PV/T โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ amorphous silicon (a-Si) และแผง PV/T โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบ

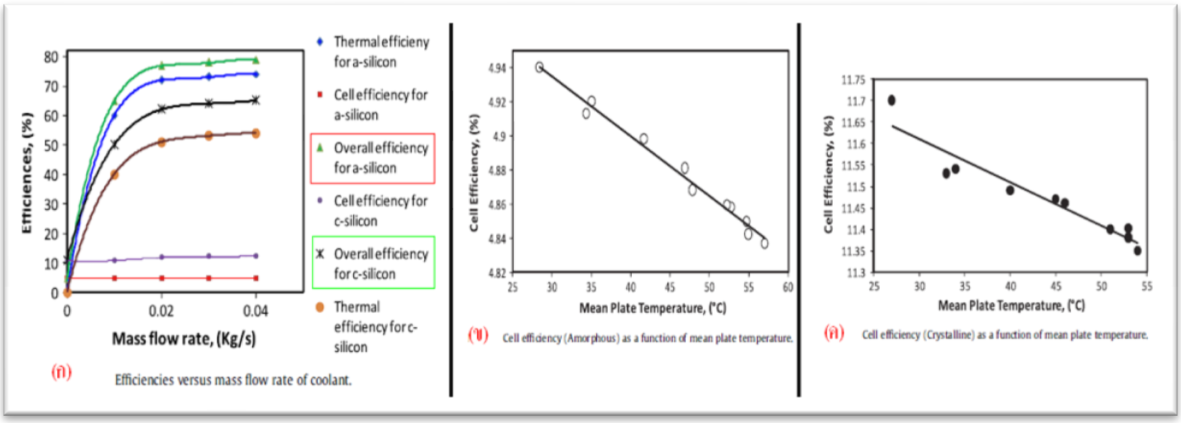
crystalline silicon (c-Si) โดยทำการศึกษาในประเทศมาเลเซีย ในช่วงเดือนมีนาคม ในระบบแผงมีอัตราการไหล 0.02 kg/s ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 700 และ 900 W/m^2 อุณหภูมิของสภาพอากาศภายนอกอยู่ในช่วง 22 และ 32 °C

โดยผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของน้ำจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาและค่าความเข้มแสงอาทิตย์ โดยถ้าความเข้มแสงลดลง อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผงก็จะลดลงด้วยเช่นกัน โดยน้ำที่ออกจากแผงแบบ amorphous silicon (a-Si) และแบบ crystalline silicon (c-Si) มีค่าอุณหภูมิสูงสุดแตกต่างกัน ซึ่งแบบ amorphous silicon (a-Si) มีค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงสูงสุดที่ 62 °C และแบบ crystalline silicon (c-Si) มีค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงสูงสุดที่ 56 °C รายละเอียดดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แสดงกราฟอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผง PV/T แบบ a-Si และแบบ c-Si [15]

ค่าประสิทธิภาพทั้งหมดของแผงแบบ amorphous silicon (a-Si) อยู่ที่ประมาณร้อยละ 71 ถึง 76 และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 4.84 ถึง 5.1 ส่วนค่าประสิทธิภาพโดยรวมของแผงแบบ crystalline silicon (c-Si) อยู่ในช่วงร้อยละ 56 ถึง 62.5 ส่วนประสิทธิภาพทางไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10.9 ถึง 11.6 รายละเอียดของค่าประสิทธิภาพโดยรวมทั้งหมดและค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของ (a-Si) และ (c-Si) แสดงในรูปที่ 2.26 ก,ข,ค ตามลำดับ



รูปที่ 2.26 แสดงกราฟ (ก) ประสิทธิภาพโดยรวมทั้งหมดของแผง PV/T ทั้ง 2 แบบ, (ข) ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า a-Si, (ค) ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า c-Si [15]

จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบได้ว่าแผง PV/T ที่ใช้ amorphous silicon (a-Si) เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าแผงแบบ crystalline silicon (c-Si) หากต้องการทางด้านความร้อนที่ดีก็ควรเลือกใช้แผงแบบ amorphous silicon (a-Si) แต่แผงแบบ crystalline silicon (c-Si) จะให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่สูงกว่า ซึ่งหากดูประสิทธิภาพโดยรวมทั้งหมดแล้วแผงแบบ amorphous silicon (a-Si) จะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า หากต้องการประสิทธิภาพทางความร้อนและประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีควรใช้แบบ amorphous silicon (a-Si) อีกทั้งยังมีราคาที่ถูกกว่า crystalline silicon (c-Si)

5. **เรื่อง การเพิ่มสมรรถนะของของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบหล่อเย็น (นิคม ผึ่งคำ, ภราดร ภักดีวานิช, ยุทธนา ฏิระวนิชย์กุล ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)** [16]

ในงานวิจัยนี้พบว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สูงมากเกินไปจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ จึงมีวัตถุประสงค์ทำการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการลดอุณหภูมิส่วนเกินของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้ใช้แผงแสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยวรุ่น BP 253 โดยในงานวิจัยจะศึกษาโดยการใช้ระบบหล่อเย็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ (PV/TW) และระบบหล่อเย็นด้วยอากาศ (แผ่นครีบ) (PV/TF) โดยการหล่อเย็นด้วยระบบน้ำจะศึกษาที่อัตราการไหลของน้ำในช่วง $2.88 \times 10^{-6}, 3.60 \times 10^{-6}, 4.24 \times 10^{-6}$ และ $5.88 \times 10^{-6}\ m^3/s$ ส่วนระบบหล่อเย็นด้วนอากาศใช้แผ่นครีบศึกษาในสภาพอากาศแบบธรรมชาติ

ผลการทดสอบของงานวิจัยพบว่า ระบบหล่อเย็นด้วนน้ำที่มีอัตราการไหลในช่วง $4.24 \times 10^{-6} m^3/s$ ให้ผลดีที่สุด โดยอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่ใช้ระบบหล่อเย็นจะมีอุณหภูมิที่ 71.40°C เมื่อใช้ระบบน้ำเป็นตัวลดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ (PV/TW) อุณหภูมิแผงลดลงเหลือ

48.25 °C จึงทำให้แผงมีอุณหภูมิลดลงถึง 23.15 °C ซึ่งอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้ามีอุณหภูมิที่ประมาณ 30.10 °C และอุณหภูมิน้ำไหลออกประมาณ 39.20 °C ส่วนระบบหล่อเย็นแบบอากาศใช้แผ่นครีบส่งผลให้อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 10.70 °C ส่วนประสิทธิภาพทางไฟฟ้าในระบบน้ำและระบบอากาศ(ครีบ) ประสิทธิการทำการทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.46 และ 0.32 ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.26 และ 5.39 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงผลการทดสอบแผง PV/TW และ PV/TF [16]

The PV/T collectors	Flow rate ($x10^{-6}$ m^3/s)	Temperature (°C)				
		PV module alone	PV/T system	Decreasing	Inlet water	Outlet water
The PV/TW system	2.88	66.15	45.65	20.50	27.30	36.90
	3.60	69.95	48.90	21.05	29.00	36.60
	4.24	71.40	48.25	23.15	30.10	39.20
	5.88	69.50	48.05	21.45	29.20	34.30
The PV/TF system	Fins	67.15	56.45	10.70	-	-

The PV/T collectors	Flow rate ($x10^{-6}$ m^3/s)	Increasing of electrical efficiency (%)	Increasing of electrical yield (%)
The PV/TW system	2.88	0.38	6.00
	3.60	0.42	6.83
	4.24	0.46	7.26
	5.88	0.45	6.98
The PV/TF system	Fins	0.32	5.39

6. **เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบ PV/T (วิทยา ยงเจริญ และคณะ; ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)** [17]

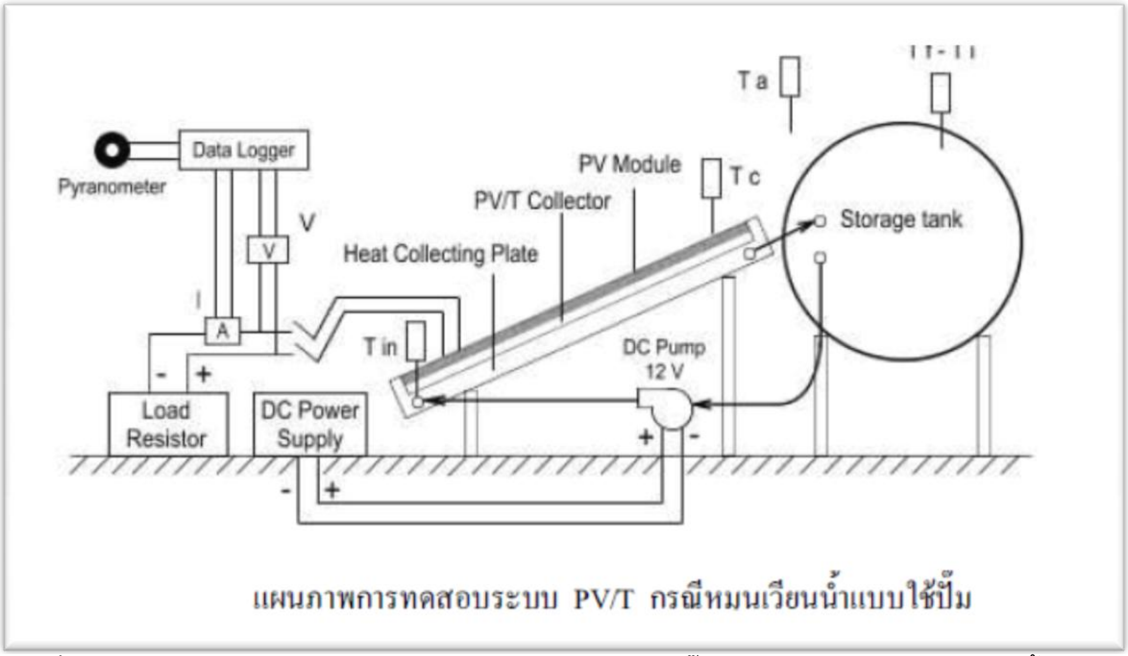
งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบ PV/T โดยทำการทดลอง ณ บริเวณเขตกรุงเทพมหานคร ส่วนประกอบของแผง PV/T มีแผง PV ขนาด 40 W ด้านหลังแผง PV มีแผ่นอลูมิเนียมที่มีขดท่อทองแดงติดอยู่โดยอาศัยการระบายความร้อนภายในแผงด้วยน้ำ ซึ่งแผง PV และแผ่นอลูมิเนียมถูกบรรจุในกล่องที่มีฉนวนและมีฝาบนเป็นกระจกใส การทดลองมีการเก็บข้อมูลโดยใช้ Data Logger บันทึกข้อมูลทุกๆ 3 นาทีเป็นเวลา 6 วัน ตั้งแต่เวลา 9.00-17.00 น. ข้อมูลที่ศึกษาประกอบด้วย ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ ข้อมูลอุณหภูมิบรรยากาศ อุณหภูมิของแผง อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง อัตราการไหลของน้ำ และแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการทดลองสรุปได้ว่าแผง PV/T จะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยแผงที่ทำการทดสอบมีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเฉลี่ยร้อยละ 2.4 ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยร้อยละ 52.7 และประสิทธิภาพรวมเฉลี่ยร้อยละ 55.1 อัตราการไหลของน้ำเข้าแผง 0.62

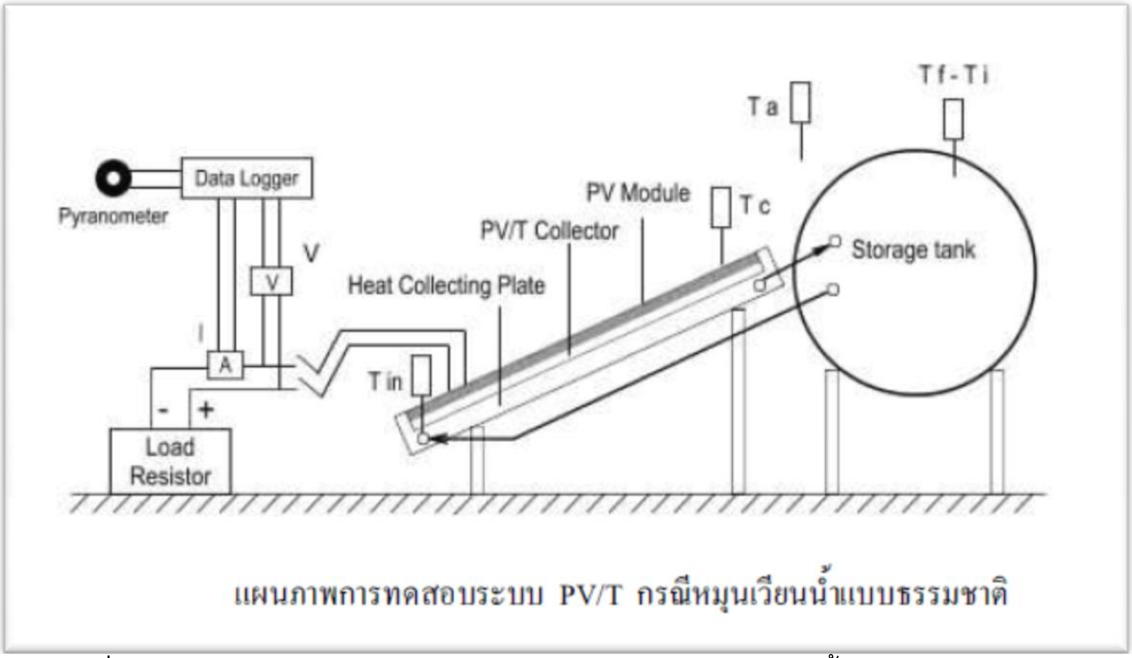
kg/min และจากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำประสิทธิภาพทางความร้อนจะเพิ่มขึ้นด้วย

7. **เรื่อง สมรรถนะของแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อน ชนิดแผ่นเรียบแบบใช้น้ำถ่ายเทความร้อน สำหรับใช้กับบ้านพักอาศัย (เธียรวิชญ์ เถาว์หิรัญ; เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)** [18]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสมรรถนะของระบบแผง PV/T แบบแผ่นเรียบและท่อในการรับความร้อนเพื่อจะประยุกต์ใช้ได้ในบ้านพักอาศัย งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะของระบบแผงรับแสงอาทิตย์ PV/T ชนิดแผ่นเรียบแบบใช้น้ำในการรับพลังงานความร้อน โดยผู้ทำการวิจัยใช้แผงทดสอบ PV/T ขนาด 0.79 ตารางเมตร ซึ่งระบบแผงจะต่อท่อน้ำเข้ากับถังเก็บน้ำร้อนที่มีปริมาตรน้ำ 120 ลิตร กรณีที่ใช้ในการทดสอบมี 2 กรณี คือ กรณีใช้ปั๊มขนาดเล็กในการหมุนเวียนน้ำ และอีกกรณีคือหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ รายละเอียดรูปที่ 2.27 แสดงแผงผังของระบบทดสอบแผง PV/T กรณีใช้ปั๊มขนาดเล็กในการหมุนเวียนน้ำ และรายละเอียดรูปที่ 2.28 แสดงแผงผังของระบบทดสอบแผง PV/T กรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ ทดสอบแผงที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ตำแหน่งการตั้งแผงหันไปทางทิศใต้ ทำมุมกับพื้น 15° ข้อมูลที่ตรวจวัด ได้แก่ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นในถัง อุณหภูมิน้ำเข้าแผง และอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 8:00 – 16:00 น. ใช้เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติทุกๆ 2 นาที นำข้อมูลมาคำนวณและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพทางความร้อน ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า และหาพลังงานความร้อนรายปี



รูปที่ 2.27 แสดงแผงผังของระบบทดสอบแผง PV/T กรณีใช้ปั๊มขนาดเล็กในการหมุนเวียนน้ำ [18]



รูปที่ 2.28 แสดงแผงผังของระบบทดสอบแผง PV/T กรณีหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ [18]

ในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวต้านทานชนิดลวดพัน (Wire Wound Resister) จำนวน 2 ตัวต่อแบบอนุกรม เพื่อเป็นการจำลองโหลดเทียมเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่แผงผลิตได้ ซึ่งไม่มีการใช้เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าและแบตเตอรี่ในการประจุไฟฟ้าที่ได้จริงจากแผง PV/T ที่ผลิตได้

ผลของการทดสอบนี้ระบุว่ามีประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ย 25% ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเฉลี่ย 3% ดังนั้นประสิทธิภาพเฉลี่ยรวมของระบบเท่ากับ 28% ส่วนพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปี มีค่าเท่ากับ 1,023 MJ และ 127 MJ ตามลำดับ

บทที่ 3

รายละเอียดชุดอุปกรณ์ทดสอบและการดำเนินการทดสอบ

การทดสอบเพื่อหาสมรรถนะการผลิตน้ำร้อนและไฟฟ้าของแผง PV/T ในอัตราการไหลของของน้ำเข้าแผงที่ 72 ลิตรต่อชั่วโมง โดยภายในแผงทดสอบประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Amorphous Silicon เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและท่อทองแดงขด ทดสอบแผง PV/T บริเวณอาคารของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

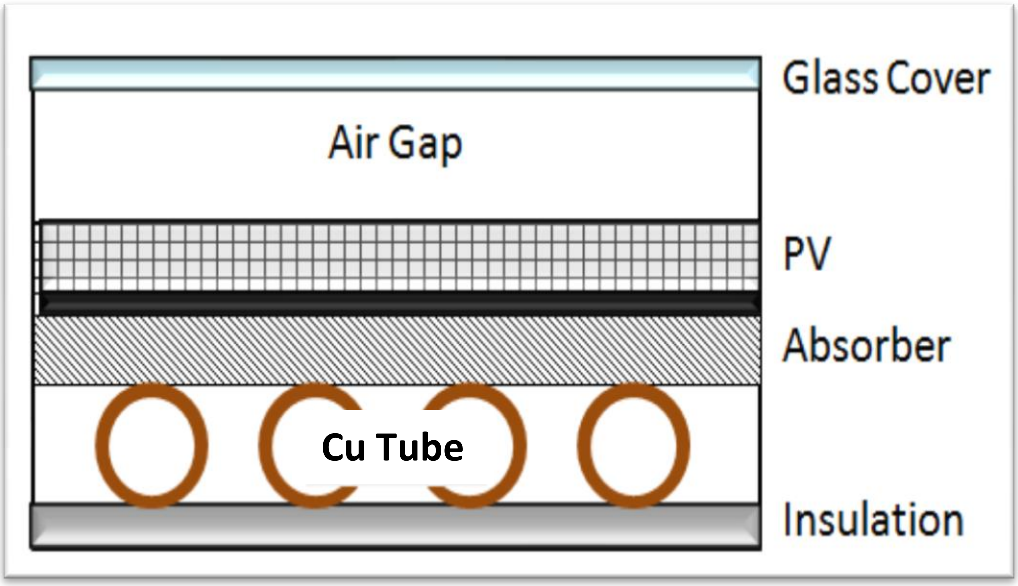
ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. แผงรับแสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน (PV/T) แบบ Flat-Plate

แผงแบบ PV/T เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Amorphous Silicon โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดของแผง 63.5 x 124.5 ตารางเซนติเมตร ขนาดพื้นที่ 0.79 ตารางเมตร อุณหภูมิการทำงานของแผงตั้งแต่ -40 ถึง 85 $^{\circ}$C กำลังไฟฟ้าของแผงที่ระบุ 40 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด 62.2 โวลต์ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร 1.14 แอมป์ แรงดันไฟฟ้าขณะแผงทำงาน 44.8 โวลต์ กระแสไฟฟ้าขณะแผงทำงาน 0.93 แอมป์ และประสิทธิภาพของแผงภายใต้ Standard Test Conditions 5.2 %

รูปที่ 3.1 แผง PV/T

โดยภายในแผง PV/T มีแผ่นอลูมิเนียมรับความร้อนและท่อทองแดงขดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร เป็นท่อเดี่ยวต่อแบบอนุกรม ด้านบนแผงปิดด้วยแผ่นกระจกใส ด้านล่างของแผงมีแผ่นฉนวนกันความร้อนขนาด 0.25 เซนติเมตร ด้านข้างของแผงระหว่างแผ่นกระจกใสและแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ปิดด้วยฉนวนกันความร้อน กล่องของแผงทำด้วยแผ่นเหล็กพ่นสีกันสนิมปิดทับด้วยแผ่นโลหะบางและฉนวนกันความร้อน ในรูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดส่วนประกอบภายในแผงดังนี้



รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดส่วนประกอบภายในแผง PV/T

รูปที่ 3.3 ท่อทองแดงขดของแผง PV/T

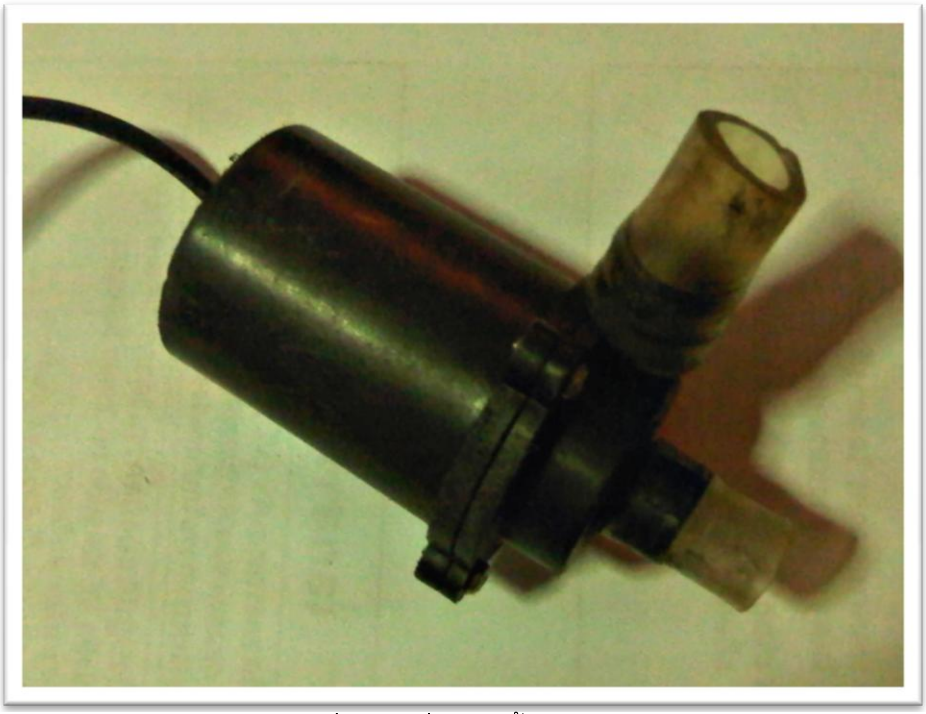
2. ถังเก็บน้ำร้อน (Storage Tank)

ถังเก็บน้ำร้อนขนาดบรรจุน้ำ 200 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 มิลลิเมตร ความสูงของถัง 700 มิลลิเมตร ปริมาตรน้ำในถังที่ใช้ในการทดสอบ 80 ลิตร ตัวถังผลิตจากสแตนเลส มีฉนวนกันความร้อนหุ้มรอบถัง

รูปที่ 3.4 ถังเก็บน้ำร้อน

3. เครื่องสูบน้ำแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (Water Pump DC)

เครื่องสูบน้ำแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ระบบไฟ 9.6 Watt อัตราการไหลของน้ำเมื่อผ่านเครื่องสูบประมาณ 750 ลิตรต่อชั่วโมง ความสูงของการปั๊ม (Pump Head) 3 เมตร กำลังไฟฟ้า 4-9 วัตต์ ประสิทธิภาพของเครื่องสูบ 98 % และอายุการใช้งานอย่างต่ำ 30,000 ชั่วโมง สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานโดยไม่ต้องบำรุงรักษา



รูปที่ 3.5 เครื่องสูบน้ำ 12 VDC

4. แบตเตอรี่ขนาด 12V (Battery)

แบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกออกแบบเพื่อใช้การจ่ายประจุมีค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่อย่างต่อเนื่อง มีความแตกต่างจากแบตเตอรี่สำหรับการสตาร์ทเครื่องยนต์ซึ่งได้รับการออกแบบให้จ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งแบตเตอรี่โดยทั่วไปแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ แบบปฐมภูมิ และแบบทุติยภูมิ โดยแบตเตอรี่ปฐมภูมิจะหมายถึงแบตเตอรี่ที่ใช้งานได้เพียงครั้งเดียวแล้วจะต้องทิ้งเพราะไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีแบบย้อนกลับได้ ส่วนแบตเตอรี่ทุติยภูมิจะเป็นแบบสามารถทำการเก็บประจุไฟฟ้าใหม่และนำกลับมาใช้งานได้อีก โดยทั่วไปในระบบ เซลล์แสงอาทิตย์มักจะนิยมใช้แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มีดังนี้

1. เปลือกและฝาแบตเตอรี่ โดยทั่วไปทำจากยางแข็งหรือพลาสติกทนทานกรดกำมะถัน
2. กลุ่มแผ่นธาตุบวกและลบ เป็นโครงตะกั่วผสมระหว่างตะกั่วกับพลวง หรือตะกั่วกับแคลเซียม
3. แล้วฉาบอัดด้วยผงตะกั่วบริสุทธิ์ผสมสารเคมี แผ่นธาตุบวกมีเนื้อสีน้ำตาล แผ่นธาตุลบมีเนื้อสีเทา
4. แผ่นกั้น ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุบวกและลบสัมผัสกัน และช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ดีระหว่างแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบเมื่อมีน้ำกรด

5. น้ำกรดผสมหรือน้ำยาอิเล็กโทรไลท์ เป็นส่วนผสมระหว่างน้ำกรดชนิดเข้มข้นและน้ำกลั่นเพื่อทำให้เจือจาง ในประเทศเขตร้อนใช้น้ำกรดผสมที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.240-1.260 ที่อุณหภูมิ 20°C
6. ฝาจุกแบตเตอรี่ ทำหน้าที่รักษาและไม่ให้น้ำกรดผสมออกจากช่องเซลล์แบตเตอรี่พร้อมระบายก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี

แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดสอบขนาด 12V 7Ah และแบตเตอรี่ขนาด 12V 18Ah เพื่อใช้ในการประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 3.6 แบตเตอรี่

5. เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า (Charge Controller)

เครื่องควบคุมการประจุ (Charge controller) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ชาร์จประจุไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาประจุให้กับแบตเตอรี่ ซึ่งประจุนี้จะต้องไม่ให้มีการประจุมากเกินไป (Over charge) ซึ่งจะมีผลทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัด มีผลทำให้เสื่อมสภาพเร็ว และเมื่อแบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วก็จะต้องตัดการชาร์จทันที กระแสไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงกว่าแบตเตอรี่ประมาณร้อยละ 15 ถึง 20

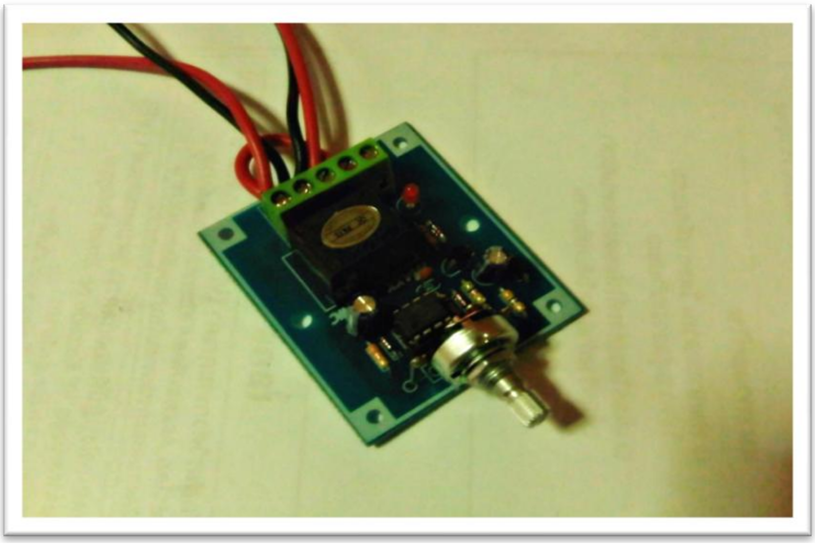
ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดเครื่องควบคุมประจุยี่ห้อ LEONICS รุ่น Apollo S120-AM ที่ใช้ในการทดสอบ

1. Input 40-60 VDC Limit 10 A.
2. LED Status display. 2.1 Display-Low battery status. 2.2 Display-Load status. 2.3 Display-Charge status.
3. Plus Inverter 150 VA Built in.
4. Outlet Plug 220 V with safety switch.
5. Reverse polarity protection.
6. PV backfeed current protection.
7. Boot charge battery when under 14.5 V/Cut off charge when over 14.5 V.
8. Charge efficiency 95% depend on wire resistance.
9. DC to AC, efficiency 85%
10. Battery protection. 10.1 Lower Discharge Protection, Off Load if Battery Level less than 10.5 V. 10.2 Over Charge Protection, Off Load if Battery Level over than 14.5 V.
11. Dimension 12 x 25 x 38 cm.

รูปที่ 3.7 เครื่องควบคุมประจุไฟฟ้า

6. เครื่องควบคุมการตัดกระแสไฟฟ้า (Timer)

เครื่องควบคุมการตัดกระแสไฟฟ้าในการทำงานของเครื่องสูบน้ำขนาดเล็กแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์แบบ PV/T โดยเครื่องควบคุมการตัดไฟฟ้าประยุกต์ใช้มาจากแผงวงจรใบปัดน้ำฝนในรถยนต์ยี่ห้อ Maxx Tronic



รูปที่ 3.8 เครื่องควบคุมการตัดกระแสไฟฟ้า

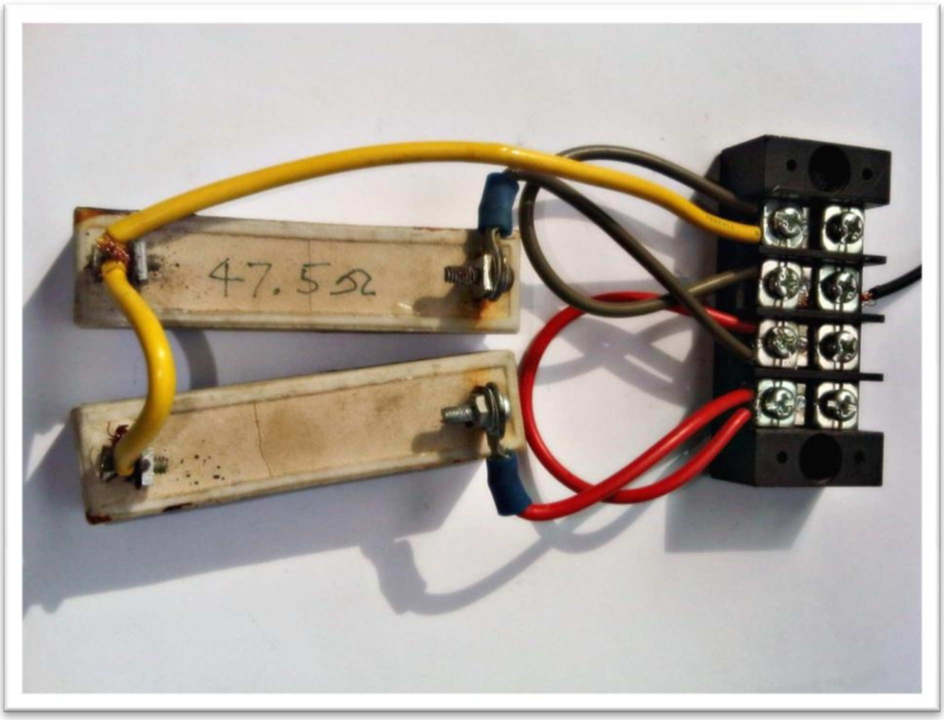
7. มาตรวัดน้ำ

มาตรวัดน้ำยี่ห้อ ASAHI ติดตั้งกับตัวถังเก็บความร้อน เพื่อใช้ในการวัดปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำร้อนที่ใช้ในการทดสอบ 80 ลิตร

รูปที่ 3.9 มาตรวัดน้ำ

8. ตัวต้านทานแบบไวร์วาวด์ (Wire Wound)

โครงสร้างของตัวต้านทานแบบนี้เกิดจากการใช้ลวดที่ทำมาจากโลหะผสม 2 หรือ 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิล-โครเมียม หรือ ทองแดง-นิกเกิล เพราะว่าเป็นโลหะผสมที่มีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเพียงเล็กน้อยขณะที่ตัวต้านทานมีความร้อนเกิดขึ้น พันบนเส้นลวดแกนเซรามิค จากนั้นต่อเส้นลวดตัวนำด้านหัวและท้ายของเส้นลวดที่พัน ค่าความต้านทานขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำเป็นลวดตัวนำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนเซรามิคและความยาวของลวดตัวนำ รอบนอกจะเคลือบสารประเภทเซรามิคอีกชั้นหนึ่ง ค่าความต้านทานของตัวต้านทานชนิดนี้จะมีค่าต่ำเพราะเนื่องจากต้องการให้มีกระแสไฟฟ้าไหลได้สูง ทนความร้อนได้ดี และสามารถระบายความร้อนโดยใช้อากาศถ่ายเท ในงานวิจัยนี้ใช้ตัวต้านทานแบบนี้มาต่อกันเป็นแบบอนุกรม มีค่าความต้านทานรวม 47.5 Ω มาเป็นต้านทานสำหรับหาค่ากำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่



รูปที่ 3.10 ตัวต้านทานแบบไวร์วาวด์

9. ระบบท่อน้ำและท่อฉนวนหุ้มกันความร้อน

ระบบท่อน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ท่อน้ำออกจากถังเพื่อเข้าแผงและท่อน้ำออกจากแผงเพื่อเข้าถัง ช่วงท่อน้ำเข้าแผง (ท่อน้ำเย็น) ใช้ท่อสายยางหุ้มฉนวนกันความร้อนปิดทับด้วยเทปกาวฟรอยด์ ส่วนท่อน้ำออกจากแผง (ท่อน้ำร้อน) ใช้สายถักสแตนเลสหุ้มฉนวนกันความร้อนปิดทับด้วยเทปกาวฟรอยด์

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

1. เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)

เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger) ยี่ห้อ Fluke รุ่น 2625 Hydra data logger ซึ่งหน้าที่ของเครื่องใช้ในการวัดและเก็บข้อมูลอุณหภูมิของน้ำและอุณหภูมิอากาศในจุดต่างๆที่ต่อกับเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple), วัดความเข้มแสงที่ต่อกับเครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer), และวัดค่าโวลต์ของแบตเตอรี่ที่ต่อกับแผง PV/T

รูปที่ 3.11 เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ

2. คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูล (Computer)

คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูลชนิดพกพา (Note book) ยี่ห้อ DELL มีหน้าที่เป็นจอแสดงผล (Monitor) ที่เชื่อมต่อกับเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger) ซึ่งจอแสดงผลจะมีการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 2 นาทีตามการบันทึกข้อมูลของเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ จอแสดงผลจะแสดงข้อมูลกราฟและข้อมูลตัวเลขในโปรแกรมของ Fluke Hydra data logger

รูปที่ 3.12 คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูล

3. เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer)

เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer) มีหน้าที่วัดความเข้มแสงที่เกิดขึ้นบริเวณที่ทำการทดสอบแผง PV/T โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร โดยเครื่องวัดความเข้มแสงที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ใช้ Middleton Solar รุ่น EQ08-S ซึ่งเครื่องวัดความเข้มแสงจะเชื่อมต่อกับเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger) เครื่องวัดความเข้มแสงสามารถรับแสงได้ 180° โดยมีแผ่น Thermopile sensor เคลือบด้วยสีดำครอบด้วยโดมแก้วครึ่งวงกลม 2 ชั้นเป็นตัวรับแสงอาทิตย์ และตัวเครื่องเคลือบด้วยสีขาว

รูปที่ 3.13 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์

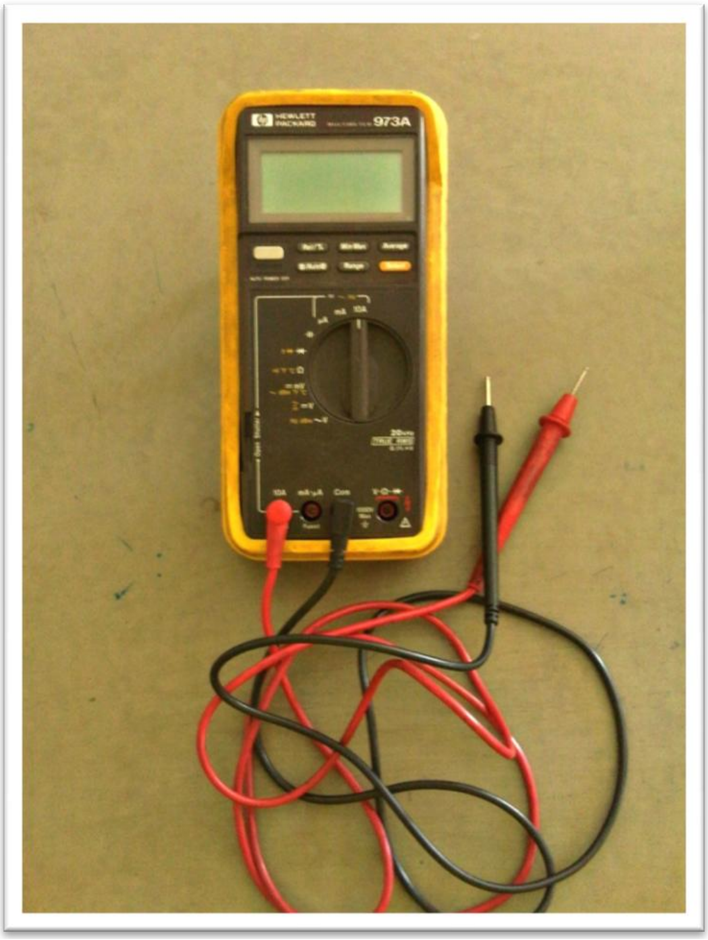
4. เครื่องวัดโวลต์มิเตอร์

เครื่องวัดโวลต์มิเตอร์ยี่ห้อ Fluke 16 Multimeter มีหน้าที่วัดแรงดันไฟฟ้า (Volt) ในการทดสอบการปล่อยประจุไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่ได้รับการประจุไฟฟ้าจากแผง PV ตัวเครื่องสมารถวัดได้ทั้งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ วัดอุณหภูมิได้ในช่วง -40 ถึง 400 °C ได้อย่างแม่นยำ และสามารถวัดค่าโอห์มได้

รูปที่ 3.14 เครื่องวัดโวลต์มิเตอร์

5. เครื่องวัดแอมป์มิเตอร์

เครื่องวัดแอมป์มิเตอร์ยี่ห้อ HP รุ่น 937A เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้า (Ampere) ในการทดสอบการปล่อยประจุไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่ได้รับการประจุไฟฟ้าจากแผง PV ในงานวิจัยนี้

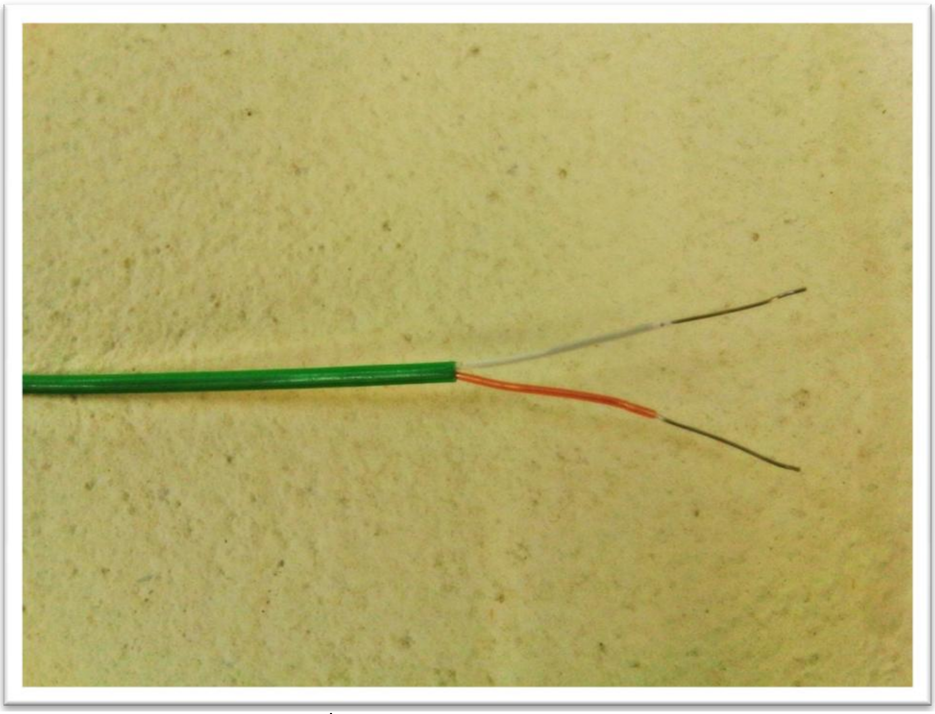


รูปที่ 3.15 เครื่องวัดแอมป์มิเตอร์

6. เทอร์โมคัปเปิลแบบ K (Thermocouple Type K)

เทอร์โมคัปเปิล คืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ทฤษฎีการทำงานของเทอร์โมคัปเปิลเกิดจากผลของเทอร์โมอิเล็คทริค เกิดจากการส่งผ่านทางไฟฟ้าและความร้อนของโลหะที่ต่างกันจึงทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าตกคร่อมที่โลหะนั้น ความต่างศักย์นี้จะสัมพันธ์กับความจริงที่ว่า อิเล็กตรอนในปลายด้านร้อนของโลหะจะมีพลังงานความร้อนมากกว่าปลายทางด้านเย็น จึงทำให้อิเล็กตรอนมีความเร็วไปหาปลายด้านเย็น ที่อุณหภูมิเดียวกันนี้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะแปลเปลี่ยนไปตามโลหะที่ต่างชนิดกันด้วย ในการทดสอบนี้เลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะผลิตจากธาตุนิกเกิลเป็นส่วนประกอบหลัก โดยขั้ว

หนึ่งจะเป็นนิกเกิลที่ผสมกับอลูมิเนียม ส่วนอีกด้านจะเป็นนิกเกิลผสมกับโครเมียม ปัจจุบันเทอร์โมคัปเปิลแบบ K ถูกกำหนดค่ามาตรฐานจะไม่ใช้โลหะผสมแต่จะผสมธาตุพิเศษเข้าไปปรับปรุงคุณภาพของเทอร์โมคัปเปิลแทน การใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K จะใช้วัดอุณหภูมิในช่วง –180˚C ถึงประมาณ 1,350˚C สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี ให้อัตราการเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่น ๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน



รูปที่ 3.16 เทอร์โมคัปเปิลแบบ K

7. โปรแกรม Microsoft Excel

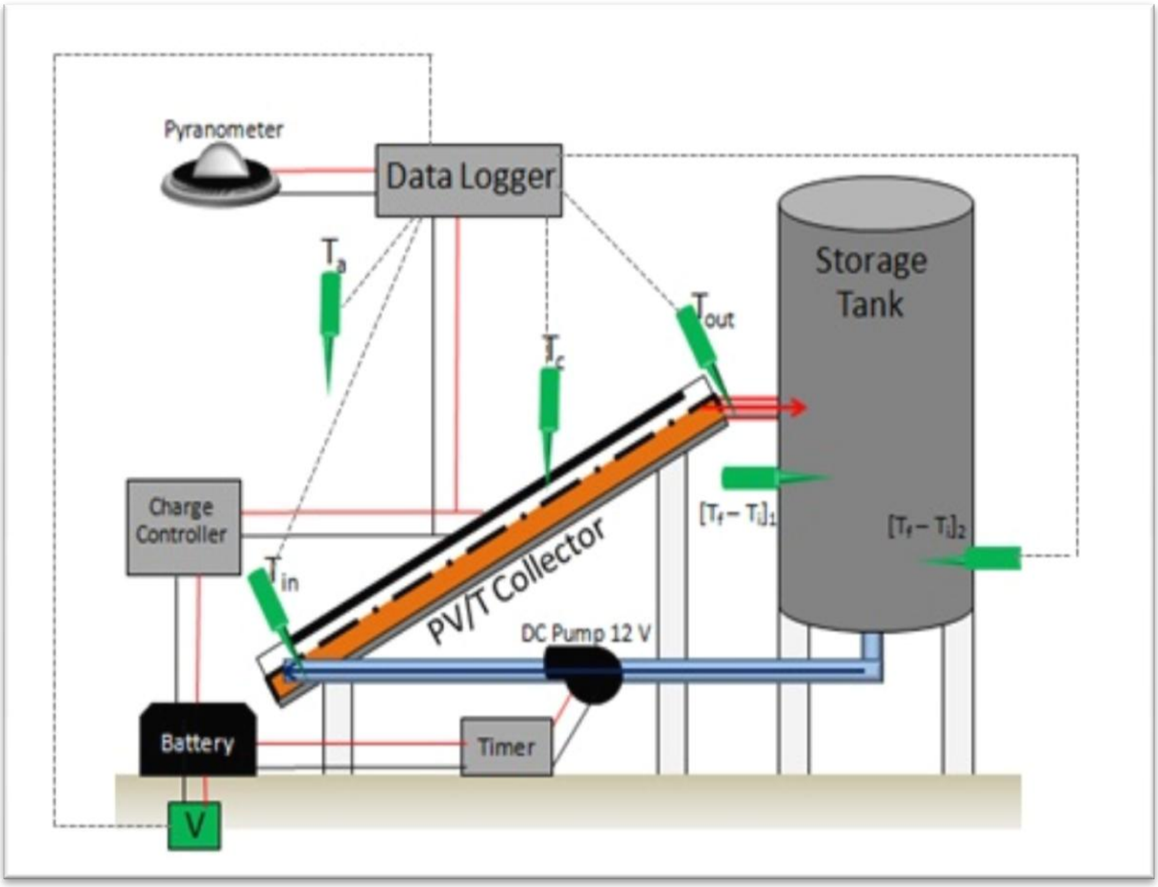
โปรแกรม Microsoft Excel เป็นโปรแกรมพื้นฐานที่ใช้เก็บข้อมูลตารางงาน มีสูตรคำนวณตารางแต่ละช่องจะมีชื่อกำกับไว้ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน แนวตั้งจะมีชื่อภาษาอังกฤษกำกับอยู่ มีทั้งหมด 256 Column ส่วนแนวนอนจะมีตัวเลขกำกับอยู่มีทั้งหมด 65,536 Row ซึ่งแนวตั้งกับแนวนอนที่ตัดกันจะเรียกว่า Cell

รายละเอียดการทดสอบและขั้นตอนการทดสอบ

ผู้ทำวิจัยได้ทำการศึกษาหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบ PV/T โดยทำการทดลองช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ.2555 ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยใช้พื้นที่บริเวณดาดฟ้าของอาคารอนุสาสน์ยันตรกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่โล่งแจ้งไม่มีเงาที่เกิดจากวัตถุมาบดบังแสงอาทิตย์ ในการทดสอบใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบ PV/T ซึ่งทำมาจากแผง PV ขนาด 40 W, 60 V นำมาประกอบเข้ากับแผงอลูมิเนียมรับความร้อนที่มีท่อทองแดงขดติดอยู่เพื่อใช้ระบายความร้อนโดยมีน้ำเป็นตัวรับความร้อน ส่วนประกอบทั้งหมดถูกบรรจุลงในกล่องที่บุด้วยฉนวนกันความร้อนและมีกระจกใสปิดเป็นฝาส่วนบนของแผง การตั้งแผงรับแสงอาทิตย์หันหน้าแผงไปทางทิศใต้ แผงทำมุมกับพื้นในมุม 15° ซึ่งเป็นทิศและมุมที่ทำให้ได้รับแสงอย่างเต็มประสิทธิภาพ ช่วงเวลาในการทดสอบแผง PV/T ตั้งแต่เวลา 8:00 – 16:00 น. ในการบันทึกข้อมูลใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ซึ่งเครื่องจะบันทึกข้อมูลทุกๆ 2 นาที ข้อมูลที่มีการบันทึกจะประกอบไปด้วย อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง อุณหภูมิน้ำในถังเก็บ อุณหภูมิบรรยากาศ อุณหภูมิแผง ความเข้มแสงอาทิตย์ และแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากแบตเตอรี่เก็บไฟฟ้า ปริมาณน้ำในถังเก็บที่ใช้ในการทดสอบ 80 ลิตร โดยใช้อัตราการไหลของน้ำเข้าแผงประมาณ 1.2 ลิตรต่อนาที หรือ 72 ลิตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดจุดตรวจวัด ค่าที่ตรวจวัด และเครื่องมือการตรวจวัดการทำงานของระบบแผงทดสอบ PV/T

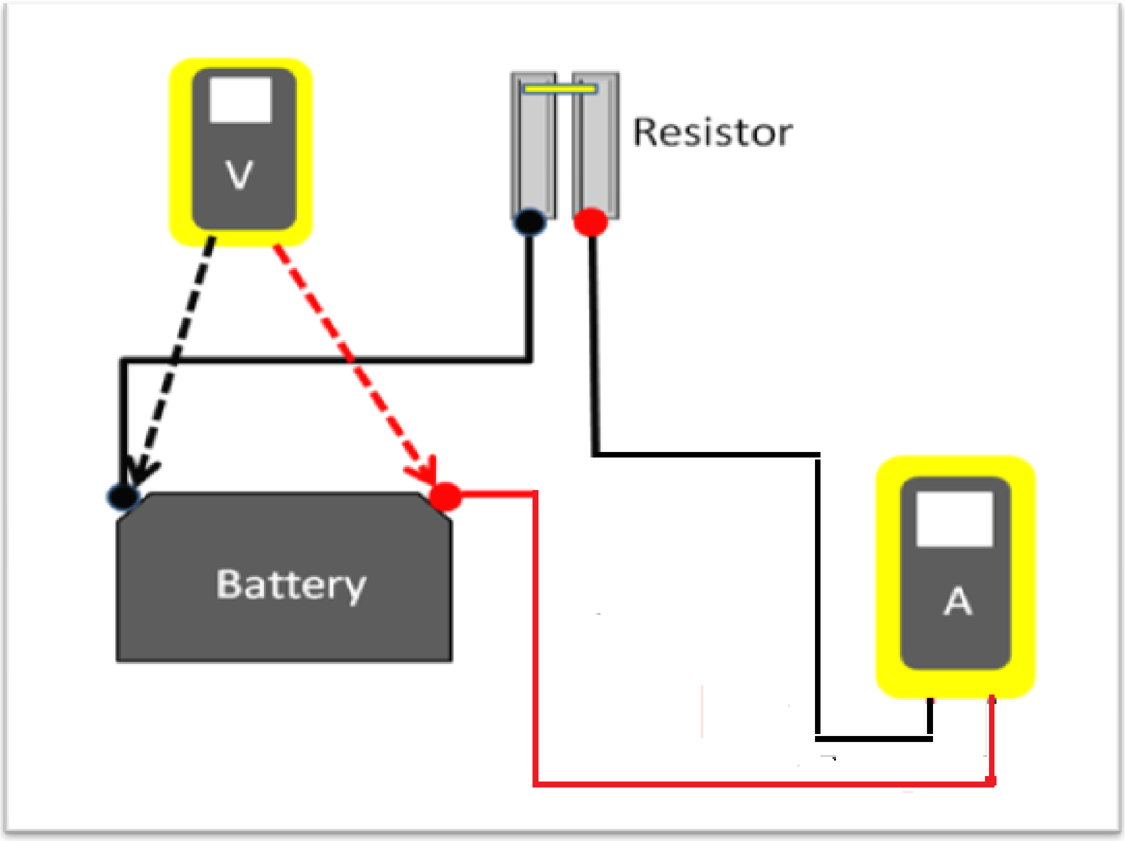
จุดตรวจวัดที่	บริเวณจุดตรวจวัด	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือการตรวจวัด
1	บริเวณจุดการเติมน้ำเข้าถัง	ปริมาตรน้ำที่กำหนดไว้ (80 ลิตร)	มิเตอร์วัดน้ำ
2	บริเวณจุดน้ำเข้าแผง PV/T	อุณหภูมิน้ำ	เทอร์โมคัปเปิล
3	บริเวณจุดน้ำออกจากแผง PV/T	อุณหภูมิน้ำ	เทอร์โมคัปเปิล
4	บริเวณจุดน้ำในถังที่ 1	อุณหภูมิน้ำ	เทอร์โมคัปเปิล
5	บริเวณจุดน้ำในถังที่ 2	อุณหภูมิน้ำ	เทอร์โมคัปเปิล
6	บริเวณจุดอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศ	เทอร์โมคัปเปิล
7	บริเวณจุดแผง PV	อุณหภูมิแผง PV	เทอร์โมคัปเปิล
8	บริเวณจุดตรวจความเข้มแสงอาทิตย์	ความเข้มแสงอาทิตย์	เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์
9	บริเวณจุดแบตเตอรี	แรงดันไฟฟ้า (Volt)	เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.17 แสดงแผนภาพการทดสอบแผง PV/T

คำอธิบายจุดวัดอุณหภูมิของระบบแผง PV/T จากรูปที่ 3.17

T_{in}	จุดตรวจวัดอุณหภูมิน้ำเข้าแผง PV/T
T_{out}	จุดตรวจวัดอุณหภูมิน้ำออกจากแผง PV/T
T_a	จุดตรวจวัดอุณหภูมิอากาศภายนอก
T_c	จุดตรวจวัดอุณหภูมิของแผง PV
$[T_f-T_i]_1$	จุดตรวจวัดอุณหภูมิน้ำในถังเก็บจุดที่1
$[T_f-T_i]_2$	จุดตรวจวัดอุณหภูมิน้ำในถังเก็บจุดที่2



รูปที่ 3.18 แสดงแผนภาพการต่อวงจรการจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

วิธีการทดลอง

1. ประกอบอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบเข้าด้วยกันตามรูปที่ 3.17
2. เติมน้ำเข้าถังตามปริมาตรที่กำหนด (80 ลิตร)
3. ทำการทดสอบตั้งแต่เวลา 8:00 – 16:00 นาฬิกา (8 ชั่วโมง)
4. เครื่องสูบน้ำมีอัตราการไหลเข้าแผงที่ 1.2 ลิตรต่อนาที หรือ 72 ลิตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 10 วัน และได้ทำการทดสอบเครื่องสูบน้ำในอัตราการไหล 2.6 ลิตรต่อนาที หรือ 156 ลิตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 1 วัน (เนื่องจากเมื่อวัดค่าการประจุไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ได้ค่าประสิทธิภาพเป็น 0 อีกทั้งหากทำการทดสอบต่อไปอีกจะส่งผลเสียกับแบตเตอรี่)
5. เก็บข้อมูลจากจุดตรวจวัดตามตารางที่ 3.2
6. ทำการทดสอบการจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพื่อให้ได้ข้อมูลการประจุไฟฟ้าของแผงทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของระบบแผงทดสอบต่อไป การต่อวงจรการจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ตามรูปที่ 3.18

7. นำข้อมูลที่ตรวจวัดทั้งหมดมาวิเคราะห์ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อหาประสิทธิภาพทางความร้อนเป็นรายชั่วโมง และรายวันของระบบแผง

8. นำข้อมูลที่ตรวจวัดทั้งหมดมาวิเคราะห์ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อหาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเป็นรายวันของระบบแผง (ไม่สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเป็นรายชั่วโมงได้เนื่องจากการหาค่าประจุไฟฟ้าหาได้จากข้อมูลการทดสอบการจ่ายไฟฟ้าของแบตเตอรี่หลังจากการทำทดสอบแผง PV/T)

9. นำข้อมูลที่ตรวจวัดมาวิเคราะห์ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อหาประสิทธิภาพทางความร้อนเป็นรายชั่วโมง และรายวัน

10. นำข้อมูลที่ตรวจวัดได้มาวิเคราะห์ผลการผลิตความร้อนและไฟฟ้าของแผง PV/T ที่ได้ตลอดทั้งปี โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงจากกรมอุตุนิยมวิทยา

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

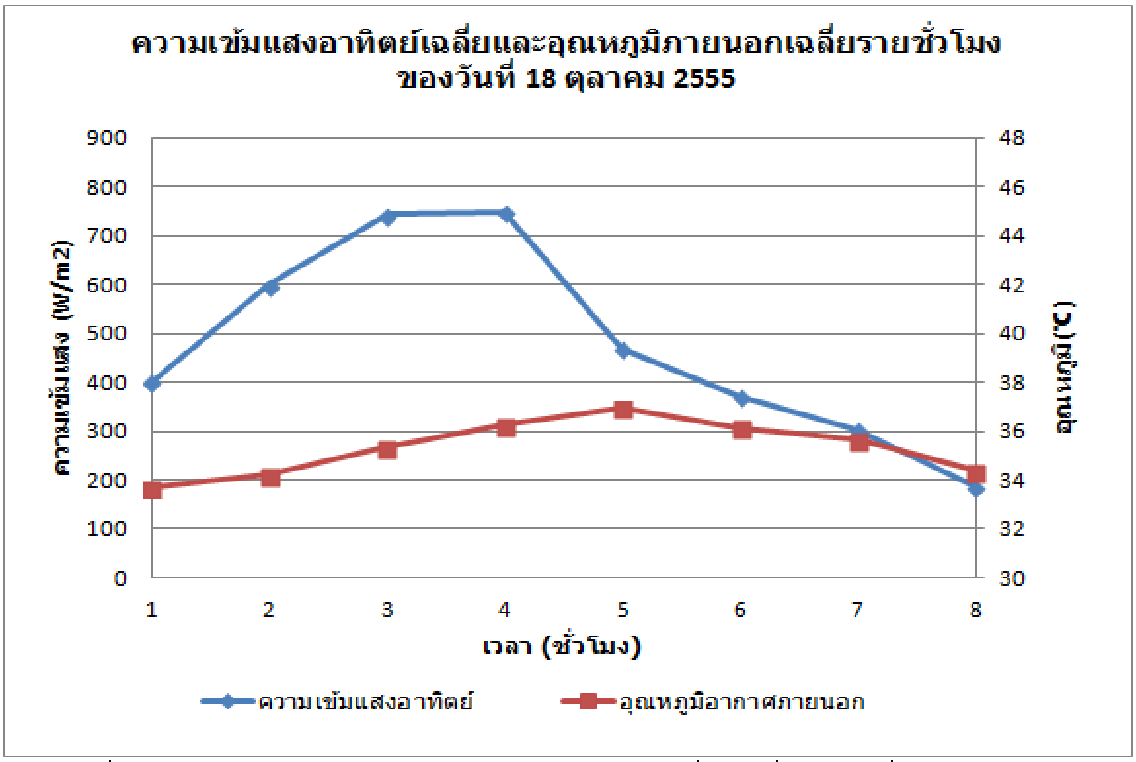
การทดสอบแผง PV/T ในอัตราการไหลของน้ำเข้าแผงในช่วง 1.2 ลิตร (กิโลกรัม) ต่อนาที หรือ 72 ลิตร (กิโลกรัม) ต่อชั่วโมง โดยใช้เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ ส่วนไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์รับแสงอาทิตย์จะถูกควบคุมกระแสไฟฟ้าก่อนเข้าสู่แบตเตอรี่โดยผ่านเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า การตรวจวัดและเก็บข้อมูลจากค่าอุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิอากาศ และความเข้มแสงอาทิตย์ ตามจุดต่างๆของระบบที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ปริมาตรน้ำในถังที่ใช้ในการทดสอบระบบ 80 ลิตร แผงทดสอบ PV/T วางทำมุมแนวระดับกับพื้น 15^{o} หันหน้าแผงไปทางทิศใต้ น้ำเริ่มต้นในถังเก็บไหลออกทางด้านล่างสุดของถังเข้าสู่แผงทดสอบทางด้านล่างและน้ำออก จากแผงทดสอบทางด้านบน อัตราส่วนมวลของน้ำต่อพื้นที่แผงทดสอบเท่ากับ 101.3 kgw/m^2panel จากการทดสอบแผง PV/T ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ผลการทดสอบระบบแผง PV/T อัตราการไหลเข้าแผง 72 ลิตรต่อชั่วโมง ประจุไฟฟ้าใส่แบตเตอรี่ 12V 7Ah

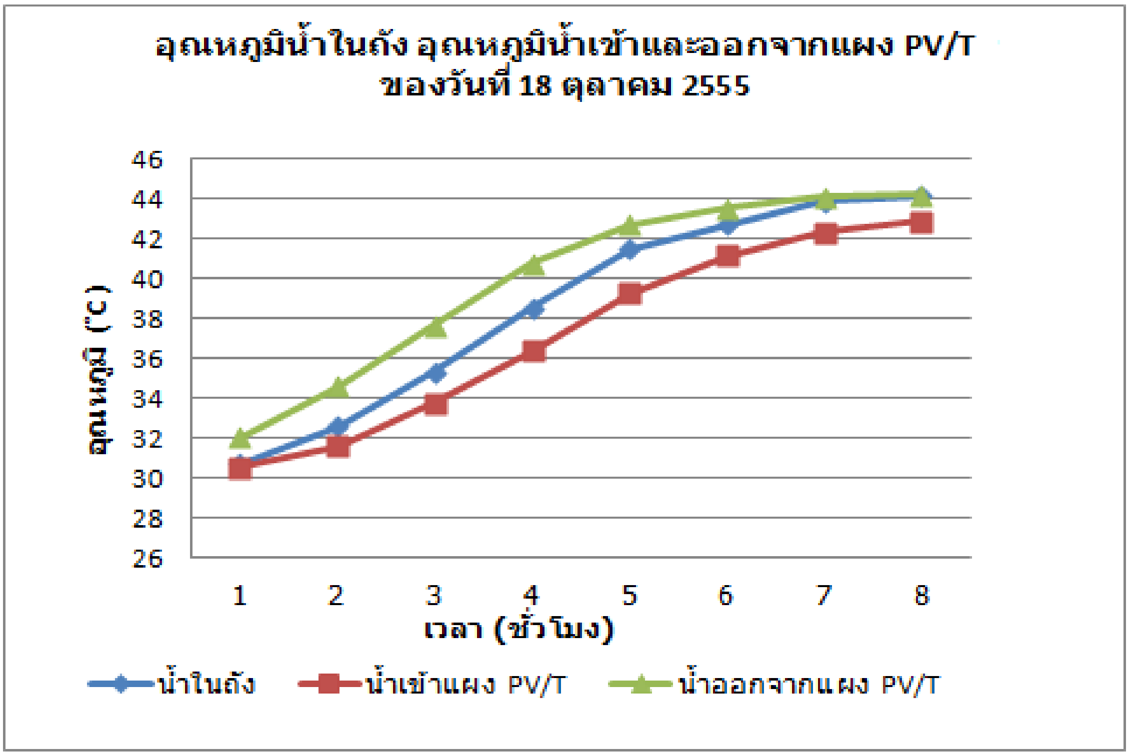
ตัวอย่างข้อมูลค่าการทดสอบแผง PV/T วันที่ 18 ตุลาคม 2555

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบแผง PV/T รายชั่วโมงของวันที่ 18 ตุลาคม 2555

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำในถังเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผงเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิน้ำออกจากแผงเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิแผง PV/T เฉลี่ย (°C)	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^2)
1	30.7	30.6	32.0	33.7	42.9	401.0
2	32.6	31.6	34.6	34.2	58.2	598.9
3	35.3	33.8	37.6	35.3	66.8	743.8
4	38.5	36.4	40.8	36.2	70.9	748.2
5	41.5	39.3	42.7	37.0	65.1	468.6
6	42.7	41.2	43.5	36.1	55.4	371.7
7	43.9	42.3	44.1	35.7	53.9	303.4
8	44.1	42.9	44.2	34.4	49.0	185.3



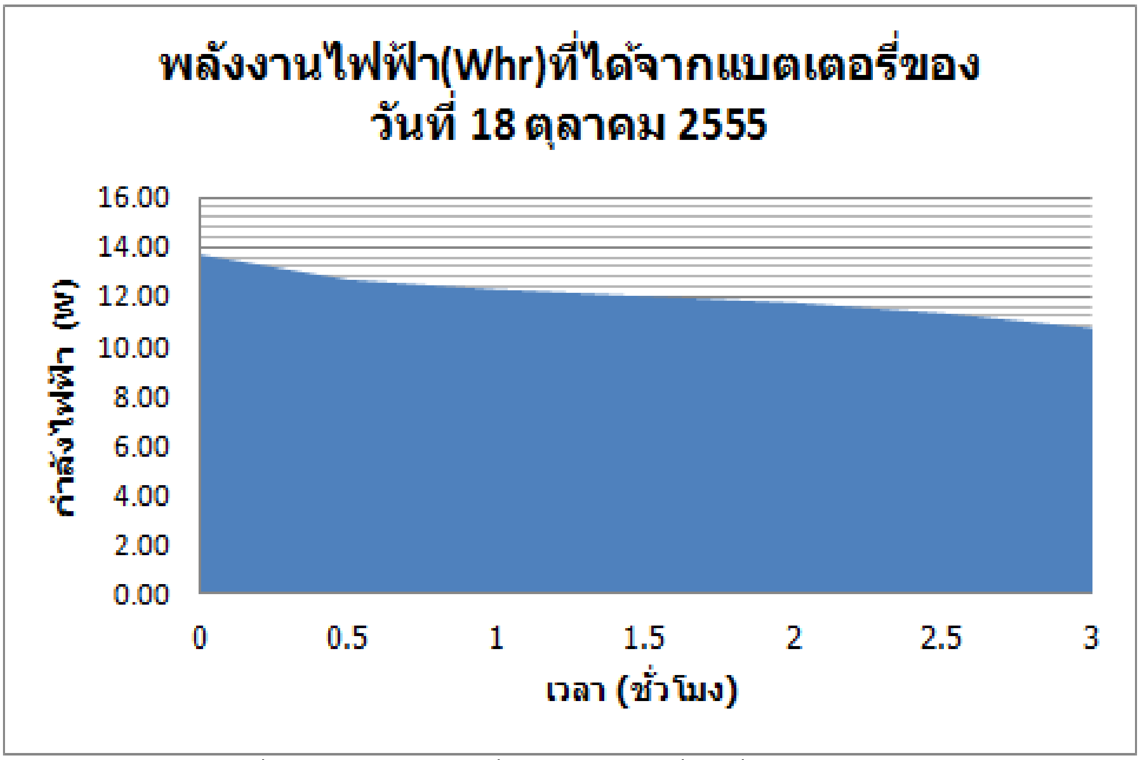
รูปที่ 4.1 ความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 18 ตุลาคม 55



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของน้ำในถัง เข้าและออกจากแผงเฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 18 ตุลาคม 55

จากรูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยของวันที่ 18 ตุลาคม 2555 แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มแสงตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 4 เพิ่มขึ้นต่อเนื่อง เนื่องจากลักษณะท้องฟ้าค่อนข้างโปร่ง มีกลุ่มเมฆประเภทเซอรัส (Cirrus: CI) ซึ่งเป็นเมฆที่เกิดขึ้นในระดับสูงประมาณ 6 ถึง 18 กิโลเมตรนับจากพื้นดิน ลักษณะของกลุ่มเมฆเป็นริ้วสีขาวเป็นเส้นบางโปร่งแสง มีลักษณะคล้ายขนนก เนื่องจากถูกกระแสลมชั้นบนพัด ส่วนในชั่วโมงที่ 5 จนถึงชั่วโมงที่ 8 ความเข้มแสง ณ บริเวณทดสอบมีค่าลดต่ำลงอย่างรวดเร็วเกิดจากมีกลุ่มก้อนเมฆประเภทคิวมูลัส (Cumulus: Cu) ซึ่งลักษณะเป็นเมฆทรงดอกกะหล่ำก่อตัวในแนวดิ่ง และคิวโลนิมบัส (Cumulonimbus : Cb) เป็นเมฆขนาดใหญ่ ทรงดอกกะหล่ำ โดยเมฆทั้ง 2 ประเภทจะเป็นเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้งส่วนอากาศภายนอกบริเวณที่ตั้งแผงทดสอบ PV/T นั้น จะเห็นว่าอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ในช่วงชั่วโมงที่ 5 และอุณหภูมิก็ลดลงมาเรื่อยๆ เป็นไปตามค่าความเข้มแสงที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน (น้ำเริ่มต้น) ค่าอุณหภูมิน้ำเข้าแผงและค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงของวันที่ 18 ตุลาคม 2555 จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาชั่วโมงที่ 1 ค่าอุณหภูมิของน้ำในถังและน้ำเข้าแผงยังอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากเป็นช่วงเริ่มต้นในการรับพลังงานความร้อนจากแผงทดสอบ PV/T หลังจากชั่วโมงที่ 2 เป็นต้นมาจะเห็นว่าอุณหภูมิของน้ำในถังและอุณหภูมิน้ำเข้าแผงมีอุณหภูมิที่ห่างกันพอสมควรเนื่องจากเมื่อน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีการสะสมพลังงานความร้อนที่มากขึ้น น้ำร้อนเข้าถังในส่วนบนของถังเก็บและน้ำที่จะเข้าแผงทดสอบนั้นจะออกทางด้านล่างสุดของถังทำให้อุณหภูมิน้ำที่ออกจากถังนั้นมีอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด ตามหลักการที่ว่าน้ำที่มีอุณหภูมิสูงมีความหนาแน่นน้อยจะอยู่บริเวณด้านบนส่วนน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะมีความหนาแน่นมากจะอยู่บริเวณด้านล่างจึงทำให้กราฟน้ำเข้าแผงมีอุณหภูมิต่ำกว่าน้ำที่เก็บในถังนั้นเอง ในชั่วโมงที่ 7 และ 8 จะเห็นว่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงและน้ำในถังมีค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากสาเหตุของค่าความเข้มแสงที่น้อยลงทำให้ค่าอุณหภูมิแผงทดสอบและอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำลงจึงเป็นผลทำให้อุณหภูมิน้ำที่ออกจากแผงไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่าอุณหภูมิของน้ำออกจากแผงจึงมีค่าในช่วงเดียวกับอุณหภูมิน้ำในถัง



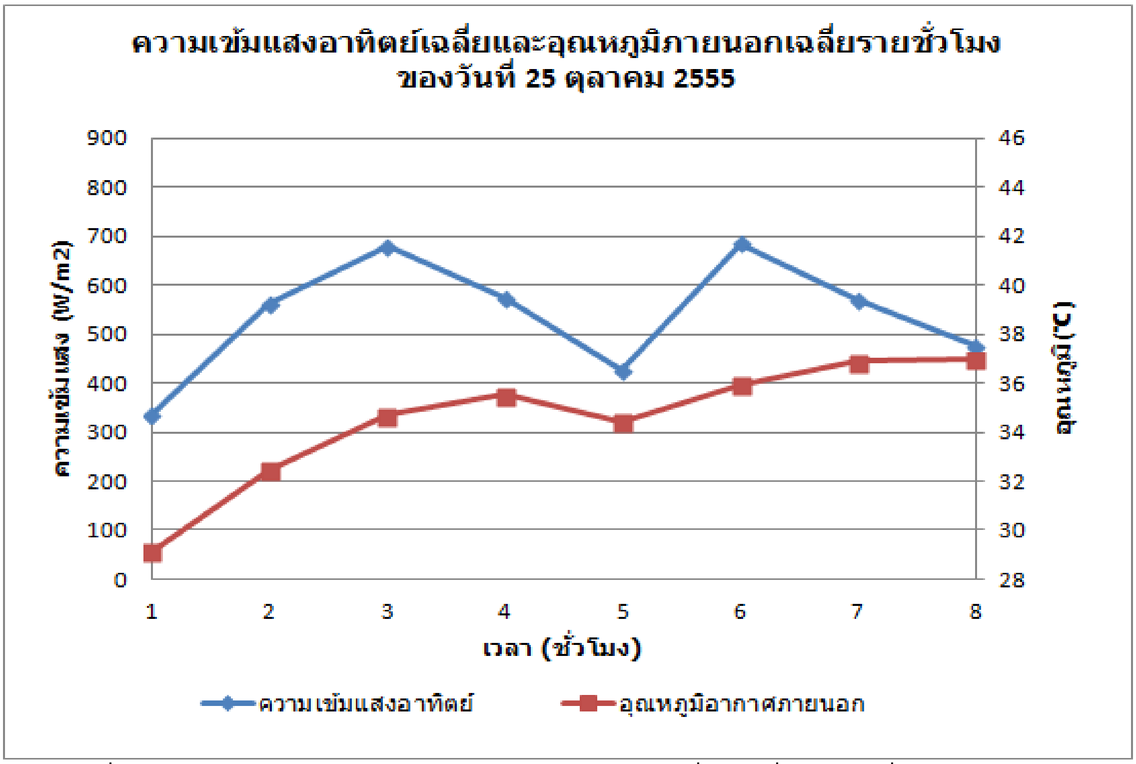
รูปที่ 4.3 พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่ วันที่ 18 ตุลาคม 55

จากรูปที่ 4.3 กราฟแสดงการดึงประจุไฟฟ้า (Discharge) ออกจากแบตเตอรี่ขนาด 12V 7Ah ของวันที่ 18 ตุลาคม 2555 โดยค่าไฟฟ้าแบตเตอรี่ให้พลังงานไฟฟ้าออกมาได้ 32.3 Wh จากการสังเกตจะเห็นได้ว่าในช่วงทำการทดสอบแผง PV/T ขณะประจุไฟฟ้า (Charge) เข้าแบตเตอรี่ผ่านเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าจะแสดงค่าการประจุว่าแบตเตอรี่เต็มในช่วงชั่วโมงที่ 5 ดังนั้นแสดงว่าการบรรจุประจุไฟฟ้าจะหยุดทำงานในช่วงชั่วโมงนั้นทำให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุประมาณ 5 ชั่วโมง โดยความเป็นจริงแล้วทำการทดสอบ 8 ชั่วโมง ดังนั้นจึงได้มีการเปลี่ยนแบตเตอรี่ขนาด 12V7Ah เป็นขนาด 12V18Ah เพื่อให้สามารถเก็บการบรรจุไฟฟ้าได้อย่างเต็มกำลังไฟฟ้าที่แผง PV สามารถผลิตไฟฟ้าได้

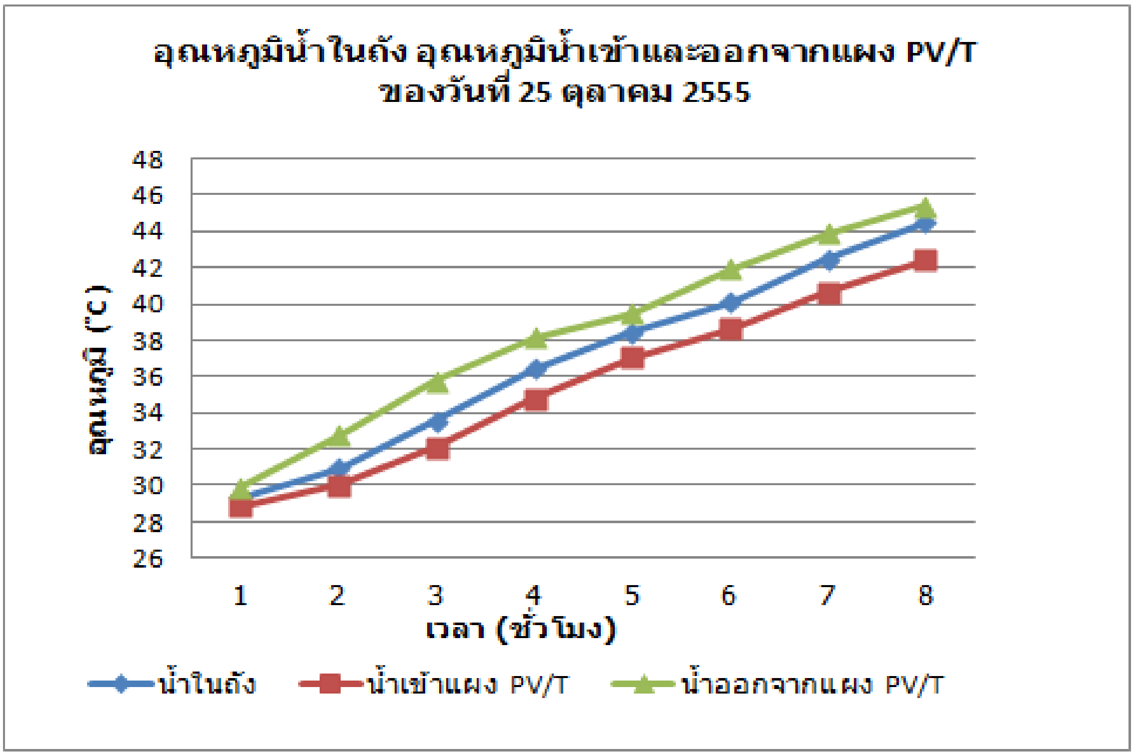
ผลการทดสอบระบบแผง PV/T อัตราการไหลเข้าแผง 72 ลิตรต่อชั่วโมง ประจุไฟฟ้าใส่แบตเตอรี่ 12V 18Ah

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบแผง PV/T รายชั่วโมงของวันที่ 25 ตุลาคม 2555

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำในถังเฉลี่ย (^{o}C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผงเฉลี่ย (^{o}C)	อุณหภูมิน้ำออกจากแผงเฉลี่ย (^{o}C)	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย (^{o}C)	อุณหภูมิแผง PV/T เฉลี่ย (^{o}C)	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^{2})
1	29.4	28.9	29.9	29.1	25.3	337.5
2	30.9	30.0	32.8	32.5	55.5	563.9
3	33.5	32.1	35.7	34.7	65.2	680.8
4	36.5	34.8	38.2	35.5	65.0	573.4
5	38.5	37.0	39.5	34.5	56.3	425.2
6	40.1	38.7	41.9	36.0	63.3	685.4
7	42.5	40.7	43.9	36.9	65.9	570.1
8	44.5	42.4	45.4	37.0	65.7	475.5



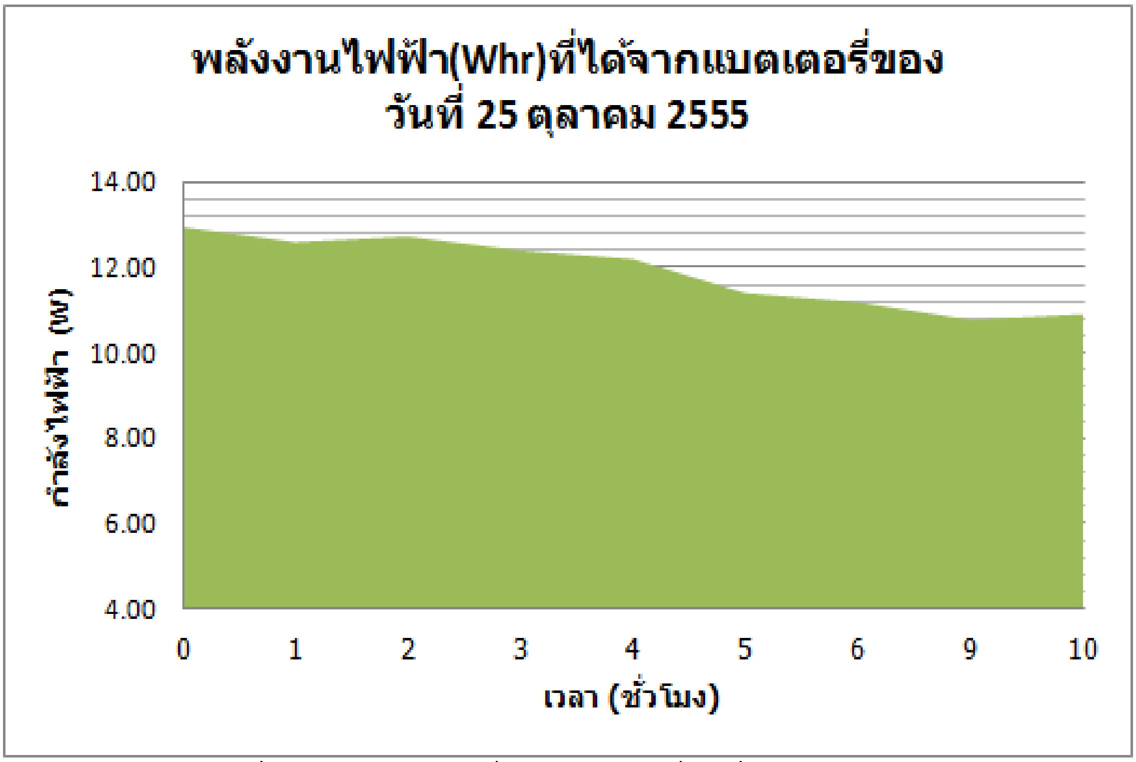
รูปที่ 4.4 ความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 25 ตุลาคม 55



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิของน้ำในถัง เข้าและออกจากแผงเฉลี่ยรายชั่วโมง วันที่ 25 ตุลาคม 55

จากรูปที่ 4.4 กราฟแสดงความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอกของวันที่ 25 ตุลาคม 2555 แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มแสงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงชั่วโมงที่ 4 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำลงเนื่องจากท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูลัส (Cumulus: Cu) เป็นเมฆก้อนขนาดเล็กลักษณะคล้ายดอกกะหล่ำ ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในวันอากาศดี ซึ่งต่อมาในช่วงชั่วโมงที่ 5 ท้องฟ้ามีเมฆประเภทนี้จำนวนมากขึ้นทำให้ค่าความเข้มแสงต่ำลงอีก ส่วนในชั่วโมงที่ 6 เมฆถูกกระแสลมพัดพาไปมา แต่ไม่ได้บดบังแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมาบริเวณที่ทำการทดสอบจึงทำให้ค่าความเข้มสูงขึ้นมา ในส่วนอุณหภูมิอากาศภายนอกมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน (น้ำเริ่มต้น) ค่าอุณหภูมิน้ำเข้าแผงและค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงของวันที่ 25 ตุลาคม 2555 จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาชั่วโมงที่ 1 ค่าอุณหภูมิของน้ำในถัง น้ำเข้าแผง และน้ำออกจากแผงยังอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ในชั่วโมงที่ 8 ค่าอุณหภูมิของน้ำออกจากแผงและน้ำในถังมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากค่าความเข้มแสงต่ำลงส่งผลให้อุณหภูมิของแผงลดลงการรับพลังงานความร้อนของน้ำเมื่อเข้าแผงจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงทำให้ค่าอุณหภูมิทั้งสองจึงมีค่าใกล้เคียงกัน จากกราฟสังเกตได้ว่าในชั่วโมงที่ 5 ค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงทดสอบมีอุณหภูมิที่ต่ำลงซึ่งเป็นไปตามแนวโน้มเดียวกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอก เนื่องจากมีเมฆมาบดบังแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังแผงทดสอบนั่นเอง



รูปที่ 4.6 พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่ วันที่ 25 ตุลาคม 55

จากรูปที่ 4.6 กราฟแสดงการดึงประจุไฟฟ้า (Discharge) ออกจากแบตเตอรี่ขนาด 12V 18Ah วันที่ 25 ตุลาคม 2555 โดยค่าไฟฟ้าแบตเตอรี่ให้พลังงานไฟฟ้าออกมาได้ 109.0 Wh จะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนแบตเตอรี่ค่าประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น โดยจากการสังเกตเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าแสดงค่าการประจุของแบตเตอรี่ในระดับปานกลางซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าประจุไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่จะให้ค่าประสิทธิภาพไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV ที่ถูกต้องมากขึ้น เนื่องจากการผลิตกำลังไฟฟ้าจากแผงส่งไปประจุกำลังไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ขึ้นได้เต็มประสิทธิภาพในการทดสอบ 8 ชั่วโมง

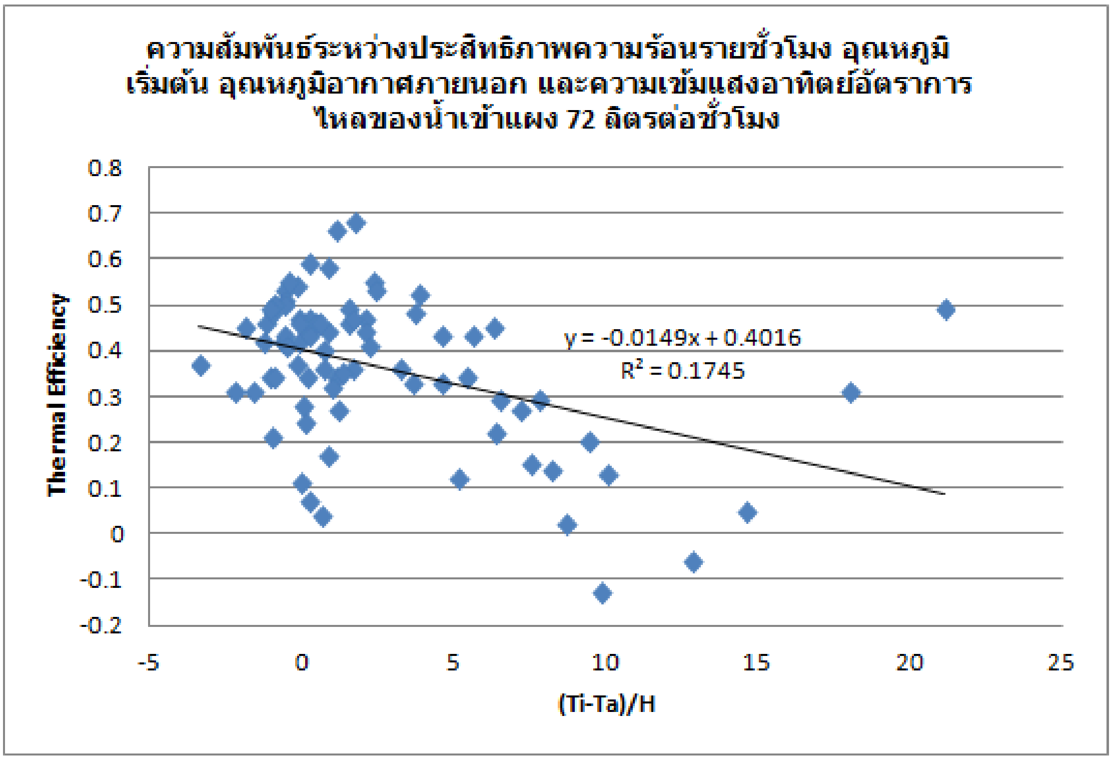
ผลประสิทธิภาพทางความร้อนและไฟฟ้าของระบบแผง PV/T ที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพทางความร้อนรายชั่วโมง (อัตราการไหลของน้ำ 72 ลิตรต่อชั่วโมง)

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

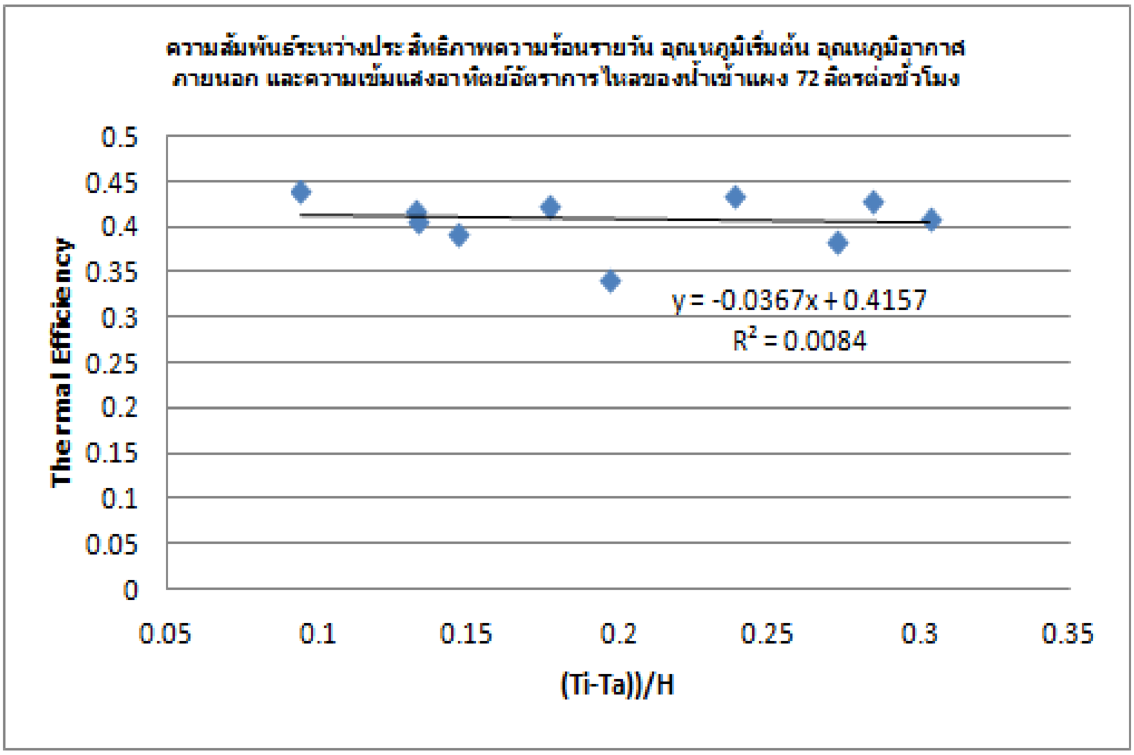
ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพทางความร้อนรายวัน (อัตราการไหลของน้ำ 72 ลิตรต่อชั่วโมง)

ประสิทธิภาพทางความร้อนรายวันของระบบแผง PV/T ในอัตราการไหลของน้ำเข้าแผง 72 ลิตรต่อชั่วโมง (%)									
17 ต.ค. 55	18 ต.ค. 55	19 ต.ค. 55	20 ต.ค. 55	21 ต.ค. 55	25 ต.ค. 55	26 ต.ค. 55	27 ต.ค. 55	28 ต.ค. 55	29 ต.ค. 55
41.9	42.4	43.5	41.0	38.5	43.9	40.7	39.2	43.1	34.3



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพทางความร้อนรายชั่วโมงเปรียบเทียบกับ (Ti-Ta)/H

จากข้อมูลการทดสอบแผง PV/T โดยใช้ข้อมูลตัวแปรรายชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพทางความร้อนรายชั่วโมงกับตัวแปรการสูญเสีย (Ti-Ta)/H พบว่าเส้นแนวโน้มกราฟ Regression มีสมการ y = -0.0149x+0.4016 และมีความชันมากสะท้อนให้เห็นถึงมีค่าการสูญเสียที่สูง มีค่า R^2 = 0.1745 แต่หากมีการใช้ฉนวนกันกับระบบจะช่วยให้ป้องกันให้เกิดการสูญเสียที่น้อยลง การใช้ข้อมูลรายชั่วโมงจะครอบคลุมอุณหภูมิน้ำเข้าแผง Tin ตั้งแต่ 30 ถึง 50°C ซึ่งในการนำมาใช้เป็นข้อมูลวิเคราะห์การใช้พลังงานตลอด 1 ปี ควรจะใช้ข้อมูลประสิทธิภาพทางความร้อนรายวันจึงจะเหมาะสมกว่า เนื่องจากตัวแปรรายวันในการนำมาวิเคราะห์มีความเสถียรมากกว่าตัวแปรรายชั่วโมงและสะท้อนให้เห็นประสิทธิภาพของแผงที่ใช้งานจริงต่อเนื่องใน 1 วัน

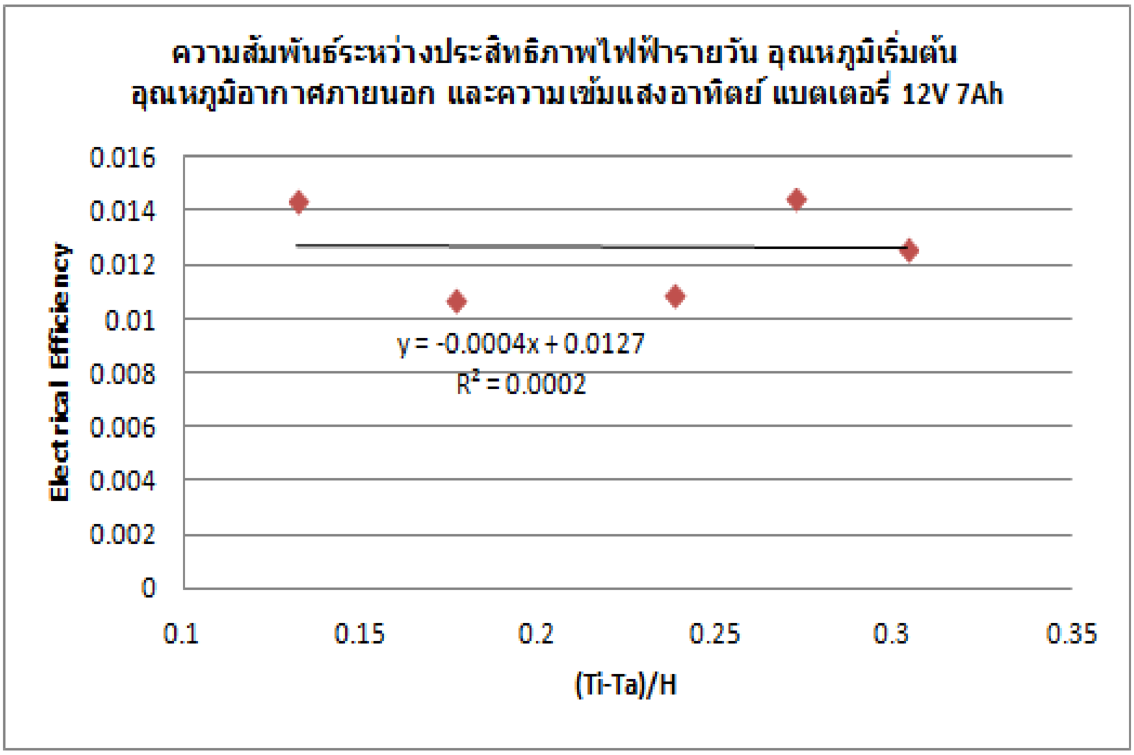


รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพทางความร้อนรายวันเปรียบเทียบกับ (Ti-Ta)/H

จากข้อมูลการทดสอบแผง PV/T โดยใช้ข้อมูลตัวแปรรายวัน เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพทางความร้อนรายวันกับตัวแปรการสูญเสีย (Ti-Ta)/H พบว่าเส้นแนวโน้มกราฟ Regression มีสมการ y = -0.0367x+0.4157 และมีค่าความชันไม่มากสะท้อนให้เห็นค่าการสูญเสียที่ต่ำ มีค่า R^2 = 0.0084 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรการสูญเสียมีเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าประสิทธิภาพทางความร้อนรายวัน ซึ่งสมการที่ได้จากเส้นแนวโน้มของประสิทธิภาพรายวันกับตัวแปรการสูญเสียจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาพลังงานตลอด 1 ปี โดยใช้ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอกของปี 2553 จากกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อหาค่าข้อมูลที่คาดว่าแผง PV/T จะผลิตได้ใน 1 ปี

ตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวัน (ขนาดแบตเตอรี่ 12V 7Ah)

ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวันของระบบแผง PV/T กับแบตเตอรี่ขนาด 12V 7Ah (%)				
17 ต.ค. 55	18 ต.ค. 55	19 ต.ค. 55	20 ต.ค. 55	21 ต.ค. 55
1.4	1.1	1.1	1.3	1.4

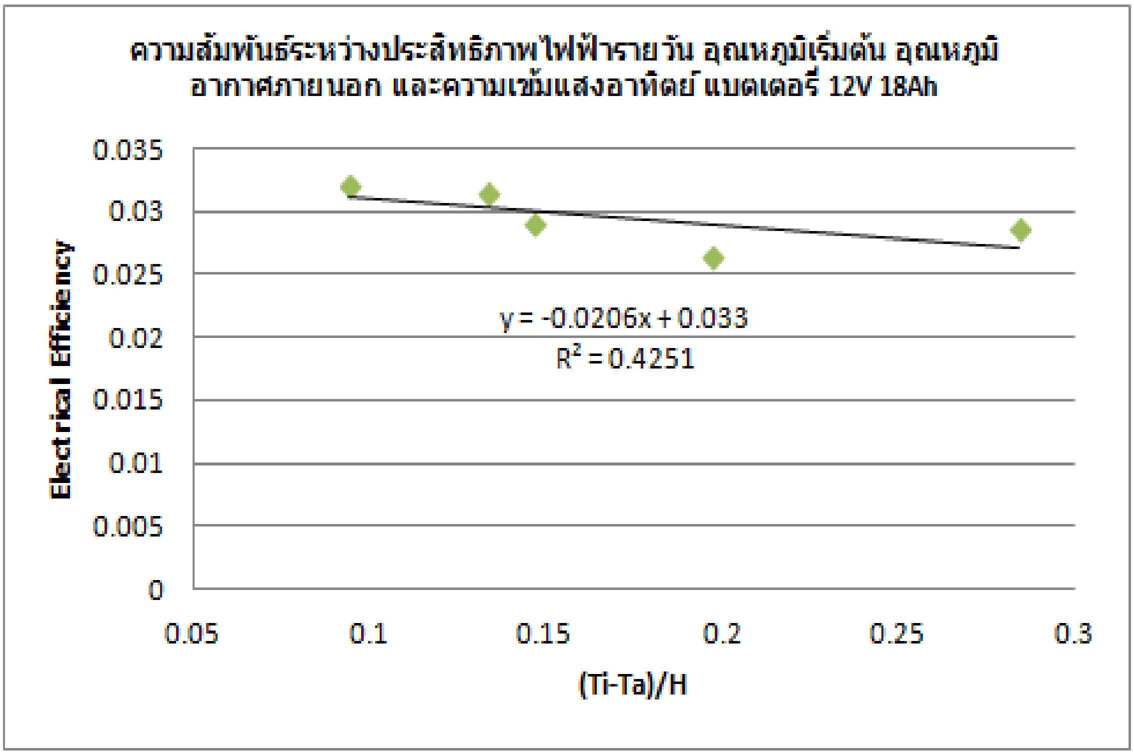


รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวันของแบตเตอรี่ 12V 7Ah เปรียบเทียบกับ (Ti-Ta)/H

จากข้อมูลค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวันกับตัวแปรการสูญเสีย (Ti-Ta)/H ของแผง PV/T กับแบตเตอรี่ขนาด 12V 7Ah โดยผ่านเครื่องควบคุมประจุไฟฟ้า พบว่าแบตเตอรี่ขนาด 12V 7Ah ไม่เพียงพอในการรับการประจุกับแผง PV/T ซึ่งทำให้ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเมื่อมาเปรียบเทียบกับตัวแปรการสูญเสีย มีผลต่างที่แปรปรวนเล็กน้อย แต่สามารถสรุปได้โดยการสังเกตจากเส้นแนวโน้มกราฟ Regression มีสมการ $y = -0.0004x+0.0127$ และมีค่าความชันไม่มากสะท้อนให้เห็นค่าการสูญเสียที่ต่ำ ซึ่งจากกราฟเส้นแนวโน้มดังข้างต้นไม่สามารถนำมาวิเคราะห์หาพลังงานตลอด 1 ปีได้ เนื่องจากขนาดของแบตเตอรี่ 12V 7Ah มีขนาดเล็กซึ่งไม่เพียงพอกับการประจุไฟฟ้าจากแผง PV/T จึงไม่สะท้อนความจริงของค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่ จึงมีการเพิ่มขนาดแบตเตอรี่เป็นขนาด 12V 18Ah

ตารางที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวัน (ขนาดแบตเตอรี่ 12V 18Ah)

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



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวันของแบตเตอรี่ 12V 18Ah เปรียบเทียบกับ (Ti-Ta)/H

จากข้อมูลค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้ารายวันกับตัวแปรการสูญเสีย (Ti-Ta)/H ของแผง PV/T กับแบตเตอรี่ขนาด 12V 18Ah โดยผ่านเครื่องควบคุมประจุไฟฟ้า เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพทางไฟฟ้ากับตัวแปรการสูญเสีย (Ti-Ta)/H พบว่าเส้นแนวโน้มกราฟ Regression มีสมการ y = -0.0206x+0.033 และมีค่าความชันมากขึ้นสะท้อนให้เห็นค่าการสูญเสียที่มากขึ้น มีค่า R^2 = 0.4251 ซึ่งจากข้อมูลกราฟสมการเส้นแนวโน้มจะนำมาเป็นสมการในการวิเคราะห์หาพลังงานที่แผงผลิตได้ 1 ปี

พลังงานความร้อนและไฟฟ้าของระบบแผง PV/T ตลอดทั้งปี

การคำนวณหาพลังงานความร้อนและไฟฟ้าตลอดทั้งปี จะใช้ข้อมูลจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพทางความร้อน η_{th} กับค่าตัวแปรการสูญเสีย ซึ่งจากกราฟจะวิเคราะห์เป็นกราฟสมการเส้นตรงซึ่งสมการที่นำมาใช้จะเป็นข้อมูลรายวันในการคำนวณหาพลังงานความร้อนและไฟฟ้าตลอดทั้งปี และใช้ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยอ้างอิงข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา ปี 2553 ซึ่งข้อมูล Input (x) จะเป็นค่าตัวแปรการสูญเสีย $\frac{(T_i-T_a)}{H}$

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลพลังงานความร้อนและไฟฟ้าที่ได้จากคำนวณรายเดือน ปี 2553

เดือน	พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ได้จากแผง (MJ)	พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ได้จากแผง (kWh)	พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ได้จากแผง (MJ)	พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ได้จากแผง (kWh)	ความเข้มแสงเฉลี่ย (W/m^2)	พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย (MJ)	อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (^oC)
1	135.8	37.7	8.1	2.3	482.3	13.9	29.3
2	153.5	42.6	10.1	2.8	637.1	18.3	31.8
3	186.4	51.8	12.6	3.5	651.4	18.8	32.9
4	194.3	54.0	13.6	3.8	697.9	20.1	34.4
5	71.7	20.0	5.2	1.4	480.9	13.8	33.2
6	86.1	24.0	6.5	1.8	327.7	9.4	32.9
7	122.3	34.0	8.2	2.3	428.3	12.3	31.3
8	108.5	30.1	7.1	2.0	380.9	11.0	30.6
9	86.3	24.0	5.7	1.6	312.0	9.0	30.6
10	102.0	28.3	6.1	1.7	361.7	10.4	29.4
11	113.7	31.6	7.1	2.0	414.9	12.0	30.0
12	115.6	32.1	7.0	2.0	409.9	11.8	29.5
เฉลี่ย	**123.0**	**34.2**	**8.9**	**2.3**	**465.0**	**13.4**	**31.0**

สมการเส้นตรงที่นำมาวิเคราะห์หาพลังงานความร้อนตลอดทั้งปีได้จากสมการจากรูปที่ 4.8 ดังนี้

$$y = -0.0367x + 0.4157$$

เมื่อจัดรูปสมการให้ตรงกับ

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

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

สมการเส้นตรงที่นำมาวิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีได้จากสมการจากรูปที่ 4.10 ดังนี้

$$y = -0.0206x + 0.033$$

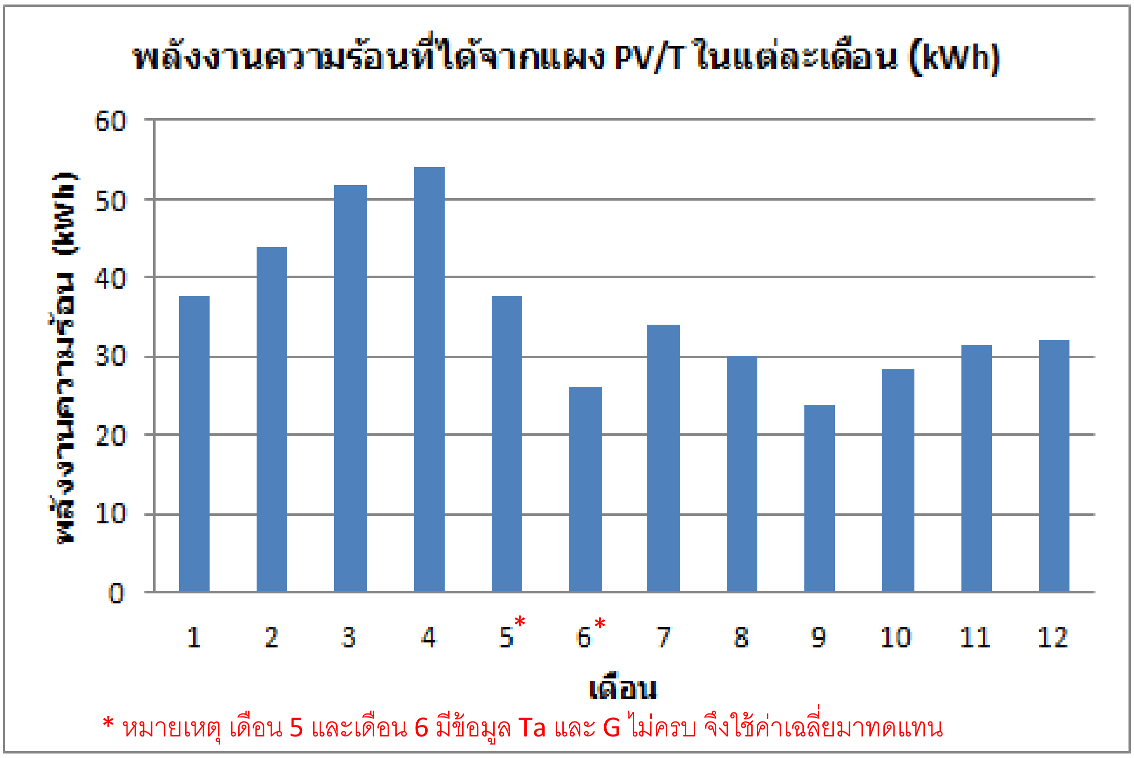
เมื่อจัดรูปสมการให้ตรงกับ

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

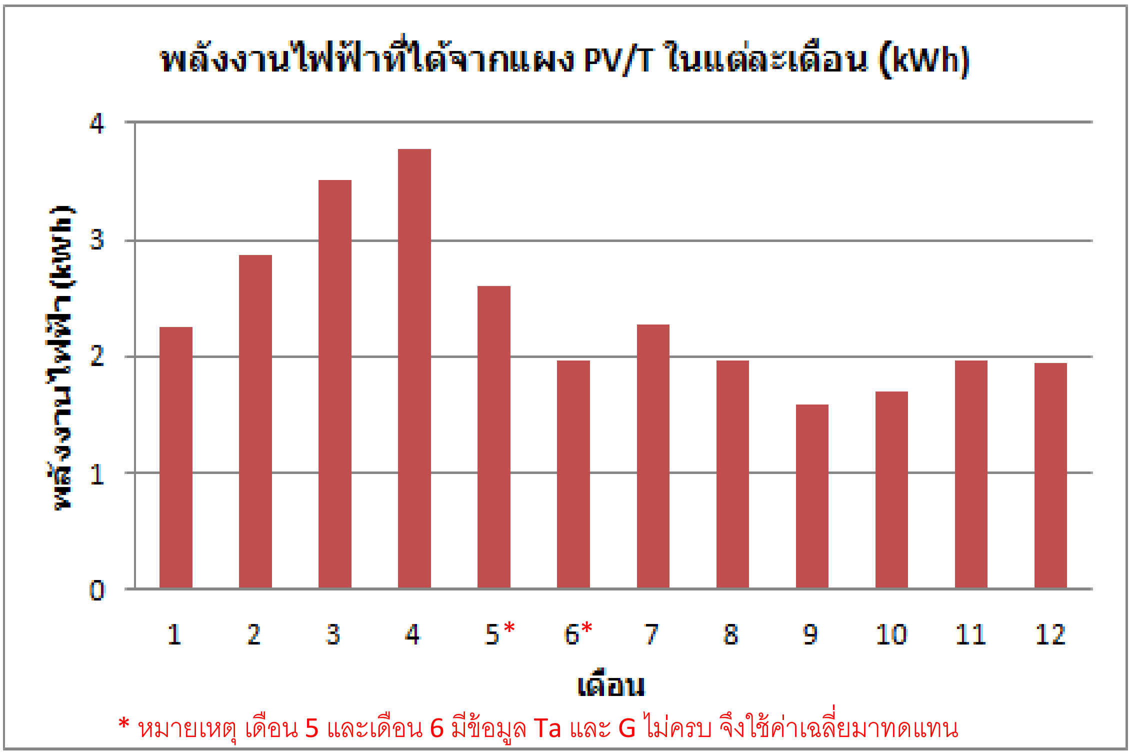
$$\eta_{el} = 0.033 - 0.0206\frac{(T_i - T_a)}{H}$$

โดยสมการเส้นตรงที่ใช้หาพลังงานไฟฟ้าจะใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพไฟฟ้ากับตัวแปรการสูญเสียของแบตเตอรี่ขนาด 12V 18Ah เนื่องจากการผลิตกำลังไฟฟ้าจากแผงส่งไปประจุกำลังไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ขึ้นได้เต็มประสิทธิภาพในการทดสอบ 8 ชั่วโมง ข้อมูลที่วิเคราะห์หาพลังงานความร้อนและไฟฟ้าของระบบแผง PV/T ตลอดทั้งปี โดยใช้ข้อมูลปี 2553 แสดงอยู่ในภาคผนวก ค

การคำนวณทางไฟฟ้าและความร้อนที่แผง PV/T ผลิตได้ โดยคำนวณจากข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอกของปี 2553



รูปที่ 4.11 พลังงานความร้อนที่ได้จากแผง PV/T ในแต่ละเดือนจากการคำนวณปี 53



รูปที่ 4.12 พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV/T ในแต่ละเดือนจากการคำนวณปี 53

จากการทดสอบและหาค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากแผง PV/T จำนวน 1 แผง ซึ่งมีขนาดพื้นที่แผง 0.79 m^2 ขนาด 40 W จะได้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีเท่ากับ 28.4 kWh หรือ 102 MJ (ใช้ข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิภายนอกของปี 2553) ซึ่งเมื่อจะนำไปใช้ได้จริงนั้นยังคงไม่เพียงพอจึงต้องมีการเพิ่มจำนวนแผงให้มากขึ้น จึงได้ทำการคำนวณหาจำนวนแผงที่เหมาะสมกับการใช้งานได้จริง โดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ใช้ไฟฟ้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และอีกกรณีคือกรณีการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กระแสไฟฟ้าสลับ (AC) ในส่วนพลังงานความร้อนที่แผง PV/T ผลิตได้ตลอดทั้งปีเท่ากับ 431.3 kWh หรือ 1,476 MJ เมื่อมีการเพิ่มจำนวนแผง PV/T จึงต้องมีการคำนวณอุณหภูมิและปริมาณของน้ำที่เหมาะสมกับแผงเพื่อไม่ให้แผง PV/T เกิดความเสียหายดังต่อไปนี้

การใช้ประโยชน์พลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่ได้

กรณีที่ 1 กรณีการใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กระแสไฟฟ้าตรง (DC)

การใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในกรณีนี้เน้นด้านพลังงานไฟฟ้าที่นำมาใช้ด้านแสงสว่าง โดยต่อเข้ากับหลอดไฟ LED ชนิด T8 TUB Fluorescent 12 VDC 10 W โดยสมมุติให้เป็นการใช้ไฟในบ้านพักอาศัยขนาดเล็กมีผู้พักอาศัยจำนวน 4 คน โดยให้หลอดไฟ LED T8 TUB Fluorescent 12VDC 10 W เป็น

หลอดไฟที่ใช้ในห้องต่างๆภายในบ้าน โดยกำหนดให้ใช้แสงสว่างในห้องครัว 4 ชั่วโมงต่อวัน ห้องน้ำ 2 ชั่วโมงต่อวัน ห้องนอน 2 ห้องใช้แสงสว่างห้องละ 5 ชั่วโมงต่อวัน และห้องนั่งเล่นใช้แสงสว่างตั้งแต่ 18:00 – 22:00 น. เป็น 4 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นเวลาใช้งานเฉลี่ย 4 ชั่วโมงต่อวันต่อหลอด และหลอดไฟที่ใช้บริเวณภายนอกบ้านช่วงเวลากลางคืนใช้แสงสว่างตั้งแต่ 18:00 – 05:00 น. โดยกำหนดเวลาใช้งานเฉลี่ย11 ชั่วโมงต่อวันต่อหลอด ตามรายละเอียดจากตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงรายละเอียดความต้องการใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 1

อุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	ชั่วโมงที่ใช้งาน	พลังงานไฟฟ้า (Wh)
หลอดไฟ LED T8 TUB Fluorescent 12 VDC 10 W	5	10	4	200
หลอดไฟ LED T8 TUB Fluorescent 12 VDC 10 W	2	10	11	220

จากการคำนวณข้างต้นสรุปได้ว่า

จากการคำนวณหาค่าพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่ได้ใน 1 วันแสดงรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ข จึงได้ผลการคำนวณดังนี้

แผง PV/T จำนวน 1 แผง สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 78 Wh ต่อวัน และสามารถผลิตน้ำร้อน 80 ลิตรที่อุณหภูมิ 41.7^{o}C เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 420 Wh ต่อวัน ดังนั้นจะต้องใช้แผง PV/T จำนวน 5.38 แผง หรือประมาณ 6 แผง (4.3 m^{2}) แผงจำนวน 6 แผงจะผลิตน้ำร้อนได้ 480 ลิตร ที่อุณหภูมิ 41.1 ^{o}C

หากมีจำนวนผู้พักอาศัยจำนวน 4 คน จากข้อมูลของการประปานครหลวงระบุว่าการใช้น้ำอาบจากฝักบัว 1 คนจะใช้น้ำอาบ 60 ลิตรต่อวัน ดังนั้นผู้พักอาศัย 4 คนจะใช้น้ำ 240 ลิตรต่อวัน มีน้ำเหลือจากการใช้อาบอีก 240 ลิตร ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการล้างจานและซักผ้าซึ่งข้อมูลจากประปานครหลวงยังระบุไว้ว่าการใช้น้ำล้างจานหรือซักผ้าจะใช้ประมาณ 9 ลิตรต่อนาทีซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการปรับระดับการไหลของน้ำของผู้ใช้รวมไปถึงลักษณะนิสัยการใช้น้ำของผู้ใช้เอง หากต้องการประหยัดน้ำในการใช้ล้างจานหรือซักผ้า

กรณีที่ 2 กรณีการใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

การใช้ไฟฟ้ากระแสสลับในกรณีนี้ได้กำหนดเครื่องใช้ไฟฟ้ารายละเอียดตามตารางข้างล่าง โดยต้องใช้เครื่องอินเวอร์เตอร์ในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยใช้ค่าประสิทธิภาพของเครื่องอินเวอร์เตอร์ 0.85 ซึ่งกำหนดเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ได้แก่

หลอดไฟ LED T8 TUB Fluorescent 12 VDC 10 W มีจำนวน 2 หลอดใช้บริเวณนอกบ้านช่วงเวลากลางคืนใช้แสงสว่างตั้งแต่ 18:00 – 05:00 น. โดยกำหนดเวลาใช้งาน 11 ชั่วโมงต่อวันต่อหลอด และคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค ขนาดจอ 10 นิ้ว เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้ากระสลับ ได้แก่ พัดลมตั้งโต๊ะ 12 นิ้ว เครื่องชาร์จโทรศัพท์มือถือ และโทรทัศน์ LED ขนาด 19 นิ้ว รายละเอียดการใช้งานตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงรายละเอียดความต้องการใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ 2

อุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	ชั่วโมงที่ใช้งาน	พลังงานไฟฟ้า (Wh)
หลอดไฟ LED T8 TUB Fluorescent 12 VDC 10 W	2	10	11	220
คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค ขนาดจอ 10 นิ้ว	1	40	3	120
พัดลมตั้งโต๊ะ 12 นิ้ว	1	45	3	135
เครื่องชาร์จโทรศัพท์มือถือ	1	5	2	10
โทรทัศน์ LED ขนาด 19 นิ้ว	1	22	3	66

จากการคำนวณข้างต้นสรุปได้ว่า

จากการคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าและความร้อนรายปีจึงคำนวณได้ว่า

แผง PV/T จำนวน 1 แผง สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 78 Wh ต่อวัน และสามารถผลิตน้ำร้อน 80 ลิตรที่อุณหภูมิ 41.7 $^{\circ}$C เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ต้องการพลังงานไฟฟ้า 340 Wh ต่อวัน แผง PV/T สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 78 Whr ต่อวัน ดังนั้นจะต้องใช้แผง PV/T จำนวน 3.4 แผง ในส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ต้องการพลังงานไฟฟ้า 308 Wh ต่อวัน เมื่อแปลงไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) จะได้ 78 × 0.85 = 66.3 Wh ต่อวัน เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 308 Wh ต่อวัน ดังนั้นจะต้องใช้แผง PV/T จำนวน 4.6 แผง เมื่อนำแผงที่ต้องการใช้มารวมกัน

ดังนั้นจะต้องใช้แผง PV/T จำนวน 8 แผง (6.3 m^2)

แผงจำนวน 8 แผงจะผลิตน้ำร้อนได้ 640 ลิตร ที่อุณหภูมิ 41.7 $^{\circ}$C

หากมีจำนวนผู้พักอาศัยจำนวน 4 คน จากข้อมูลของการประปานครหลวงระบุว่าการใช้น้ำอาบจากฝักบัว 1 คนจะใช้น้ำอาบ 30 ลิตรต่อครั้ง และหากอาบด้วยอ่างอาบน้ำจะใช้น้ำ 100 ลิตรต่อครั้งสมมุติให้ผู้พักอาศัยใช้น้ำอาบแบบฝักบัวในช่วงเช้า และใช้อ่างอาบน้ำในช่วงเย็น ดังนั้นผู้พักอาศัย 4 คนจะใช้น้ำ 520 ลิตรต่อวัน มีน้ำเหลือจากการใช้อาบอีก 120 ลิตร ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการล้าง

จาน ซึ่งข้อมูลจากประปานครหลวงยังระบุไว้ว่าการใช้น้ำล้างจานจะใช้ประมาณ 9 ลิตรต่อนาทีซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการปรับระดับการไหลน้ำของผู้ใช้รวมไปถึงลักษณะนิสัยการใช้น้ำของผู้ใช้เอง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและทดสอบสมรรถนะของระบบแผง PV/T แบบแผ่นเรียบรับความร้อนและท่อทองแดง โดยมีขนาดพื้นที่แผง 0.97 m^2 ใช้ปริมาณน้ำการทดสอบ 80 ลิตร อัตราการไหลของน้ำเข้าแผงที่ 1.2 ลิตรต่อนาที หรือ 72 ลิตร ต่อชั่วโมง มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลเบื้องต้นของประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและความร้อนของแผง PV/T ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณหาขนาดพื้นที่แผงและปริมาณน้ำร้อนที่ได้ให้เหมาะสมกับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนจริงได้ ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลการวิจัยและเสนอข้อเสนอแนะดังนี้

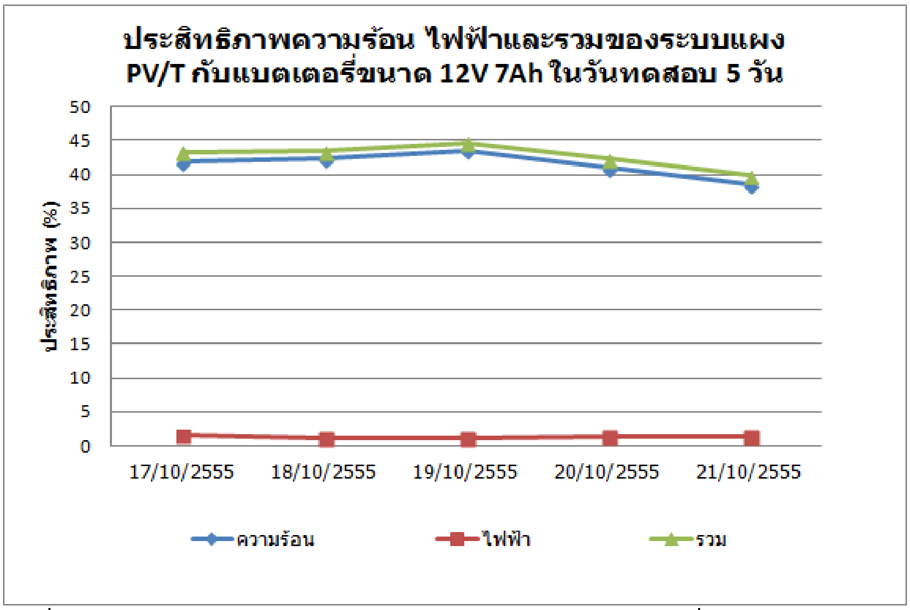
สรุปผลการวิจัย

การทดสอบแผง PV/T ในงานวิจัยนี้แยกการทดสอบเป็น 2 ส่วน คือ ทางด้านความร้อนและทางด้านไฟฟ้า เครื่องมือที่ใช้ทดสอบเชื่อมต่อกับระบบแผงทางด้านความร้อนได้แก่ ถังเก็บน้ำร้อนขนาดบรรจุ 200 ลิตร และเครื่องสูบน้ำขนาดเล็กโดยมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ส่วนเครื่องมือที่ใช้ทดสอบกับระบบแผงทางด้านไฟฟ้าได้แก่ แบตเตอรี่ใช้ในการประจุไฟฟ้าจากแผง, เครื่องควบคุมประจุเพื่อเป็นตัวควบคุมประจุไฟฟ้าให้เหมาะสมกับแบตเตอรี่ ซึ่งหากประจุไฟฟ้ามากเกินไปจะทำให้เกิดความเสียหายกับแบตเตอรี่และประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าต่ำ จากการทดสอบแผง PV/T จำนวน 1 แผง เพื่อหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงและรายวันโดย เมื่อพิจารณาในงานวิจัยนี้ข้อมูลประสิทธิภาพเฉลี่ยรายชั่วโมงจะสะท้อนให้เห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพแผงกับอุณหภูมิน้ำเข้าแผงที่ครอบคลุมตั้งแต่ 30 $^{\circ}$C ถึง 45 $^{\circ}$C ในส่วนข้อมูลประสิทธิภาพแบบรายวันมีความเหมาะสมในการนำตัวแปรมาคำนวณหาพลังงานที่แผงผลิตได้ตลอดทั้งปี อีกทั้งประสิทธิภาพรายวันยังสะท้อนให้เห็นประสิทธิภาพที่แผงผลิตได้จริงทั้งหมดใน 1 วันซึ่งเป็นข้อมูลจริงที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ โดยกำหนดใช้อัตราการไหลของน้ำเข้าแผงที่ 1.2 ลิตรต่อนาที ในระบบแผง PV/T เชื่อมต่อกับถังเก็บน้ำร้อนโดยไม่คิดค่าการสูญเสียความร้อนระหว่างแผงกับถังเก็บน้ำร้อน จึงถือว่าแผงและถังเก็บน้ำร้อนเป็นระบบเดียวกัน ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยรายวันของระบบแผงที่ทำการทดสอบ 10 วันมีค่าในช่วง 34.3% ถึง 44.0% ค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นและค่าความเข้มแสงอาทิตย์ สรุปได้ว่าประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยรายวันของแผง PV/T คือ 40.85% เมื่อวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพความร้อนเฉลี่ยรายวันของแผง PV/T เปรียบเทียบกับค่าตัวแปรการสูญเสีย จึงได้สมการหาประสิทธิภาพทางความร้อนเพื่อใช้ในการคำนวณหาพลังงานความร้อนที่แผงผลิตได้ตลอด 1 ปีดังนี้

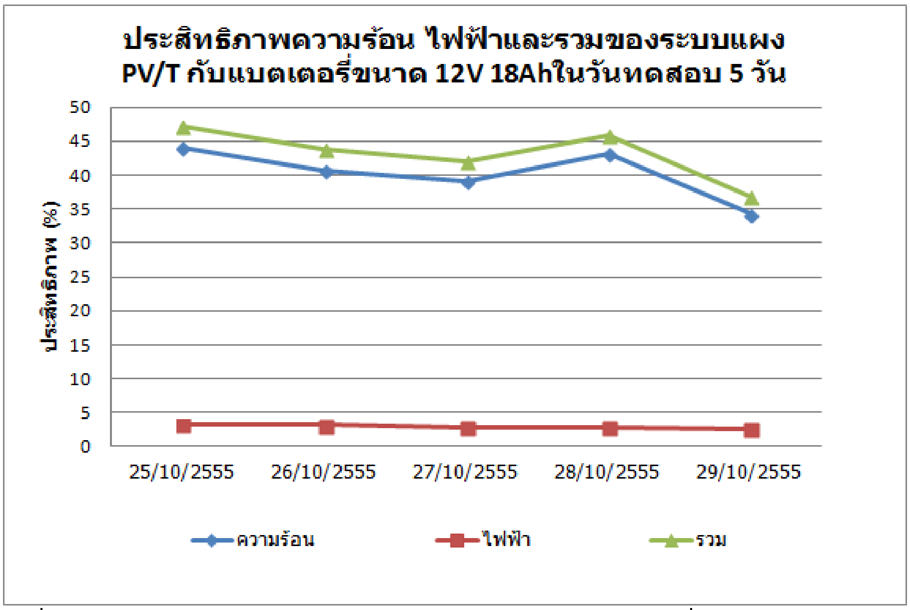
$$\eta_{th} = 0.4157 - 0.0367 - \frac{(T_i - T_a)}{H}$$

ส่วนประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันของระบบแผงกับแบตเตอรี่ที่ทำการทดสอบ 10 วัน โดยแบ่งเป็นการทดสอบแผงกับแบตเตอรี่ขนาด 12V 7Ah ทำการทดสอบ 5 วัน แต่เนื่องจากแบตเตอรี่ขนาด 12v 7Ah มีขนาดไม่เพียงพอในการรองรับการประจุไฟฟ้าจากแผง จึงทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ไม่ใช่ค่าที่ให้ประสิทธิภาพที่ดี จึงมีการเพิ่มขนาดแบตเตอรี่เป็น 12V 18Ah โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 5 วัน ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันของระบบแผงกับแบตเตอรี่ขนาด 12V 18Ah มีค่าในช่วง 2.6% ถึง 3.2% ค่าประสิทธิภาพที่แตกต่างก็ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสงที่แผงได้รับ สรุปได้ว่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันของแผง PV/T คือ 3.0% เมื่อวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันของแผง PV/T เปรียบเทียบกับค่าตัวแปรการสูญเสีย จึงได้สมการประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเพื่อใช้ในการคำนวณหาพลังงานความร้อนที่แผงผลิตได้ตลอด 1 ปีดังนี้

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



รูปที่ 5.1 แสดงประสิทธิภาพความร้อน และไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ 12V 7Ah รายวัน



รูปที่ 5.2 แสดงประสิทธิภาพความร้อน และไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ 12V 18Ah รายวัน

การคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนและไฟฟ้าของระบบแผง PV/T ตลอดทั้งปี โดยใช้ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอกจากกรมอุตุนิยมวิทยาของเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม ปี 2553 โดยค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่า 465 W/m2 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยมีค่า 13.4 MJ ค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยประมาณ 31°C ในส่วนอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นของทุกวันกำหนดเท่ากับ 29°C เมื่อคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนตลอดทั้งปีจากการคำนวณแผงทดสอบจะให้ค่าพลังงานเท่ากับ 1,476 MJ หรือ 431.3 kWh ส่วนพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี แผงจะให้ค่าพลังงานเท่ากับ 102 MJ หรือ 28.4 kWh จากการคำนวณสมการตามมาตรฐาน ASHRAE 93-97 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและความร้อนของระบบ PV/T กับข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอก ปี 2553 ของกรมอุตุนิยมวิทยาสามารถสรุปผลการพยากรณ์แผง PV/T จำนวน 1 แผงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า 78 Whr ต่อวัน และอุณหภูมิน้ำร้อน 41.7°C

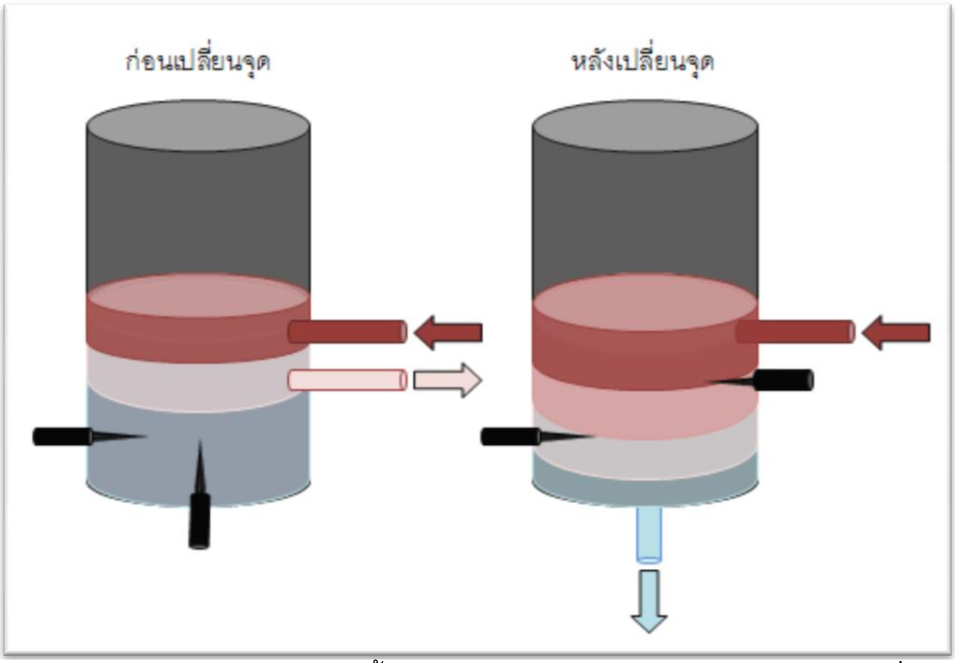
การคำนวณหาพื้นที่แผงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าที่กำหนดความต้องการใช้ไฟฟ้าซึ่งกำหนดให้ประสิทธิภาพการประจุไฟฟ้าจากแผงลงแบตเตอรี่โดยผ่านเครื่องควบคุมการประจุมีค่า 0.95 พลังงานไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ได้ 78 Wh ต่อวัน โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 กรณีการใช้ไฟฟ้าคือ การใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบกระแสไฟฟ้าตรง (DC) และการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบกระแสสลับ (AC) ในกรณีแรกแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเน้นการใช้ไฟฟ้าด้านแสงสว่างโดยใช้ไฟฟ้ากับหลอดไฟ LED สรุปได้ว่าแผง PV/T สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 78 Wh หากมีความต้องการใช้ไฟฟ้า 420 Wh ใน 1 วัน เมื่อต้องการคำนวณหาพื้นที่แผง PV/T ที่ต้องใช้ตามความต้องการพลังงานไฟฟ้าโดย

คำนวณดังนี้ 420 Wh/78 Wh = 5.3 ดังนั้นจึงทราบจำนวนแผงที่ต้องการใช้คือ 5.3 หรือประมาณ 6 แผง จึงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอกับความต้องการใช้ และมีน้ำร้อน 41.7 ^{o}C ปริมาณ 480 ลิตรที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

สำหรับกรณีที่ 2 แบบใช้กระแสไฟฟ้าสลับ (AC) มีการคำนวณตามหลักการเดียวกับกรณีแรกที่กล่าวมาข้างต้นหากแต่ต้องมีการใช้เครื่องอินเวอร์เตอร์ในการแปลงไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นกระแสสลับ เมื่อมีการคำนวณจะต้องใช้ค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์มาคูณเพื่อหาพลังงานไฟฟ้าจริงที่ได้ โดยค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ 0.85 ดังนั้นหากแผง PV/T ผลิตไฟฟ้าประจุลงแบตเตอรี่ได้พลังงานไฟฟ้า 78 Wh เมื่อผ่านเครื่องอินเวอร์เตอร์จะได้พลังงานไฟฟ้า 66.3 Wh เมื่อต้องการคำนวณหาจำนวนแผงที่ต้องการ ขนาดพื้นที่ของแผงทั้งหมด อุณหภูมิน้ำและปริมาณน้ำทั้งหมดที่ได้ก็คำนวณเช่นเดียวกับตัวอย่างการคำนวณในกรณีแรกที่กล่าวมาแล้ว จากข้อมูลของการประปานครหลวงระบุว่าการใช้ฝักบัวอาบน้ำจะใช้น้ำ 30 ลิตรต่อคนต่อครั้ง ซึ่งใน 1 วันจึงใช้น้ำอาบที่ 60 ลิตร และการใช้น้ำในการล้างจานหรือซักผ้าจะใช้ 9 ลิตรต่อนาที แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมการปรับระดับน้ำในการใช้แต่ละครั้งของผู้ใช้เองว่าจะใช้น้ำประหยัดและเกิดประโยชน์มากน้อยเพียงใด

ข้อเสนอแนะ

หากการใช้จุดน้ำออกจากถังเก็บน้ำร้อนที่อยู่ใกล้กับจุดน้ำร้อนจากแผงเข้าถังเก็บน้ำร้อนจะมีผลทำให้อุณหภูมิน้ำออกจากถังเก็บความร้อนมีค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าค่าอุณหภูมิน้ำภายในถังเนื่องจากอุณหภูมิน้ำที่สูงจะมีความหนาแน่นที่น้อยกว่าอุณหภูมิน้ำที่ต่ำดังนั้นหากใช้จุดน้ำเข้าและออกจากถังที่ใกล้กันจะทำให้อุณหภูมิที่ได้รับพลังงานความร้อนเพียงแค่ส่วนบนของน้ำในถัง ส่วนน้ำด้านล่างถังจะได้รับพลังงานความร้อนแค่เพียงเล็กน้อย อีกทั้งจะมีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้ จึงเสนอแนะได้ว่า หากต้องการให้ได้ประสิทธิภาพความร้อนของระบบที่ดีควรลดขนาดพื้นที่วงกลมของถังให้แคบลงและควรตั้งถังในแนวตั้งใช้จุดน้ำออกจากถังคือจุดใต้ถังเพื่อให้ค่าอุณหภูมิน้ำเข้าแผงเป็นอุณหภูมิที่ต่ำสุด เนื่องจากค่าอุณหภูมิน้ำที่ต่ำจะรับพลังงานความร้อนที่แผงได้ดีกว่าอุณหภูมิที่สูง และเป็นการทำให้ระบบไหลวนของน้ำของถังได้ค่าอุณหภูมิน้ำในถังที่แท้จริงมากยิ่งขึ้นส่งผลดีต่อการนำไปวิเคราะห์คำนวณที่แม่นยำ และอีกอย่างที่สำคัญคือการกำหนดจุดตรวจวัดอุณหภูมิที่เหมาะสม ตัวอย่างการกำหนดจุดน้ำเข้าและออกจากถังดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดงตัวอย่างการกำหนดจุดน้ำเข้าและออกจากถังและจุดตรวจวัดอุณหภูมิที่เหมาะสม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย[2]. พลังงานแสงอาทิตย์. แหล่งที่มา: http://www.egat.co.th [6 กุมภาพันธ์ 2555].

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน[3]. การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์, 2555.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน[4]. การส่งเสริมการใช้น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์, 2550.

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร[6]. แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์, กันยายน 2542.

ดุสิต เครืองาม[1],ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์, แหล่งที่มา:http://www.thaisolarfuture.com [5 มกราคม 2553].

เธียรวิชญ์ เถาว์หิรัญ[18]. สมรรถนะของแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อน ชนิดแผ่นเรียบแบบใช้น้ำถ่ายเทความร้อน สำหรับใช้กับบ้านพักอาศัย. วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 9 ฉบับที่ 2555/2: 22-32.

นิคม ผึ่งคำ, ภราดร ภักดีวานิช, ยุทธนา ฏิระวนิชย์กุล[16]. การเพิ่มสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบหล่อเย็น. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. ฉบับที่ 2, กรกฎาคม-ธันวาคม, 2551.

วิทยา ยงเจริญ[17]. การศึกษาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบ PV/T. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, ตุลาคม, 2554.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน[7]. เป้าหมายและนโยบายการพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย. แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th [กันยายน 2553].

สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา[8]. ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ปี 2553. กรุงเทพฯ, 2555.

ภาษาอังกฤษ

Adnan Ibrahim, Mohd Yusof Othman, Mohd Hafidz Ruslan, Sohif Mat, Kamaruzzaman Sopian[5]. Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011): 352-265.

Bazilian M.D., Kamalanathan H., Prasad D.K[11]. Thermograhic analysis of a building integrated photovoltaic system. Renewable Energy 26(2002): 449-461.

Fujisawa T., Tani T[12]. Annual exergy evaluation on photovoltaic-thermal hybrid collector. Solar Energy Materials and Solar Cells 47(1997): 135-148.

H.A. Zondag, D.W. de Vries, W.G.J. van Helden, R.J.C. van Zolingen, A.A. van Steenhoven[10]. The yield of different combined PV-thermal collector designs. Solar Energy 74(2003): 253-269.

Huang B.J., Lin T.H., Hung W.C., Sun F.S[13]. Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems. Solar Energy 70(2001): 443-338.

Jai Prakash[14]. Transient analysis of a photovoltaic-thermal solar collector for co-generation of electricity and hot air/water. Energy Convers. Mgmt. 11(1994): 967-972.

Ji Jie, Han Jun, Chow Tin-tai, Yi Hua, Lu Jianping, He Wei, Sun Wei[9]. 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.

Ronak Daghigh, Adnan Ibrahim, Goh Li Jin, Modh Hafidz Rusian, Kamaruzzaman Sopian[15]. Predicting the performance of amorphous and crystallines silicon based photovoltaic solar thermal collectors. Energy Conversion and Management 52 (2011): 1741-1747.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ข้อมูล วันที่ 25 ตุลาคม 2555

การหาประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบแผง PV/T เมื่อทราบตัวแปร T_i และ T_f

ตัวอย่างการหาประสิทธิภาพความร้อนรายชั่วโมงของวันที่ 25 ตุลาคม 2555 เวลา 8:00 – 9:00 น.

จากข้อมูลของวันที่ 25 ตุลาคม 2555 มีพื้นที่แผง PV/T 0.79 m^2, ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง 337.5 W/m^2, อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นของชั่วโมง 29.1˚C, อุณหภูมิน้ำสุดท้ายของชั่วโมง 29.9˚C, และเวลาที่แผงได้รับแสงอาทิตย์ 1 ชั่วโมง

$$\eta_{th} = \eta_{th(pv/t)} \times \eta_{th(ST)} = \frac{MC_p\left(T_f - T_i\right)}{G(t)A_p} = \frac{MC_p\left(T_f - T_i\right)}{HA_p}$$

ซึ่ง

M	=	มวลของน้ำในถัง (kg)
C_p	=	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg-K)
T_i	=	อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นในถังเก็บความร้อน (°C)
T_f	=	อุณหภูมิของน้ำสุดท้ายในถังเก็บความร้อน (°C)
$G(t)$	=	พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยภายในช่วงเวลาหนึ่ง (J หรือ MJ) ซึ่ง $G(t)$ มีค่าเท่ากับ H
A_p	=	พื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์: PV (m^2)

แทนค่า

$$\eta_{th} = \frac{\left[80kg \times 4186\frac{J}{kg \cdot \mathrm{K}}\right](29.9 - 29.1)^{\circ}\mathrm{C}}{337.5\frac{W}{m^2} \times 0.79m^2 \times 3600\ s \times 1\ hr}$$

จะได้

$$\eta_{th} = 0.279$$

ดังนั้นค่าประสิทธิทางความร้อนของระบบแผง PV/T จะได้ $0.279 \times 100 = 27.9\%$

การหาค่า (Ti-Ta)/H ของรายชั่วโมง จะใช้ค่าอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นของชั่วโมง 29.1˚C และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอกใน 1 ชั่วโมง 29.13˚C แทนค่าในสมการดังนี้

$$\frac{(T_i - T_a)}{H} = \frac{(29.1 - 29.13)^{\circ}\mathrm{C}}{\left(337.5\frac{W}{m^2} \times 3600\ s \times 1\ hr\right) \times 10^{-6}}$$

จะได้

$$\frac{(T_i - T_a)}{H} = -0.02\frac{^{\circ}\mathrm{C}}{MJ}$$

เมื่อคำนวณรายชั่วโมงครบทั้ง 8 ชั่วโมงของ 10 วันทำการทดสอบมาพล็อตกราฟหาสมการเส้นตรงโดยให้ค่า (Ti-Ta)/H เป็นค่าแกน X และค่าประสิทธิภาพความร้อนรายชั่วโมงเป็นค่าแกน Y จะได้สมการเส้นตรงที่เป็นเส้นแนวโน้มที่ชี้ให้เห็นค่าการสูญเสียพลังงานของระบบ PV/T รายชั่วโมง ซึ่งสมการดังกล่าวจะไม่ได้นำมาใช้คำนวณหาพลังงานความร้อนตลอดทั้งปีเนื่องจากประสิทธิภาพความร้อนที่ใช้ตัวแปรรายวันจะมีความเสถียรและสะท้อนให้เห็นประสิทธิของระบบที่ใช้จริงต่อเนื่องใน 1 วันมากกว่า

<u>ตัวอย่างการหาประสิทธิภาพความร้อนรายวันของวันที่ 25 ตุลาคม 2555</u>

จากข้อมูลของวันที่ 25 ตุลาคม 2555 มีพื้นที่แผง PV/T 0.79 m^2, ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยใน 1 วัน 539.0 W/m^2, อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นของวัน 29.1°C, อุณหภูมิน้ำสุดท้ายของวัน 45.2°C, และเวลาที่แผงได้รับแสงอาทิตย์ 8 ชั่วโมง

$$\eta_{th} = \eta_{th(pv/t)} \times \eta_{th(ST)} = \frac{MC_p(T_f - T_i)}{G(t)A_p} = \frac{MC_p(T_f - T_i)}{HA_p}$$

แทนค่า

$$\eta_{th} = \frac{\left[80kg \times 4186\frac{J}{kg \cdot {}^{\circ}\mathrm{C}}\right](45.2 - 29.1)^{\circ}\mathrm{C}}{539\frac{W}{m^2} \times 0.79m^2 \times 3600\ s \times 8\ hr}$$

จะได้

$$\eta_{th} = 0.439$$

ดังนั้นค่าประสิทธิทางความร้อนของระบบแผง PV/T จะได้ $0.439 \times 100 = 43.9\%$

การหาค่า (Ti-Ta)/H ของรายวัน จะใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเริ่มต้นใน 1 วัน 35.97°C และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอกใน 1 วัน 34.51°C แทนค่าในสมการดังนี้

$$\frac{(T_i - T_a)}{H} = \frac{(35.97 - 34.51)^{\circ}\mathrm{C}}{\left(539\frac{W}{m^2} \times 3600\ s \times 8\ hr\right) \times 10^{-6}}$$

จะได้

$$\frac{(T_i - T_a)}{H} = 0.09\frac{^{\circ}\mathrm{C}}{MJ}$$

เมื่อคำนวณครบทั้ง 10 วันทำการทดสอบมาพล็อตกราฟหาสมการเส้นตรงโดยให้ค่า (Ti-Ta)/H เป็นค่าแกน X และค่าประสิทธิภาพความร้อนรายวันเป็นค่าแกน Y จะได้สมการเส้นตรงที่เป็นเส้นแนวโน้มที่ชี้ให้เห็นค่าการสูญเสียพลังงานของระบบ PV/T รายวัน ซึ่งสมการดังกล่าวจะนำมาใช้คำนวณหาพลังงานความร้อนตลอดทั้งปี

การหาประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบแผง PV/T เมื่อทราบตัวแปร Whr จากแบตเตอรี่

โดยจากข้อมูลของวันที่ 25 ตุลาคม 2555 มีพื้นที่แผง PV/T 0.79 m^2, ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยใน 1 วัน 539.0 W/m^2, พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่ 109.0 Whr

$$\eta_{el} = \frac{IVt}{A_p\ Gt}$$

โดยที่

I	=	กระแสไฟฟ้า (A)
V	=	แรงดันไฟฟ้า (V)
A_p	=	พื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์: PV (m^2)
G	=	ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2)
t	=	เวลา (hr)

แทนค่า

$$\eta_{el} = \frac{109\ Wh}{539\frac{W}{m^2} \times 0.79m^2 \times 8\ hr}$$

จะได้

$$\eta_{el} = 0.032$$

ดังนั้นค่าประสิทธิทางความร้อนของระบบแผง PV/T จะได้ $0.031 \times 100 = 3.2\%$

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณการถดถอยเชิงเส้นตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 เพื่อวิเคราะห์หาพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารายปี

การคำนวณหาพลังงานความร้อนและไฟฟ้าตลอดทั้งปี โดยใช้สมการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตามมาตรฐาน ASHRAE 93-97

สมการประสิทธิภาพความร้อนรายปี

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

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

สมการประสิทธิภาพไฟฟ้ารายปี

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

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

จากสมการข้างต้นสามารถนำมาพยากรณ์หาพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารายปี เพื่อวิเคราะห์หาพลังงานความร้อนและไฟฟ้าที่แผง PV/T ผลิตได้ใน 1 วัน โดยในงานวิจัยใช้ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอกในปี 2553

ตัวอย่างการคำนวณจากข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยและอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยาของวันที่ 1 มกราคม 2553

จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาวันที่ 1 มกราคม 2553 มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยของ วัน 416.1 W/m^2, อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยของวัน 31.3˚C กำหนดค่าอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเป็น 29˚C แล้วใช้ฟังค์ชัน Goalseek ใน Excel เพื่อหาค่าอุณหภูมิสุดท้ายเป็น 40.45˚C ซึ่งจะได้อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเฉลี่ยของวันเป็น 34.7˚C, และเวลาที่แผงได้รับแสงอาทิตย์ 8 ชั่วโมง

แทนค่าในสมการประสิทธิภาพความร้อน

$$\eta_{th} = 0.4157 - 0.0367\frac{MJ}{^{\circ}\text{C}}\left[\frac{34.7 - 31.3^{\circ}\text{C}}{11.98MJ}\right]$$

จะได้

$$\eta_{th} = 0.405$$

ดังนั้นค่าประสิทธิทางความร้อนของระบบแผง PV/T จะได้ $0.423 \times 100 = 40.5\%$

การหาพลังงานความร้อนที่ได้โดยใช้สมการ

$$\eta_{th} = \frac{Q_{th}}{HAp}$$

$$Q_{th} = \eta_{th} \times (HAp)$$

แทนค่า

$$Q_{th} = 0.405 \times (11.98 \times 0.79)$$

จะได้

$$Q_{th} = 3.83\ MJ$$

ดังนั้นสามารถพยากรณ์พลังงานความร้อนที่แผง PV/T ผลิตได้ในวันที่ 1 มกราคม 2553 คือ 3.83 MJ

แทนค่าในสมการประสิทธิภาพไฟฟ้า

$$\eta_{el} = 0.033 - 0.0206\frac{MJ}{°C}\left[\frac{34.7 - 31.3°C}{11.98MJ}\right]$$

จะได้

$$\eta_{el} = 0.027$$

ดังนั้นค่าประสิทธิทางไฟฟ้าของระบบแผง PV/T จะได้ $0.027 \times 100 = 2.7\%$

การหาพลังงานไฟฟ้าที่ได้โดยใช้สมการ

$$\eta_{el} = \frac{Q_{el}}{HAp}$$

$$Q_{el} = \eta_{el} \times (HAp)$$

แทนค่า

$$Q_{el} = 0.027 \times (11.98 \times 0.79)$$

จะได้

$$Q_{el} = 0.26\ MJ$$

ดังนั้นสามารถพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าที่แผง PV/T ผลิตได้ในวันที่ 1 มกราคม 2553 คือ $0.26\ MJ$

จากข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอก ปี 2553 จากกรมอุตุนิยมวิทยา มีข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณได้ 347 วัน เมื่อคำนวณตามตัวอย่างสมการข้างต้นครบทุกวันตามข้อมูลในปี 2553
ทำให้ทราบว่าค่าพลังงานความร้อน 347 วัน มีค่า $1476.06\ MJ$ และพลังงานไฟฟ้ามีค่า $97.11\ MJ$
เมื่อต้องการทราบการพยากรณ์พลังงานความร้อนเฉลี่ยที่ระบบ PV/Tผลิตได้ใน 1 วัน หาได้จาก

$$Q_{th-day} = \frac{Q_{th-347day}}{347}$$

$$Q_{th-day} = \frac{1476.06\ MJ}{347\ day}$$

$$Q_{th-day} = 4.2537\ MJ \text{ หรือ } 4253.7\ kJ$$

ดังนั้นค่าการพยากรณ์พลังงานความร้อนเฉลี่ยที่ระบบ PV/T ผลิตได้ใน 1 วัน คือ $4253.7\ kJ$

เมื่อต้องการทราบการพยากรณ์พลังงานความร้อนเฉลี่ยที่ระบบ PV/Tผลิตได้ใน 1 ปี หาได้จาก

$$Q_{th-year} = 4.2537\ MJ \times 365$$

$$Q_{th-year} = 1552.63\ MJ$$

ดังนั้นค่าการพยากรณ์พลังงานความร้อนเฉลี่ยที่ระบบ PV/T ผลิตได้ใน 1 ปี คือ $1552.63\ MJ$

จากนั้นสามารถหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ระบบผลิตได้ใน 1 วันดังสมการนี้

$$\Delta T = \frac{Q_{th-day}}{MC_p}$$

$$\Delta T = \frac{4253.7\ kJ}{80\ kg \times 4.186\ \frac{kJ}{kg \cdot {}^\circ C}}$$

$$\Delta T = 12.7\ ^{\circ}C$$

$$T = 12.7 + 29 = 41.7^{\circ}C$$

ค่าความต่างของอุณหภูมิคือ $12.7^{\circ}C$ เมื่อนำมาบวกกับค่าอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ทำให้ทราบอุณหภูมิของน้ำร้อนคือ $41.7^{\circ}C$

เมื่อต้องการทราบการพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระบบผลิตได้ใน 1 วัน หาได้จาก

$$Q_{el-day} = \frac{Q_{el-347day}}{347}$$

$$Q_{el-day} = \frac{97.11\ MJ}{347\ day}$$

$$Q_{el-day} = 0.28\ MJ$$

ดังนั้นค่าการพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระบบ PV/T ผลิตได้ใน 1 วัน คือ $0.28\ MJ$

เมื่อต้องการทราบการพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระบบ PV/Tผลิตได้ใน 1 ปี หาได้จาก

$$Q_{th-year} = 0.28\ MJ \times 365$$

$$Q_{th-year} = 102.15\ MJ$$

พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่า $102.15\ MJ$ หรือ $28.37\ kWh$

ดังนั้นใน 1 วัน แผง PV/T จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ $\frac{28370\ Wh}{365\ day} = 77.7\ Wh/day$

ภาคผนวก ค

พลังงานที่ได้จากการคำนวณการถดถอยเชิงเส้นตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 ของเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2553

พลังงานความร้อนและไฟฟ้าที่ได้จากการประยุกต์ใช้สมการประสิทธิภาพของแผง PV/T ตลอดทั้งปี โดยใช้ข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์และค่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ปี 2553 ของกรมอุตุนิยมวิทยา

เดือนมกราคม ปี 2553

วันที่	พลังงานความร้อน		พลังงานไฟฟ้า		พลังงานรวม	
	MJ	kWh	MJ	kWh	MJ	kWh
1	3.83	1.06	0.26	0.07	4.09	1.14
2	4.34	1.21	0.27	0.08	4.61	1.28
3	5.12	1.42	0.34	0.09	5.46	1.52
4	4.56	1.27	0.30	0.08	4.86	1.35
5	4.45	1.24	0.29	0.08	4.74	1.32
6	2.71	0.75	0.14	0.04	2.85	0.79
7	4.59	1.28	0.27	0.08	4.86	1.35
8	3.46	0.96	0.17	0.05	3.63	1.01
9	4.60	1.28	0.26	0.07	4.86	1.35
10	4.72	1.31	0.30	0.08	5.02	1.39
11	4.27	1.19	0.28	0.08	4.55	1.26
12	4.61	1.28	0.30	0.08	4.91	1.36
13	5.32	1.48	0.31	0.09	5.63	1.56
14	4.98	1.38	0.28	0.08	5.26	1.46
15	4.66	1.29	0.26	0.07	4.92	1.37
16	4.96	1.38	0.30	0.08	5.26	1.46
17	5.60	1.56	0.31	0.09	5.91	1.64
18	5.77	1.60	0.30	0.08	6.07	1.69
19	5.01	1.39	0.28	0.08	5.29	1.47
20	3.65	1.01	0.20	0.06	3.85	1.07
21	2.44	0.68	0.11	0.03	2.55	0.71
22	2.62	0.73	0.13	0.04	2.75	0.76
23	4.50	1.25	0.25	0.07	4.75	1.32
24	3.00	0.83	0.17	0.05	3.17	0.88
25	4.21	1.17	0.26	0.07	4.47	1.24
26	5.12	1.42	0.31	0.09	5.43	1.51
27	5.07	1.41	0.32	0.09	5.39	1.50
28	4.49	1.25	0.30	0.08	4.79	1.33
29	4.28	1.19	0.26	0.07	4.54	1.26
30	3.28	0.91	0.20	0.06	3.48	0.97
31	5.61	1.56	0.36	0.10	5.97	1.66
รวม	135.83	37.73	8.09	2.25	143.92	39.98

เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2553

วันที่	พลังงานความร้อน		พลังงานไฟฟ้า		พลังงานรวม	
	MJ	kWh	MJ	kWh	MJ	kWh
1	5.11	1.42	0.34	0.09	5.45	1.51
2	5.47	1.52	0.36	0.10	5.83	1.62
3	5.72	1.59	0.38	0.11	6.10	1.69
4	5.78	1.61	0.38	0.11	6.16	1.71
5	5.94	1.65	0.39	0.11	6.33	1.76
6	5.33	1.48	0.35	0.10	5.68	1.58
7	5.71	1.59	0.37	0.10	6.08	1.69
8	5.48	1.52	0.35	0.10	5.83	1.62
9	5.36	1.49	0.34	0.09	5.70	1.58
10	5.55	1.54	0.36	0.10	5.91	1.64
11	5.53	1.54	0.36	0.10	5.89	1.64
12	5.56	1.54	0.36	0.10	5.92	1.64
13	5.35	1.49	0.35	0.10	5.70	1.58
14	5.59	1.55	0.36	0.10	5.95	1.65
15	6.05	1.68	0.4	0.11	6.45	1.79
16	5.38	1.49	0.36	0.10	5.74	1.59
17	5.48	1.52	0.36	0.10	5.84	1.62
18	4.34	1.21	0.29	0.08	4.63	1.29
19	4.9	1.36	0.3	0.08	5.20	1.44
20	5.34	1.48	0.32	0.09	5.66	1.57
21	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
22	6.15	1.71	0.41	0.11	6.56	1.82
23	6.52	1.81	0.43	0.12	6.95	1.93
24	6.14	1.71	0.4	0.11	6.54	1.82
25	6.62	1.84	0.45	0.13	7.07	1.96
26	7.05	1.96	0.48	0.13	7.53	2.09
27	6.73	1.87	0.45	0.13	7.18	1.99
28	5.34	1.48	0.36	0.10	5.70	1.58
รวม	153.52	42.64	10.06	2.79	163.58	45.44

เดือนมีนาคม ปี 2553

วันที่	พลังงานความร้อน		พลังงานไฟฟ้า		พลังงานรวม	
	MJ	kWh	MJ	kWh	MJ	kWh
1	4.97	1.38	0.34	0.09	5.31	1.48
2	6.46	1.79	0.44	0.12	6.90	1.92
3	6.24	1.73	0.43	0.12	6.67	1.85
4	6.95	1.93	0.47	0.13	7.42	2.06
5	6.71	1.86	0.47	0.13	7.18	1.99
6	6.20	1.72	0.43	0.12	6.63	1.84
7	5.86	1.63	0.4	0.11	6.26	1.74
8	6.42	1.78	0.43	0.12	6.85	1.90
9	6.48	1.80	0.44	0.12	6.92	1.92
10	3.82	1.06	0.22	0.06	4.04	1.12
11	5.78	1.61	0.35	0.10	6.13	1.70
12	6.44	1.79	0.45	0.13	6.89	1.91
13	6.76	1.88	0.46	0.13	7.22	2.01
14	6.82	1.89	0.46	0.13	7.28	2.02
15	6.74	1.87	0.46	0.13	7.20	2.00
16	6.58	1.83	0.45	0.13	7.03	1.95
17	1.85	0.51	0.12	0.03	1.97	0.55
18	6.32	1.76	0.43	0.12	6.75	1.88
19	5.53	1.54	0.39	0.11	5.92	1.64
20	6.42	1.78	0.44	0.12	6.86	1.91
21	6.15	1.71	0.43	0.12	6.58	1.83
22	6.70	1.86	0.46	0.13	7.16	1.99
23	6.82	1.89	0.46	0.13	7.28	2.02
24	6.83	1.90	0.47	0.13	7.30	2.03
25	6.89	1.91	0.48	0.13	7.37	2.05
26	3.94	1.09	0.19	0.05	4.13	1.15
27	5.59	1.55	0.35	0.10	5.94	1.65
28	5.99	1.66	0.41	0.11	6.40	1.78
29	5.15	1.43	0.37	0.10	5.52	1.53
30	6.53	1.81	0.45	0.13	6.98	1.94
31	6.47	1.80	0.45	0.13	6.92	1.92
รวม	186.41	51.78	12.60	3.50	199.01	55.28

เดือนเมษายน ปี 2553

วันที่	พลังงานความร้อน		พลังงานไฟฟ้า		พลังงานรวม	
	MJ	kWh	MJ	kWh	MJ	kWh
1	6.43	1.79	0.44	0.12	6.87	1.91
2	6.97	1.94	0.49	0.14	7.46	2.07
3	7.01	1.95	0.49	0.14	7.50	2.08
4	6.04	1.68	0.44	0.12	6.48	1.80
5	6.4	1.78	0.46	0.13	6.86	1.91
6	7.1	1.97	0.5	0.14	7.60	2.11
7	7.11	1.98	0.5	0.14	7.61	2.11
8	7.13	1.98	0.5	0.14	7.63	2.12
9	6.61	1.84	0.47	0.13	7.08	1.97
10	6.42	1.78	0.45	0.13	6.87	1.91
11	7.05	1.96	0.51	0.14	7.56	2.10
12	6.99	1.94	0.5	0.14	7.49	2.08
13	7.12	1.98	0.52	0.14	7.64	2.12
14	6.49	1.80	0.46	0.13	6.95	1.93
15	7.22	2.01	0.51	0.14	7.73	2.15
16	5.71	1.59	0.38	0.11	6.09	1.69
17	2.22	0.62	0.13	0.04	2.35	0.65
18	5.93	1.65	0.41	0.11	6.34	1.76
19	7.02	1.95	0.5	0.14	7.52	2.09
20	7	1.94	0.51	0.14	7.51	2.09
21	7.1	1.97	0.51	0.14	7.61	2.11
22	6.95	1.93	0.51	0.14	7.46	2.07
23	7.02	1.95	0.51	0.14	7.53	2.09
24	2.85	0.79	0.19	0.05	3.04	0.84
25	6.82	1.89	0.48	0.13	7.30	2.03
26	7.15	1.99	0.51	0.14	7.66	2.13
27	6.75	1.88	0.44	0.12	7.19	2.00
28	5.81	1.61	0.36	0.10	6.17	1.71
29	6.86	1.91	0.44	0.12	7.30	2.03
30	6.99	1.94	0.49	0.14	7.48	2.08
รวม	194.27	53.96	13.61	3.78	207.88	57.74

เดือนพฤษภาคม ปี 2555

วันที่	พลังงานความร้อน		พลังงานไฟฟ้า		พลังงานรวม	
	MJ	kWh	MJ	kWh	MJ	kWh
1	2.66	0.74	0.22	0.06	2.88	0.80
2	4.42	1.23	0.32	0.09	4.74	1.32
3	2.10	0.58	0.14	0.04	2.24	0.62
4	2.69	0.75	0.19	0.05	2.88	0.80
5	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
6	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
7	6.57	1.83	0.47	0.13	7.04	1.96
8	5.37	1.49	0.40	0.11	5.77	1.60
9	6.47	1.80	0.48	0.13	6.95	1.93
10	6.62	1.84	0.49	0.14	7.11	1.98
11	5.53	1.54	0.41	0.11	5.94	1.65
12	2.85	0.79	0.21	0.06	3.06	0.85
13	6.21	1.73	0.43	0.12	6.64	1.84
14	6.62	1.84	0.47	0.13	7.09	1.97
15	5.96	1.66	0.44	0.12	6.40	1.78
16	1.17	0.33	0.08	0.02	1.25	0.35
17	4.20	1.17	0.26	0.07	4.46	1.24
18	2.22	0.62	0.16	0.04	2.38	0.66
19	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
20	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
21	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
22	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
23	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
24	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
25	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
26	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
27	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
28	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
29	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
30	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
31	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
รวม	71.66	19.91	5.17	1.44	76.83	21.34

เดือนมิถุนายน ปี 2553

วันที่	พลังงานความร้อน		พลังงานไฟฟ้า		พลังงานรวม	
	MJ	kWh	MJ	kWh	MJ	kWh
1	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
2	4.25*	1.18*	0.28*	0.08*	4.53*	1.26*
3	3.12	0.87	0.25	0.07	3.37	0.94
4	0.64	0.18	0.10	0.03	0.74	0.21
5	2.40	0.67	0.19	0.05	2.59	0.72
6	3.45	0.96	0.24	0.07	3.69	1.03
7	2.13	0.59	0.18	0.05	2.31	0.64
8	2.38	0.66	0.19	0.05	2.57	0.71
9	1.45	0.40	0.13	0.04	1.58	0.44
10	3.40	0.94	0.21	0.06	3.61	1.00
11	2.94	0.82	0.23	0.06	3.17	0.88
12	3.22	0.89	0.26	0.07	3.48	0.97
13	3.30	0.92	0.26	0.07	3.56	0.99
14	3.30	0.92	0.27	0.08	3.57	0.99
15	3.61	1.00	0.29	0.08	3.90	1.08
16	3.47	0.96	0.27	0.08	3.74	1.04
17	3.59	1.00	0.28	0.08	3.87	1.08
18	3.40	0.94	0.27	0.08	3.67	1.02
19	3.58	0.99	0.27	0.08	3.85	1.07
20	2.60	0.72	0.22	0.06	2.82	0.78
21	2.18	0.61	0.19	0.05	2.37	0.66
22	2.29	0.64	0.16	0.04	2.45	0.68
23	4.22	1.17	0.28	0.08	4.50	1.25
24	6.04	1.68	0.40	0.11	6.44	1.79
25	5.30	1.47	0.37	0.10	5.67	1.58
26	4.41	1.23	0.29	0.08	4.70	1.31
27	3.29	0.91	0.25	0.07	3.54	0.98
28	2.50	0.69	0.19	0.05	2.69	0.75
29	3.08	0.86	0.19	0.05	3.27	0.91
30	0.85	0.24	0.07	0.02	0.92	0.26
รวม	86.14	23.93	6.50	1.81	92.64	25.73

เดือนกรกฎาคม ปี 2553

วันที่	พลังงานความร้อน		พลังงานไฟฟ้า		พลังงานรวม	
	MJ	kWh	MJ	kWh	MJ	kWh
1	2.05	0.57	0.14	0.04	2.19	0.61
2	2.47	0.69	0.13	0.04	2.60	0.72
3	2.79	0.78	0.17	0.05	2.96	0.82
4	3.88	1.08	0.25	0.07	4.13	1.15
5	2.95	0.82	0.18	0.05	3.13	0.87
6	4.04	1.12	0.27	0.08	4.31	1.20
7	5.99	1.66	0.40	0.11	6.39	1.78
8	5.00	1.39	0.35	0.10	5.35	1.49
9	5.25	1.46	0.37	0.10	5.62	1.56
10	5.29	1.47	0.35	0.10	5.64	1.57
11	5.13	1.43	0.36	0.10	5.49	1.53
12	5.64	1.57	0.38	0.11	6.02	1.67
13	4.25	1.18	0.30	0.08	4.55	1.26
14	3.15	0.88	0.20	0.06	3.35	0.93
15	2.33	0.65	0.15	0.04	2.48	0.69
16	3.20	0.89	0.22	0.06	3.42	0.95
17	3.03	0.84	0.20	0.06	3.23	0.90
18	2.96	0.82	0.20	0.06	3.16	0.88
19	0.94	0.26	0.04	0.01	0.98	0.27
20	5.67	1.58	0.38	0.11	6.05	1.68
21	5.63	1.56	0.39	0.11	6.02	1.67
22	4.08	1.13	0.29	0.08	4.37	1.21
23	3.77	1.05	0.26	0.07	4.03	1.12
24	3.72	1.03	0.26	0.07	3.98	1.11
25	3.49	0.97	0.23	0.06	3.72	1.03
26	3.10	0.86	0.22	0.06	3.32	0.92
27	3.72	1.03	0.24	0.07	3.96	1.10
28	5.69	1.58	0.36	0.10	6.05	1.68
29	4.24	1.18	0.27	0.08	4.51	1.25
30	3.92	1.09	0.26	0.07	4.18	1.16
31	4.93	1.37	0.33	0.09	5.26	1.46
รวม	122.30	33.97	8.15	2.26	130.45	36.24

เดือนสิงหาคม ปี 2553

วันที่	พลังงานความร้อน		พลังงานไฟฟ้า		พลังงานรวม	
	MJ	kWh	MJ	kWh	MJ	kWh
1	4.42	1.23	0.30	0.08	4.72	1.31
2	2.06	0.57	0.12	0.03	2.18	0.61
3	2.56	0.71	0.14	0.04	2.70	0.75
4	2.80	0.78	0.20	0.06	3.00	0.83
5	3.82	1.06	0.25	0.07	4.07	1.13
6	2.90	0.81	0.20	0.06	3.10	0.86
7	3.52	0.98	0.23	0.06	3.75	1.04
8	4.06	1.13	0.27	0.08	4.33	1.20
9	4.30	1.19	0.29	0.08	4.59	1.28
10	4.55	1.26	0.31	0.09	4.86	1.35
11	1.50	0.42	0.08	0.02	1.58	0.44
12	3.74	1.04	0.22	0.06	3.96	1.10
13	1.38	0.38	0.07	0.02	1.45	0.40
14	2.42	0.67	0.14	0.04	2.56	0.71
15	4.15	1.15	0.27	0.08	4.42	1.23
16	3.73	1.04	0.25	0.07	3.98	1.11
17	3.55	0.99	0.24	0.07	3.79	1.05
18	2.17	0.60	0.15	0.04	2.32	0.64
19	5.00	1.39	0.33	0.09	5.33	1.48
20	3.02	0.84	0.19	0.05	3.21	0.89
21	2.01	0.56	0.13	0.04	2.14	0.59
22	4.23	1.18	0.28	0.08	4.51	1.25
23	3.94	1.09	0.26	0.07	4.20	1.17
24	4.27	1.19	0.25	0.07	4.52	1.26
25	4.81	1.34	0.32	0.09	5.13	1.43
26	5.32	1.48	0.35	0.10	5.67	1.58
27	5.06	1.41	0.35	0.10	5.41	1.50
28	2.37	0.66	0.15	0.04	2.52	0.70
29	3.05	0.85	0.18	0.05	3.23	0.90
30	3.32	0.92	0.23	0.06	3.55	0.99
31	4.43	1.23	0.30	0.08	4.73	1.31
รวม	108.46	30.13	7.05	1.96	115.51	32.09

เดือนกันยายน ปี 2553

วันที่	พลังงานความร้อน		พลังงานไฟฟ้า		พลังงานรวม	
	MJ	kWh	MJ	kWh	MJ	kWh
1	3.83	1.06	0.27	0.08	4.10	1.14
2	4.01	1.11	0.26	0.07	4.27	1.19
3	3.24	0.90	0.21	0.06	3.45	0.96
4	3.14	0.87	0.21	0.06	3.35	0.93
5	3.92	1.09	0.27	0.08	4.19	1.16
6	3.86	1.07	0.27	0.08	4.13	1.15
7	3.07	0.85	0.22	0.06	3.29	0.91
8	3.63	1.01	0.25	0.07	3.88	1.08
9	3.70	1.03	0.26	0.07	3.96	1.10
10	1.31	0.36	0.08	0.02	1.39	0.39
11	1.21	0.34	0.05	0.01	1.26	0.35
12	2.38	0.66	0.15	0.04	2.53	0.70
13	2.35	0.65	0.15	0.04	2.50	0.69
14	1.85	0.51	0.10	0.03	1.95	0.54
15	2.85	0.79	0.18	0.05	3.03	0.84
16	1.28	0.36	0.08	0.02	1.36	0.38
17	1.33	0.37	0.09	0.03	1.42	0.39
18	1.84	0.51	0.09	0.03	1.93	0.54
19	2.81	0.78	0.16	0.04	2.97	0.83
20	3.85	1.07	0.24	0.07	4.09	1.14
21	3.74	1.04	0.27	0.08	4.01	1.11
22	2.53	0.70	0.18	0.05	2.71	0.75
23	1.45	0.40	0.12	0.03	1.57	0.44
24	4.38	1.22	0.28	0.08	4.66	1.29
25	3.61	1.00	0.24	0.07	3.85	1.07
26	3.68	1.02	0.27	0.08	3.95	1.10
27	2.62	0.73	0.18	0.05	2.80	0.78
28	2.62	0.73	0.18	0.05	2.80	0.78
29	2.93	0.81	0.20	0.06	3.13	0.87
30	3.20	0.89	0.22	0.06	3.42	0.95
รวม	86.22	23.95	5.73	1.59	91.95	25.54

เดือนตุลาคม ปี 2553

วันที่	พลังงานความร้อน		พลังงานไฟฟ้า		พลังงานรวม	
	MJ	kWh	MJ	kWh	MJ	kWh
1	3.96	1.10	0.26	0.07	4.22	1.17
2	4.59	1.28	0.29	0.08	4.88	1.36
3	3.92	1.09	0.22	0.06	4.14	1.15
4	1.77	0.49	0.09	0.03	1.86	0.52
5	1.36	0.38	0.05	0.01	1.41	0.39
6	2.60	0.72	0.15	0.04	2.75	0.76
7	4.39	1.22	0.26	0.07	4.65	1.29
8	3.85	1.07	0.25	0.07	4.10	1.14
9	2.02	0.56	0.14	0.04	2.16	0.60
10	4.66	1.29	0.30	0.08	4.96	1.38
11	3.31	0.92	0.22	0.06	3.53	0.98
12	2.98	0.83	0.17	0.05	3.15	0.88
13	3.37	0.94	0.21	0.06	3.58	0.99
14	1.81	0.50	0.10	0.03	1.91	0.53
15	1.18	0.33	0.03	0.01	1.21	0.34
16	1.18	0.33	0.03	0.01	1.21	0.34
17	1.31	0.36	0.04	0.01	1.35	0.38
18	3.24	0.90	0.19	0.05	3.43	0.95
19	3.26	0.91	0.21	0.06	3.47	0.96
20	2.50	0.69	0.14	0.04	2.64	0.73
21	2.60	0.72	0.17	0.05	2.77	0.77
22	4.48	1.24	0.29	0.08	4.77	1.33
23	4.73	1.31	0.32	0.09	5.05	1.40
24	5.24	1.46	0.36	0.10	5.60	1.56
25	3.90	1.08	0.28	0.08	4.18	1.16
26	2.58	0.72	0.14	0.04	2.72	0.76
27	4.71	1.31	0.30	0.08	5.01	1.39
28	4.27	1.19	0.27	0.08	4.54	1.26
29	5.38	1.49	0.31	0.09	5.69	1.58
30	4.21	1.17	0.22	0.06	4.43	1.23
31	2.60	0.72	0.10	0.03	2.70	0.75
รวม	101.96	28.32	6.11	1.70	108.07	30.02

เดือนพฤศจิกายน ปี 2553

วันที่	พลังงานความร้อน		พลังงานไฟฟ้า		พลังงานรวม	
	MJ	kWh	MJ	kWh	MJ	kWh
1	2.50	0.69	0.12	0.03	2.62	0.73
2	2.80	0.78	0.14	0.04	2.94	0.82
3	2.06	0.57	0.10	0.03	2.16	0.60
4	5.12	1.42	0.28	0.08	5.40	1.50
5	3.76	1.04	0.21	0.06	3.97	1.10
6	4.28	1.19	0.25	0.07	4.53	1.26
7	2.54	0.71	0.14	0.04	2.68	0.74
8	4.81	1.34	0.31	0.09	5.12	1.42
9	3.99	1.11	0.24	0.07	4.23	1.18
10	4.52	1.26	0.28	0.08	4.80	1.33
11	1.94	0.54	0.11	0.03	2.05	0.57
12	1.98	0.55	0.12	0.03	2.10	0.58
13	3.15	0.88	0.20	0.06	3.35	0.93
14	5.09	1.41	0.32	0.09	5.41	1.50
15	3.88	1.08	0.26	0.07	4.14	1.15
16	3.04	0.84	0.18	0.05	3.22	0.89
17	4.30	1.19	0.27	0.08	4.57	1.27
18	3.29	0.91	0.22	0.06	3.51	0.98
19	4.24	1.18	0.27	0.08	4.51	1.25
20	3.73	1.04	0.24	0.07	3.97	1.10
21	3.48	0.97	0.24	0.07	3.72	1.03
22	3.42	0.95	0.25	0.07	3.67	1.02
23	4.80	1.33	0.33	0.09	5.13	1.43
24	4.43	1.23	0.30	0.08	4.73	1.31
25	4.67	1.30	0.31	0.09	4.98	1.38
26	4.42	1.23	0.28	0.08	4.70	1.31
27	4.29	1.19	0.26	0.07	4.55	1.26
28	4.33	1.20	0.28	0.08	4.61	1.28
29	4.78	1.33	0.30	0.08	5.08	1.41
30	4.02	1.12	0.27	0.08	4.29	1.19
รวม	113.66	31.57	7.08	1.97	120.74	33.54

เดือนธันวาคม ปี 2553

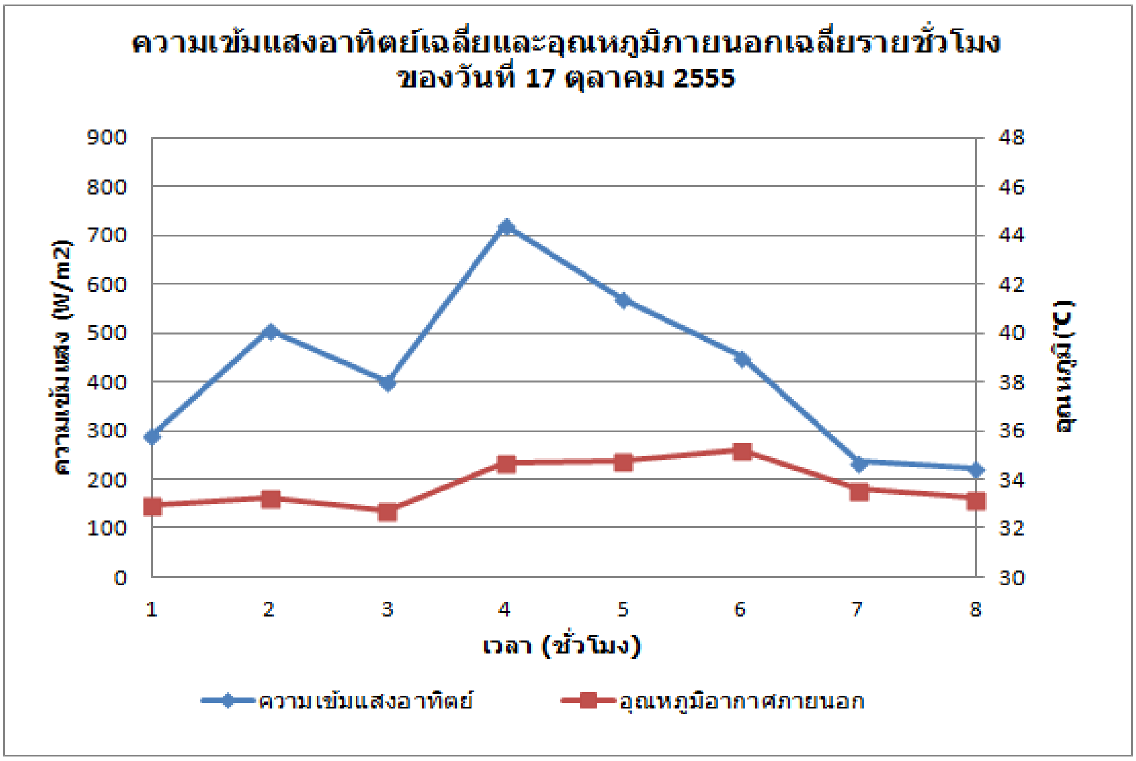
วันที่	พลังงานความร้อน		พลังงานไฟฟ้า		พลังงานรวม	
	MJ	kWh	MJ	kWh	MJ	kWh
1	4.73	1.31	0.31	0.09	5.04	1.40
2	4.13	1.15	0.27	0.08	4.40	1.22
3	4.75	1.32	0.29	0.08	5.04	1.40
4	3.89	1.08	0.23	0.06	4.12	1.14
5	3.92	1.09	0.24	0.07	4.16	1.16
6	2.07	0.58	0.14	0.04	2.21	0.61
7	2.47	0.69	0.15	0.04	2.62	0.73
8	3.30	0.92	0.19	0.05	3.49	0.97
9	4.53	1.26	0.28	0.08	4.81	1.34
10	3.19	0.89	0.20	0.06	3.39	0.94
11	4.11	1.14	0.25	0.07	4.36	1.21
12	3.48	0.97	0.22	0.06	3.70	1.03
13	3.44	0.96	0.19	0.05	3.63	1.01
14	4.09	1.14	0.27	0.08	4.36	1.21
15	3.66	1.02	0.25	0.07	3.91	1.09
16	2.21	0.61	0.16	0.04	2.37	0.66
17	2.39	0.66	0.07	0.02	2.46	0.68
18	4.22	1.17	0.20	0.06	4.42	1.23
19	3.68	1.02	0.20	0.06	3.88	1.08
20	3.67	1.02	0.21	0.06	3.88	1.08
21	4.17	1.16	0.27	0.08	4.44	1.23
22	4.08	1.13	0.26	0.07	4.34	1.21
23	3.74	1.04	0.24	0.07	3.98	1.11
24	2.22	0.62	0.16	0.04	2.38	0.66
25	2.80	0.78	0.20	0.06	3.00	0.83
26	4.73	1.31	0.28	0.08	5.01	1.39
27	4.82	1.34	0.25	0.07	5.07	1.41
28	4.48	1.24	0.26	0.07	4.74	1.32
29	3.64	1.01	0.21	0.06	3.85	1.07
30	4.51	1.25	0.26	0.07	4.77	1.33
31	4.51	1.25	0.25	0.07	4.76	1.32
รวม	115.63	32.12	6.96	1.93	122.59	34.05

ภาคผนวก ง
ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบรายชั่วโมงของระบบ PV/T ทั้ง 10 วันทำการทดสอบ

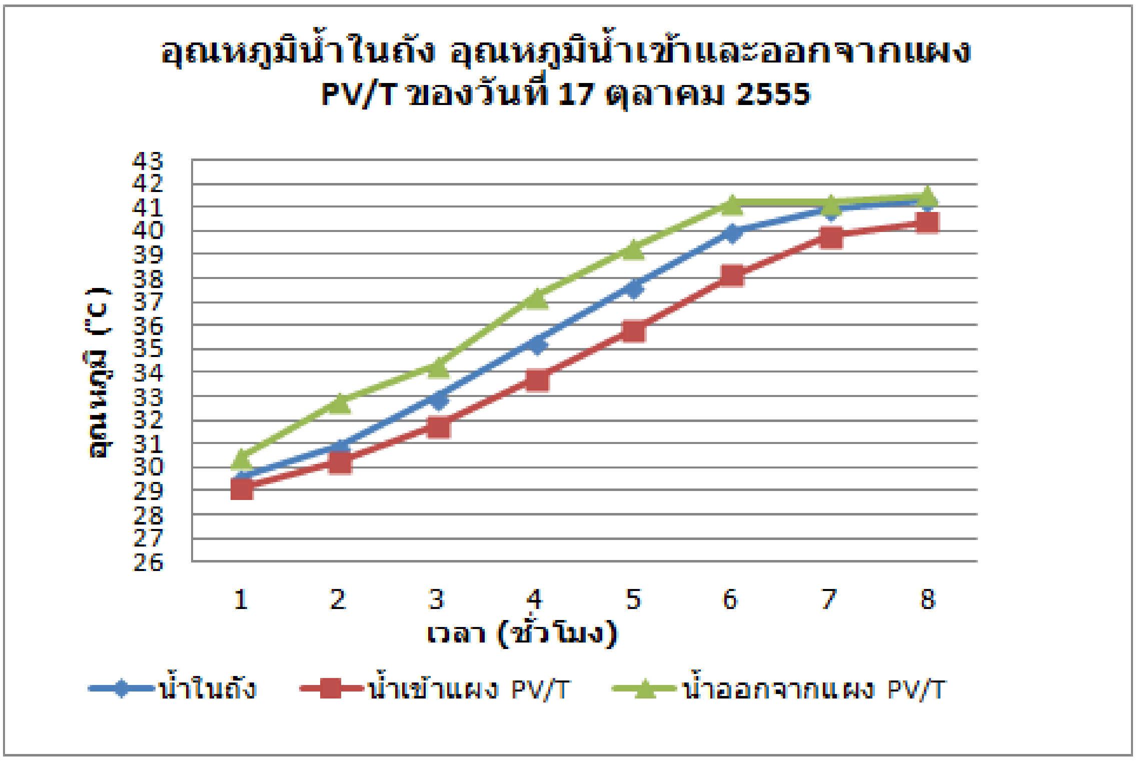
ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 17 ตุลาคม 2555

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำในถังเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผงเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิน้ำออกจากแผงเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิแผง PV/T เฉลี่ย (˚C)	ความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ย (W/m^2)
1	29.6	29.1	30.4	33.0	39.3	290.3
2	30.9	30.3	32.8	33.3	53.1	506.8
3	33.0	31.8	34.3	32.7	53.1	401.4
4	35.3	33.8	37.3	34.7	62.3	720.8
5	37.7	35.8	39.3	34.8	63.1	571.8
6	40.0	38.1	41.2	35.2	61.2	452.4
7	40.9	39.8	41.2	33.6	48.8	236.5
8	41.3	40.4	41.5	33.3	46.4	224.3

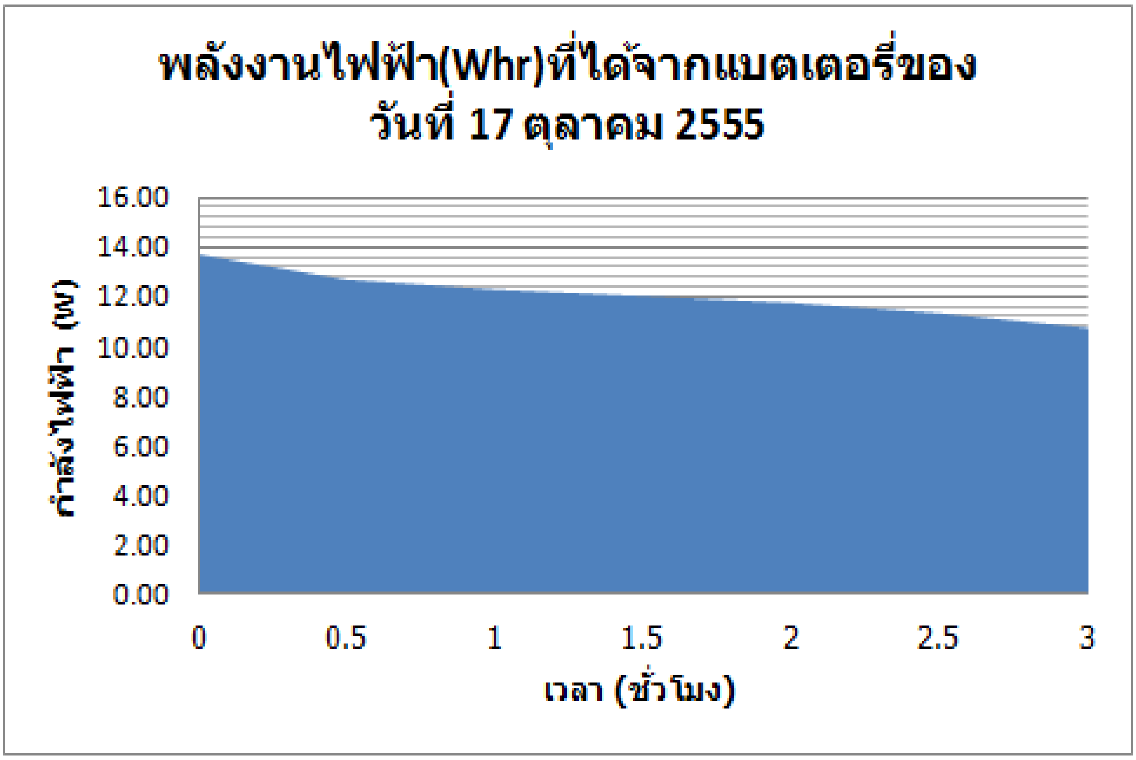
เวลา (ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (I)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมง (Whr)
0	12.41	1.06	13.15	0.00
0.5	12.17	1.05	12.78	6.39
1	11.99	1.03	12.35	12.35
1.5	11.86	1.02	12.10	18.15
2	11.71	1.04	12.18	24.36
2.5	11.61	1.03	11.96	29.90
3	11.33	1.01	11.55	34.65
3.5	11.11	0.99	11.11	38.89



ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยและอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง
ของวันที่ 17 ตุลาคม 2555
ความเข้มแสง (W/m2)
อุณหภูมิ(°C)
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
48
46
44
42
40
38
36
34
32
30
1
2
3
4
5
6
7
8
เวลา (ชั่วโมง)
ความเข้มแสงอาทิตย์
อุณหภูมิอากาศภายนอก



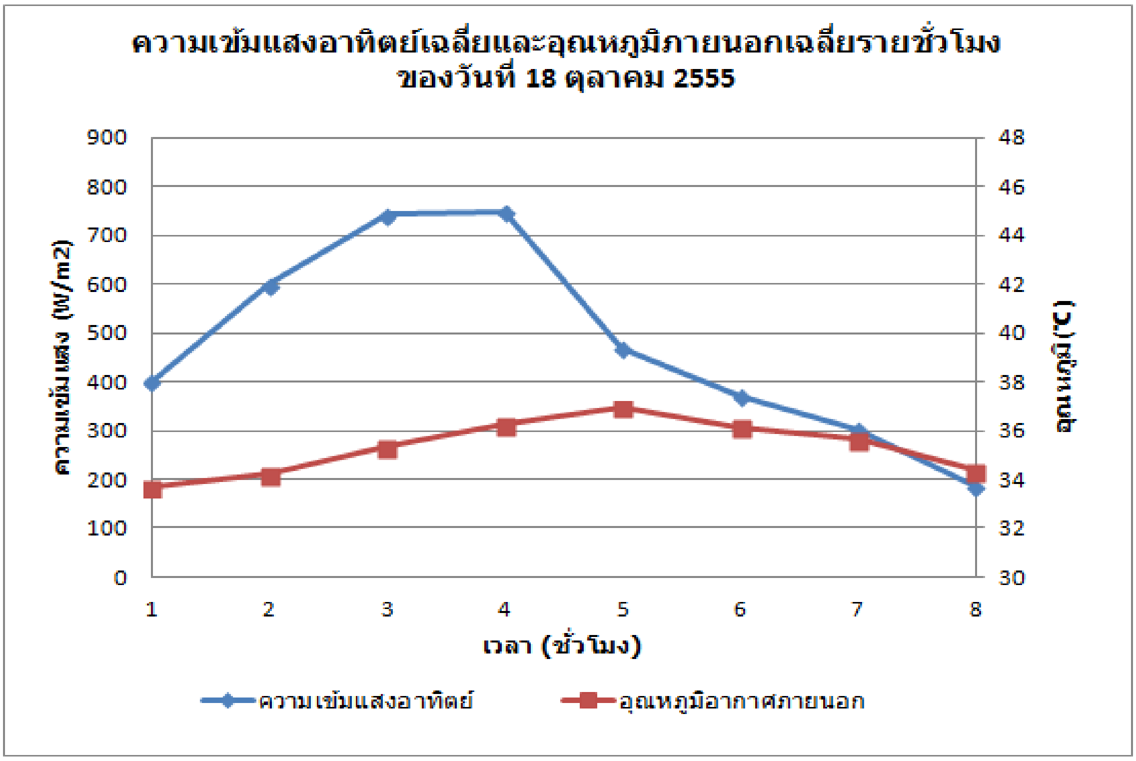
อุณหภูมิน้ำในถัง อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง
PV/T ของวันที่ 17 ตุลาคม 2555
อุณหภูมิ (°C)
43
42
41
40
39
38
37
36
35
34
33
32
31
30
29
28
27
26
1
2
3
4
5
6
7
8
เวลา (ชั่วโมง)
น้ำในถัง
น้ำเข้าแผง PV/T
น้ำออกจากแผง PV/T

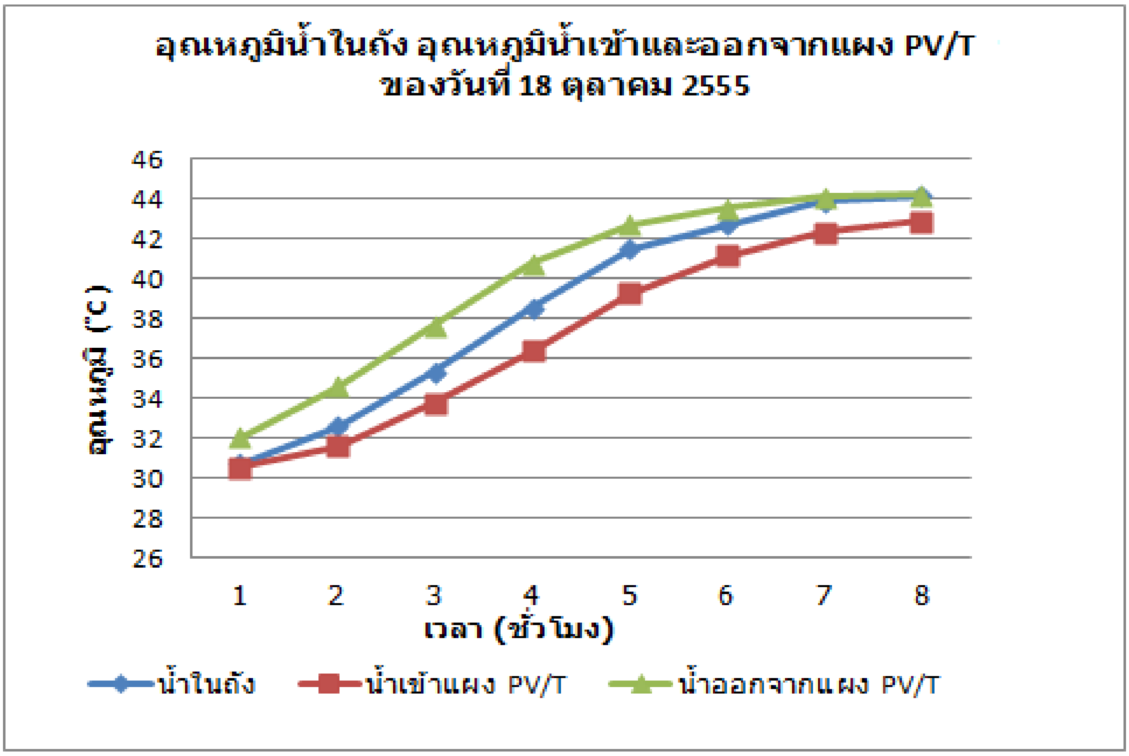

พลังงานไฟฟ้า(Whr)ที่ได้จากแบตเตอรี่ของ
วันที่ 17 ตุลาคม 2555
16.00
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
กำลังไฟฟ้า (W)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
เวลา (ชั่วโมง)

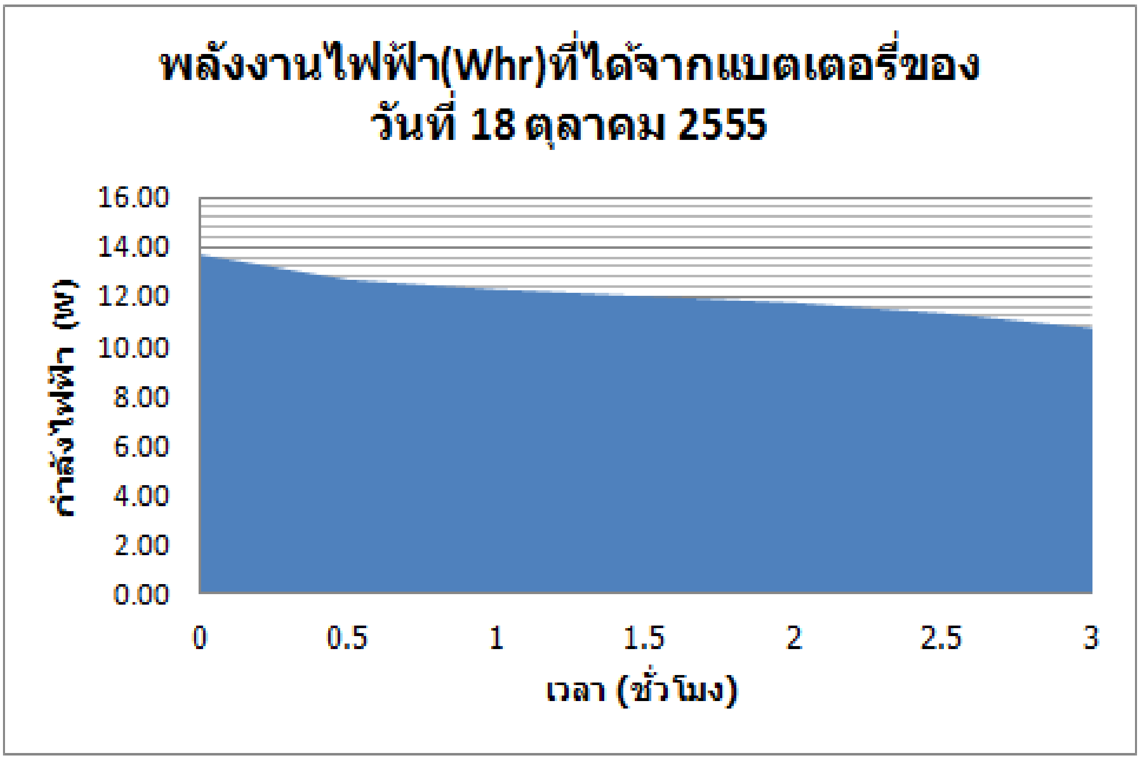
ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 18 ตุลาคม 2555

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำในถังเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผงเฉลี่ย(˚C)	อุณหภูมิน้ำออกจากแผงเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิแผง PV/Tเฉลี่ย (˚C)	ความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ย (W/m^2)
1	30.7	30.6	32.0	33.7	42.9	401.0
2	32.6	31.6	34.6	34.2	58.2	598.9
3	35.3	33.8	37.6	35.3	66.8	743.8
4	38.5	36.4	40.8	36.2	70.9	748.2
5	41.5	39.3	42.7	37.0	65.1	468.6
6	42.7	41.2	43.5	36.1	55.4	371.7
7	43.9	42.3	44.1	35.7	53.9	303.4
8	44.1	42.9	44.2	34.4	49.0	185.3

เวลา (ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (I)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมง (Whr)
0	12.74	1.08	13.76	0.00
0.5	12.02	1.06	12.74	6.37
1	11.87	1.04	12.34	12.34
1.5	11.72	1.03	12.07	18.11
2	11.57	1.02	11.80	23.60
2.5	11.38	1.00	11.38	28.45
3	11.00	0.98	10.78	32.34


ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยและอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง
ของวันที่ 18 ตุลาคม 2555
ความเข้มแสง (W/m2)
อุณหภูมิ(°C)
เวลา (ชั่วโมง)
ความเข้มแสงอาทิตย์
อุณหภูมิอากาศภายนอก

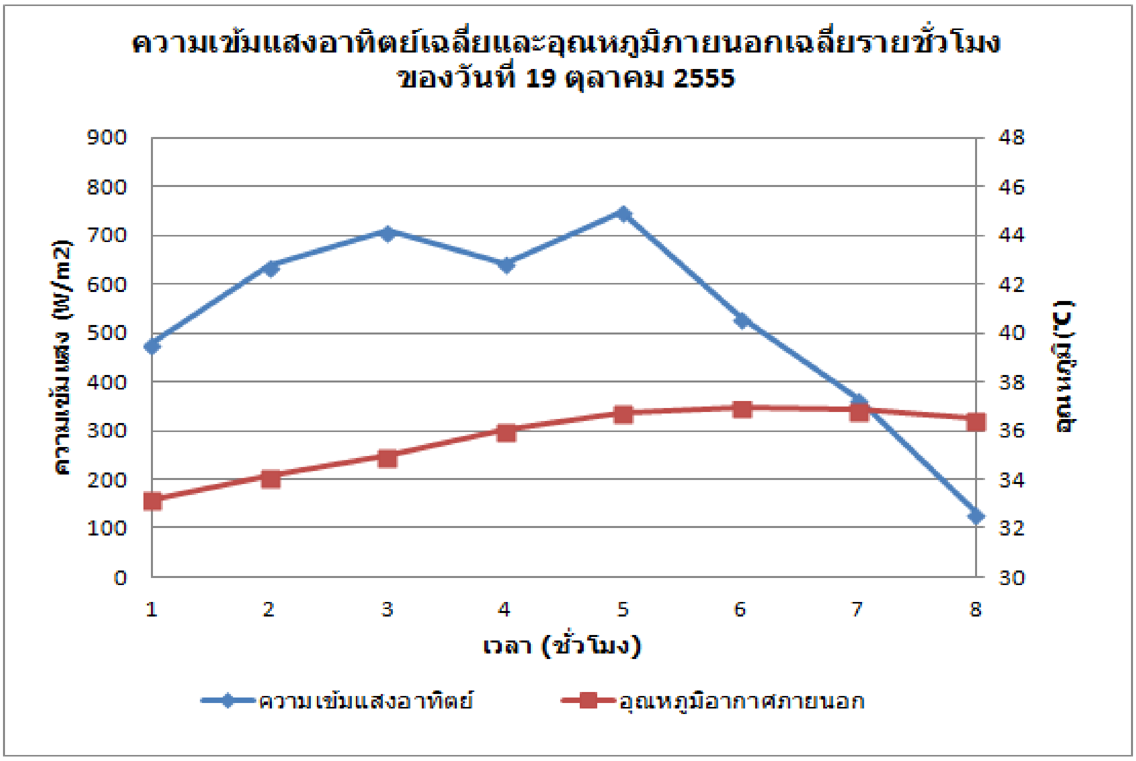

อุณหภูมิน้ำในถัง อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง PV/T
ของวันที่ 18 ตุลาคม 2555
อุณหภูมิ (°C)
เวลา (ชั่วโมง)
น้ำในถัง
น้ำเข้าแผง PV/T
น้ำออกจากแผง PV/T


พลังงานไฟฟ้า(Whr)ที่ได้จากแบตเตอรี่ของ
วันที่ 18 ตุลาคม 2555
16.00
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
กำลังไฟฟ้า (W)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
เวลา (ชั่วโมง)

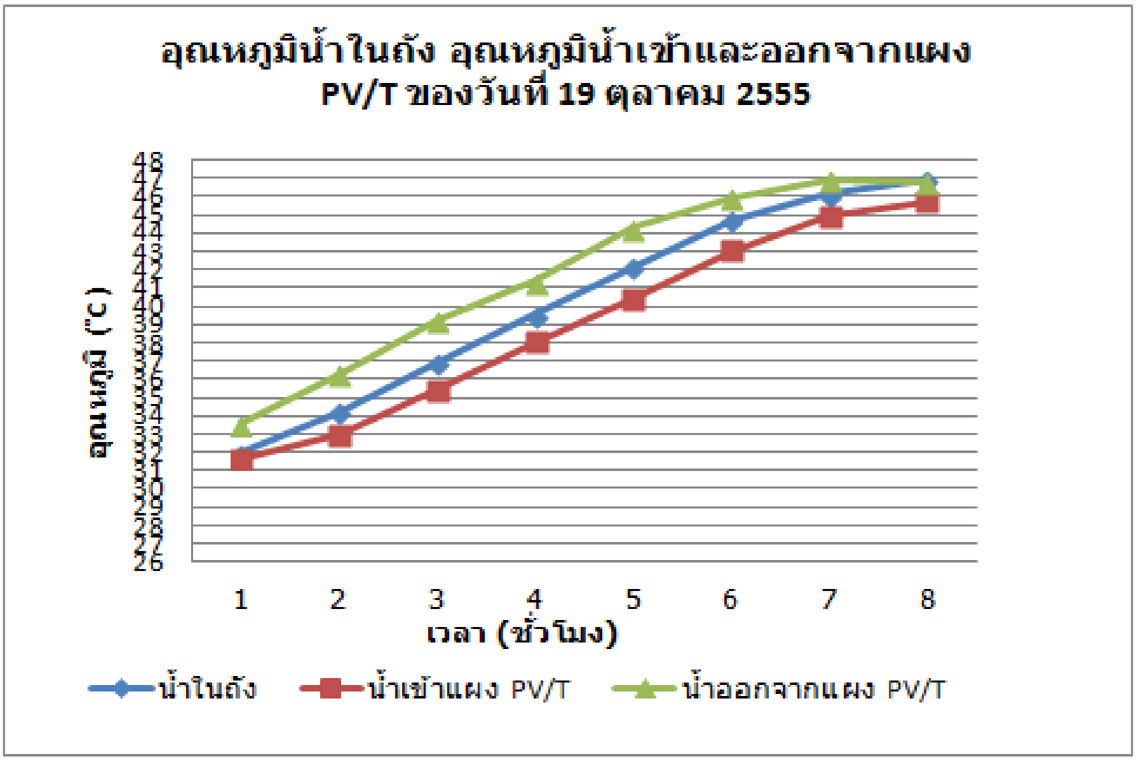
ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 19 ตุลาคม 2555

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำในถังเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผงเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิน้ำออกจากแผงเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิแผง PV/Tเฉลี่ย (˚C)	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย(W/m^2)
1	32.0	31.6	33.6	33.2	46.2	477.9
2	34.2	33.0	36.3	34.2	61.0	636.7
3	36.9	35.4	39.2	35.0	66.2	710.4
4	39.5	38.0	41.4	36.0	64.6	643.8
5	42.2	40.4	44.3	36.7	70.8	748.9
6	44.7	43.1	46.0	37.0	65.6	532.2
7	46.1	44.9	46.9	36.9	59.2	365.8
8	46.9	45.7	46.8	36.5	50.2	131.6

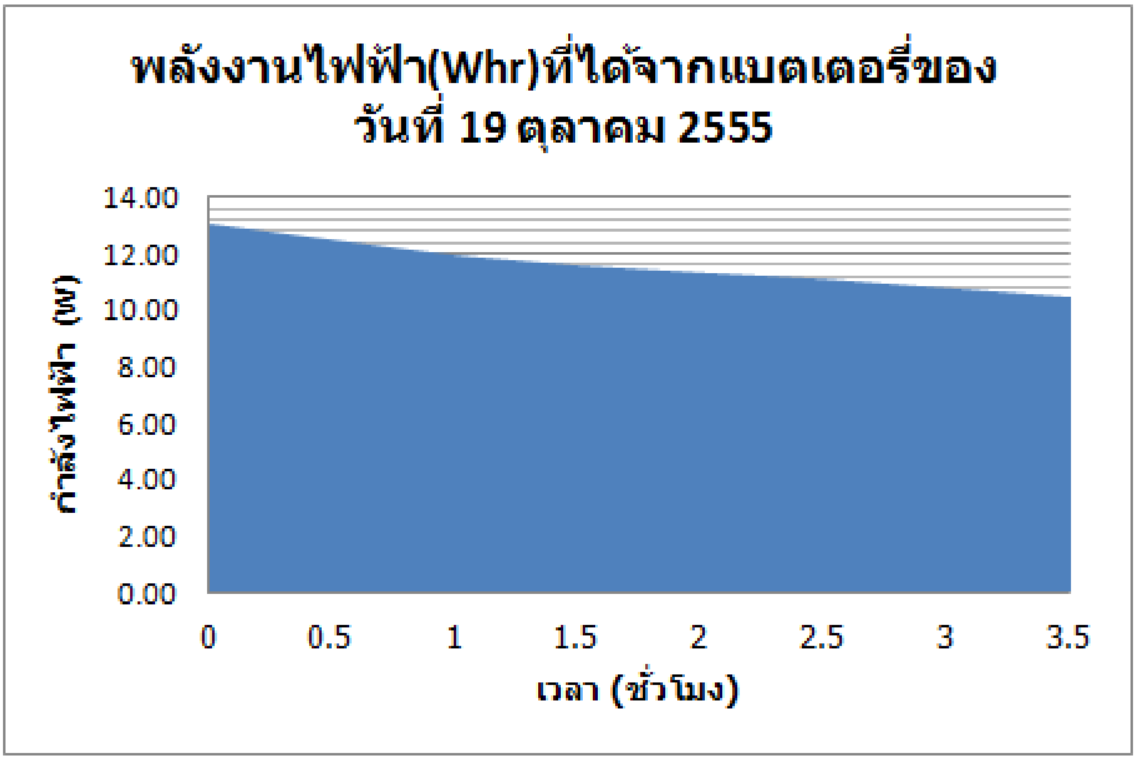
เวลา (ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (I)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมง (Whr)
0	12.20	1.07	13.05	0.00
0.5	12.01	1.04	12.49	6.25
1	11.82	1.01	11.94	11.94
1.5	11.69	0.99	11.57	17.36
2	11.56	0.98	11.33	22.66
2.5	11.32	0.98	11.09	27.73
3	11.11	0.97	10.78	32.33
3.5	10.9	0.96	10.46	36.62



ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยและอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง ของวันที่ 19 ตุลาคม 2555
ความเข้มแสง (W/m2)
อุณหภูมิ(C)
เวลา (ชั่วโมง)
ความเข้มแสงอาทิตย์
อุณหภูมิอากาศภายนอก



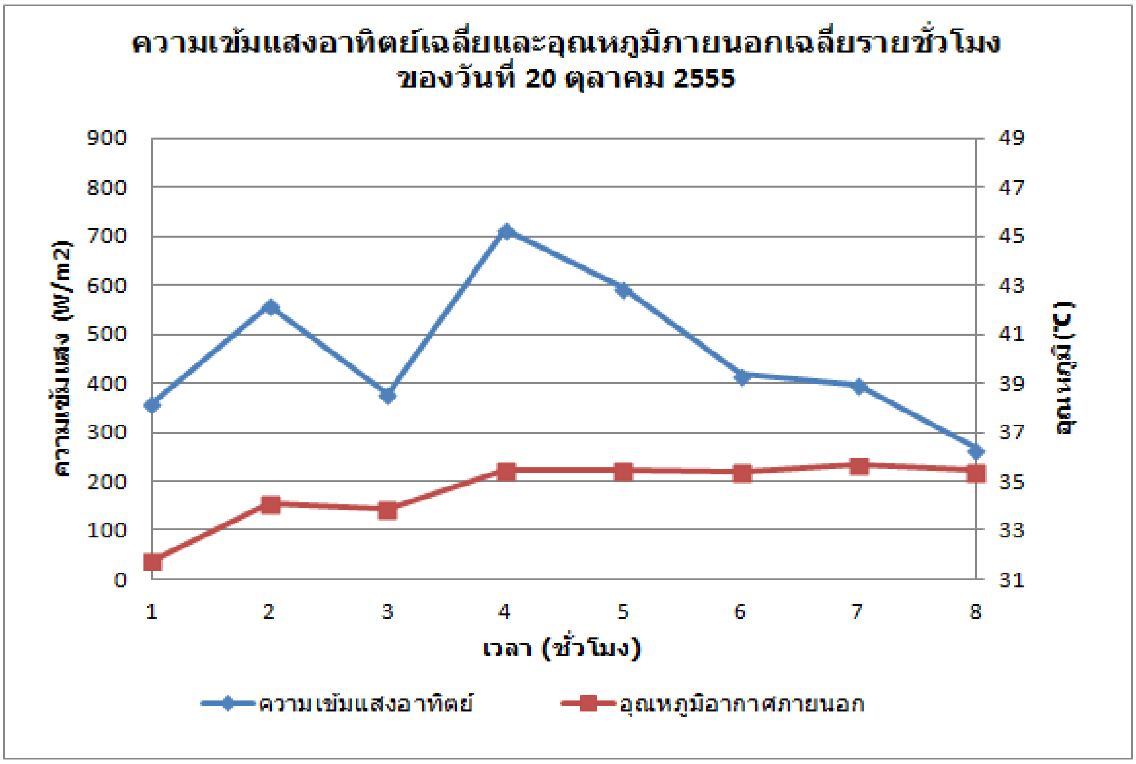
อุณหภูมิน้ำในถัง อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง PV/T ของวันที่ 19 ตุลาคม 2555
อุณหภูมิ (°C)
เวลา (ชั่วโมง)
น้ำในถัง
น้ำเข้าแผง PV/T
น้ำออกจากแผง PV/T

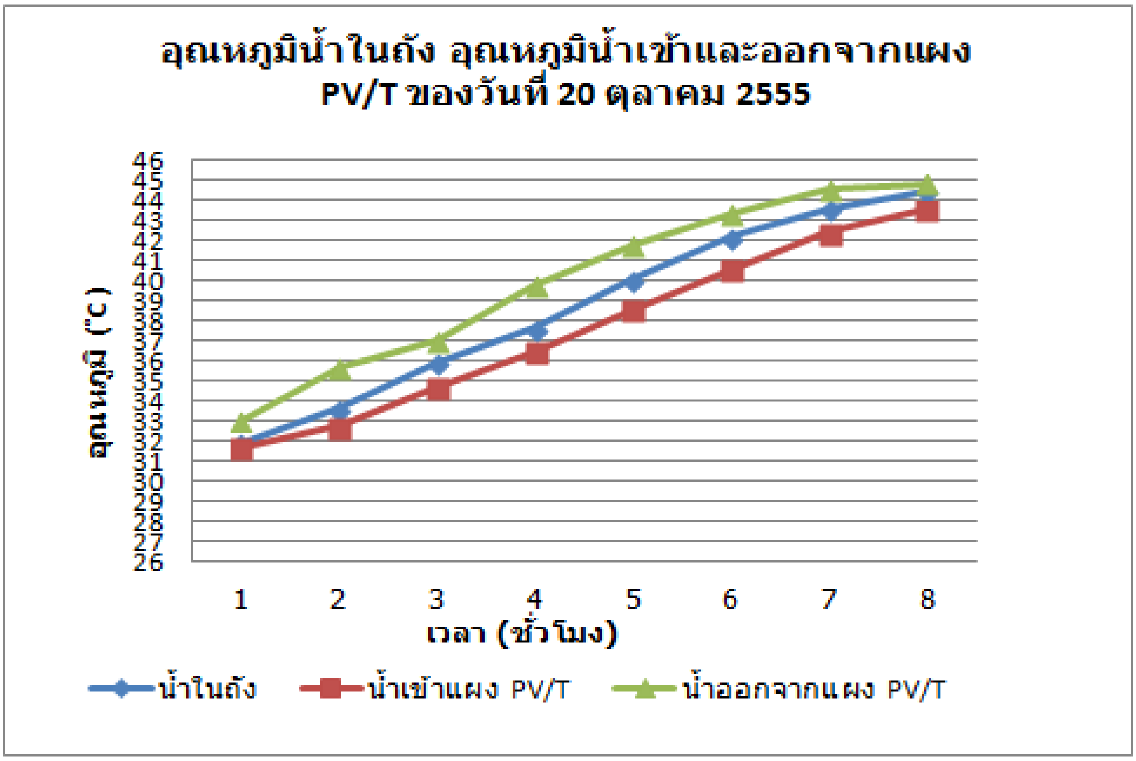

พลังงานไฟฟ้า(Whr)ที่ได้จากแบตเตอรี่ของ
วันที่ 19 ตุลาคม 2555
กำลังไฟฟ้า (W)
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
เวลา (ชั่วโมง)

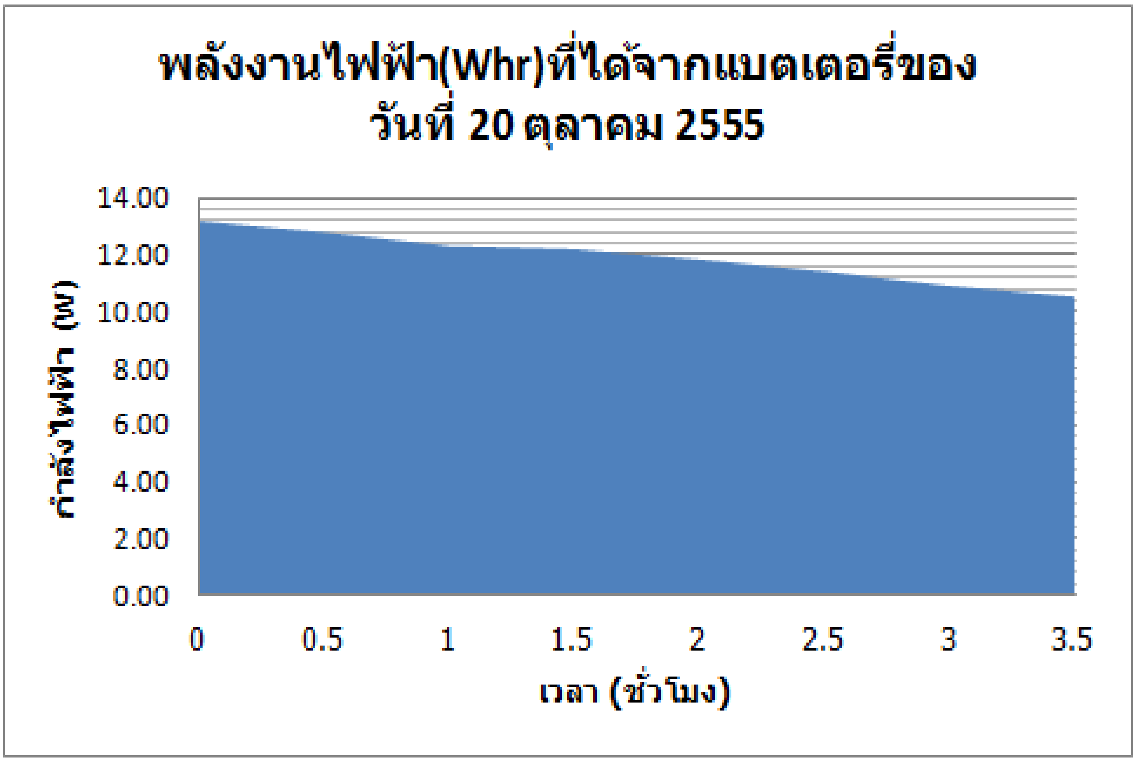
ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 20 ตุลาคม 2555

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำในถังเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผงเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิน้ำออกจากแผงเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิอากาศภายนอก เฉลี่ย(°C)	อุณหภูมิแผง PV/T เฉลี่ย (°C)	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย(W/m^2)
1	31.9	31.7	33.1	31.8	41.5	358.7
2	33.6	32.7	35.7	34.1	57.9	559.1
3	35.9	34.7	37.0	33.9	54.9	377.6
4	37.7	36.5	39.8	35.4	63.1	713.7
5	40.1	38.6	41.7	35.5	62.7	596.5
6	42.2	40.6	43.3	35.4	61.6	418.5
7	43.6	42.4	44.6	35.7	57.8	397.3
8	44.4	43.6	44.8	35.4	51.0	267.1

เวลา (ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (I)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมง (Whr)
0	12.25	1.08	13.23	0.00
0.5	12.11	1.06	12.84	6.42
1	11.88	1.04	12.36	12.36
1.5	11.77	1.04	12.24	18.36
2	11.65	1.02	11.88	23.76
2.5	11.45	1.00	11.45	28.63
3	11.16	0.98	10.94	32.81
3.5	10.89	0.97	10.56	36.97


ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยและอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง
ของวันที่ 20 ตุลาคม 2555
ความเข้มแสง (W/m2)
อุณหภูมิ(°C)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
31
33
35
37
39
41
43
45
47
49
1
2
3
4
5
6
7
8
เวลา (ชั่วโมง)
ความเข้มแสงอาทิตย์
อุณหภูมิอากาศภายนอก

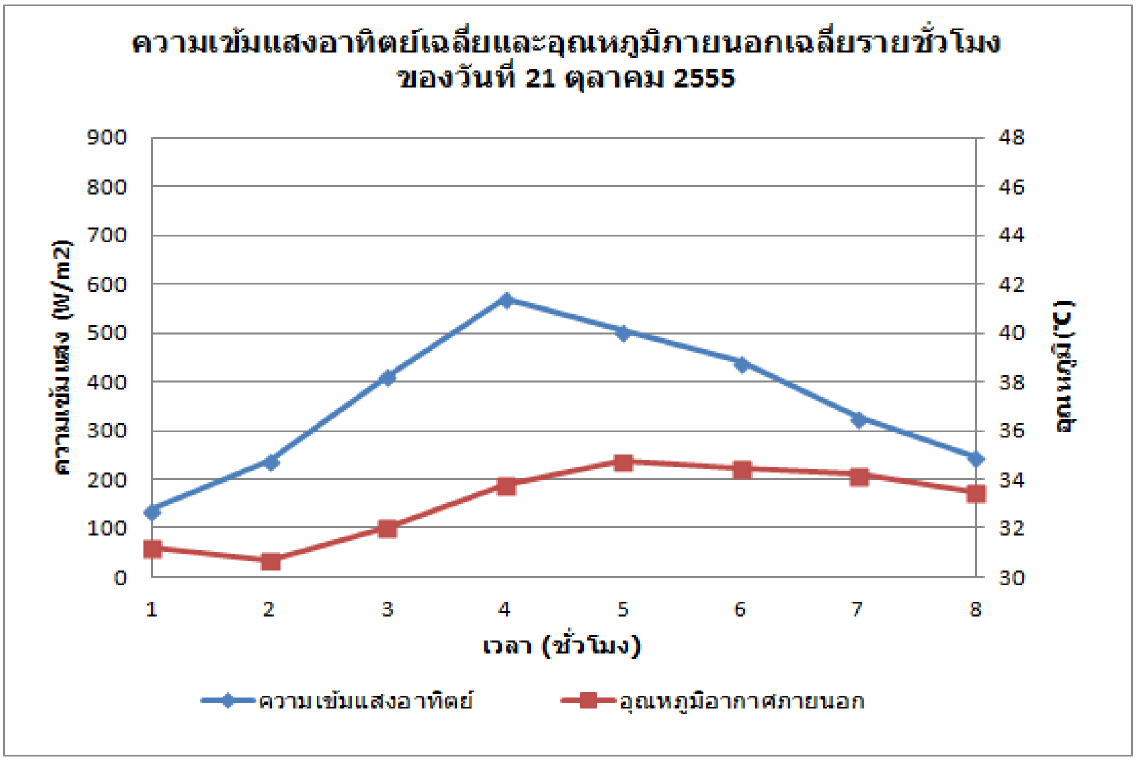

อุณหภูมิน้ำในถัง อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง
PV/T ของวันที่ 20 ตุลาคม 2555
อุณหภูมิ (°C)
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
1
2
3
4
5
6
7
8
เวลา (ชั่วโมง)
น้ำในถัง
น้ำเข้าแผง PV/T
น้ำออกจากแผง PV/T

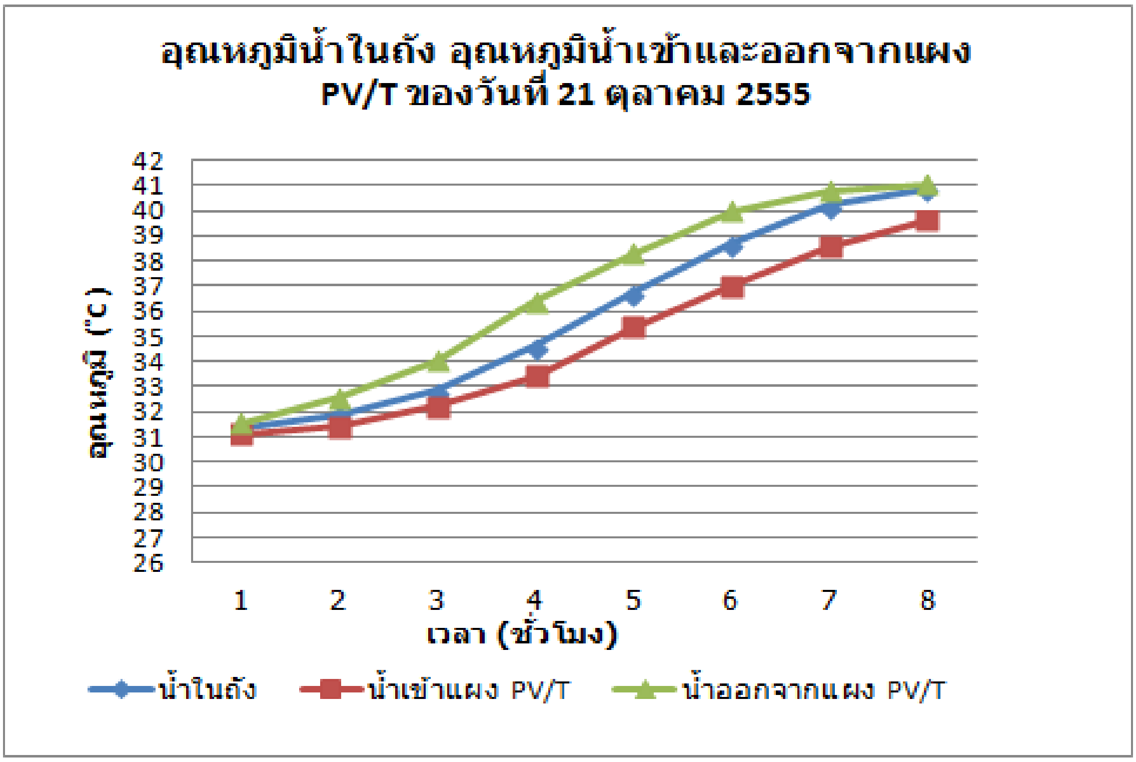

พลังงานไฟฟ้า(Whr)ที่ได้จากแบตเตอรี่ของ
วันที่ 20 ตุลาคม 2555
กำลังไฟฟ้า (W)
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
เวลา (ชั่วโมง)

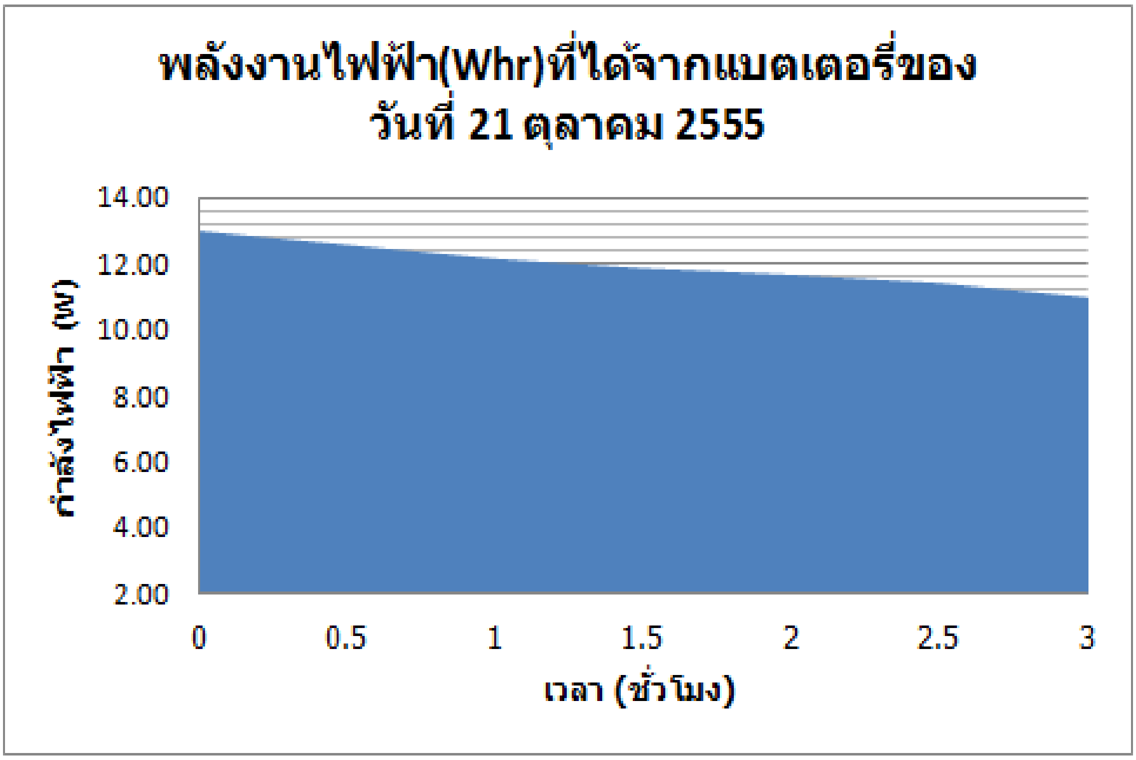
ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 21 ตุลาคม 2555

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำในถังเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผงเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิน้ำออกจากแผงเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิแผง PV/T เฉลี่ย (°C)	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^2)
1	31.4	31.1	31.5	31.2	34.0	138.5
2	31.9	31.4	32.6	30.7	40.0	238.6
3	32.8	32.2	34.0	32.0	46.0	413.0
4	34.6	33.4	36.4	33.8	56.7	569.9
5	36.7	35.4	38.3	34.7	58.1	504.2
6	38.7	37.0	40.0	34.5	56.8	441.2
7	40.2	38.6	40.8	34.2	51.7	327.9
8	40.8	39.6	41.0	33.5	46.8	245.0

เวลา (ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (I)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมง (Whr)
0	12.25	1.06	12.99	0.00
0.5	12.08	1.04	12.56	6.28
1	11.91	1.02	12.15	12.15
1.5	11.74	1.01	11.86	17.79
2	11.55	1.01	11.67	23.33
2.5	11.41	1.00	11.41	28.53
3	11.09	0.99	10.98	32.94


ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยและอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง
ของวันที่ 21 ตุลาคม 2555
ความเข้มแสง (W/m2)
อุณหภูมิ(°C)
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
48
46
44
42
40
38
36
34
32
30
1
2
3
4
5
6
7
8
เวลา (ชั่วโมง)
ความเข้มแสงอาทิตย์
อุณหภูมิอากาศภายนอก

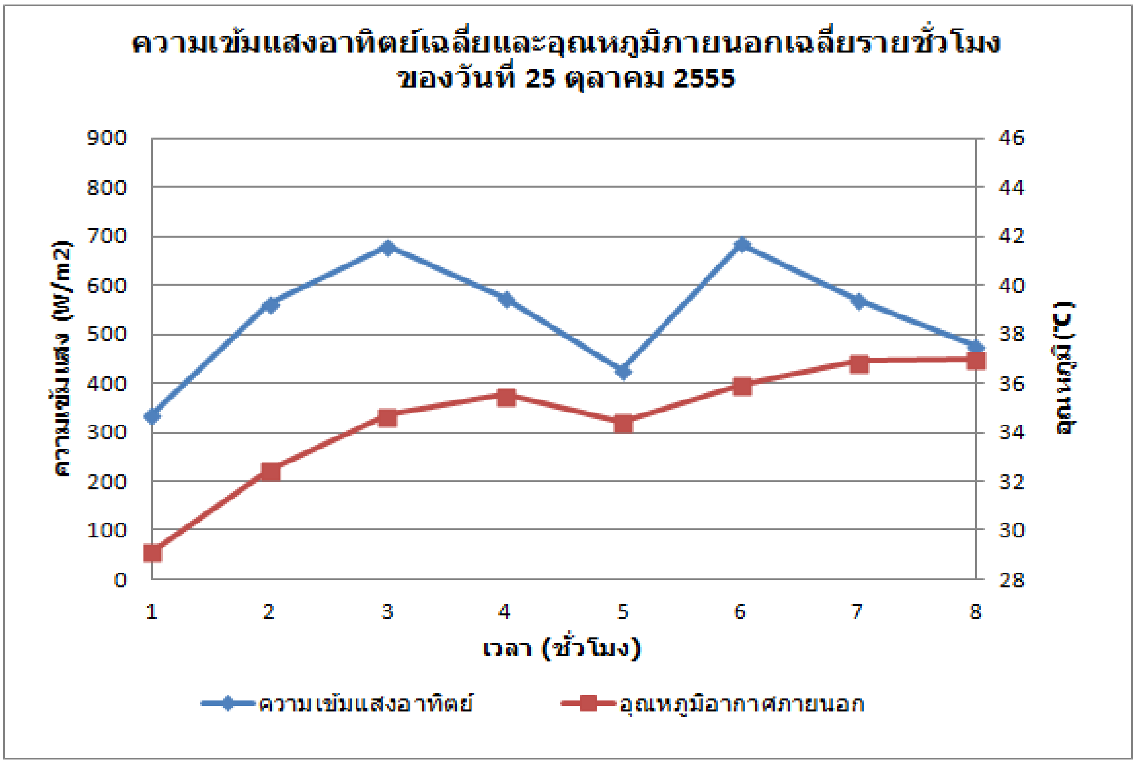

อุณหภูมิน้ำในถัง อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง
PV/T ของวันที่ 21 ตุลาคม 2555
อุณหภูมิ (°C)
42
41
40
39
38
37
36
35
34
33
32
31
30
29
28
27
26
1
2
3
4
5
6
7
8
เวลา (ชั่วโมง)
น้ำในถัง
น้ำเข้าแผง PV/T
น้ำออกจากแผง PV/T

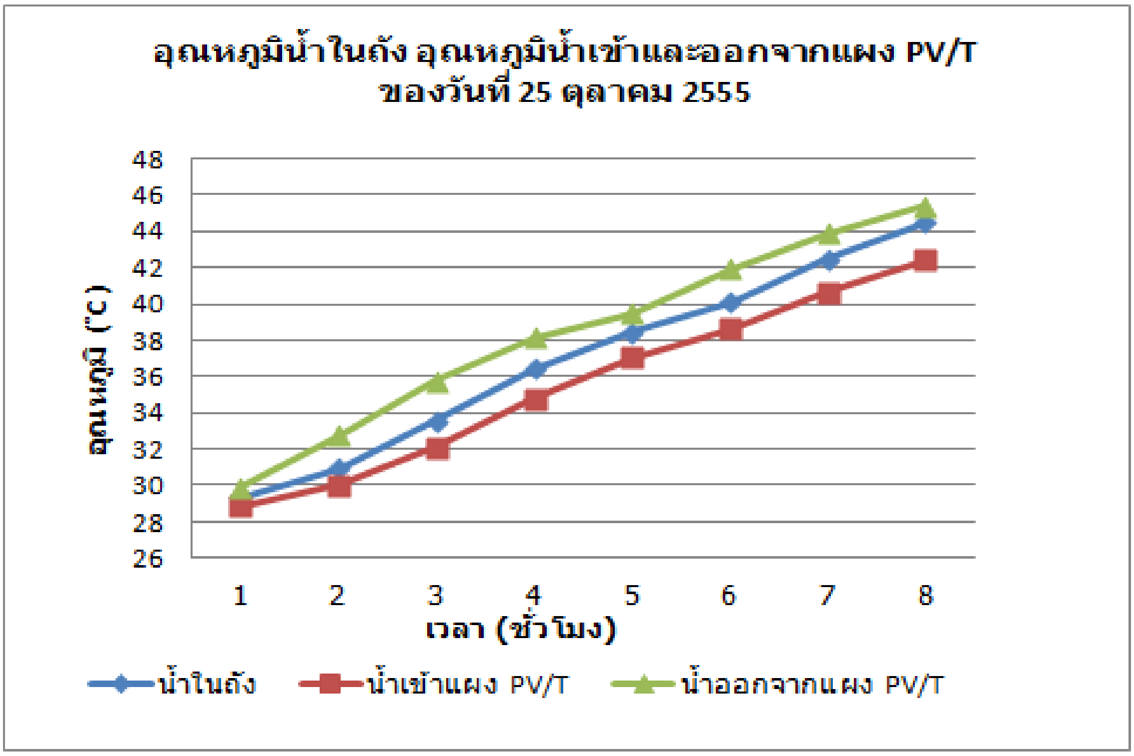

พลังงานไฟฟ้า(Whr)ที่ได้จากแบตเตอรี่ของ
วันที่ 21 ตุลาคม 2555
กำลังไฟฟ้า (W)
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
เวลา (ชั่วโมง)

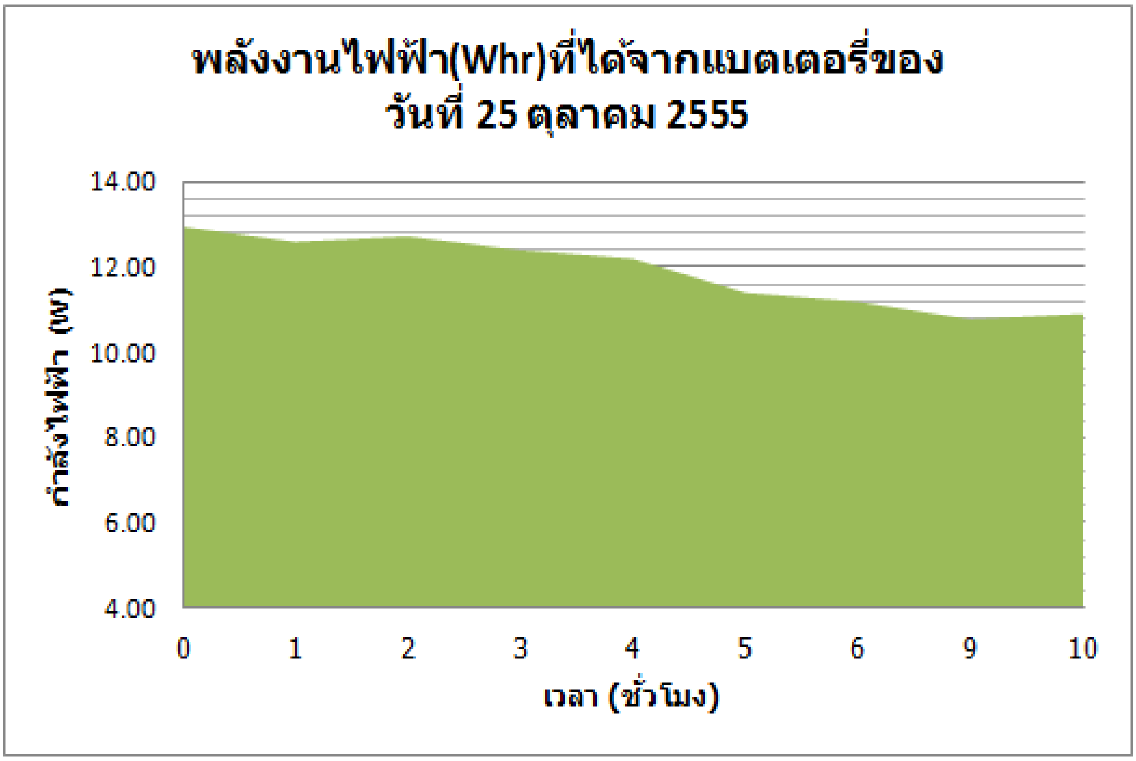
ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 25 ตุลาคม 2555

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำในถังเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผงเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิน้ำออกจากแผงเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิแผง PV/T เฉลี่ย (˚C)	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^2)
1	29.4	28.9	29.9	29.1	25.3	337.5
2	30.9	30.0	32.8	32.5	55.5	563.9
3	33.5	32.1	35.7	34.7	65.2	680.8
4	36.5	34.8	38.2	35.5	65.0	573.4
5	38.5	37.0	39.5	34.5	56.3	425.2
6	40.1	38.7	41.9	36.0	63.3	685.4
7	42.5	40.7	43.9	36.9	65.9	570.1
8	44.5	42.4	45.4	37.0	65.7	475.5

เวลา (ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (I)	กำลังไฟฟ้า (W)	พลังงานไฟฟ้า (Wh)
0	12.32	1.05	12.94	0.00
1	12.22	1.03	12.59	12.59
2	12.11	1.05	12.72	25.43
3	12.03	1.03	12.39	37.17
4	11.95	1.02	12.19	48.76
5	11.51	0.99	11.39	56.97
6	11.41	0.98	11.18	67.09
9	11.22	0.96	10.77	96.94
10	11.12	0.98	10.90	108.98


ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยและอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง
ของวันที่ 25 ตุลาคม 2555
ความเข้มแสง (W/m2)
อุณหภูมิ(°C)
เวลา (ชั่วโมง)
ความเข้มแสงอาทิตย์
อุณหภูมิอากาศภายนอก

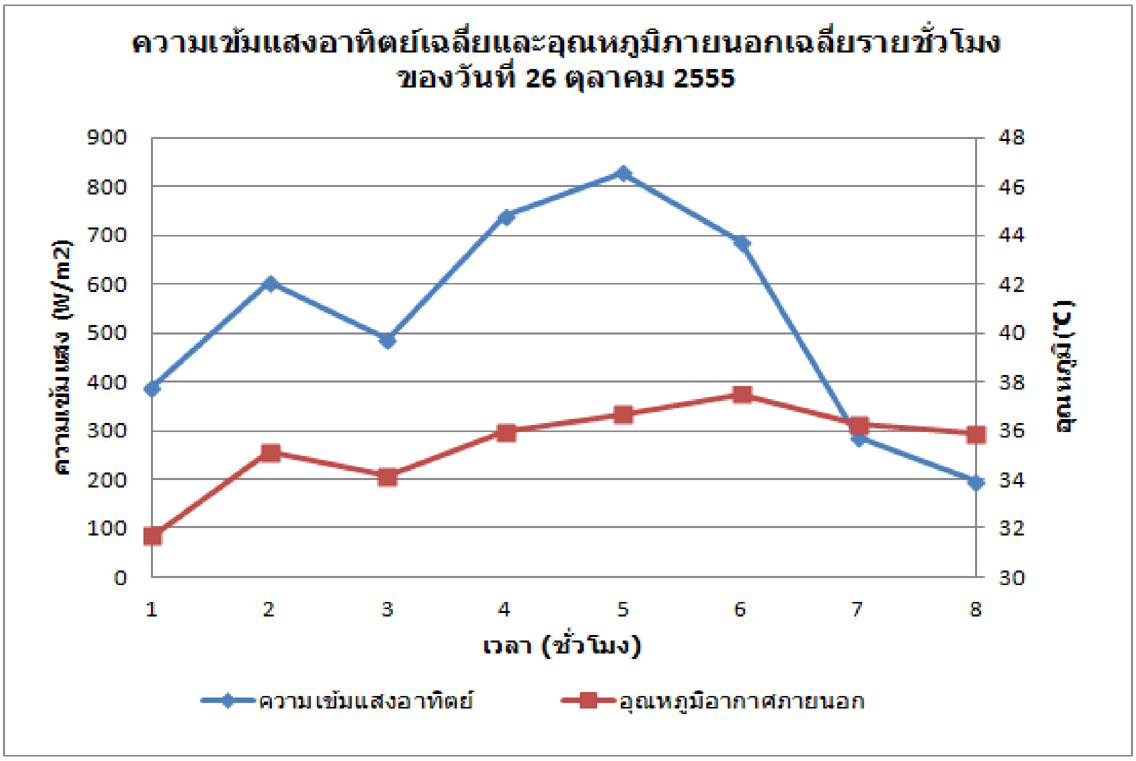

อุณหภูมิน้ำในถัง อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง PV/T
ของวันที่ 25 ตุลาคม 2555
อุณหภูมิ (°C)
เวลา (ชั่วโมง)
น้ำในถัง
น้ำเข้าแผง PV/T
น้ำออกจากแผง PV/T

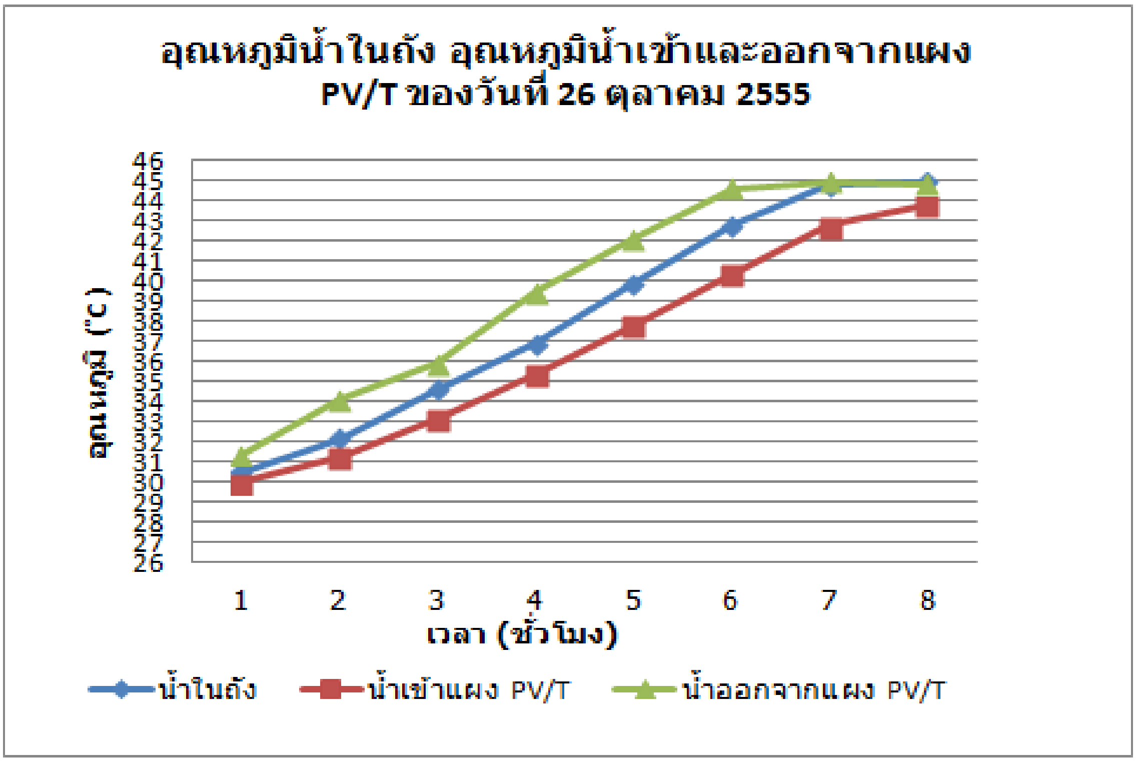

พลังงานไฟฟ้า(Whr)ที่ได้จากแบตเตอรี่ของ
วันที่ 25 ตุลาคม 2555
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
กำลังไฟฟ้า (W)
0
1
2
3
4
5
6
9
10
เวลา (ชั่วโมง)

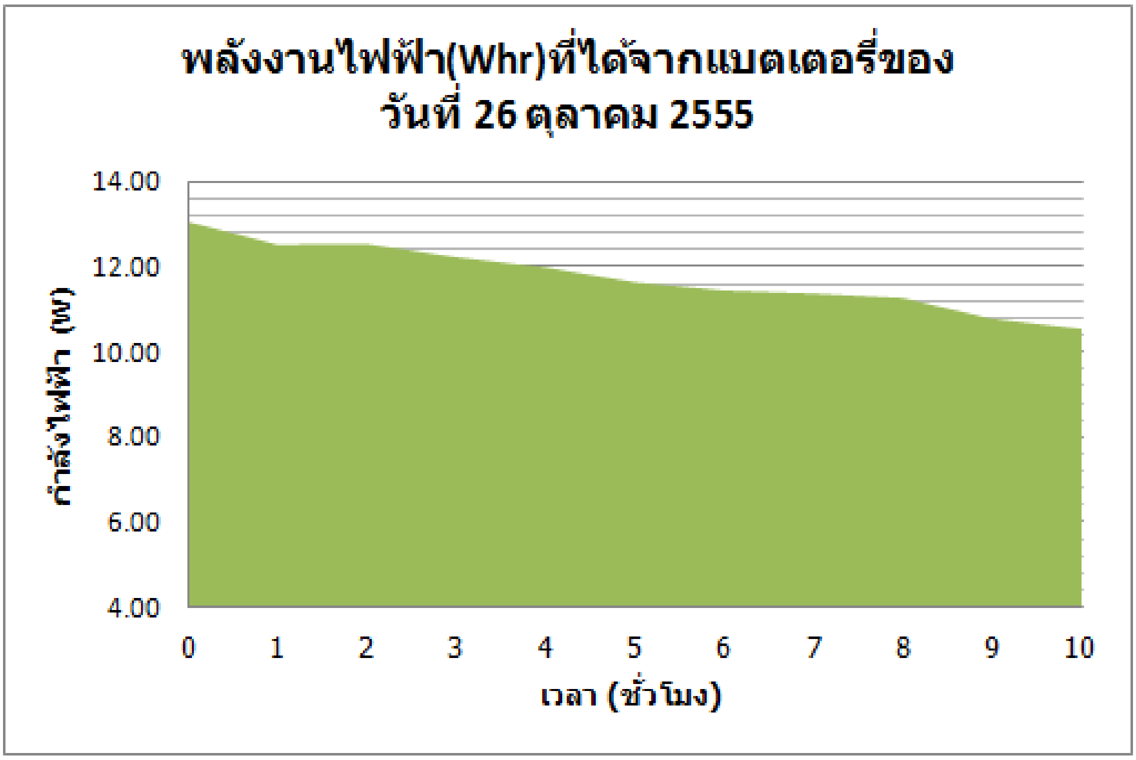
ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 26 ตุลาคม 2555

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำในถังเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผงเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิน้ำออกจากแผงเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิแผง PV/Tเฉลี่ย (˚C)	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^2)
1	30.5	30.0	31.4	31.7	39.0	388.9
2	32.1	31.2	34.1	35.1	57.6	605.3
3	34.6	33.1	35.9	34.2	58.3	488.0
4	36.9	35.3	39.4	36.0	67.7	738.8
5	39.9	37.8	42.1	36.7	70.9	829.1
6	42.8	40.3	44.6	37.5	72.1	687.1
7	44.7	42.8	44.9	36.3	57.2	288.0
8	44.9	43.8	44.8	35.9	48.7	197.7

เวลา (ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (I)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมง (Whr)
0	12.18	1.07	13.03	0.00
1	12.02	1.04	12.50	12.50
2	11.92	1.05	12.52	25.03
3	11.85	1.03	12.21	36.62
4	11.73	1.02	11.96	47.86
5	11.62	1.00	11.62	58.10
6	11.54	0.99	11.42	68.55
7	11.47	0.99	11.36	79.49
8	11.36	0.99	11.25	89.97
9	11.21	0.96	10.76	96.85
10	11.08	0.95	10.53	105.26


ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยและอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง
ของวันที่ 26 ตุลาคม 2555
ความเข้มแสง (W/m2)
อุณหภูมิ(°C)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
30
32
34
36
38
40
42
44
46
48
1
2
3
4
5
6
7
8
เวลา (ชั่วโมง)
ความเข้มแสงอาทิตย์
อุณหภูมิอากาศภายนอก

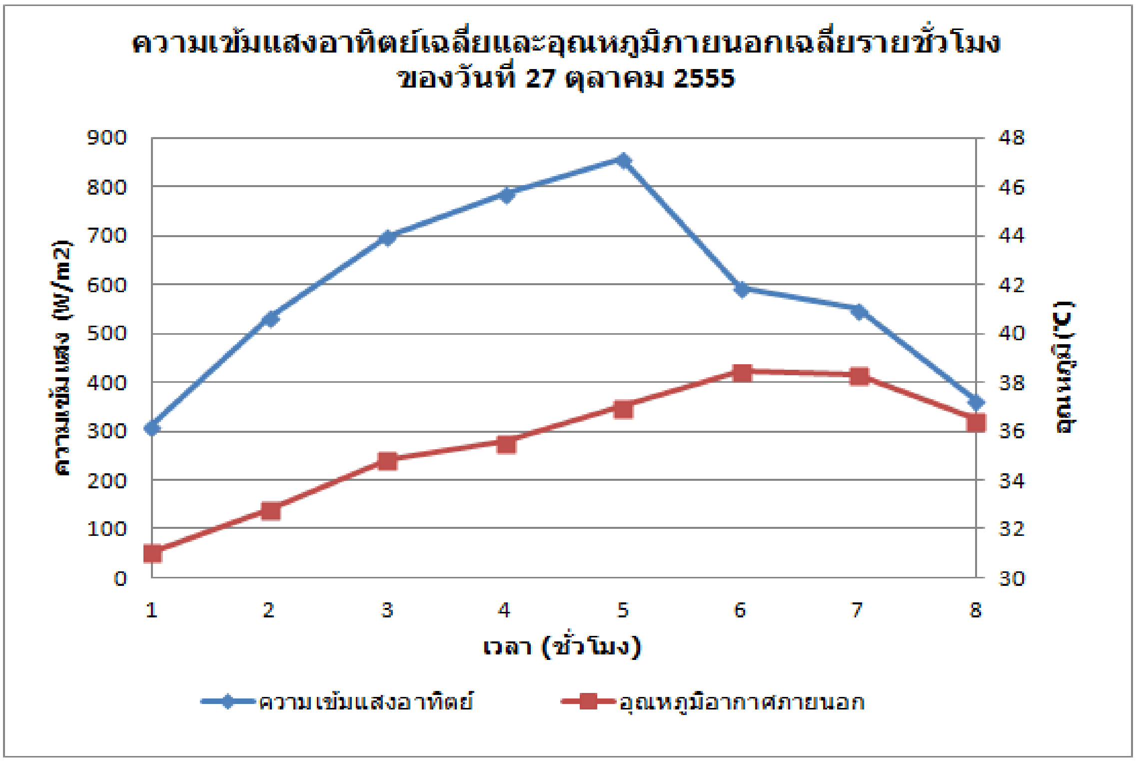

อุณหภูมิน้ำในถัง อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง
PV/T ของวันที่ 26 ตุลาคม 2555
อุณหภูมิ (°C)
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
1
2
3
4
5
6
7
8
เวลา (ชั่วโมง)
น้ำในถัง
น้ำเข้าแผง PV/T
น้ำออกจากแผง PV/T

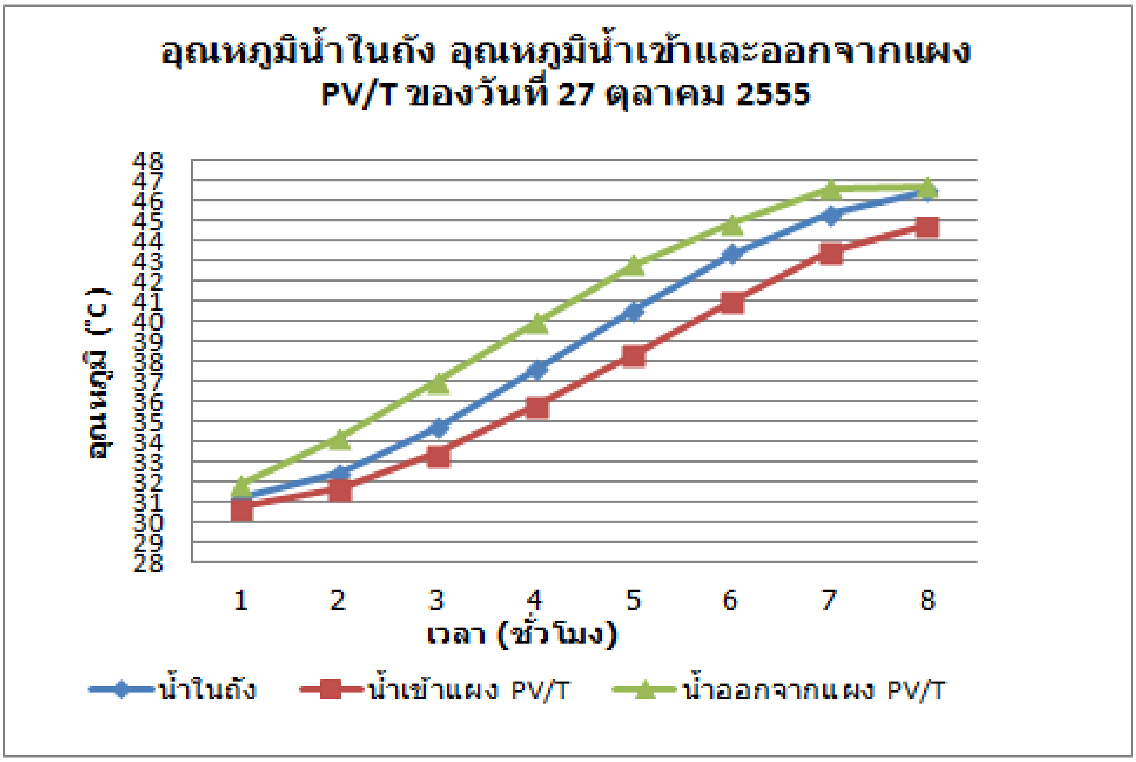

พลังงานไฟฟ้า(Whr)ที่ได้จากแบตเตอรี่ของ
วันที่ 26 ตุลาคม 2555
กำลังไฟฟ้า (W)
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
เวลา (ชั่วโมง)

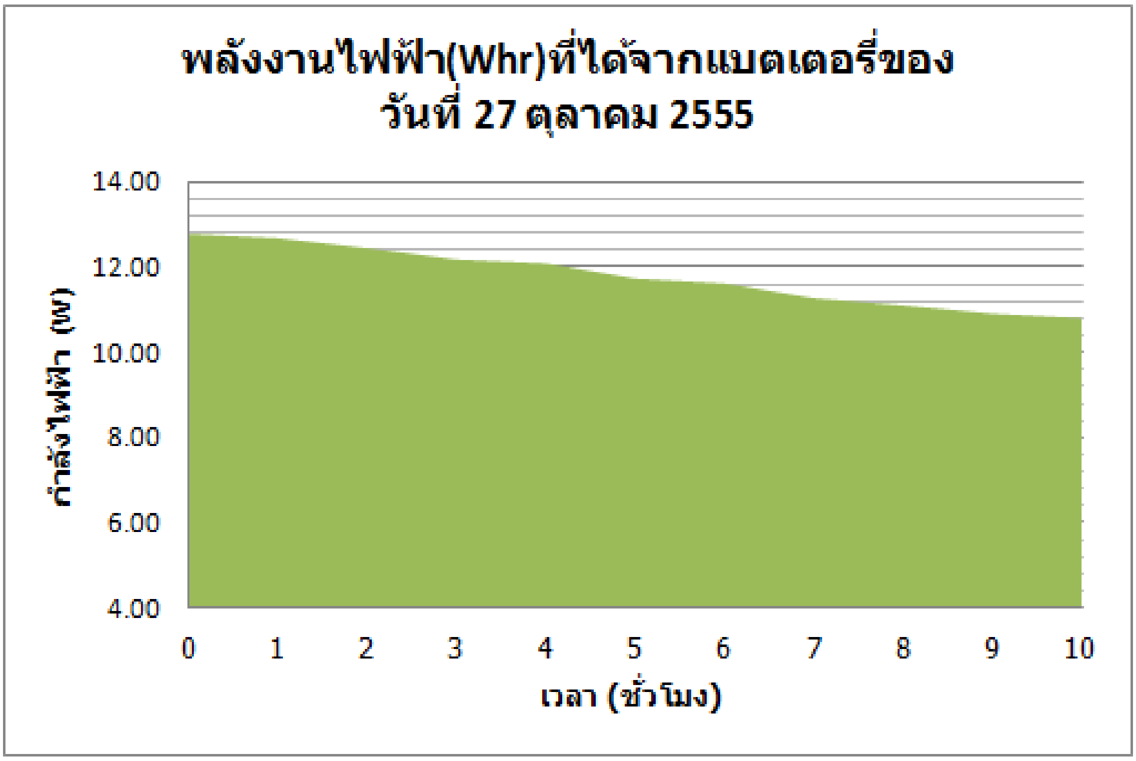
ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 27 ตุลาคม 2555

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำในถังเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผงเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิน้ำออกจากแผงเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิแผง PV/T เฉลี่ย (˚C)	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^2)
1	31.2	30.8	31.9	31.1	37.6	312.8
2	32.5	31.7	34.2	32.8	52.9	533.4
3	34.7	33.4	37.0	34.9	63.8	700.4
4	37.6	35.8	39.9	35.6	69.0	786.4
5	40.5	38.4	42.8	37.0	72.0	857.9
6	43.4	41.1	44.9	38.4	60.7	594.4
7	45.3	43.5	46.6	38.3	66.8	549.8
8	46.5	44.7	46.7	36.5	56.3	364.3

เวลา (ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (I)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมง (Whr)
0	12.15	1.05	12.76	0.00
1	12.06	1.05	12.66	12.66
2	11.95	1.04	12.43	24.86
3	11.81	1.03	12.16	36.49
4	11.72	1.03	12.07	48.29
5	11.60	1.01	11.72	58.58
6	11.49	1.01	11.60	69.63
7	11.37	0.99	11.26	78.79
8	11.20	0.99	11.09	88.70
9	11.12	0.98	10.90	98.08
10	11.01	0.98	10.79	107.90


ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยและอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง
ของวันที่ 27 ตุลาคม 2555
ความเข้มแสง (W/m2)
อุณหภูมิ(°C)
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
48
46
44
42
40
38
36
34
32
30
1
2
3
4
5
6
7
8
เวลา (ชั่วโมง)
ความเข้มแสงอาทิตย์
อุณหภูมิอากาศภายนอก

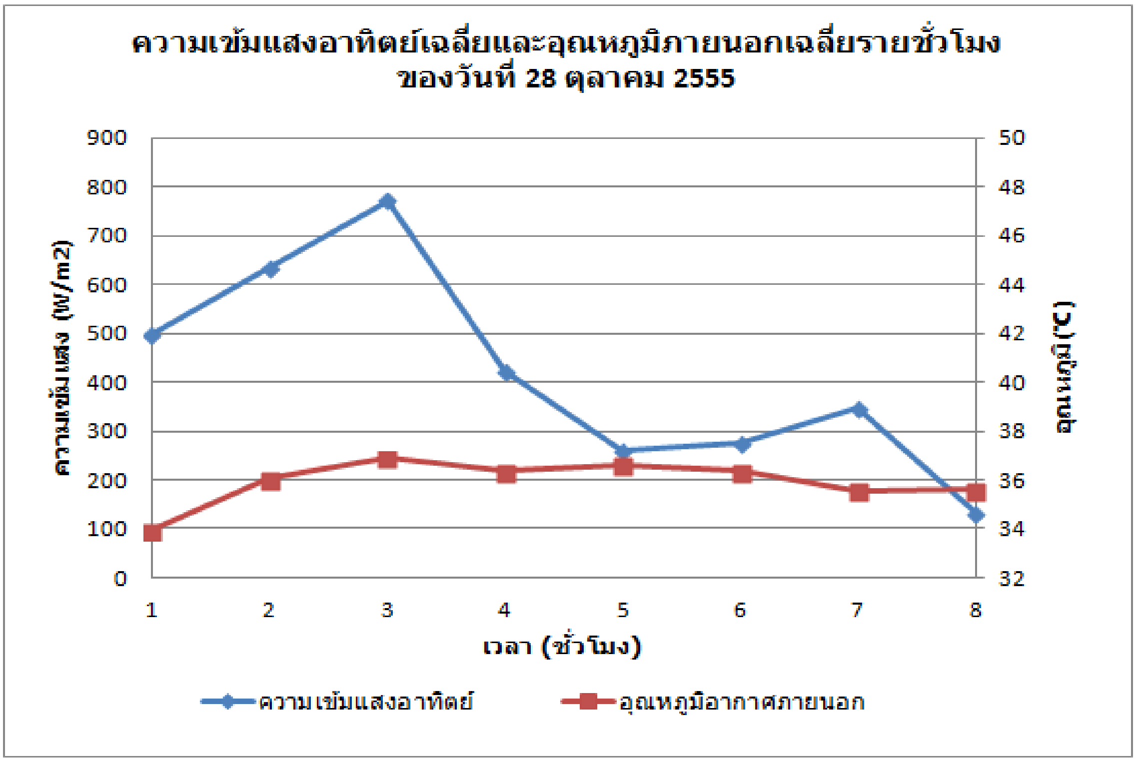

อุณหภูมิน้ำในถัง อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง
PV/T ของวันที่ 27 ตุลาคม 2555
อุณหภูมิ (°C)
48
47
46
45
44
43
42
41
40
39
38
37
36
35
34
33
32
31
30
29
28
1
2
3
4
5
6
7
8
เวลา (ชั่วโมง)
น้ำในถัง
น้ำเข้าแผง PV/T
น้ำออกจากแผง PV/T

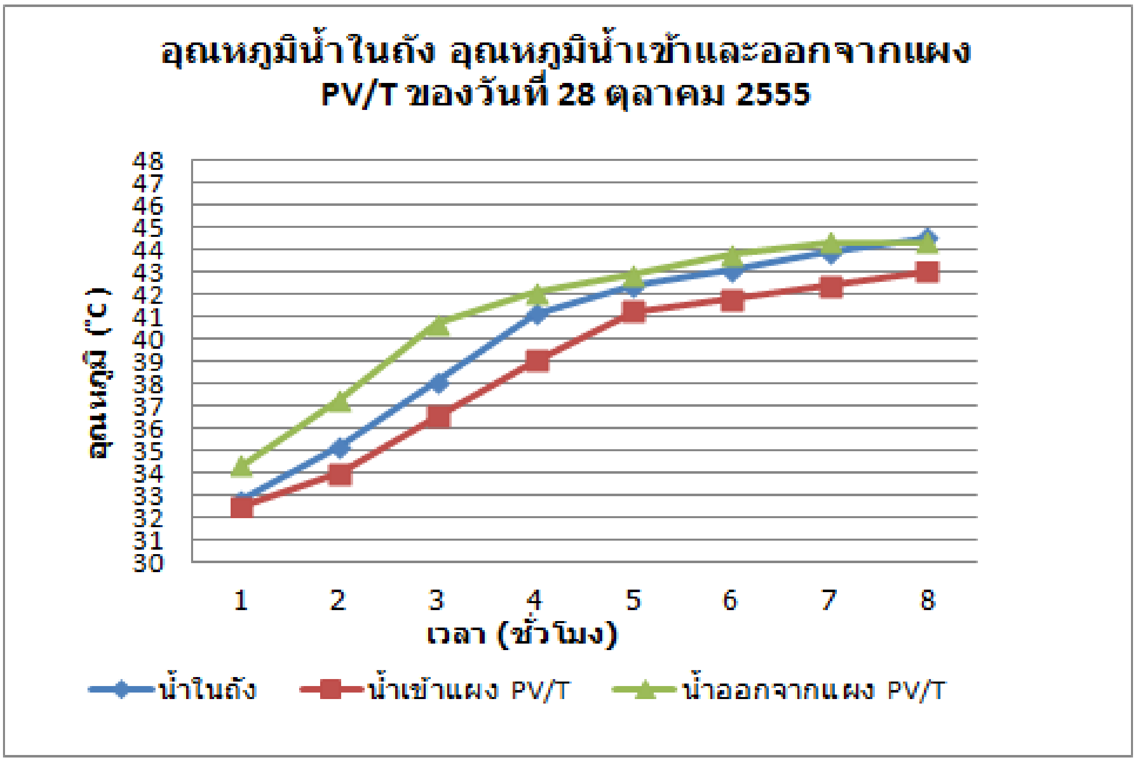

พลังงานไฟฟ้า(Whr)ที่ได้จากแบตเตอรี่ของ
วันที่ 27 ตุลาคม 2555
กำลังไฟฟ้า (W)
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
เวลา (ชั่วโมง)

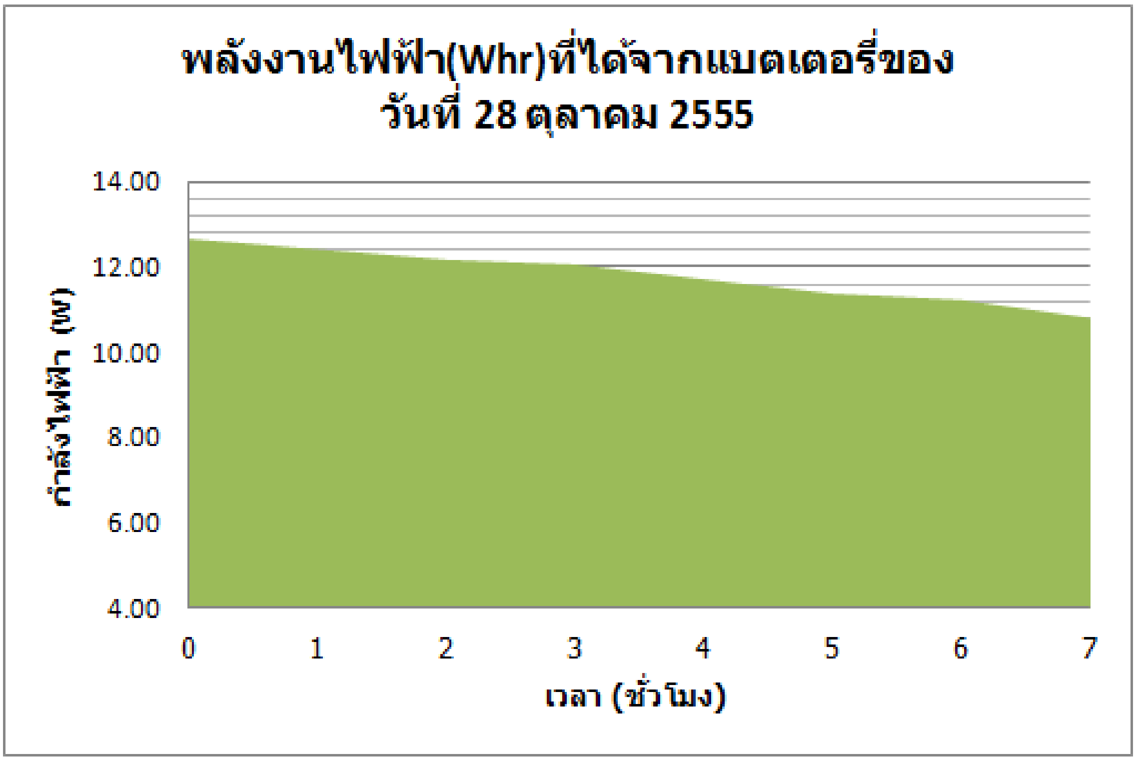
ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 28 ตุลาคม 2555

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำในถังเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผงเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิน้ำออกจากแผงเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิแผง PV/Tเฉลี่ย (˚C)	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย(W/m2)
1	32.8	32.5	34.4	34.0	48.7	497.0
2	35.2	34.0	37.3	36.1	63.9	636.1
3	38.1	36.6	40.7	36.9	71.0	772.5
4	41.1	39.0	42.1	36.4	63.9	422.4
5	42.4	41.3	42.9	36.6	52.7	260.1
6	43.1	41.8	43.8	36.4	53.7	276.7
7	43.9	42.4	44.3	35.6	52.7	349.0
8	44.5	43.0	44.3	35.6	48.7	132.6

เวลา (ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (I)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมง (Whr)
0	12.05	1.05	12.65	0.00
1	11.93	1.04	12.41	12.41
2	11.81	1.03	12.16	24.33
3	11.70	1.03	12.05	36.15
4	11.59	1.01	11.71	46.82
5	11.37	1	11.37	56.85
6	11.22	1	11.22	67.32
7	11.02	0.98	10.80	75.60


ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยและอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง
ของวันที่ 28 ตุลาคม 2555
ความเข้มแสง (W/m2)
อุณหภูมิ(C)
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
50
48
46
44
42
40
38
36
34
32
1
2
3
4
5
6
7
8
เวลา (ชั่วโมง)
ความเข้มแสงอาทิตย์
อุณหภูมิอากาศภายนอก

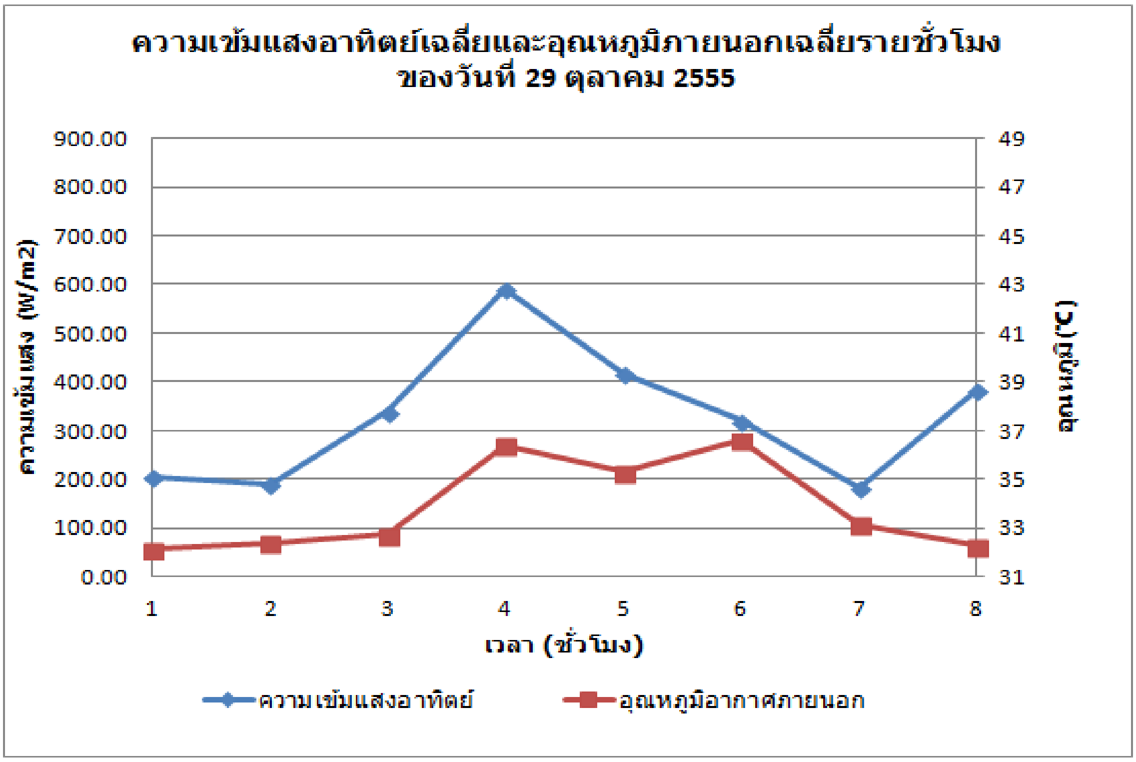

อุณหภูมิน้ำในถัง อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง
PV/T ของวันที่ 28 ตุลาคม 2555
อุณหภูมิ (°C)
48
47
46
45
44
43
42
41
40
39
38
37
36
35
34
33
32
31
30
1
2
3
4
5
6
7
8
เวลา (ชั่วโมง)
น้ำในถัง
น้ำเข้าแผง PV/T
น้ำออกจากแผง PV/T

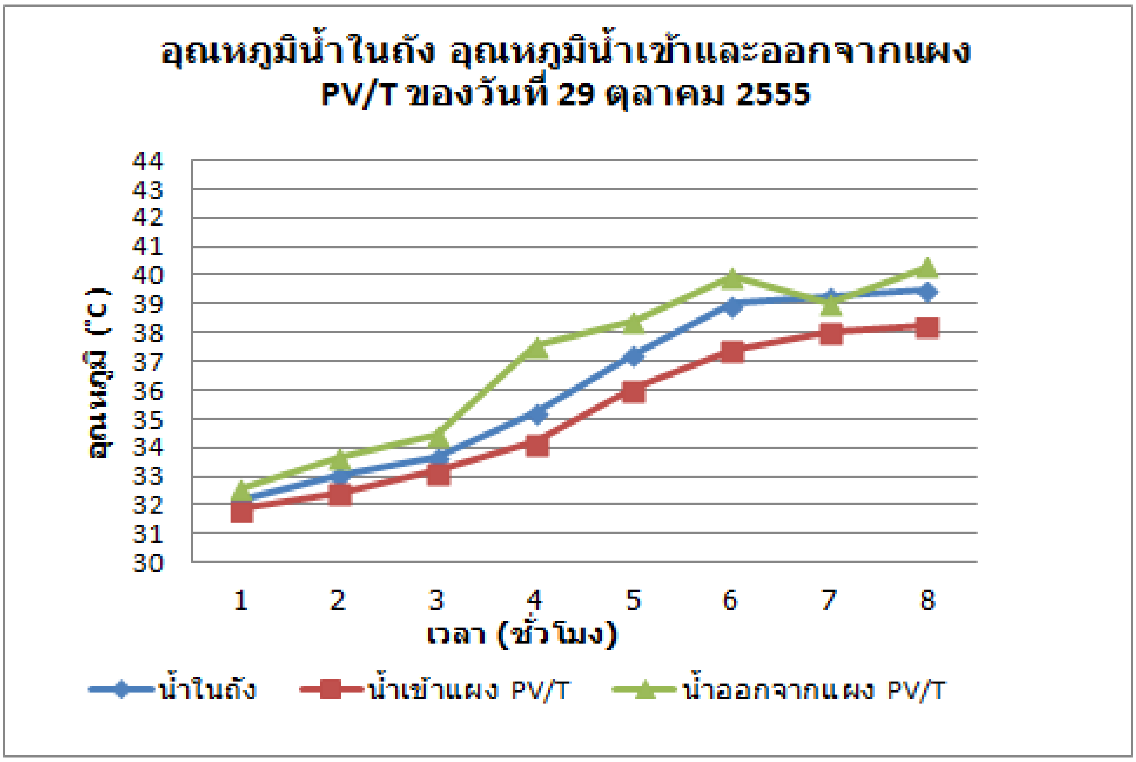

พลังงานไฟฟ้า(Whr)ที่ได้จากแบตเตอรี่ของ
วันที่ 28 ตุลาคม 2555
กำลังไฟฟ้า (W)
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
0
1
2
3
4
5
6
7
เวลา (ชั่วโมง)

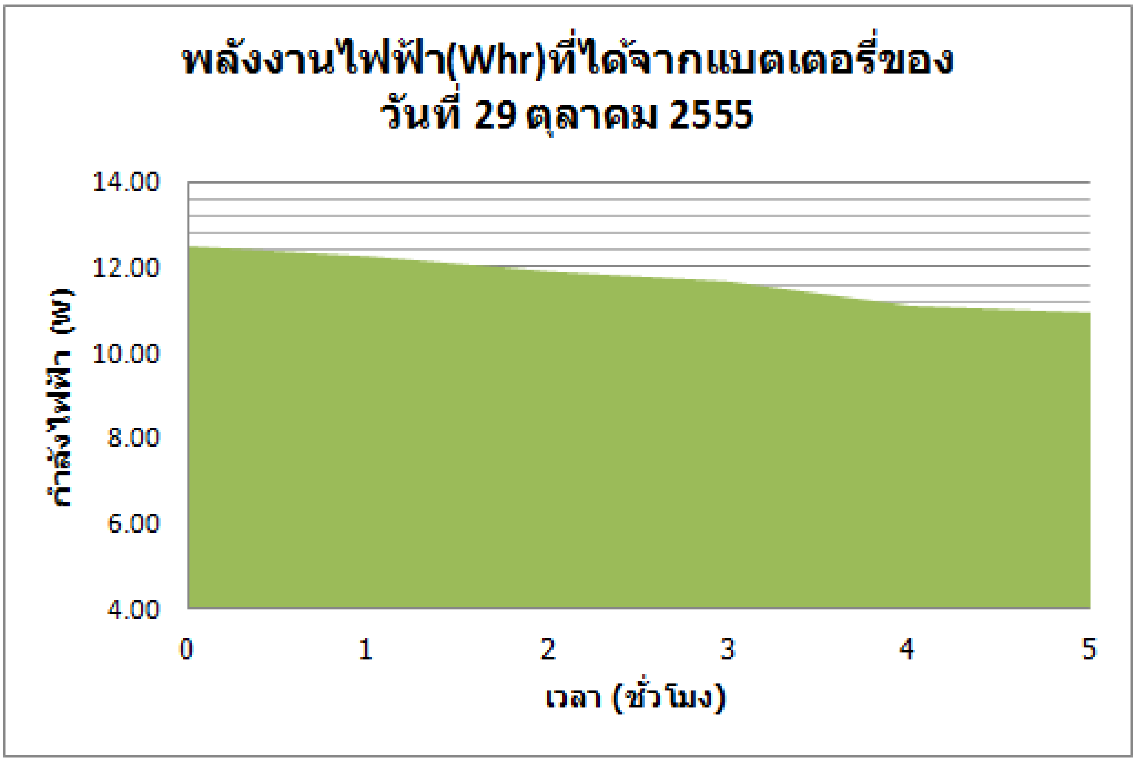
ข้อมูลจากการทดสอบรายชั่วโมงของวันที่ 29 ตุลาคม 2555

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำในถังเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผงเฉลี่ย(˚C)	อุณหภูมิน้ำออกจากแผงเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย (˚C)	อุณหภูมิแผง PV/T เฉลี่ย (˚C)	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^2)
1	32.2	31.9	32.6	32.1	36.9	206.1
2	33.0	32.5	33.7	32.4	43.0	189.2
3	33.7	33.2	34.5	32.8	42.1	339.8
4	35.3	34.2	37.6	36.4	61.7	589.8
5	37.3	36.1	38.4	35.3	54.4	417.8
6	39.0	37.4	40.0	36.6	56.7	321.1
7	39.3	38.0	39.0	33.1	40.1	182.1
8	39.5	38.2	40.3	32.3	48.1	383.5

เวลา (ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (I)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารายชั่วโมง (Whr)
0	11.89	1.05	12.48	12.48
1	11.78	1.04	12.25	24.50
2	11.55	1.03	11.90	35.69
3	11.43	1.02	11.66	46.63
4	11.21	0.99	11.10	55.49
5	11.05	0.99	10.94	54.70


ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยและอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง
ของวันที่ 29 ตุลาคม 2555
ความเข้มแสง (W/m2)
อุณหภูมิ(C)
900.00
800.00
700.00
600.00
500.00
400.00
300.00
200.00
100.00
0.00
49
47
45
43
41
39
37
35
33
31
1
2
3
4
5
6
7
8
เวลา (ชั่วโมง)
ความเข้มแสงอาทิตย์
อุณหภูมิอากาศภายนอก


อุณหภูมิน้ำในถัง อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง
PV/T ของวันที่ 29 ตุลาคม 2555
อุณหภูมิ (°C)
44
43
42
41
40
39
38
37
36
35
34
33
32
31
30
1
2
3
4
5
6
7
8
เวลา (ชั่วโมง)
น้ำในถัง
น้ำเข้าแผง PV/T
น้ำออกจากแผง PV/T


พลังงานไฟฟ้า(Whr)ที่ได้จากแบตเตอรี่ของ
วันที่ 29 ตุลาคม 2555
กำลังไฟฟ้า (W)
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
0
1
2
3
4
5
เวลา (ชั่วโมง)

ภาคผนวก จ
ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ และข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอก
ของเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2553

ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2553

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (วัน)
	1	348.6	385.1	702.4	403.6	338.8	509.7	421.9	218.4	416.1
มกราคม	2	234.2	413.2	565.4	727.4	647.3	572.5	462.5	173.5	474.5
	3	487.4	638.1	715.4	756.8	693.3	518.2	405.4	231.3	555.7
	4	461.5	484.2	536.3	559.4	697.4	587.3	414.6	213.2	494.2
	5	430.1	507.8	371.1	667.3	721.8	566.4	384.2	222.6	483.9
	6	268.4	276.4	236.7	281.3	639.3	518.4	152.2	56.2	303.6
	7	360.8	649.3	573.5	529.5	681.2	532.6	401	313.4	505.2
	8	357.2	439.8	804.9	531.8	644.1	223.3	56.8	45.7	388.0
	9	487	651.7	728.4	695.7	695.6	387.3	288.2	138.7	509.1
	10	520	679.5	778.1	778.8	550	298.4	353.7	172	516.3
	11	481.2	621.9	615.1	458.3	546.9	400.4	380.9	217.1	465.2
	12	455.3	606.2	708.8	848	595	234	370.4	205.4	502.9
	13	435.9	638.7	742.9	781.6	751.7	636.5	461.7	252.8	587.7
	14	474.4	634.9	735.2	761.7	701.6	536	343.4	233.8	552.6
	15	499	432.6	608.9	849.8	750.7	568.8	216.5	211.1	517.2
	16	500.1	606.3	780.2	765.1	474.1	672.2	401.5	158.9	544.8
	17	508.4	678.6	801.2	831.4	782.2	619	454.5	294.1	621.2
	18	549	708.7	805.5	840.9	802.3	690.9	484.9	274.5	644.6
	19	498	669.3	767.7	741.4	722.5	477.4	356.9	207.3	555.1
	20	257.6	297.6	540.2	303.4	513.4	707.9	434.3	189.7	405.5
	21	228.8	264	507.6	519.4	487.9	167.7	33	7.7	277.0
	22	169.7	342.8	374.9	292.7	245.5	416.8	438.3	73.3	294.3
	23	255.6	499.1	425.8	795.5	800.5	455.2	504.5	256.8	499.1
	24	382.9	548.6	280.7	83.2	175	396.4	482.2	311.2	332.5
	25	480.3	568.1	585.2	541.7	521.4	427.5	373.7	189.9	461.0
	26	514.5	685.8	796.6	765.8	614.9	487.6	354.4	272.2	561.5
	27	451	623.1	736.4	762	722	549.6	360.4	226.1	553.8
	28	458.2	664.1	587	533.1	661.7	321.7	483.8	189.8	487.4
	29	386.5	450.4	500.5	828.3	767.2	548	141.8	130.4	469.1
	30	40.4	180.8	317.1	373.5	678.3	576.4	438.2	272.6	359.7
	31	489.3	660	774	819	764.2	650	473.3	262.2	611.5
	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเวลา	402.3	532.5	613.0	626.7	625.4	492.1	365.5	200.7	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (วัน)
	1	412.6	491.8	574.5	783.2	763.8	650.7	481.9	280.9	554.9
กุมภาพันธ์	2	344.5	619.9	793	810.8	756.2	656.6	487.4	290.9	594.9
	3	495.2	660.9	773.8	813.6	779	678.2	493.8	282.1	622.1
	4	410.9	693.8	803.1	809	797.6	686.7	513.5	319.2	629.2
	5	388.3	702.7	909.2	766.9	789.2	719.5	553.8	339.3	646.1
	6	422.4	601.7	804.8	651.1	674.7	700.9	459.2	320.5	579.4
	7	431.8	645.9	767.6	825.3	782.2	632.4	557.2	336.2	622.3
	8	495.8	484.2	640.8	823.9	761.2	698.6	541.6	331.5	597.2
	9	230.2	717.1	829.5	531.6	835.8	709.2	515.1	308.9	584.7
	10	315.9	439.1	866.9	753.8	849.7	724	544	334.6	603.5
	11	252	696.8	878.3	814.4	669.6	689.3	509.9	294.7	600.6
	12	440.6	505.4	665.1	844.5	835.1	702	532.1	321.6	605.8
	13	296.5	427.6	779.7	803.4	816.3	696.9	518.1	312.5	581.4
	14	258.7	604.2	688	846.7	836.8	736.2	557.5	337.1	608.2
	15	447.7	545.2	824.3	836.4	909.6	758	585.8	357.4	658.1
	16	358.7	400.9	513.5	930	878.5	714.4	547.9	330.6	584.3
	17	474.3	392.1	702.9	882.4	763.8	677.2	537.8	328.9	594.9
	18	285.3	337.2	385.6	625.1	652.2	686	507.5	296.4	471.9
	19	484.2	623.1	624.3	526.8	568.6	696.9	495.1	274.1	536.6
	20	337.9	559.2	682.7	716.5	804	624.1	3929.2		1093.4
	21	[redacted]								
	22	394.1	607.9	883.5	862.7	860.6	757.1	599.5	375.8	667.7
	23	451.3	657.7	880.6	950.3	918	799.3	618.4	397.8	709.2
	24	414.8	500.4	831	931.5	890	789.7	608.5	374.4	667.5
	25	617.2	801.7	917.4	968.8	856.9	740.5	491.9	334.8	716.2
	26	620	797.7	897	959.5	933.9	828.2	650.3	424.8	763.9
	27	615.4	758.3	856	911	901.9	798	614.3	388.2	730.4
	28	354.6	550.5	625.2	748.5	854.4	809.5	418.5	263.4	578.1
	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเวลา	409.3	586.0	755.5	804.7	805.2	717.0	661.8	329.1	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (วัน)
	1	335.2	448.8	732.1	605.7	900.1	577.8	322.4	386.3	538.6
มีนาคม	2	431.4	717.7	946	788.1	872.8	816	638.9	389.3	700.0
	3	528.9	444	672.9	898.8	945.6	834.2	654.2	426.4	675.6
	4	563.7	713.5	887.5	1025.6	943.7	835.2	650	408.1	753.4
	5	582.1	780.2	913	957.3	906.1	756.3	562	333.4	723.8
	6	563	725.7	839.2	870.3	804.3	696	533.9	316.3	668.6
	7	458.5	609.6	830.3	853	810.8	694.6	512.9	304.3	634.3
	8	496.7	632	857.6	932.2	906.2	785.4	595.1	364	696.2
	9	598.1	703.6	876.3	907.8	841	771.1	581.7	333.4	701.6
	10	234.8	576.9	681.8	704.6	350.2	397.5	298.1	127.3	421.4
	11	545	742.2	879.5	918.1	770.2	682.8	366.8	178.6	635.4
	12	566.9	745.2	858.3	894.3	834.7	731.2	578.7	353.4	695.3
	13	589.4	770.3	892.4	932	903.1	793.9	602.7	365.6	731.2
	14	550.8	660.2	904.9	974.6	938.7	830.7	643	409.3	739.0
	15	580	731.2	887.9	933.6	901.9	796.1	613.5	382.7	728.4
	16	555.7	755.5	879.7	933.4	889.3	767.9	567.3	341.4	711.3
	17	212.9	62.5	95.7	133.4	490.6	342.3	199.9	82.1	202.4
	18	515.3	706.4	847.1	884.4	848.6	743.1	567.4	352.4	683.1
	19	550.1	709.7	844.9	834.7	588.8	497	430	303.4	594.8
	20	554	664.9	864.9	930.3	852	734.2	588.4	362.5	693.9
	21	584.7	746.7	820.6	757.5	793.4	723.2	539.9	337.6	663.0
	22	611.3	738.1	883.6	946.3	888.8	775.2	594.9	353.3	723.9
	23	563.5	816.2	899.7	963.4	910.8	784.5	597.7	373.2	738.6
	24	587.4	780	889.4	970.8	914.4	786.9	606.5	371.3	738.3
	25	612.9	780.5	898.6	944.5	907.5	793.8	614.7	385.5	742.3
	26	356.2	661.1	853.6	751.4	297.5	228.2	231.4	177.9	444.7
	27	556.1	733.6	818.9	906.6	834.4	535.8	321.4	182.6	611.2
	28	584.9	751.1	841.3	854.7	765	698.9	491.2	187.8	646.9
	29	539	648.1	725.9	879.1	734.4	349.9	254.9	293.2	553.1
	30	496.8	749.1	864	920	886.9	771	591.2	362.8	705.2
	31	567.8	750	897.7	880.6	839.2	754.5	562.4	337.4	698.7
	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเวลา	518.5	679.2	825.3	860.9	808.7	686.6	513.3	318.8	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (วัน)
	1	580.6	724.6	926.2	708.2	917.9	766.1	590.8	343.3	694.7
เมษายน	2	671.6	841.3	923.9	975	916.6	777.3	583.3	322.8	751.5
	3	642	808.5	918.7	963	909.5	780.3	614	409.1	755.6
	4	416.7	653.4	545.7	969.6	901.4	780.3	593.9	319.2	647.5
	5	475.3	639.6	789.6	974.4	910.5	777	597.1	331.9	686.9
	6	678.9	853.8	912.9	980.1	932.5	801.2	615.2	342	764.6
	7	624.1	833.9	956.5	971.3	934.1	819.9	619.5	364.7	765.5
	8	683.7	844.1	942.5	974.8	924.2	799.7	610.1	360.5	767.5
	9	476.7	777.8	927.6	911.4	892.2	773.2	576.4	344.6	710.0
	10	460.6	658.8	829.5	911.1	908.8	791.4	609.8	362.4	691.6
	11	539.7	862.8	889.4	993.1	941.3	828.5	613.3	394.6	757.8
	12	549.2	817.5	957.1	906.1	931.6	812.5	641.9	387.3	750.4
	13	638.7	810.6	931.2	970.7	925.4	791.8	637.1	404	763.7
	14	453.8	655.7	902.7	913.6	893.1	778.6	601.4	377	697.0
	15	682.7	870.3	962.6	983.6	926.3	796.8	605.7	380.6	776.1
	16	281.2	514.6	769.6	821.1	939.7	760.3	560	308.1	619.3
	17	190.4	172.8	217.3	253.4	329.2	340.4	273.2	184.3	245.1
	18	567.4	746.5	821.1	362.4	800.9	772.3	625.9	426	640.3
	19	556.4	853.1	948.9	1014.1	943.2	829.9	635.8	265.2	755.8
	20	685.6	842.1	925.2	934.9	891.8	769.4	589	364.4	750.3
	21	730.4	832.4	941.6	951.7	901.5	777.3	595.8	367.4	762.3
	22	623.6	829.4	922	946.1	898.5	775.7	594.9	365.8	744.5
	23	642.1	838.1	967.4	911.2	911.5	786.3	597.3	374.5	753.6
	24	28	185.7	394.8	499.8	455.3	270.9	396.8	244.9	309.5
	25	680	896.4	666.8	942.9	925.9	795	600.1	372.6	735.0
	26	722.1	844.1	905.1	918.1	926.3	801.9	627.7	396.6	767.7
	27	678.6	858.2	977.5	1003.6	942.3	736.2	471.6	213.5	735.2
	28	580.7	546.8	873.1	936	928.7	796.7	387.2	40.6	636.2
	29	627.9	722.7	782.1	1011	976.3	828.7	635	403.2	748.4
	30	593.1	889	784.5	1013	943.3	793.2	616.5	399.4	754.0
	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเวลา	558.7	740.8	840.4	887.5	882.7	757.0	577.2	339.0	

		เวลา								
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (วัน)
	1	586.9	611.9	369.9	105.7	102.9	100.1	200.3	158.5	279.5
พฤษภาคม	2	623.1	497.9	450.6	667.6	831.7	453.4	94.6	183.6	475.3
	3	94.6	75.1	89	197.5	258.7	372.7	464.5	280.9	229.1
	4	283.7	292.1	503.5	598	431.1	22.3	89	94.6	289.3
	5	[redacted]								
	6									
	7	726	851.1	789.9	842.8	801.1	737.1	561.9	333.8	705.5
	8	400.5	392.2	675.9	728.8	812.2	751	517.4	317.1	574.4
	9	561.9	851.1	792.7	859.5	856.7	739.9	548	331	692.6
	10	703.7	812.2	876.2	867.8	820.5	720.4	520.1	333.8	706.8
	11	717.6	742.7	511.8	648.1	745.4	734.3	383.8	247.6	591.4
	12	97.4	303.2	486.8	300.4	406.1	489.5	222.5	130.7	304.6
	13	578.6	764.9	884.5	812.2	762.1	745.4	500.7	311.5	670.0
	14	606.4	726	917.9	901.2	842.8	748.2	606.4	344.9	711.7
	15	361.6	673.1	876.2	873.4	837.2	717.6	492.3	272.6	638.0
	16	189.1	166.9	250.3	91.8	44.5	52.8	94.6	119.6	126.2
	17	789.9	656.4	706.5	742.7	670.3	89	5.6	30.6	461.4
	18	447.8	94.6	228.1	100.1	153	286.5	358.8	233.6	237.8
	19	[redacted]								
	20									
	21									
	22									
	23									
	24									
	25									
	26									
	27									
	28									
	29									
	30									
	31									
	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเวลา	431.6	472.9	522.8	518.8	520.9	431.1	314.5	206.9	

		เวลา								
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (วัน)
	1	[redacted]								
มิถุนายน	2	525.7	695.4	726	748.2	[redacted]				
	3	614.7	728.8	689.8	611.9					330.7
	4	450.6	0	0	0					56.3
	5	556.3	414.4	442.3	606.4					252.4
	6	575.8	714.8	801.1	879					371.3
	7	283.7	442.3	447.8	606.4					222.5
	8	397.8	650.9	353.3	606.4					251.1
	9	244.8	306	283.7	372.7					150.9
	10	595.2	748.2	803.9	828.9					372.0
	11	531.3	659.2	667.6	634.2					311.5
	12	662	756.6	739.9	567.4					340.7
	13	609.1	656.4	745.4	776					348.4
	14	653.7	756.6	662	698.2					346.3
	15	628.6	756.6	815	851.1					381.4
	16	639.7	756.6	812.2	734.3					367.9
	17	628.6	737.1	831.7	845.6					380.4
	18	628.6	751	784.4	717.6					360.2
	19	642.5	762.1	815	831.7					381.4
	20	450.6	503.5	584.1	645.3					272.9
	21	333.8	358.8	595.2	525.7					226.7
	22	194.7	383.8	712.1	687					247.2
	23	464.5	675.9	514.6	637	581.3	514.6	275.4		457.9
	24	620.3	742.7	770.5	795.5	801.1	714.8	531.3	261.5	654.7
	25	595.2	703.7	637	717.6	795.5	556.3	244.8	314.3	570.6
	26	561.9	514.6	509	753.8	748.2	550.7	166.9	25	478.8
	27	322.7	386.6	623.1	308.7	511.8	450.6	172.5	27.8	350.5
	28	133.5	197.5	353.3	556.3	536.8	150.2	72.3	125.2	265.6
	29	381.1	255.9	194.7	150.2	458.9	659.2	536.8	61.2	337.3
	30	77.9	77.9	77.9	77.9	19.5	19.5	19.5	342.1	89.0
	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเวลา	466.8	536.5	566.4	592.4	148.4	120.5	67.3	38.6	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (วัน)
	1	353.3	289.3	356	239.2	358.8	83.4	61.2	33.4	221.8
กรกฎาคม	2	127.9	150.2	189.1	255.9	219.7	484	528.5	244.8	275.0
	3	503.5	517.4	322.7	222.5	253.1	275.4	205.8	150.2	306.3
	4	336.6	389.4	637	461.7	648.1	397.8	350.5	153	421.8
	5	414.4	367.2	673.1	531.3	89	175.2	189.1	153	324.0
	6	489.5	531.3	620.3	734.3	662	217	150.2	102.9	438.4
	7	628.6	734.3	837.2	809.4	795.5	503.5	548	336.6	649.1
	8	625.8	753.8	837.2	812.2	767.7	381.1	91.8	47.3	539.6
	9	614.7	745.4	820.5	650.9	589.7	556.3	361.6	191.9	566.4
	10	542.4	628.6	531.3	586.9	762.1	698.2	514.6	328.2	574.0
	11	617.5	642.5	617.5	581.3	642.5	720.4	478.4	127.9	553.5
	12	617.5	751	831.7	778.8	745.4	573	308.7	278.2	610.5
	13	484	628.6	823.3	801.1	261.5	333.8	164.1	175.2	459.0
	14	545.2	433.9	731.5	369.9	464.5	116.8	58.4	27.8	343.5
	15	492.3	233.6	64	458.9	481.2	122.4	139.1	41.7	254.2
	16	450.6	464.5	408.9	439.5	339.3	317.1	164.1	178	345.3
	17	408.9	570.2	511.8	481.2	400.5	105.7	86.2	58.4	327.9
	18	236.4	239.2	381.1	492.3	433.9	567.4	175.2	44.5	321.3
	19	25	69.5	178	158.5	94.6	114	125.2	97.4	107.8
	20	406.1	486.8	837.2	817.8	789.9	728.8	536.8	328.2	616.5
	21	617.5	789.9	614.7	539.6	773.3	695.4	511.8	319.9	607.8
	22	369.9	375.5	637	745.4	687	433.9	153	111.3	439.1
	23	439.5	550.7	559.1	611.9	542.4	239.2	200.3	105.7	406.1
	24	356	458.9	567.4	392.2	489.5	414.4	417.2	119.6	401.9
	25	528.5	609.1	484	180.8	344.9	456.2	278.2	150.2	379.0
	26	205.8	283.7	606.4	548	306	300.4	325.4	100.1	334.5
	27	322.7	278.2	294.8	570.2	687	550.7	278.2	258.7	405.1
	28	545.2	581.3	759.3	787.2	689.8	728.8	542.4	333.8	621.0
	29	358.8	481.2	645.3	575.8	447.8	564.6	411.7	230.9	464.5
	30	406.1	550.7	653.7	712.1	631.4	166.9	161.3	127.9	426.3
	31	453.4	600.8	789.9	831.7	753.8	481.2	236.4	133.5	535.1
	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเวลา	436.2	489.9	574.9	554.1	521.0	403.3	282.4	164.2	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (วัน)
	1	283.7	383.8	706.5	520.1	606.4	617.5	403.3	311.5	479.1
สิงหาคม	2	420	570.2	431.1	108.5	86.2	77.9	66.8	52.8	226.7
	3	336.6	425.6	525.7	319.9	292.1	222.5	133.5	25	285.1
	4	464.5	500.7	436.7	164.1	400.5	244.8	161.3	38.9	301.4
	5	378.3	517.4	442.3	600.8	484	339.3	470.1	86.2	414.8
	6	478.4	378.3	614.7	431.1	303.2	217	58.4	13.9	311.9
	7	606.4	748.2	550.7	542.4	381.1	208.6	25	5.6	383.5
	8	367.2	406.1	695.4	642.5	645.3	356	247.6	158.5	439.8
	9	581.3	614.7	617.5	436.7	433.9	431.1	411.7	205.8	466.6
	10	422.8	531.3	550.7	648.1	631.4	522.9	397.8	222.5	490.9
	11	136.3	127.9	158.5	217	417.2	164.1	61.2	58.4	167.6
	12	269.8	336.6	739.9	592.5	514.6	506.2	197.5	130.7	411.0
	13	150.2	116.8	50.1	69.5	144.6	272.6	242	200.3	155.8
	14	283.7	225.3	292.1	406.1	470.1	253.1	102.9	94.6	266.0
	15	250.3	147.4	306	728.8	703.7	717.6	545.2	222.5	452.7
	16	358.8	595.2	425.6	422.8	525.7	439.5	314.3	147.4	403.7
	17	383.8	723.2	764.9	662	311.5	139.1	94.6	5.6	385.6
	18	322.7	286.5	278.2	317.1	267	250.3	105.7	36.2	233.0
	19	511.8	509	495.1	737.1	856.7	489.5	458.9	286.5	543.1
	20	475.6	734.3	762.1	559.1	33.4	13.9	30.6	25	329.3
	21	306	186.4	211.4	272.6	264.2	275.4	153	86.2	219.4
	22	500.7	623.1	550.7	645.3	525.7	400.5	395	44.5	460.7
	23	528.5	606.4	453.4	634.2	692.6	445	66.8	5.6	429.1
	24	422.8	350.5	687	812.2	470.1	514.6	322.7	186.4	470.8
	25	378.3	620.3	650.9	834.5	812.2	467.3	255.9	153	521.6
	26	472.9	592.5	687	789.9	659.2	645.3	481.2	297.6	578.2
	27	625.8	514.6	570.2	787.2	675.9	534	433.9	239.2	547.6
	28	500.7	278.2	319.9	200.3	283.7	194.7	200.3	97.4	259.4
	29	150.2	175.2	306	433.9	700.9	392.2	344.9	186.4	336.2
	30	228.1	509	389.4	342.1	617.5	361.6	236.4	186.4	358.8
	31	592.5	545.2	556.3	637	506.2	447.8	386.6	166.9	479.8
	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเวลา	393.2	447.7	491.2	500.5	474.7	360.1	251.8	128.3	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (วัน)
	1	712.1	662	770.5	314.3	306	225.3	83.4	225.3	412.4
กันยายน	2	564.6	486.8	611.9	648.1	548	303.2	27.8	303.2	436.7
	3	275.4	573	667.6	623.1	495.1	77.9	36.2	77.9	353.3
	4	815	675.9	314.3	522.9	189.1	61.2	80.7	61.2	340.0
	5	837.2	853.9	528.5	280.9	492.3	164.1	61.2	164.1	422.8
	6	653.7	767.7	792.7	570.2	247.6	116.8	69.5	116.8	416.9
	7	578.6	753.8	250.3	269.8	325.4	191.9	72.3	191.9	329.3
	8	592.5	709.3	748.2	678.7	294.8	44.5	19.5	44.5	391.5
	9	745.4	781.6	628.6	573	336.6	64	2.8	64	399.5
	10	144.6	286.5	247.6	139.1	72.3	100.1	47.3	100.1	142.2
	11	72.3	108.5	269.8	253.1	172.5	86.2	55.6	86.2	138.0
	12	614.7	528.5	648.1	125.2	72.3	44.5	5.6	44.5	260.4
	13	720.4	392.2	133.5	230.9	258.7	144.6	33.4	144.6	257.3
	14	500.7	428.4	72.3	19.5	211.4	197.5	19.5	197.5	205.9
	15	278.2	500.7	361.6	447.8	456.2	203	36.2	203	310.8
	16	684.2	147.4	114	22.3	50.1	44.5	16.7	44.5	140.5
	17	606.4	130.7	5.6	55.6	94.6	122.4	13.9	122.4	144.0
	18	191.9	442.3	411.7	294.8	180.8	50.1	25	50.1	205.8
	19	781.6	639.7	495.1	269.8	108.5	83.4	16.7	83.4	309.8
	20	481.2	853.9	787.2	695.4	311.5	100.1	30.6	100.1	420.0
	21	831.7	865	581.3	361.6	261.5	139.1	41.7	139.1	402.6
	22	461.7	845.6	531.3	186.4	64	36.2	8.3	36.2	271.2
	23	514.6	431.1	72.3	38.9	50.1	50.1	22.3	50.1	153.7
	24	756.6	784.4	787.2	689.8	431.1	186.4	5.6	186.4	478.4
	25	659.2	778.8	609.1	472.9	344.9	122.4	25	122.4	391.8
	26	731.5	642.5	598	467.3	230.9	225.3	33.4	225.3	394.3
	27	581.3	436.7	350.5	269.8	280.9	169.7	11.1	169.7	283.7
	28	620.3	472.9	339.3	392.2	244.8	91.8	19.5	91.8	284.1
	29	623.1	675.9	623.1	294.8	52.8	119.6	33.4	119.6	317.8
	30	851.1	450.6	623.1	350.5	336.6	75.1	5.6	75.1	346.0
	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเวลา	582.7	570.2	465.8	352.0	250.7	121.4	32.0	121.4	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (วัน)
	1	253.1	278.2	475.6	681.5	726	514.6	339.3	180.8	431.1
ตุลาคม	2	439.5	573	648.1	803.9	681.5	528.5	247.6	91.8	501.7
	3	500.7	461.7	639.7	517.4	845.6	436.7	44.5	25	433.9
	4	255.9	344.9	342.1	205.8	219.7	108.5	72.3	38.9	198.5
	5	155.8	225.3	244.8	203	97.4	169.7	64	83.4	155.4
	6	461.7	381.1	239.2	233.6	272.6	219.7	253.1	239.2	287.5
	7	392.2	397.8	433.9	675.9	781.6	611.9	447.8	130.7	484.0
	8	308.7	467.3	703.7	303.2	606.4	575.8	250.3	139.1	419.3
	9	278.2	322.7	403.3	322.7	236.4	58.4	61.2	55.6	217.3
	10	542.4	623.1	739.9	631.4	648.1	414.4	311.5	144.6	506.9
	11	280.9	339.3	620.3	700.9	261.5	267	314.3	91.8	359.5
	12	125.2	225.3	383.8	436.7	720.4	442.3	247.6	52.8	329.3
	13	383.8	503.5	431.1	548	102.9	472.9	353.3	161.3	369.6
	14	269.8	244.8	52.8	230.9	155.8	475.6	130.7	58.4	202.4
	15	89	178	264.2	280.9	119.6	147.4	22.3	8.3	138.7
	16	102.9	155.8	175.2	139.1	161.3	183.6	133.5	64	139.4
	17	211.4	55.6	158.5	267	283.7	38.9	100.1	100.1	151.9
	18	191.9	172.5	336.6	592.5	678.7	634.2	217	41.7	358.1
	19	525.7	500.7	531.3	217	361.6	247.6	272.6	178	354.3
	20	442.3	431.1	144.6	311.5	264.2	336.6	144.6	136.3	276.4
	21	400.5	511.8	242	100.1	44.5	475.6	375.5	108.5	282.3
	22	553.5	589.7	623.1	589.7	678.7	442.3	317.1	105.7	487.5
	23	586.9	764.9	764.9	598	762.1	297.6	225.3	102.9	512.8
	24	600.8	745.4	809.4	837.2	689.8	589.7	175.2	91.8	567.4
	25	550.7	692.6	375.5	458.9	573	497.9	133.5	72.3	419.3
	26	189.1	264.2	397.8	445	369.9	356	191.9	83.4	287.2
	27	514.6	648.1	723.2	798.3	675.9	328.2	280.9	133.5	512.8
	28	364.4	414.4	639.7	770.5	639.7	514.6	294.8	102.9	467.6
	29	611.9	739.9	801.1	795.5	737.1	589.7	364.4	114	594.2
	30	578.6	734.3	787.2	748.2	450.6	178	169.7	105.7	469.0
	31	311.5	375.5	503.5	428.4	242	217	219.7	86.2	298.0
	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเวลา	370.1	431.0	472.1	479.8	454.5	366.8	218.6	100.9	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (วัน)
	1	141.9	283.7	495.1	458.9	358.8	269.8	197.5	55.6	282.7
พฤศจิกายน	2	353.3	570.2	367.2	525.7	278.2	172.5	169.7	77.9	314.3
	3	119.6	141.9	172.5	267	392.2	408.9	258.7	91.8	231.6
	4	325.4	642.5	703.7	767.7	764.9	681.5	503.5	158.5	568.5
	5	311.5	517.4	589.7	717.6	514.6	381.1	233.6	66.8	416.5
	6	178	467.3	698.2	714.8	637	584.1	414.4	89	472.9
	7	230.9	269.8	350.5	378.3	411.7	364.4	203	44.5	281.6
	8	328.2	503.5	611.9	503.5	803.9	714.8	584.1	147.4	524.7
	9	392.2	422.8	550.7	723.2	489.5	511.8	375.5	41.7	438.4
	10	289.3	531.3	692.6	751	745.4	514.6	292.1	155.8	496.5
	11	147.4	322.7	314.3	306	175.2	203	147.4	94.6	213.8
	12	186.4	228.1	306	297.6	214.2	272.6	186.4	52.8	218.0
	13	253.1	306	367.2	458.9	406.1	467.3	378.3	119.6	344.6
	14	319.9	528.5	706.5	770.5	764.9	703.7	525.7	130.7	556.3
	15	222.5	445	692.6	536.8	584.1	464.5	344.9	86.2	422.1
	16	253.1	147.4	308.7	522.9	556.3	536.8	272.6	80.7	334.8
	17	342.1	528.5	539.6	737.1	720.4	545.2	280.9	69.5	470.4
	18	186.4	253.1	464.5	472.9	525.7	425.6	411.7	108.5	356.1
	19	328.2	528.5	684.2	670.3	645.3	456.2	306	75.1	461.7
	20	253.1	497.9	662	728.8	623.1	127.9	253.1	114	407.5
	21	300.4	495.1	567.4	520.1	197.5	464.5	342.1	116.8	375.5
	22	267	447.8	375.5	431.1	573	372.7	378.3	89	366.8
	23	275.4	458.9	667.6	731.5	751	656.4	495.1	122.4	519.8
	24	230.9	344.9	706.5	726	720.4	650.9	372.7	80.7	479.1
	25	314.3	525.7	637	723.2	723.2	639.7	375.5	116.8	506.9
	26	242	364.4	584.1	756.6	726	606.4	472.9	122.4	484.4
	27	258.7	378.3	598	653.7	653.7	659.2	484	89	471.8
	28	161.3	294.8	670.3	723.2	700.9	656.4	475.6	97.4	472.5
	29	306	481.2	659.2	739.9	737.1	645.3	492.3	114	521.9
	30	261.5	425.6	525.7	517.4	712.1	511.8	439.5	94.6	436.0
	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเวลา	259.3	411.8	542.3	594.4	570.2	489.0	355.6	96.8	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (วัน)
	1	486.8	684.2	737.1	703.7	656.4	500.7	233.6	114.0	514.6
ธันวาคม	2	472.9	653.7	726.0	712.1	386.6	272.6	250.3	111.3	448.2
	3	458.9	662.0	739.9	731.5	692.6	481.2	300.4	108.5	521.9
	4	381.1	461.7	559.1	598.0	581.3	450.6	275.4	122.4	428.7
	5	456.2	645.3	689.8	662.0	522.9	306.0	114.0	41.7	429.7
	6	258.7	189.1	186.4	219.7	314.3	242.0	269.8	122.4	225.3
	7	178.0	422.8	325.4	308.7	217.0	322.7	325.4	72.3	271.5
	8	225.3	311.5	542.4	381.1	570.2	470.1	297.6	119.6	364.7
	9	445.0	631.4	687.0	712.1	586.9	472.9	303.2	133.5	496.5
	10	414.4	467.3	344.9	253.1	458.9	439.5	280.9	130.7	348.7
	11	214.2	531.3	614.7	689.8	650.9	464.5	300.4	133.5	449.9
	12	306.0	255.9	411.7	573.0	567.4	439.5	317.1	169.7	380.0
	13	119.6	189.1	400.5	453.4	703.7	528.5	420.0	236.4	381.4
	14	372.7	503.5	550.7	692.6	603.6	456.2	269.8	108.5	444.7
	15	414.4	406.1	495.1	545.2	447.8	414.4	306.0	130.7	395.0
	16	191.9	264.2	559.1	189.1	364.4	127.9	147.4	50.1	236.8
	17	127.9	139.1	550.7	383.8	347.7	303.2	300.4	86.2	279.9
	18	420.0	578.6	648.1	670.3	567.4	442.3	314.3	166.9	476.0
	19	297.6	556.3	439.5	623.1	539.6	428.4	300.4	86.2	408.9
	20	406.1	539.6	600.8	506.2	358.8	428.4	242.0	161.3	405.4
	21	403.3	603.6	645.3	726.0	586.9	383.8	155.8	125.2	453.7
	22	369.9	514.6	592.5	678.7	573.0	453.4	244.8	130.7	444.7
	23	331.0	386.6	628.6	525.7	592.5	411.7	261.5	119.6	407.2
	24	403.3	356.0	495.1	150.2	111.3	97.4	175.2	119.6	238.5
	25	364.4	528.5	414.4	322.7	342.1	217.0	125.2	91.8	300.8
	26	436.7	631.4	681.5	728.8	681.5	514.6	325.4	161.3	520.2
	27	453.4	662.0	695.4	753.8	695.4	531.3	350.5	169.7	538.9
	28	422.8	598.0	639.7	709.3	653.7	475.6	325.4	144.6	496.1
	29	339.3	453.4	445.0	522.9	623.1	433.9	267.0	133.5	402.3
	30	420.0	609.1	653.7	698.2	592.5	486.8	347.7	172.5	497.6
	31	414.4	637.0	667.6	664.8	609.1	458.9	383.8	161.3	499.6
	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเวลา	355.0	486.2	560.2	551.3	522.6	401.8	275.2	127.0	

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอก เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2553

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	อุณหภูมิเฉลี่ย (วัน)
	1	27.5	29.0	31.0	32.0	32.2	33.2	33.2	32.6	31.3
มกราคม	2	26.3	27.5	29.5	31.2	32.1	32.6	31.8	32.2	30.4
	3	27.0	28.6	31.2	32.2	33.3	33.9	34.2	34.3	31.8
	4	28.0	29.8	31.1	32.7	32.9	32.3	33.4	33.1	31.7
	5	27.5	29.9	31.0	31.1	31.3	33.5	33.2	33.2	31.3
	6	28.3	29.6	29.7	28.5	24.8	26.5	28.6	23.1	27.4
	7	26.7	27.8	30.2	30.6	30.9	31.5	28.6	27.3	29.2
	8	25.3	26.1	27.0	28.3	29.6	29.6	23.2	26.7	27.0
	9	24.6	26.8	27.8	28.2	29.7	29.6	29.5	30.4	28.3
	10	25.9	27.6	29.5	30.9	31.6	32.1	33.1	32.7	30.4
	11	26.5	28.5	31.1	31.6	32.0	32.2	32.3	32.5	30.8
	12	26.7	28.4	30.2	32.6	31.5	31.9	32.5	33.0	30.9
	13	25.8	26.4	27.9	28.8	29.3	30.1	30.7	30.3	28.7
	14	24.5	25.9	28.1	27.7	28.8	29.1	29.8	28.8	27.8
	15	23.7	26.0	27.1	28.2	29.6	30.2	30.1	29.5	28.1
	16	25.5	27.2	29.2	30.2	30.8	31.6	30.6	31.3	29.6
	17	24.0	25.8	27.1	28.4	28.9	29.6	29.3	29.6	27.8
	18	22.3	24.3	25.2	26.2	27.4	28.3	28.5	28.4	26.3
	19	23.4	25.8	27.8	29.3	29.5	30.3	29.9	30.2	28.3
	20	25.3	26.0	27.3	29.2	28.0	29.3	30.0	29.7	28.1
	21	25.6	25.9	26.6	27.2	27.0	26.5	26.6	26.8	26.5
	22	23.7	24.6	27.0	27.5	27.7	28.6	29.1	29.1	27.2
	23	26.0	27.4	28.4	29.8	28.3	28.0	28.3	28.8	28.1
	24	26.7	28.3	29.7	30.1	29.6	27.6	27.0	28.8	28.5
	25	26.9	28.6	29.5	29.3	30.8	31.7	32.3	31.6	30.1
	26	27.4	28.4	29.5	30.6	30.9	31.0	30.8	31.4	30.0
	27	27.5	28.8	30.3	31.0	32.1	31.7	31.9	32.5	30.7
	28	27.7	30.0	30.7	32.6	32.1	33.4	33.4	33.9	31.7
	29	27.8	29.1	30.3	31.2	32.1	31.0	30.2	28.4	30.0
	30	27.2	27.2	28.7	29.5	30.7	31.2	31.9	32.2	29.8
	31	28.1	30.1	31.1	31.8	32.3	32.9	32.5	32.4	31.4
	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลา	26.1	27.6	29.1	30.0	30.3	30.7	30.5	30.5	

		เวลา								
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	อุณหภูมิเฉลี่ย (วัน)
	1	28.7	29.9	30.9	31.9	33.0	33.8	33.5	33.2	31.9
กุมภาพันธ์	2	29.1	29.8	31.5	31.3	33.0	32.4	33.3	33.2	31.7
	3	28.4	30.1	32.0	32.8	33.1	33.5	33.2	33.0	32.0
	4	28.2	30.2	31.1	32.0	32.7	33.4	32.9	33.0	31.7
	5	28.7	30.1	32.7	32.2	32.7	33.2	33.1	33.6	32.0
	6	29.4	30.4	32.1	31.9	31.8	31.9	32.5	32.7	31.6
	7	28.4	30.0	31.3	31.4	31.8	32.6	33.1	33.0	31.5
	8	28.8	30.3	31.2	31.1	31.7	31.7	32.4	32.5	31.2
	9	27.8	29.3	31.7	30.5	34.0	31.8	31.4	31.7	31.0
	10	28.8	29.5	32.3	32.8	31.8	33.1	32.6	32.8	31.7
	11	27.8	29.4	31.2	32.6	33.5	33.4	34.5	33.0	31.9
	12	28.0	29.9	30.1	32.4	32.4	33.9	32.7	32.5	31.5
	13	29.0	29.3	31.1	31.8	32.9	33.4	33.5	33.5	31.8
	14	28.6	29.9	31.2	31.9	32.3	33.2	32.9	33.2	31.7
	15	29.2	30.6	31.5	32.1	33.4	33.5	33.6	33.9	32.2
	16	28.3	29.8	32.5	32.1	32.1	33.5	33.6	33.3	31.9
	17	29.3	30.2	31.8	32.7	33.0	32.5	33.5	33.2	32.0
	18	28.3	29.3	30.4	32.7	32.4	32.7	32.8	32.6	31.4
	19	28.6	29.1	31.3	31.7	32.4	29.5	29.6	29.7	30.2
	20	26.3	27.7	30.5	31.9	30.4	27.6	29.0	30.3	29.2
	21	27.1	29.6	31.5	32.4	32.9	33.5	32.7	33.0	31.6
	22	29.5	31.2	32.1	32.3	33.2	33.4	33.5	33.7	32.4
	23	29.1	31.0	32.4	33.0	33.0	33.6	33.4	33.4	32.4
	24	29.4	30.9	31.5	31.0	32.9	33.1	33.4	33.7	32.0
	25	30.5	31.7	32.6	33.8	34.0	35.0	34.6	35.2	33.4
	26	29.2	30.8	32.2	34.0	35.0	35.8	35.6	35.5	33.5
	27	27.3	30.4	33.0	33.7	34.4	34.5	34.1	34.2	32.7
	28	29.5	31.8	32.0	33.3	33.5	34.2	34.1	32.7	32.6
	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลา	28.6	30.1	31.6	32.3	32.8	33.0	33.0	33.0	

		เวลา								
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	อุณหภูมิเฉลี่ย (วัน)
	1	29.5	30.6	31.9	32.7	32.6	33.2	33.7	33.4	32.2
มีนาคม	2	30.2	31.6	33.2	33.2	33.7	34.5	34.5	34.1	33.1
	3	29.8	32.4	33.2	33.4	34.3	34.3	34.1	34.6	33.3
	4	29.2	31.3	33.1	34.5	34.9	34.6	34.8	34.2	33.3
	5	30.3	32.2	32.8	34.4	35.5	36.8	37.2	37.1	34.5
	6	28.8	30.5	32.5	34.1	35.7	37.2	37.3	35.8	34.0
	7	27.8	29.7	32.3	34.5	35.2	35.1	35.2	34.4	33.0
	8	29.1	30.6	32.7	33.1	34.1	34.3	34.3	33.9	32.8
	9	29.5	31.0	33.4	34.3	34.9	34.8	34.6	34.4	33.4
	10	26.2	26.9	28.4	30.2	29.9	29.6	29.9	30.7	29.0
	11	26.0	26.5	27.7	30.0	31.2	31.7	32.9	32.2	29.8
	12	29.6	31.3	33.0	34.2	35.7	35.9	35.9	36.4	34.0
	13	30.4	32.0	33.4	34.3	34.4	35.0	34.6	34.6	33.6
	14	29.3	32.3	33.0	34.2	34.3	34.6	34.9	35.1	33.5
	15	29.6	32.1	33.7	34.9	34.9	35.5	35.5	35.7	34.0
	16	30.0	32.1	33.4	33.8	34.6	35.3	35.9	35.8	33.9
	17	28.3	29.0	31.5	30.9	27.3	29.0	30.2	31.0	29.7
	18	29.4	31.2	32.6	34.0	34.6	35.8	35.5	36.0	33.6
	19	29.6	31.5	32.8	34.4	35.5	35.9	35.7	35.9	33.9
	20	30.4	31.7	33.1	33.9	34.1	35.9	35.5	34.9	33.7
	21	30.5	32.0	33.5	34.8	34.9	35.5	35.1	34.9	33.9
	22	31.5	32.7	33.6	34.2	34.5	35.1	34.7	34.6	33.9
	23	30.6	32.5	33.4	33.7	34.4	35.3	34.6	34.5	33.6
	24	30.9	32.6	34.0	33.9	35.2	34.7	35.6	35.2	34.0
	25	31.1	32.8	33.9	35.9	32.6	36.7	37.5	37.0	34.7
	26	26.7	26.7	24.1	25.7	26.0	25.8	26.0	25.4	25.8
	27	25.7	27.1	29.9	31.3	32.4	33.6	33.1	33.0	30.8
	28	29.7	32.1	32.6	33.8	34.6	35.2	35.0	35.4	33.6
	29	30.3	31.5	33.8	34.3	34.8	34.5	35.6	35.5	33.8
	30	30.1	31.8	33.4	34.7	35.5	35.2	35.0	34.4	33.8
	31	30.5	33.0	32.9	34.4	34.5	35.5	35.6	34.1	33.8
	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลา	29.4	31.0	32.3	33.4	33.8	34.4	34.5	34.3	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	อุณหภูมิเฉลี่ย (วัน
	1	30.8	32.3	33.3	33.8	35.2	35.0	34.8	35.3	33.8
เมษายน	2	31.5	33.0	34.5	35.5	36.3	36.2	35.5	35.7	34.8
	3	31.9	33.2	34.8	35.7	36.0	35.9	35.9	35.5	34.9
	4	32.4	33.4	34.7	35.2	35.8	36.7	36.2	36.2	35.1
	5	32.7	33.8	35.0	35.6	36.1	36.0	36.3	36.2	35.2
	6	32.4	33.8	34.6	35.2	35.7	36.0	36.5	36.2	35.1
	7	32.3	33.5	34.7	35.6	36.2	36.1	36.6	36.0	35.1
	8	31.5	33.1	35.3	36.1	36.1	36.5	36.5	36.0	35.1
	9	32.6	33.7	34.9	36.4	36.3	35.7	36.1	35.8	35.2
	10	31.4	33.2	34.4	34.8	35.7	35.6	35.4	34.7	34.4
	11	32.0	34.0	33.6	35.9	36.4	37.4	38.1	37.3	35.6
	12	32.6	33.5	35.3	36.2	35.7	36.4	37.2	37.5	35.6
	13	32.2	33.6	35.1	35.7	37.0	38.1	38.9	38.1	36.1
	14	31.7	33.7	34.3	35.6	36.2	36.6	36.8	35.7	35.1
	15	32.4	34.0	35.2	36.3	36.5	36.8	36.6	36.0	35.5
	16	30.6	30.6	28.8	30.1	33.1	36.5	36.1	34.6	32.6
	17	25.4	27.0	28.3	29.7	30.1	30.4	30.3	30.2	28.9
	18	29.6	32.3	33.9	34.7	34.9	34.0	35.0	34.7	33.6
	19	32.4	33.5	34.8	36.0	35.7	36.7	35.8	36.2	35.1
	20	33.0	34.0	35.0	36.2	37.0	37.5	38.3	38.1	36.1
	21	33.0	34.2	35.5	36.5	36.4	38.0	37.5	37.2	36.0
	22	32.8	34.5	35.5	36.8	38.0	37.2	36.7	36.9	36.1
	23	32.5	34.1	35.9	36.2	36.7	37.1	36.7	36.9	35.8
	24	28.5	28.2	28.2	30.0	31.6	32.1	32.4	32.6	30.5
	25	31.6	32.6	34.8	36.4	35.3	35.8	35.7	36.2	34.8
	26	32.6	33.6	35.6	36.5	36.7	37.3	37.4	37.3	35.9
	27	30.9	33.2	34.6	35.0	34.7	33.0	26.4	29.4	32.2
	28	29.8	30.6	32.9	34.9	35.3	34.7	23.6	22.7	30.6
	29	30.5	32.2	34.2	33.7	34.7	26.9	27.8	33.6	31.7
	30	31.9	32.1	34.3	36.0	35.1	36.1	35.7	35.5	34.6
	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลา	31.5	32.8	34.1	35.1	35.6	35.6	35.1	35.1	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	อุณหภูมิเฉลี่ย (วัน)
	1	31.6	33.6	34.3	29.3	34.8	36.5	34.4	34.9	33.7
พฤษภาคม	2	31.5	32.2	33.8	34.8	35.2	34.2	30.1	32.6	33.1
	3	31.4	28.8	26.6	27.4	29.0	31.4	32.2	33.0	30.0
	4	29.4	31.0	32.5	33.0	34.0	33.4	30.6	27.5	31.4
	5	32.2	33.6	33.5	34.4	35.2	35.3	35.6	35.1	34.4
	6	27.7	28.8	30.8	31.6	32.6	34.7	35.3	34.2	32.0
	7	32.9	33.8	34.5	36.3	36.1	36.4	35.8	35.6	35.2
	8	33.1	34.7	35.4	35.3	33.9	36.5	35.1	35.8	35.0
	9	34.0	34.6	36.2	36.0	36.6	36.1	36.8	36.8	35.9
	10	33.8	34.7	35.7	36.6	36.9	38.1	38.0	38.3	36.5
	11	31.5	33.7	35.4	35.4	36.8	36.2	36.7	34.8	35.1
	12	28.7	29.5	31.7	33.5	33.8	34.3	33.3	33.7	32.3
	13	32.1	33.5	34.4	35.3	35.1	33.9	32.0	35.6	34.0
	14	32.7	33.6	35.6	35.2	35.7	35.7	35.5	36.2	35.0
	15	33.6	33.6	35.3	35.7	35.5	35.8	37.0	35.7	35.3
	16	32.8	34.0	31.7	29.0	27.7	25.8	27.6	29.4	29.8
	17	31.7	33.2	31.7	27.0	31.2	30.1	26.4	26.4	29.7
	18	30.5	32.9	33.5	30.4	27.9	29.5	31.1	33.5	31.2
	19	29.6	30.7	32.6	33.4	33.6	35.1	34.7	35.0	33.1
	20	31.4	33.0	34.4	33.9	35.8	36.0	35.6	36.3	34.6
	21	33.0	34.1	34.7	34.9	36.4	36.7	36.7	35.8	35.3
	22	29.6	30.9	32.9	34.1	35.0	35.5	35.4	34.5	33.5
	23	30.2	31.6	33.3	34.0	34.4	34.8	35.4	35.7	33.7
	24	29.8	31.3	32.7	33.7	33.3	34.1	34.6	34.7	33.0
	25	29.4	31.3	32.3	33.8	34.0	33.3	34.0	34.2	32.8
	26	28.7	27.7	26.6	26.7	27.9	29.5	31.1	31.6	28.7
	27	31.1	32.3	33.8	33.4	33.4	33.6	33.9	33.0	33.1
	28	32.1	31.0	32.8	33.0	33.4	33.6	33.9	33.4	32.9
	29	30.8	31.9	33.3	33.6	33.2	33.4	32.7	31.2	32.5
	30	31.4	33.0	34.0	34.5	34.9	35.7	35.6	33.6	34.1
	31	32.3	33.3	34.0	34.5	35.3	34.9	35.1	34.4	34.2
	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลา	31.3	32.3	33.2	33.2	33.8	34.2	33.9	34.0	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	อุณหภูมิเฉลี่ย (วัน)
	1	30.5	32.1	33.3	34.1	34.8	35.3	35.7	35.7	33.9
มิถุนายน	2	31.5	32.5	33.3	33.7	34.7	35.3	35.4	36.3	34.1
	3	31.6	32.4	33.1	33.4	34.2	34.4	34.1	35.0	33.5
	4	31.2	32.4	32.9	33.8	34.2	34.7	35.5	35.7	33.8
	5	29.4	30.7	32.0	33.7	33.9	34.2	35.0	34.6	32.9
	6	31.8	32.6	33.6	33.9	34.0	33.6	26.2	29.3	31.9
	7	30.0	32.6	33.2	33.6	33.4	34.4	33.8	33.6	33.1
	8	30.7	31.8	32.7	32.8	33.9	33.5	32.8	33.2	32.7
	9	29.7	30.4	31.7	32.2	33.2	33.2	32.8	32.3	31.9
	10	26.5	27.7	29.2	30.7	31.8	31.5	31.8	31.4	30.1
	11	30.1	31.8	31.8	33.6	33.8	34.5	34.9	34.1	33.1
	12	30.1	31.5	33.0	34.3	34.7	35.6	36.4	35.1	33.8
	13	32.1	32.9	33.6	34.5	34.7	36.1	35.3	33.4	34.1
	14	32.4	32.9	34.0	34.8	35.8	36.3	35.9	35.2	34.7
	15	32.3	32.9	33.7	35.0	35.0	35.8	35.5	36.1	34.5
	16	31.6	32.4	33.3	34.1	34.5	34.7	34.3	34.5	33.7
	17	31.1	32.2	33.7	34.1	34.7	36.0	35.1	36.1	34.1
	18	31.0	31.9	33.0	34.0	35.0	35.4	35.8	35.2	33.9
	19	31.4	32.0	32.8	33.1	34.0	34.5	34.3	34.7	33.4
	20	30.3	31.5	32.5	33.5	34.2	34.6	35.4	36.1	33.5
	21	30.5	31.7	33.2	33.6	33.9	34.4	35.3	34.2	33.4
	22	29.8	29.5	30.6	28.7	31.9	31.6	32.7	32.5	30.9
	23	29.4	30.2	31.2	30.9	32.3	32.5	32.0	31.8	31.3
	24	31.3	32.1	32.1	32.8	33.0	33.1	33.8	33.6	32.7
	25	31.2	32.3	33.1	34.1	35.2	35.0	33.6	33.6	33.5
	26	31.4	34.0	33.6	34.2	33.3	28.5	26.4	29.4	31.4
	27	30.4	31.8	32.8	33.4	34.4	34.1	34.4	34.3	33.2
	28	29.5	30.5	31.6	32.3	32.7	33.8	33.7	33.5	32.2
	29	28.0	28.6	29.6	30.2	30.9	31.7	29.8	31.0	30.0
	30	29.5	30.2	31.3	31.3	32.5	32.7	28.4	29.5	30.7
	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลา	30.5	31.6	32.5	33.1	33.8	34.0	33.5	33.7	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	อุณหภูมิเฉลี่ย (วัน)
	1	28.7	30.3	31.4	30.2	30.0	31.2	31.5	30.4	30.5
กรกฎาคม	2	25.0	25.1	26.8	28.5	28.8	30.1	30.0	30.1	28.1
	3	28.0	29.3	30.5	30.4	28.5	29.0	30.0	30.6	29.5
	4	29.7	31.1	31.1	32.2	32.3	30.2	30.6	30.3	30.9
	5	29.1	29.6	30.9	31.3	31.9	25.9	27.3	28.2	29.3
	6	28.4	29.8	31.0	31.4	32.3	32.9	33.3	31.8	31.4
	7	29.5	30.5	31.6	32.6	33.5	34.2	34.6	34.7	32.7
	8	30.5	31.2	32.6	33.6	33.0	33.8	34.6	34.9	33.0
	9	30.6	31.5	32.5	33.3	33.9	34.3	34.7	34.9	33.2
	10	29.7	30.8	31.8	31.9	32.8	32.9	33.2	33.8	32.1
	11	30.9	31.8	32.3	33.4	33.8	33.7	34.4	34.8	33.1
	12	30.6	31.3	32.0	32.5	33.4	34.1	34.2	34.5	32.8
	13	29.5	30.5	31.3	32.5	33.3	33.8	34.1	34.0	32.4
	14	30.2	31.2	30.9	29.1	29.7	30.0	31.1	29.9	30.3
	15	29.5	31.0	31.0	31.0	25.4	28.6	31.2	32.0	30.0
	16	29.5	31.3	31.7	32.6	32.4	32.6	33.0	29.9	31.6
	17	29.0	30.3	31.2	31.5	31.6	32.4	31.6	29.6	30.9
	18	28.0	29.5	30.9	31.2	31.6	31.8	31.9	31.1	30.8
	19	26.4	26.2	26.7	27.6	28.4	28.8	28.9	29.0	27.8
	20	29.8	30.5	32.0	32.9	31.7	32.9	33.6	33.5	32.1
	21	30.6	31.6	32.3	33.1	33.6	35.0	34.6	34.9	33.2
	22	30.6	31.5	32.1	32.5	32.8	33.5	33.8	33.8	32.6
	23	30.0	31.4	32.1	33.0	32.6	32.5	31.9	32.1	32.0
	24	30.0	30.2	31.7	32.3	32.4	32.5	32.6	32.7	31.8
	25	29.9	30.8	30.9	31.3	31.1	31.1	31.0	31.0	30.9
	26	29.3	30.4	31.0	31.2	32.0	32.4	33.6	32.7	31.6
	27	26.8	29.0	30.1	30.9	31.5	32.6	32.1	32.0	30.6
	28	28.5	29.0	30.4	31.7	32.2	32.1	32.6	32.6	31.1
	29	27.2	27.7	30.0	30.8	31.7	31.4	31.8	31.3	30.2
	30	29.9	30.5	31.5	31.8	32.9	33.4	29.4	28.0	30.9
	31	30.1	30.5	31.3	32.3	32.4	33.1	33.2	33.2	32.0
	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลา	29.2	30.2	31.1	31.6	31.7	32.0	32.3	32.0	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	อุณหภูมิเฉลี่ย (วัน)
	1	29.4	29.8	31.1	31.6	32.3	32.6	33.2	33.5	31.7
สิงหาคม	2	26.0	26.8	28.8	29.8	30.8	31.1	31.2	28.0	29.1
	3	28.7	27.9	30.2	29.5	30.3	25.2	26.7	27.1	28.2
	4	29.5	29.9	31.3	31.0	32.0	31.6	32.2	32.5	31.3
	5	29.0	29.4	30.6	31.2	32.2	32.5	32.1	32.7	31.2
	6	28.8	30.0	30.9	32.2	32.0	32.9	32.7	31.5	31.4
	7	28.5	30.6	30.7	31.6	31.7	32.6	31.3	28.1	30.6
	8	28.6	29.7	31.1	32.5	32.5	33.4	32.4	32.6	31.6
	9	29.4	30.3	31.3	31.8	32.5	32.1	33.4	32.7	31.7
	10	29.8	30.6	32.2	32.6	33.3	33.8	34.1	32.9	32.4
	11	27.1	28.3	26.4	27.8	27.3	29.7	30.0	29.9	28.3
	12	28.6	30.0	31.4	30.9	29.9	27.5	27.9	29.2	29.4
	13	26.9	28.6	29.2	25.8	26.7	28.0	29.3	29.6	28.0
	14	26.8	28.1	29.6	29.0	30.0	29.8	29.7	30.7	29.2
	15	27.4	27.8	29.7	32.1	32.0	32.5	32.5	31.3	30.7
	16	28.4	31.1	30.4	31.8	32.7	32.1	32.1	32.3	31.4
	17	28.0	31.0	32.1	32.8	33.4	33.8	32.4	24.7	31.0
	18	28.1	29.2	30.5	32.8	32.2	32.6	31.6	30.8	31.0
	19	28.1	29.8	30.7	31.8	32.2	33.1	33.4	34.1	31.7
	20	28.4	30.1	31.2	31.8	32.8	32.5	27.9	25.7	30.1
	21	27.6	28.9	29.6	29.6	30.4	30.6	31.5	31.1	29.9
	22	27.6	29.1	30.6	31.2	32.4	32.8	32.9	32.0	31.1
	23	29.1	30.1	30.9	31.7	31.4	31.4	31.7	30.3	30.8
	24	28.6	30.3	31.2	31.3	25.5	26.7	28.2	29.2	28.9
	25	30.0	31.2	30.9	32.2	33.0	32.8	32.6	31.6	31.8
	26	29.0	30.4	31.0	32.6	33.1	33.3	32.8	32.6	31.9
	27	29.9	31.5	32.2	32.7	33.0	33.5	34.0	33.8	32.6
	28	27.1	28.8	29.9	30.1	30.6	30.5	30.1	29.6	29.6
	29	25.6	26.9	27.9	30.1	30.4	31.0	31.1	30.6	29.2
	30	29.3	30.2	30.4	31.9	32.1	31.7	32.1	32.3	31.3
	31	29.9	31.4	31.7	32.2	32.6	32.7	32.3	32.6	31.9
	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลา	28.4	29.6	30.5	31.2	31.4	31.5	31.5	30.8	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	อุณหภูมิเฉลี่ย (วัน)
	1	29.9	31.1	32.1	32.8	33.2	33.7	33.4	32.1	32.3
กันยายน	2	28.9	29.7	31.4	32.1	32.6	32.4	32.7	27.3	30.9
	3	26.7	28.0	29.7	31.2	31.6	31.8	32.0	31.2	30.3
	4	27.9	29.9	31.1	31.4	31.9	31.6	32.0	31.8	31.0
	5	29.9	30.6	31.4	32.2	32.6	33.2	33.6	34.3	32.2
	6	29.7	30.9	31.5	32.1	32.6	33.0	33.0	32.5	31.9
	7	28.6	30.0	31.5	32.4	33.2	33.8	33.7	33.4	32.1
	8	29.5	30.7	31.6	31.3	33.0	32.3	32.8	33.4	31.8
	9	29.8	31.0	31.7	32.4	33.5	33.2	32.7	30.2	31.8
	10	27.4	27.4	28.2	30.2	30.6	31.8	30.6	30.3	29.6
	11	26.9	28.5	29.2	25.6	26.0	27.0	27.7	28.1	27.4
	12	29.2	30.9	30.8	32.0	32.9	32.0	25.0	25.0	29.7
	13	26.7	28.9	30.7	28.7	29.7	29.2	32.2	31.1	29.7
	14	27.9	29.0	29.5	27.5	25.2	27.3	30.4	29.5	28.3
	15	27.1	27.7	28.9	30.3	31.0	31.9	31.5	31.8	30.0
	16	28.3	30.1	30.3	30.6	31.2	29.4	26.9	26.9	29.2
	17	27.7	30.0	30.3	30.9	31.8	31.3	28.1	29.5	30.0
	18	26.8	26.2	25.5	26.7	28.6	29.3	30.7	29.7	27.9
	19	27.9	29.7	30.8	31.1	29.2	28.2	26.6	27.4	28.9
	20	29.6	30.4	32.5	32.9	31.9	30.7	27.9	26.9	30.4
	21	30.5	30.3	31.8	33.1	32.7	33.7	33.2	33.2	32.3
	22	30.2	31.5	32.7	33.5	33.3	30.4	30.9	30.6	31.6
	23	29.2	31.1	32.0	32.0	32.1	32.5	32.4	28.3	31.2
	24	29.8	31.2	32.1	32.2	29.4	31.1	27.7	29.8	30.4
	25	29.9	30.8	31.4	27.4	30.3	32.7	33.0	32.3	31.0
	26	30.1	31.6	32.1	33.2	33.6	34.1	34.2	33.2	32.8
	27	28.4	29.6	30.7	30.5	32.2	32.1	32.1	31.6	30.9
	28	27.3	28.6	29.7	30.8	31.2	32.6	32.5	32.0	30.6
	29	27.9	28.6	30.6	31.1	31.7	31.9	32.0	32.5	30.8
	30	28.4	30.0	30.4	31.5	32.1	32.7	32.8	31.7	31.2
	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลา	28.6	29.8	30.7	31.0	31.4	31.6	31.1	30.6	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	อุณหภูมิเฉลี่ย (วัน)
	1	28.8	29.6	29.9	30.8	31.7	31.2	31.5	32.7	30.8
ตุลาคม	2	28.8	29.4	31.0	30.9	32.0	31.2	30.8	29.2	30.4
	3	27.9	28.9	29.8	30.4	26.4	27.5	27.9	28.2	28.4
	4	27.6	28.1	29.2	29.1	28.9	29.2	26.7	26.2	28.1
	5	26.5	27.2	27.3	27.5	26.6	27.0	27.8	27.8	27.2
	6	27.5	28.3	28.8	29.5	30.6	30.0	28.3	27.7	28.8
	7	28.5	29.4	30.3	29.7	29.2	27.2	29.0	30.4	29.2
	8	29.6	30.5	31.4	31.6	31.9	30.0	29.5	30.9	30.7
	9	29.4	29.7	30.5	30.8	31.8	32.5	32.4	30.2	30.9
	10	29.0	29.9	30.2	31.3	32.1	32.5	32.6	32.2	31.2
	11	28.3	28.9	30.3	31.8	31.6	32.0	32.1	31.3	30.8
	12	26.1	26.8	27.6	29.1	29.5	30.7	30.3	30.3	28.8
	13	27.1	28.0	29.5	29.7	30.1	30.6	30.5	31.3	29.6
	14	26.9	27.6	28.7	29.1	28.9	28.5	29.3	27.7	28.3
	15	25.4	25.5	26.5	26.9	27.1	28.2	26.3	23.9	26.2
	16	24.8	25.5	26.1	26.1	26.1	26.4	25.9	26.3	25.9
	17	25.5	24.9	25.2	26.9	27.1	27.8	28.6	27.8	26.7
	18	26.6	27.9	28.3	28.0	28.4	30.0	30.3	30.0	28.7
	19	27.8	29.6	30.5	31.1	32.4	31.6	31.3	31.1	30.7
	20	26.0	26.3	27.6	28.6	29.9	31.8	30.5	29.9	28.8
	21	28.0	28.8	29.8	31.2	31.0	32.1	32.0	30.5	30.4
	22	28.8	30.8	31.3	31.8	31.9	31.8	32.2	32.0	31.3
	23	29.4	30.8	31.6	32.4	33.0	32.8	33.1	33.2	32.0
	24	29.6	31.0	32.0	33.1	33.6	33.8	33.8	33.5	32.6
	25	30.1	32.0	32.7	33.9	34.7	34.7	31.8	30.6	32.6
	26	27.7	26.7	25.1	27.1	28.5	29.3	29.9	30.3	28.1
	27	28.7	30.0	30.9	31.4	32.3	32.0	32.2	31.5	31.1
	28	28.2	29.4	30.4	30.5	30.3	30.5	30.6	30.7	30.1
	29	27.2	27.7	28.4	28.9	29.8	29.2	29.6	30.1	28.9
	30	25.3	26.1	27.4	28.1	28.1	28.5	27.6	27.7	27.4
	31	23.3	24.1	25.1	25.6	25.8	26.4	26.9	27.0	25.5
	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลา	27.6	28.4	29.1	29.8	30.0	30.2	30.0	29.7	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	อุณหภูมิเฉลี่ย (วัน)
	1	24.7	25.0	26.3	27.5	28.3	28.0	28.1	27.6	26.9
พฤศจิกายน	2	25.6	26.8	27.8	28.2	28.1	27.5	27.2	27.2	27.3
	3	25.8	26.2	27.1	28.3	28.3	28.5	28.9	28.6	27.7
	4	25.1	25.9	27.1	28.0	28.6	29.2	29.4	29.5	27.9
	5	24.8	26.7	28.3	28.6	29.7	29.6	29.9	29.9	28.4
	6	26.1	27.8	28.7	29.5	29.5	30.0	29.9	29.8	28.9
	7	26.1	27.2	28.5	28.9	29.7	29.8	29.6	29.3	28.6
	8	28.3	29.6	30.1	30.8	31.7	31.9	32.3	32.0	30.8
	9	26.7	28.2	29.1	29.8	30.5	30.3	30.5	30.1	29.4
	10	26.9	28.9	30.2	30.2	30.4	31.0	30.4	30.7	29.8
	11	26.6	27.6	28.9	29.4	29.9	29.9	29.5	29.0	28.9
	12	26.2	28.2	29.4	29.0	29.5	29.5	30.0	29.9	29.0
	13	26.5	27.2	29.6	30.8	30.4	31.4	31.3	31.5	29.8
	14	27.7	29.1	30.2	31.0	31.7	32.3	32.6	31.9	30.8
	15	29.3	30.3	30.5	30.7	31.4	32.0	32.2	31.7	31.0
	16	27.0	26.9	28.9	29.7	30.2	30.7	29.9	29.6	29.1
	17	28.0	29.5	30.2	31.0	31.3	30.9	30.9	30.8	30.3
	18	28.0	29.7	30.7	31.9	32.9	32.1	32.0	31.9	31.2
	19	27.9	29.6	31.0	31.5	32.1	32.5	31.9	30.8	30.9
	20	28.3	29.4	30.7	32.0	31.0	30.8	30.6	30.7	30.4
	21	28.8	30.0	32.3	33.0	31.9	32.6	32.6	31.6	31.6
	22	29.1	30.6	31.8	32.8	33.6	33.3	34.1	33.8	32.4
	23	29.4	31.2	32.0	32.6	33.2	33.6	32.7	32.6	32.2
	24	29.1	30.2	31.9	32.5	32.7	33.8	33.1	33.4	32.1
	25	29.3	30.6	31.3	32.3	32.3	32.5	32.6	32.6	31.7
	26	27.6	29.3	30.1	30.3	31.1	31.4	31.0	30.6	30.2
	27	26.2	28.2	29.0	30.2	30.6	30.6	30.8	30.3	29.5
	28	26.4	28.1	30.1	31.1	32.0	32.3	32.5	32.2	30.6
	29	27.4	28.6	30.0	31.1	31.8	32.1	32.9	32.7	30.8
	30	28.7	30.2	31.8	31.6	32.0	32.6	32.7	32.2	31.5
	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลา	27.3	28.6	29.8	30.5	30.9	31.1	31.1	30.8	

					เวลา					
เดือน	วันที่	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	อุณหภูมิเฉลี่ย (วัน)
	1	28.4	29.6	31.1	31.8	31.6	32.2	32.6	32.4	31.2
ธันวาคม	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
	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลา	26.0	27.6	28.9	29.8	30.4	31.0	31.0	30.8	

ภาคผนวก ฉ
ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์กับลักษณะเมฆบนท้องฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ทดสอบแผง PV/T รายชั่วโมงของ 10 วันทำการทดสอบ

ความเข้มแสงอาทิตย์กับลักษณะเมฆบนท้องฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ทดสอบแผง PV/T รายชั่วโมงของวันที่ทำการทดสอบ

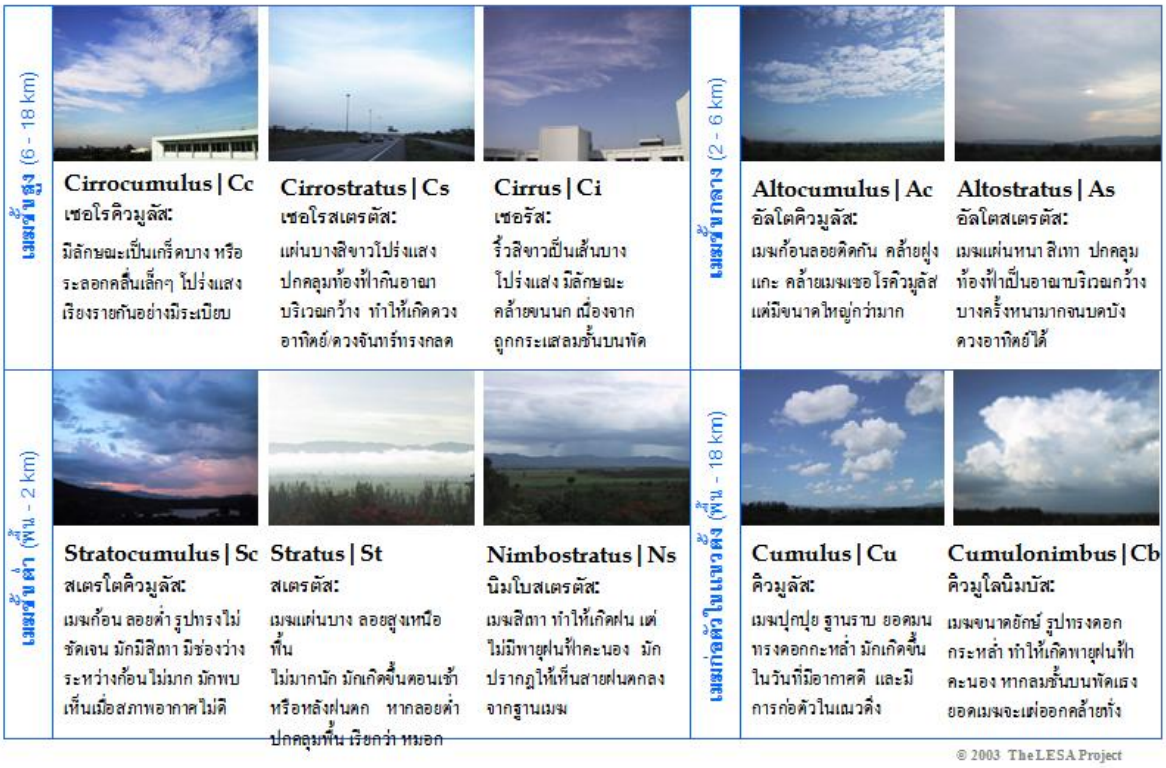
วันที่	ชั่วโมงทดสอบที่	ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m2)	ลักษณะเมฆที่เกิดขึ้นบนท้องฟ้า
17 ต.ค. 55	1	290.26	ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั่วเป็นกลุ่มประเภทอัลโตสเตรตัส และปรากฏเมฆประเภทเซอรัสเป็นกลุ่มๆจำนวนไม่มาก
	2	506.83	ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วนเป็นกลุ่มประเภทอัลโตสเตรตัส บางส่วนท้องฟ้าเริ่มเปิดเกิดจากกระแสลมพัดพา
	3	401.40	ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วนเป็นกลุ่มประเภทอัลโตสเตรตัส บางส่วนท้องฟ้าเริ่มเปิดเกิดจากกระแสลมพัดพา
	4	720.81	ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วนเป็นกลุ่มประเภทอัลโตสเตรตัส บางส่วนท้องฟ้าเริ่มเปิดเกิดจากกระแสลมพัดพา
	5	571.76	ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วนเป็นกลุ่มประเภทอัลโตสเตรตัส บางส่วนท้องฟ้าเริ่มเปิดเกิดจากกระแสลมพัดพา
	6	452.38	ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วนเป็นกลุ่มประเภทอัลโตสเตรตัส บางส่วนท้องฟ้าเริ่มเปิดเกิดจากกระแสลมพัดพา
	7	236.54	ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั่วเป็นกลุ่มประเภทอัลโตสเตรตัสแบบบางๆ
	8	224.31	ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั่วเป็นกลุ่มประเภทอัลโตสเตรตัสแบบบางๆ
18 ต.ค. 55	1	400.97	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทเซอรัสบางๆ
	2	598.85	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทเซอรัสบางๆ
	3	743.82	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	4	748.16	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	5	468.57	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	6	371.70	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	7	303.39	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	8	185.28	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัสก่อตัวขึ้นคล้ายช่วงก่อนฝนตก
19 ต.ค. 55	1	477.86	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทเซอรัสบางๆ
	2	636.65	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	3	710.42	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	4	643.77	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	5	748.86	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	6	532.22	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม

วันที่	ชั่วโมงทดสอบที่	ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m2)	ลักษณะเมฆที่เกิดขึ้นบนท้องฟ้า
	7	365.79	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	8	131.63	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัสก่อตัวขึ้นคล้ายช่วงก่อนฝนตก
20 ต.ค. 55	1	358.71	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทเซอรัสบางมากๆ
	2	559.12	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	3	377.64	ท้องฟ้าโปร่งมีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆบดบังแสงอาทิตย์บางช่วง
	4	713.66	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	5	596.48	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	6	418.51	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	7	397.26	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	8	267.06	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
21 ต.ค. 55	1	138.48	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัสก่อตัวขึ้นคล้ายช่วงก่อนฝนตก
	2	238.56	ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วนเป็นกลุ่มประเภทอัลโตสเตรตัส บางส่วนท้องฟ้าเริ่มเปิดเกิดจากกระแสลมพัดพา
	3	413.01	ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วนเป็นกลุ่มประเภทอัลโตสเตรตัส บางส่วนท้องฟ้าเริ่มเปิดเกิดจากกระแสลมพัดพา
	4	569.86	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัส แต่บริเวณพื้นที่ทดสอบมีแสงอาทิตย์รอดผ่าน
	5	504.22	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัส แต่บริเวณพื้นที่ทดสอบมีแสงอาทิตย์รอดผ่าน
	6	441.24	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัส แต่บริเวณพื้นที่ทดสอบมีแสงอาทิตย์รอดผ่าน
	7	327.9	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัส และมีเมฆประเภทเซอรัสลอยเป็นกลุ่มๆ
	8	244.96	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัส และมีเมฆประเภทเซอรัสลอยเป็นกลุ่มๆ
25 ต.ค. 55	1	337.48	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทเซอโรคิวมูลัสบางๆจำนวนน้อย
	2	563.91	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	3	680.80	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	4	573.39	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	5	425.16	ท้องฟ้า มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	6	685.39	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม

วันที่	ชั่วโมงทดสอบที่	ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m2)	ลักษณะเมฆที่เกิดขึ้นบนท้องฟ้า
	7	570.07	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัสและคิวมูลัสปรากฏ
	8	475.53	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัสและคิวมูลัสปรากฏ
26 ต.ค. 55	1	388.9	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัส แต่บริเวณพื้นที่ทดสอบมีแสงอาทิตย์รอดผ่าน
	2	605.31	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	3	488.03	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	4	738.79	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	5	829.10	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	6	687.05	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	7	288.03	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัสและคิวมูลัสปรากฏ
	8	197.67	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัสและคิวมูลัสปรากฏ
27 ต.ค. 55	1	312.82	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	2	533.40	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	3	700.36	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	4	786.35	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	5	857.94	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	6	594.36	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	7	549.82	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	8	364.25	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
28 ต.ค. 55	1	496.95	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทเซอโรคิวมูลัสบางๆจำนวนน้อยมาก
	2	636.13	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	3	772.47	ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆปรากฏ
	4	422.42	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	5	260.06	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	6	276.65	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	7	348.97	ท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆประเภทคิวมูลัสบนท้องฟ้าเป็นกลุ่มๆลอยตามกระแสลม
	8	132.61	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัสและคิวมูลัสปกคลุมทั่ว
29 ต.ค. 55	1	206.10	ท้องฟ้าโปร่งบางส่วน บางส่วนมีเมฆสเตรโตคิวมูลัสลอยตามกระแสลม
	2	189.17	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัส แต่บริเวณพื้นที่ทดสอบมีแสงอาทิตย์รอดผ่าน

วันที่	ชั่วโมงทดสอบที่	ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m2)	ลักษณะเมฆที่เกิดขึ้นบนท้องฟ้า
	3	339.79	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัสและคิวมูลัสปกคลุมทั่ว
	4	589.77	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัส แต่บริเวณพื้นที่ทดสอบมีแสงอาทิตย์รอดผ่าน
	5	417.79	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัส แต่บริเวณพื้นที่ทดสอบมีแสงอาทิตย์รอดผ่าน
	6	321.06	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัสและคิวมูลัสปกคลุมทั่ว
	7	182.11	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัส แต่บริเวณพื้นที่ทดสอบมีแสงอาทิตย์รอดผ่าน
	8	383.54	ท้องฟ้ามีเมฆประเภทคิวมูโลนิมบัสและคิวมูลัสปกคลุมทั่ว

แผนภาพเมฆ



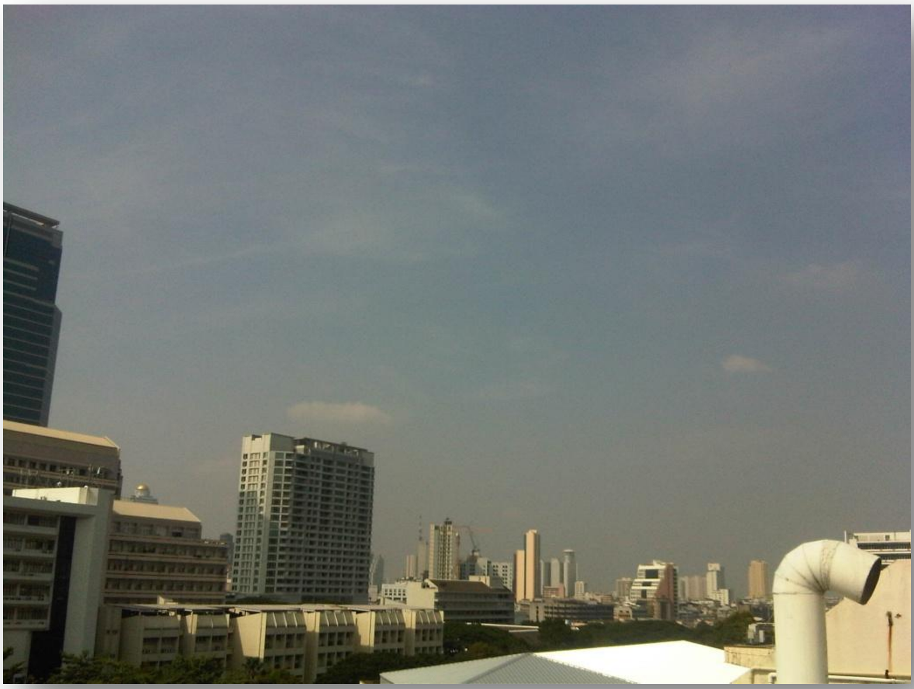
ลักษณะท้องฟ้าของวันที่ทำการทดสอบแผง PV/T

วันที่ 17 ตุลาคม 2555

วันที่ 18 ตุลาคม 2555

วันที่ 19 ตุลาคม 2555

วันที่ 20 ตุลาคม 2555

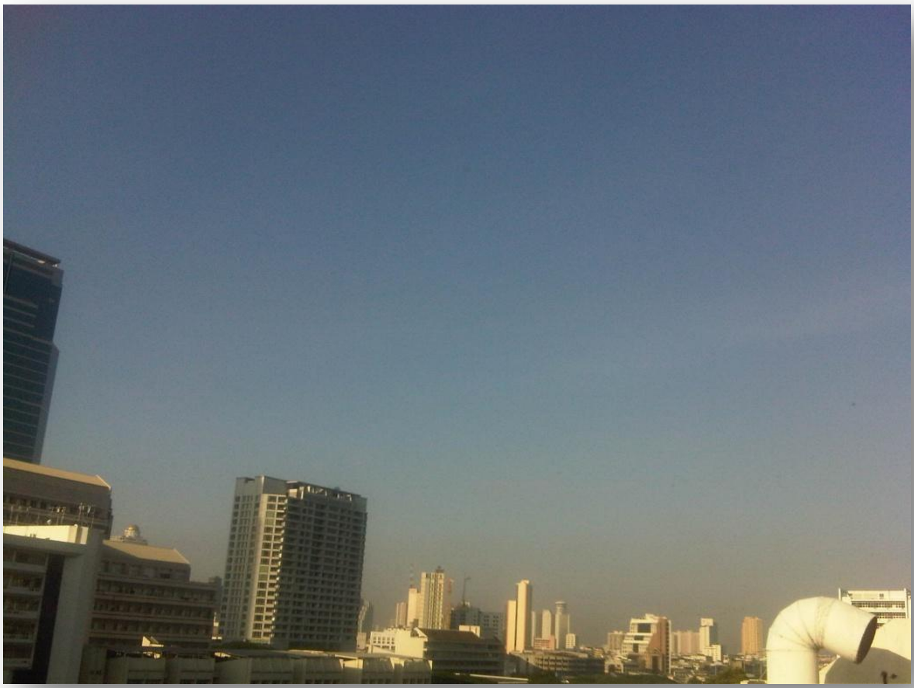


วันที่ 21 ตุลาคม 2555

วันที่ 25 ตุลาคม 2555

วันที่ 26 ตุลาคม 2555

วันที่ 27 ตุลาคม 2555



วันที่ 28 ตุลาคม 2555

วันที่ 29 ตุลาคม 2555

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายแบงค์ ศรีสุข เกิดเมื่อวันที่ 25 เมษายน 2529 จบการศึกษาระดับปริญญาตรีจากสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม เมื่อปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ในปีการศึกษา 2552