

การศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

EXPERIMENTAL STUDY ON THE PERFORMANEC OF A SOLAR
PHOTOVOLTAIC/THERMAL HYBRID SYSTEM

พงษ์ศักดิ์ พูลศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

พงษ์ศักดิ์ พูลศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
Experimental Study on the Performance of a Solar Photovoltaic/Thermal
Hybrid System

ชื่อ-นามสกุล ว่าที่ร้อยตรีพงษ์ศักดิ์ พูลศรี

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว, D.Eng.

ปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาณุ ประทุมพันธ์, Ph.D.)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กนกกาญจน์ จิรกุลสมโชค, D.Eng.)

..... กรรมการ

(อาจารย์สถาพร ทองวิก, Ph.D.)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 8 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
ชื่อ-นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรีพงษ์ศักดิ์ พูลศรี
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว, D.Eng.
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่เพียงพอที่ใช้งานจริงได้ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีตัวแปรสำคัญ คืออุณหภูมิ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำลง วิทยานิพนธ์นี้จึงเป็นการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นระบบที่ได้มีการลดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการติดตั้งชุดระบายความร้อน ซึ่งประกอบเป็นชุดเดียวกันอยู่ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วทำการทดลองหาประสิทธิภาพทั้งกรณีที่มีและไม่มีการระบายความร้อน โดยน้ำร้อนที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

จากการออกแบบโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดแบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) โดยแบ่งเป็น แบบที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่มีการระบายความร้อน ซึ่งมีพื้นที่รับแสงรวม 105 ตารางเมตร ติดตั้งทดสอบระบบที่ตำแหน่งละติจูด 14 องศา 2 ลิปดา เหนือ ลองจิจูด 100 องศา 43 ลิปดา ตะวันออก แสงทุกแผงมีฝาปิดกระจกและทุกแผงหันหน้าไปทางทิศใต้ทำมุมกับระนาบ 14 องศา ทดลองในช่วงเวลา 09.00 น. - 17.00 น. ทดสอบสมรรถนะตามมาตรฐาน ISO 9459-2

ผลจากการทดสอบพบว่า กรณีที่มีการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงกว่าระบบที่ไม่มีลดอุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าที่มีการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยน้ำมีประสิทธิภาพ ร้อยละ 1.785 และระบบที่ไม่มีลดอุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพ ร้อยละ 1.618 ซึ่งพบว่าระบบที่มีการลดอุณหภูมิจึงมีประสิทธิภาพสูงกว่า ดังนั้นจึงสรุปว่าอุณหภูมิทำงานของแผง มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมเท่ากับ 0.236 กิโลกรัมต่อวินาที กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 1.2 กิโลวัตต์ และอุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุดเท่ากับ 64 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ ระบบผลิตน้ำร้อน พลังงานแสงอาทิตย์

Thesis Title	Experimental Study on the Performance of a Solar Photovoltaic/Thermal Hybrid System
Name-Surname	Acting Sub Lt. Phongsak Phunsri
Program	Mechanical Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Boonrit Prasartkraw, D.Eng.
Academic Year	2014

ABSTRACT

This thesis is an experimental investigation on the performance of a photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid solar collector, with an actual size used in standard system. Experiment revealed that the key performance variable of the PV/T is the temperature. This variable inversely influence the efficiency of solar photovoltaic. The thesis aims at the study on the performance of PV/T with and without water heating system, which was constructed in the same unit of the solar PV panels. The important constraint that is the hot water produced from the proposed system can be used as a useful output.

The system used in this study was comprised of 105 amorphous silicon solar photovoltaic modules (total effective area of 105 m^2) equipped with built-in solar water heating system. This system was located at a latitude of $14^{\circ}2'$ N and longitude of $100^{\circ}43'$ E, respectively. All of the collectors had a single glass cover and were tilted at 14° and facing due south. The test was conducted during the period of 09.00-17.00 hours along with ISO 9459-2 testing standard.

The experimental results revealed that the reduction of temperature, can improve the system efficiency, compared to the system without water cooling. Furthermore, the hot water from this cooling process can be used for other purpose. Therefore, the efficiency of the proposed system was also higher than the conventional solar photovoltaic system with the average values of 1.785 % and 1.618 %, respectively. It was concluded that the efficiency could be improved by means of cell temperature reduction. The appropriate water flow rate for the proposed system was 0.236 kg/s. The obtained maximum power and hot water temperature were 1.2 kW and 64°C , respectively.

Keywords: solar cell, solar water heating system, photovoltaic thermal collector

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อมานพ คุณแม่พรเพ็ญ ครอบครัวพูลศรี ผู้ให้โอกาสทางการศึกษาคอยสนับสนุนทุนการศึกษา รวมถึงคำสอนต่างๆ ในการดำเนินชีวิต และเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด ซึ่งถือเป็นผู้ให้และเป็นที่เคารพรักที่ไม่มีที่สิ้นสุดในชีวิต ของผู้วิจัยเสมอมา

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์ ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ จนสำเร็จลุล่วงตามจุดประสงค์เป็นอย่างดี และสนับสนุนทุนวิจัยทั้งหมดในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ ประทุมทรัพย์รัตน์ ดร.สถาพร ทองวิก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกกาญจน์ จิรกุลสมโชค ประธานกรรมการสอบ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้ความกรุณา ในการปรับปรุง และให้ข้อเสนอแนะงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อน พี่น้องและนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำงานวิจัยครั้งนี้รวมถึง ห้องปฏิบัติการการเผาไหม้ และพลังงานแสงอาทิตย์ (CASE Lab.) ที่อำนวยความสะดวกเครื่องมือในการทดลอง และการช่วยเหลือทุกอย่างจนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกและเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานวิจัยครั้งนี้มาโดยตลอด

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ก่อเกิดประโยชน์สิ่งใดกับสังคม และประเทศชาติ ข้าพเจ้าขอมอบความดีความชอบให้กับบุคคลทุกท่านที่กล่าวมา และคณะครู-อาจารย์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ศิษย์ ขอให้มีความสุขความเจริญแก่ทุกท่านด้วยเถิด

พงษ์ศักดิ์ พูลศรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(10)
สารบัญรูป.....	(11)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(14)
บทที่ 1 บทนำ.....	15
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	15
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	17
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	17
1.4 สมมติฐานการวิจัย.....	18
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	18
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	18
บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนเอกสาร.....	19
2.1 บทนำ.....	19
2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับดวงอาทิตย์และโลก.....	19
2.2.1 ดวงอาทิตย์.....	19
2.2.2 โลก.....	20
2.3 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย ตลอดปี แต่ละช่วงเดือน.....	23
2.4 การแผ่รังสีของวัตถุดำ (Blackbody Radiation).....	35
2.5 กฎการกระจายของแพลงค์ (Planck distribution Law).....	35
2.6 กฎการแทนที่ของเวียน (Wien's Displacement Law).....	36
2.7 กฎของสเตฟาน โบลท์ซมาน (Stefan – Boltzmann Law).....	37
2.8 ฟังก์ชันการแผ่รังสีของวัตถุดำ (Blackbody Radiation functions).....	37
2.9 พื้นฐานการแผ่รังสีความร้อน.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10 รังสีดวงอาทิตย์.....	40
2.10.1 ค่าคงที่แสงอาทิตย์.....	41
2.10.2 การแปรเปลี่ยนของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศ.....	41
2.10.3 ประเภทของรังสีที่ผิวโลกและมวลอากาศ.....	42
2.10.4 เวลาสุริยะ.....	43
2.10.5 ทิศทางของรังสีตรง.....	45
2.10.6 รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบเหนือบรรยากาศ.....	47
2.10.7 อัตราส่วนรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีบนพื้นราบ.....	48
2.11 หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	51
2.11.1 ผลตอบสนองเชิงสเปกตรัมและประสิทธิภาพการรวบรวมพาหะ.....	52
2.12 ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์.....	53
2.12.1 แผงโซลาร์เซลล์ ชนิด อะมอर्फัส.....	53
2.12.2 แผงโซลาร์เซลล์ชนิดเรียงผลึก.....	54
2.12.3 แผงโซลาร์เซลล์ชนิดแบบผลึกผสม (Poly crystalline).....	55
2.12.4 แบบผลึกเดี่ยว (Mono crystalline).....	56
2.13 การพิจารณาแผงโซลาร์เซลล์.....	58
2.14 โซลาร์เซลล์ การออกแบบและเชื่อมต่อระบบโซลาร์เซลล์.....	60
2.15 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์.....	61
2.15.1 ความเข้มแสง.....	61
2.15.2 อุณหภูมิเซลล์.....	61
2.15.3 จำนวนเซลล์.....	62
2.15.4 พื้นที่เซลล์.....	62
2.15.5 ประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	62
2.15.6 ฝุ่นละออง.....	62
2.16 สมรรถนะการทำงานและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	63
2.17 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.....	65

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.18 ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งได้เป็น 3 ระบบใหญ่ๆดังนี้.....	68
2.18.2 ระบบน้ำไหลเวียนโดยการบังคับ (Thermo Control)	69
2.18.3 ระบบน้ำไหลเวียนแบบผสมผสาน	70
2.18.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสี	71
2.18.5 การไหลภายในท่อ	72
2.18.6 การคำนวณประสิทธิภาพของแผงผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์.....	73
2.19 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	74
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	78
3.1 บทนำ.....	78
3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	78
3.3 สถานที่ทำการติดตั้งและทดสอบ	81
3.4 เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	82
3.5 วิธีการทดสอบและการบันทึกผล.....	83
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	89
4.1 การวิเคราะห์หาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.....	89
4.2 การหาประสิทธิภาพของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	94
4.2.1 หาประสิทธิภาพน้ำร้อนสูงสุด	94
4.2.2 หาประสิทธิภาพทางไฟฟ้า.....	95
4.2.3 หาประสิทธิภาพสูงสุดของระบบ	95
4.3 แสดงค่าการทดลองรังสีแสงอาทิตย์สภาวะการทำงานที่ไม่มีการระบายความร้อน	96
4.4 คำนวณหาประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ในสภาวะการทำงานที่ไม่มีการระบายความร้อน..	97
4.4.1 หาประสิทธิภาพทางไฟฟ้า.....	97
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	98
5.1 ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและน้ำร้อน	98
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย.....	99
5.2 ข้อเสนอแนะ	99

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	100
ภาคผนวก.....	103
ภาคผนวก ก ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์การทดลอง	104
ภาคผนวก ข ขั้นตอนดำเนินการก่อสร้าง	111
ภาคผนวก ค แบบแปลน โครงสร้างระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.....	116
ภาคผนวก ง ผลการทดลองค่าอุณหภูมิและค่ารังสีแสงอาทิตย์.....	122
ภาคผนวก จ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	161
ประวัติผู้เขียน.....	178



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปริมาณความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ.....	22
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์แบบผลึกเดี่ยว	57
ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่ในสมการที่ (2.56) สำหรับท่อกลมที่มีอัตราการให้ความร้อนคงที่	73
ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่ในสมการที่ (2.56) สำหรับท่อกลมที่มีอุณหภูมิผนังคงที่	73
ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราความร้อนเฉลี่ย ตั้งแต่เวลา 9.30-16.00 น.....	91
ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ตั้งแต่เวลา 9.30-16.00 น.....	91
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ และกำลังไฟฟ้า ตั้งแต่เวลา 9.30-16.00 น.....	92



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ภาพถ่ายดวงอาทิตย์.....	19
รูปที่ 2.2 บริวารของดวงอาทิตย์ในระบบสุริยะ.....	20
รูปที่ 2.3 ลักษณะของโลก.....	21
รูปที่ 2.4 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ.2542).....	21
รูปที่ 2.5 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน มกราคม.....	23
รูปที่ 2.6 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน กุมภาพันธ์.....	24
รูปที่ 2.7 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน มีนาคม.....	25
รูปที่ 2.8 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน เมษายน.....	26
รูปที่ 2.9 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน พฤษภาคม.....	27
รูปที่ 2.10 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน มิถุนายน.....	28
รูปที่ 2.11 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน กรกฎาคม.....	29
รูปที่ 2.12 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน สิงหาคม.....	30
รูปที่ 2.13 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน กันยายน.....	31
รูปที่ 2.14 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน ตุลาคม.....	32
รูปที่ 2.15 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน พฤศจิกายน.....	33
รูปที่ 2.16 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน ธันวาคม.....	34
รูปที่ 2.17 กำลังออกของวัตถุดำที่คลื่นอันหนึ่ง (Spectral blackbody emissive power).....	36
รูปที่ 2.18 สเปกตรัมการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุ.....	39
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของดวงอาทิตย์.....	40
รูปที่ 2.20 พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบที่พื้นผิวหนึ่งตารางเมตร.....	42
รูปที่ 2.21 สมการเวลา E ในหน่วย นาที่.....	44
รูปที่ 2.22 โนโมแกรมสำหรับหาความยาวนานของวัน และเวลาพระอาทิตย์ตก.....	47
รูปที่ 2.23 รังสีตรงบนพื้นราบและพื้นเอียง.....	49
รูปที่ 2.24 โครงสร้างและหลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	51

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.25	แผงโซลาร์เซลล์ชนิดอะมอर्फัส	53
รูปที่ 2.26	ก้อนวาฟเฟอร์ ก่อนจะตัดออกเป็นแผ่นเซลล์	54
รูปที่ 2.27	รูปแผงโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกผสม	55
รูปที่ 2.28	แผงโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกเดี่ยว	56
รูปที่ 2.29	แผงโซลาร์เซลล์ที่ดีควรมีกรอบที่แข็งแรง มีความหนาพอสมควร	58
รูปที่ 2.30	การเชื่อมต่อเซลล์ภายใน ของแต่ละเซลล์	59
รูปที่ 2.31	กล่องสำหรับเชื่อมต่อสายไฟกันน้ำและป้องกันฝุ่น	59
รูปที่ 2.32	ตัวอย่างการเชื่อมต่อระบบ โซลาร์เซลล์	60
รูปที่ 2.33	แสดงลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์	63
รูปที่ 2.34	แสดงตัวแปรค่าทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	64
รูปที่ 2.35	แผงสะสมความร้อนแบบเรียบใช้ของเหลวเป็นสารทำงาน	65
รูปที่ 2.36	เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	66
รูปที่ 2.37	ส่วนประกอบสำคัญของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์	67
รูปที่ 2.38	ถังน้ำร้อนทำด้วยสแตนเลสไม่เป็นสนิม	68
รูปที่ 2.39	แสดงระบบน้ำไหลเวียนตามธรรมชาติ	69
รูปที่ 2.40	ระบบน้ำไหลเวียนโดยการบังคับ	70
รูปที่ 2.41	ระบบน้ำไหลเวียนแบบผสมผสาน	71
รูปที่ 2.42	แสดงการหาประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	74
รูปที่ 3.1	แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย	78
รูปที่ 3.2	แสดงแผนผังงานการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	79
รูปที่ 3.3	แสดงแผนผังงานการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)	80
รูปที่ 3.4	แผนผังของระบบที่ใช้ในการศึกษานี้	84
รูปที่ 3.5	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำงานร่วมกับแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรียบ	84
รูปที่ 3.6	ถังเก็บน้ำร้อนที่ใช้ในการทดลอง	85

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.7 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	87
รูปที่ 3.8 การต่อวงจรไฟฟ้าในการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์	87
รูปที่ 3.9 ชุดความต้านทานปรับค่าได้	88
รูปที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยตั้งแต่ 9.30 -16.30 น. ที่พลังงานแสงอาทิตย์	90
รูปที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบตั้งแต่เวลา 9.30-16.30 น. ที่อัตราการไหลเชิงมวล..... 0.153, 0.194, 0.236, 0.277 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ	90
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่ารังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวัน	92
รูปที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิน้ำเข้า และออกแผงเซลล์แสงอาทิตย์..... ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.236 กิโลกรัมต่อวินาที	93
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิน้ำเข้าออกภายในถังน้ำร้อนและอุณหภูมิที่พื้นผิวกระจกบน	93
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตลอดทั้งวัน	94
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่ารังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิตลอดทั้งวัน	96
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตลอดทั้งวัน	97
รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.....	99

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

PV	Photovoltaic
PV/T	Photovoltaic/Thermal
P_{mp}	หมายถึง กำลังไฟฟ้าสูงสุด หน่วยคือ W
V_{mp}	หมายถึง แรงดันไฟฟ้าสูงสุด หน่วยคือ V
I_{mp}	หมายถึง กระแสไฟฟ้าสูงสุด หน่วยคือ A
\dot{Q}_u	หมายถึง อัตราการผลิตความร้อน หน่วยคือ W
m	หมายถึง มวล หน่วยคือ kg
\dot{m}	หมายถึง อัตราการไหลเชิงมวลน้ำร้อน หน่วยคือ kg/s
C_p	หมายถึง ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ หน่วยคือ $KJ/kg \cdot K$
$T_{c,o}$	หมายถึง อุณหภูมิน้ำที่ทางออกของแผง หน่วยคือ $^{\circ}C$
$T_{c,i}$	หมายถึง อุณหภูมิน้ำที่ทางเข้าของแผง หน่วยคือ $^{\circ}C$
η_c	หมายถึง ประสิทธิภาพ
A_c	หมายถึง พื้นที่รับแสงของแผง หน่วยคือ m^2
G_T	หมายถึง ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ W/m^2
W	หมายถึง หน่วยวัตต์
V	หมายถึง หน่วยโวลต์
A	หมายถึง หน่วยแอมแปร์
$kg \cdot s^{-1}$	หมายถึง หน่วยกิโลกรัมต่อวินาที
$KJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	หมายถึง หน่วยกิโลจูลต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส
$^{\circ}C$	หมายถึง หน่วยองศาเซลเซียส
m^2	หมายถึง หน่วยตารางเมตร
$W \cdot m^{-2}$	หมายถึง หน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า คือปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแรก ได้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นใน ค.ศ. 1954 การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มจากการใช้งานในยานอวกาศ ในช่วงปี ค.ศ. 1958 และเมื่อเกิดเหตุการณ์วิกฤตน้ำมันค่อนข้างแพง ทำให้ในช่วงต้นทศวรรษที่ 1970 เซลล์แสงอาทิตย์ จึงเริ่มได้รับความสนใจในการใช้งาน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานทดแทนบนพื้นโลก ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อชีวิต และความเป็นอยู่ของมนุษย์อย่างใกล้ชิด ทำให้เกิดความต้องการเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละปีก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ ในช่วง ค.ศ. 2002 – 2003 สูงถึงร้อยละ 30-40 เฉพาะใน ค.ศ. 2002 มีการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ สูงถึง 540 เมกะวัตต์ ทางด้านต้นทุนการผลิตก็ได้ลดลงเหลือประมาณ 2-3 ดอลลาร์สหรัฐต่อวัตต์ สำหรับในประเทศไทยนั้นจนถึง ค.ศ. 2003 ได้ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์รวมแล้วประมาณ 6 เมกะวัตต์ และกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทุกปี [1]

นโยบายแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ร้อยละ 25 ในช่วงระยะเวลา 10 ปี (ปี 2555-2564) ปัญหาภาวะโลกร้อนจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจ และเร่งหามาตรการเพื่อควบคุม ซึ่งโดยมีมาตรการกีดกันทางการค้าก็เป็นมาตรการหนึ่งที่มีแนวโน้มจะนำใช้อย่างแพร่หลายในอนาคต และถึงแม้ว่าประเทศไทยยังไม่ถูกบังคับใช้ตามมาตรการดังกล่าว ในปัจจุบัน ซึ่งก็ควรที่ต้องดำเนินการพัฒนา และส่งเสริมพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นอีกหนึ่งในแนวทางการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งเป็นจุดเริ่มต้นให้ประเทศไทยเริ่มก้าวสู่เส้นทางของการเป็นสังคมคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Society) และให้เป็นแบบอย่างของสังคมโลกที่กล่าวขวัญถึงประเทศไทยว่าเป็นประเทศที่มีความมุ่งมั่น ให้มีการใช้พลังงานทดแทนผลผลิตทางการเกษตร สามารถนำเอามาเป็นวัตถุดิบ ที่ใช้ในการผลิตพลังงานชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ไบโอดีเซล และเอทานอล อีกทั้งภายหลังการแปรรูปจากอุตสาหกรรมอาหาร โดยวัสดุเหลือทิ้งยังสามารถก่อให้เกิดเป็นพลังงาน จากขยะอีกด้วย นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีศักยภาพด้านพลังงานธรรมชาติ เช่นพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ เฉลี่ยประมาณ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งบางแห่งของประเทศ มีศักยภาพด้านพลังงานลมที่ดี จึงทำให้ประเทศไทยมีศักยภาพด้านพลังงานทดแทนอยู่ในระดับดีมาก มีโอกาสที่จะส่งเสริมพลังงานทดแทน ให้กลายเป็นพลังงานมีส่วนร่วมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงาน

ของประเทศได้ในอนาคต ดังนั้น รัฐบาลจึงมอบหมาย ให้กระทรวงพลังงานจัดทำแผนการพัฒนาพลังงานทดแทน และพลังงานทางเลือกร้อยละ 25 ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) หรือ Alternative Energy Development Plan : AEDP (2012-2021) เพื่อกำหนดทิศทางในการพัฒนาพลังงานในประเทศ [2]

ประเทศไทยนั้นเป็นประเทศที่มีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์สูง อยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 5-21 องศาเหนือ และเส้นลองจิจูดที่ 97-106 องศาตะวันออก ซึ่งจะอยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตร ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ย ที่รับในแต่ละวันนั้น คือประมาณ 1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร [2] ซึ่งเป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง ดังนั้นพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ย 4-5 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงาน ไฟฟ้าเท่ากับ ร้อยละ 15 โดยเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยจะสามารถทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 150 วัตต์ หรือเฉลี่ยประมาณ 600 – 750 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน

เซลล์แสงอาทิตย์สร้างมาจากสารกึ่งตัวนำสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพประมาณ ร้อยละ 15 อายุการใช้งานโดยทั่วไป จะยาวนานกว่า 20 ปี [3] และเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ไม่มีส่วนใดเคลื่อนไหวทำให้ดูแลรักษาง่าย อุณหภูมิการทำงานมีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอุณหภูมิจะแปรผกผันกับประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ กล่าวคืออุณหภูมิสูงจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำลง [4] ซึ่งแสดงว่าการระบายความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ และถ้าความร้อนที่ดึงออกมานั้น สามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ ก็สามารที่จะเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบได้ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของระบบผลิตไฟฟ้า และความร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic and Thermal Collector, PV/T)

ระบบ PV/T เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงาน ไฟฟ้าและความร้อนไปพร้อมๆกัน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยวิธีการลดอุณหภูมิการทำงาน หากสามารถนำความร้อน ที่ดึงออกมาจากการระบายความร้อนนี้ ก็จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบได้เป็นอย่างดี ซึ่งจากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบ PV/T พบว่า ในการศึกษาเชิงการทดลองเกือบทั้งหมด จะเป็นระบบที่มีขนาดเล็ก แรงดันไฟฟ้าต่ำ ที่นำมาใช้สำหรับในห้องปฏิบัติการ หรือสามารถที่จะนำไปใช้งานได้กับระบบไฟฟ้าที่มีแรงเคลื่อนต่ำ 12-24 โวลต์ เท่านั้นจะได้ว่ายังไม่มียงานวิจัยที่ศึกษาโดยใช้ระบบขนาดใหญ่ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าและน้ำร้อน ปริมาณมากเพียงพอที่จะนำไฟฟ้าไปใช้งานได้จริงในอาคารบ้านเรือน หรือเชื่อมต่อเข้ากับกริด (grid) เพื่อขายไฟฟ้าให้กับกริดไฟฟ้าได้

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงการทดลองเกี่ยวกับการทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ และนำไปผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในปริมาณที่เพียงพอที่จะนำไปใช้ได้จริง โดยทำงานร่วมกันกับระบบแปลงแรงดันไฟฟ้า (inverter) เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ส่วนน้ำร้อนที่ผลิตได้จะมีระบบถังกักเก็บน้ำร้อน โดยการศึกษาได้ทดสอบประสิทธิภาพทั้งระบบผลิตไฟฟ้าอย่างเดียว ระบบที่ผลิตน้ำร้อนอย่างเดียว และระบบที่ผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วม ซึ่งเป็นประสิทธิภาพโดยรวมของระบบทั้งหมดได้ทำการทดลองภายใต้สภาวะอากาศและแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า และน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.2.2 เพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้า และน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นภายใต้สภาวะอากาศ และแสงอาทิตย์ของประเทศไทย
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนด้วยสารตัวกลาง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 เป็นระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่ที่สามารถผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนขนาดไม่น้อยกว่า 1 กิโลวัตต์
- 1.3.2 ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ทดสอบอย่างเดียวโดยเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการระบายความร้อนกับไม่มีการระบายความร้อน
- 1.3.3 การทดสอบการทำงานสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้า และน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น เป็นการศึกษาเชิงทดลอง
- 1.3.4 ทำการทดสอบเบื้องต้นเท่านั้น (ยังไม่ได้ทดสอบหาค่า $F_R(\tau\alpha)$ และ $F_R U_L$ ของแผง)

1.4 สมมติฐานการวิจัย

1.4.1 การออกแบบแผงรับแสงอาทิตย์ร่วมกับผลิตน้ำร้อนนั้น ได้สัมพันธ์กันแล้ว จะใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

1.4.2 เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการระบายความร้อนแล้วสามารถทำให้ประสิทธิภาพของไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น

1.4.3 การถ่ายเท พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านสารตัวนำ แล้วจะได้ค่าอุณหภูมิของสารตัวนำตามการคำนวณ

1.4.4 การไหลของสารตัวนำเป็นการไหลแบบสภาวะคงตัว

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 ศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์

1.5.3 ศึกษาการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

1.5.4 ติดตั้งโครงสร้างของระบบผลิตไฟฟ้า และน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1.5.5 ติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบของระบบ

1.5.6 ทดสอบระบบเก็บข้อมูล ความเข้มแสง อุณหภูมิ และอัตราการไหลที่เหมาะสม

1.5.7 วิเคราะห์ข้อมูล ประสิทธิภาพของระบบ สาเหตุ และผลงานวิจัย

1.5.8 สรุปและจัดพิมพ์รายงาน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เข้าใจการทำงาน และการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1.6.2 ใช้เป็นแนวทางในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ให้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่ในสถานะอากาศ และแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

1.6.3 นำไปใช้เป็นข้อมูล เพื่อที่จะใช้ในการศึกษา หรือใช้ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้า และน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และทราบว่าอุณหภูมิเป็นอีกหนึ่งตัวแปรสำคัญต่อเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 2

ทฤษฎีและทบทวนเอกสาร

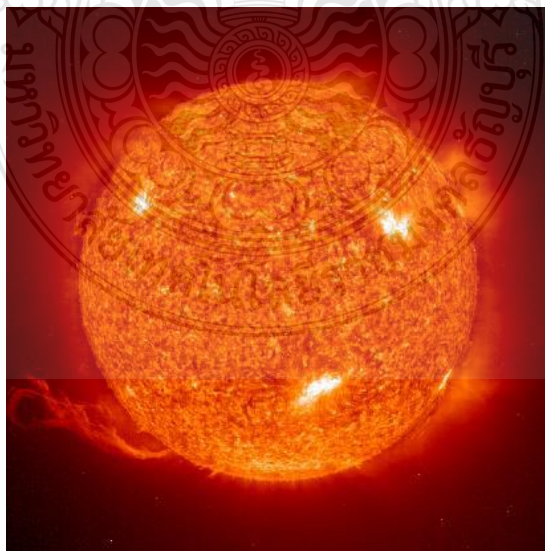
2.1 บทนำ

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยอาศัยแผงโซลาร์เซลล์หรือเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar module) และกำลังมีความนิยมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากสถานะน้ำมันที่มีราคาเพิ่มสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามแผงโซลาร์เซลล์มีราคาต่ำลง และมีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น

2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับดวงอาทิตย์และโลก

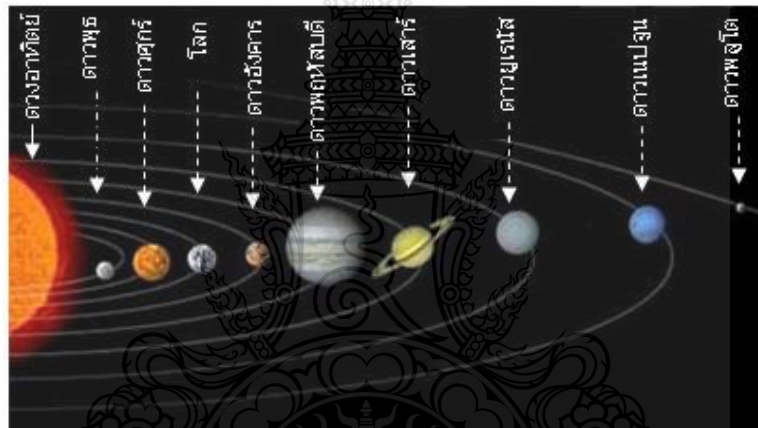
2.2.1 ดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์นั้นเป็นดาวฤกษ์ (fixed star) ที่ใหญ่ที่สุดในระบบสุริยะ ซึ่งจะมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.1 ดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะ กล่าวคือ ดาวดวงอื่นในระบบสุริยะรวมทั้งโลก ซึ่งจะโคจรรอบดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.2 ความร้อน และแสงที่มาจากดวงอาทิตย์นั้น จะมีความสำคัญ ต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชีวิตบน โลก ดวงอาทิตย์จึงเป็นดาวที่มีอิทธิพลต่อ โลกเป็นอย่างยิ่ง เมื่อเทียบดวงอาทิตย์กับดวงดาวต่างๆที่โคจรอยู่รอบๆจะมีขนาดใหญ่กว่าดาวเหล่านั้นมาก ดวงอาทิตย์ มีเส้นผ่าศูนย์กลางยาวกว่าโลกประมาณ 110 เท่า และมีพื้นที่ผิวมากกว่าโลกประมาณ 11,900 เท่า



รูปที่ 2.1 ภาพถ่ายดวงอาทิตย์ [6]

โดยดวงอาทิตย์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4×10^6 กิโลเมตร และมีมวลประมาณ 2×10^{30} กิโลกรัม ดวงอาทิตย์มีแรงโน้มถ่วงสูงมากจึงสามารถดึงดูดสิ่งต่างๆ ในระบบสุริยะไว้ได้ และเคลื่อนที่รอบๆ ดวงอาทิตย์ตลอดเวลาประกอบด้วยดาวเคราะห์บริวาร 9 ดวง และดาวบริวารของดาวเคราะห์ทั้ง 9 ดวง ซึ่งรวมกันมีมากกว่า 60 ดวงรวมถึงดาวเคราะห์น้อยอีกหลายหมื่นดวง และดาวหางอีกเป็นจำนวนมาก ดวงอาทิตย์ประกอบด้วยไฮโดรเจนประมาณ ร้อยละ 71 ฮีเลียม ร้อยละ 27.1 และธาตุชนิดอื่นๆ ประมาณ ร้อยละ 1.9 โดยน้ำหนัก ซึ่งโดยพื้นผิวดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิประมาณ 5,500 องศาเซลเซียส (5760 องศาเคลวิน) ปฏิกิริยาฟิวชัน (fusion reaction) ของดวงอาทิตย์นั้นจะทำให้เกิดการแผ่รังสีออกไปยังอวกาศในรูปแบบรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ที่มีความยาวคลื่นต่างๆ หรือที่มนุษย์เรียกว่า พลังงานแสงอาทิตย์ (solar energy) [7]



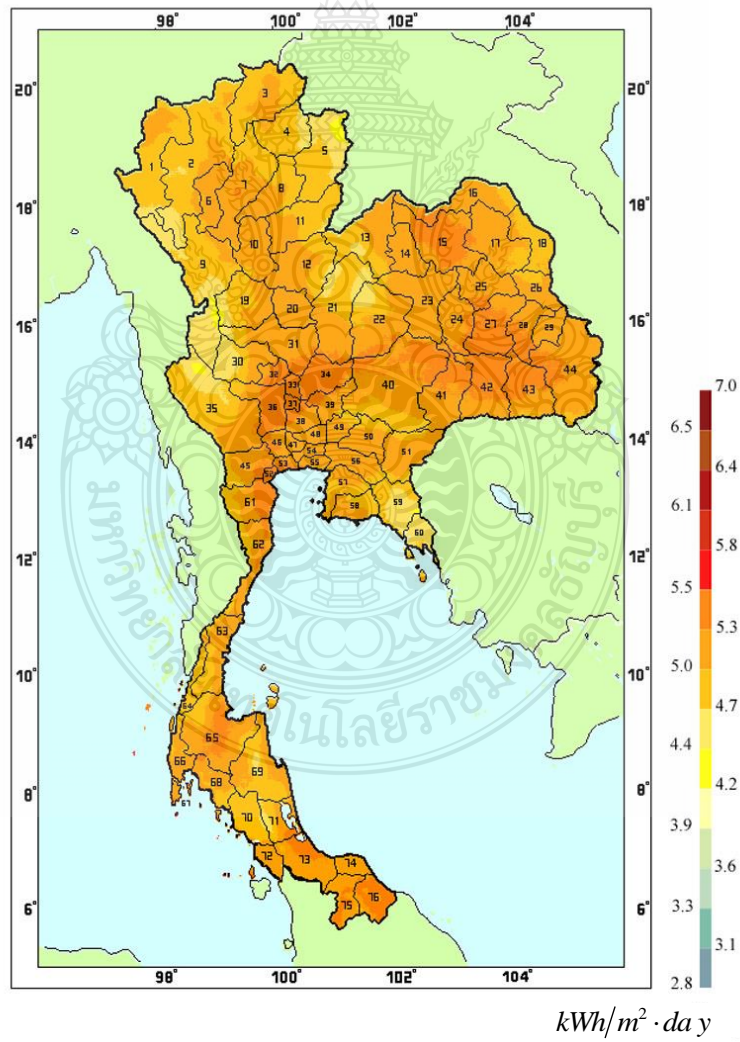
รูปที่ 2.2 บริวารของดวงอาทิตย์ในระบบสุริยะ [8]

2.2.2 โลก

โดยนั้นจะโลกมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งจะอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ 150×10^6 กิโลเมตร มีรัศมีประมาณ 6,360 กิโลเมตร และพื้นผิวประมาณ 510×10^6 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นดิน ร้อยละ 21 โลกหมุนรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีด้วยความเร็วประมาณ 30 กิโลเมตรต่อวินาที (หมุนรอบดวงอาทิตย์ใช้เวลา 1 ปี) ในขณะเดียวกัน โลกหมุนรอบตัวเองใช้เวลา 24 ชั่วโมง โดยแกนหมุนของโลกเอียงทำมุมกับแนวตั้งเท่ากับ 23.45 องศา ซึ่งแนวเอียงนี้จะคงที่ตลอดการโคจรรอบดวงอาทิตย์ และโลกถูกห่อหุ้มด้วยชั้นบรรยากาศ (atmosphere) หนาประมาณ 100 กิโลเมตร ซึ่งจะประกอบด้วย (โดยปริมาตร) ไนโตรเจน ร้อยละ 78.08 ออกซิเจน ร้อยละ 20.95 อาร์กอน ร้อยละ 0.93 มีไอน้ำ ร้อยละ 0.1 ถึง 2.8 คาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 0.0033 และแก๊สอื่นๆ ขึ้นอยู่กับสถานที่ [7]



รูปที่ 2.3 ลักษณะของโลก [9]



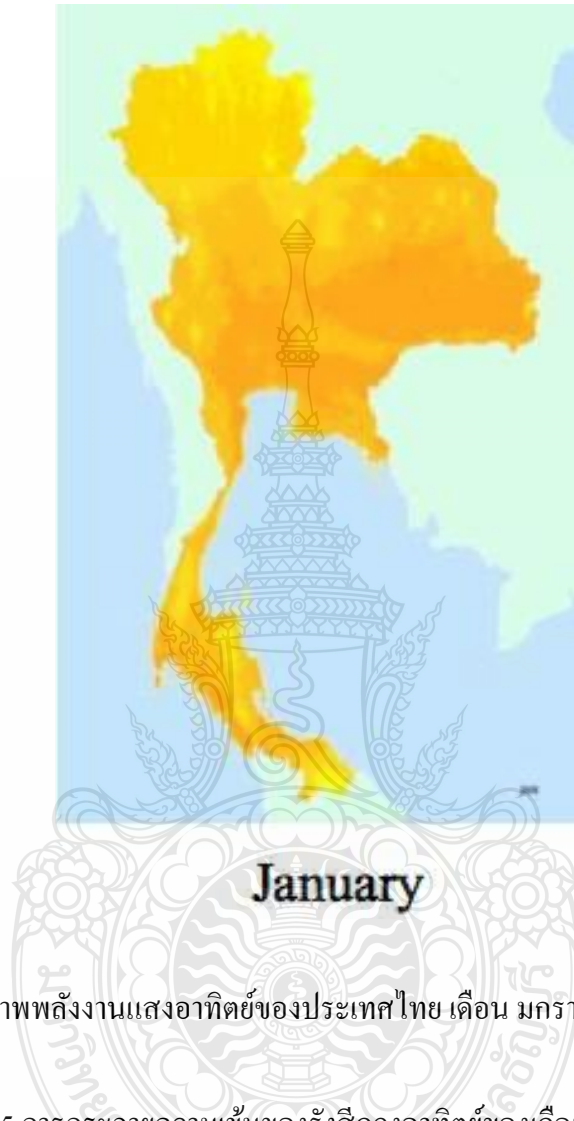
รูปที่ 2.4 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ.2542) [2]

จากรูปที่ 2.4 เป็นศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร โดยพบว่า การกระจายตัวของรังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศไทยได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีดวงอาทิตย์โดยมีค่าสูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม ซึ่งจะมีค่า 20 ถึง 24 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของ จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และมีอีกบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อัญญา และลพบุรี โดยจะได้ค่ารับรังสีจากดวงอาทิตย์นั้น เฉลี่ยทั้งปีประมาณ 19 ถึง 20 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น ร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า ร้อยละ 50.2 ของพื้นที่ทั้งหมด และยังได้รับค่ารังสีจากดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีในช่วง 18-19 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน จากผลนี้แสดงว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงาน แสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

ตารางที่ 2.1 ปริมาณความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ [24]

สภาพอากาศ	ท้องฟ้าโปร่ง	ท้องฟ้ามีหมอกและเมฆ	ท้องฟ้าครึ้ม
การแผ่รังสีทั้งหมด	600 - 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร	200 - 400 วัตต์ต่อตารางเมตร	50 - 150 วัตต์ต่อตารางเมตร
ส่วนที่แผ่กระจาย	ร้อยละ 10 - 20	ร้อยละ 20 - 80	ร้อยละ 80 - 100

2.3 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย ตลอดปี แต่ละช่วงเดือน



รูปที่ 2.5 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน มกราคม [2]

จากรูปที่ 2.5 การกระจายความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนมกราคมบริเวณตอนเหนือของประเทศจะมีค่าโดยเฉลี่ยต่ำกว่าภาคอื่นๆ ถึงแม้ว่าเดือนมกราคมเป็นช่วงฤดูหนาว สภาพท้องฟ้าโดยทั่วไปมีเมฆน้อย แต่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มิได้ขึ้นกับสภาพท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว หากยังขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก มุมดังกล่าวจะขึ้นกับละติจูดของตำแหน่งบนพื้นโลก และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ในเดือนมกราคม ดวงอาทิตย์จะอยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าประมาณ 20 องศา ทางซีกฟ้าใต้ทำให้ค่ามุมตกกระทบรังสีดวงอาทิตย์ในบริเวณทางตอนเหนือของประเทศมีค่ามากกว่าทางตอนใต้ของประเทศ ดังนั้นทำให้ภาคเหนือได้รับรังสีดวงอาทิตย์น้อยกว่า โดยมีค่ารังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ในช่วง 15-18 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน แต่เป็นบริเวณกว้าง

จนถึงภาคกลางตอนบน สำหรับภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงกว่าภาคอื่นๆ โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 18 - 19 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน แต่เป็นบริเวณกว้างสำหรับภาคใต้ตอนบน และบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออก จะมีการกระจายค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 16 -18 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน เนื่องจากด้านตะวันออก ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมากกว่าด้านตะวันตก สำหรับภาคใต้ตอนล่าง ฝั่งตะวันตกมีบางพื้นที่ เช่น บริเวณภูเก็ต พังงา และกระบี่ มีความเข้มรังสีช่วง 18- 20 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน



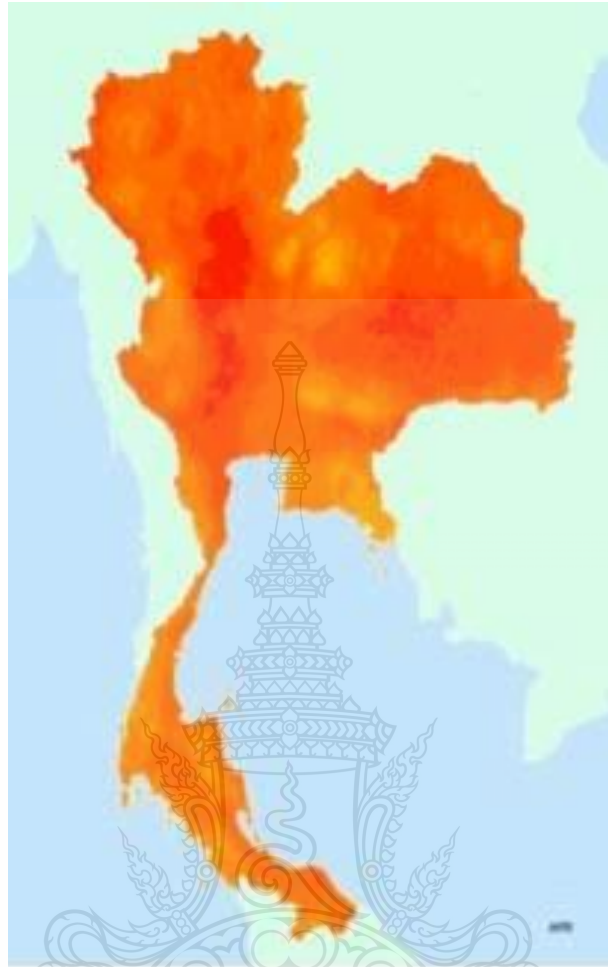
รูปที่ 2.6 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน กุมภาพันธ์ [2]

จากรูปที่ 2.6 โดยการกระจายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนกุมภาพันธ์ รังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าเพิ่มขึ้น จากเดือนมกราคม ทางตอนเหนือสุดของประเทศจะมีค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ประมาณ 17-19 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ส่วนบริเวณตอนกลางของประเทศ มีค่าความเข้มสูงขึ้นในช่วง 20-22 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน โดยบริเวณตอนใต้ของประเทศและภาคตะวันตกตอนใต้ ซึ่งติดกับชายฝั่งมีค่าความเข้มรังสีรายวันเฉลี่ยต่อเดือน อยู่ในช่วง 19-21 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน



รูปที่ 2.7 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน มีนาคม [2]

จากรูปที่ 2.7 โดยการกระจายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของช่วงเดือนมีนาคมนี้ ดวงอาทิตย์จะอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า และเป็นช่วงฤดูร้อน พื้นที่โดยทั่วไปจึงได้รับรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้น โดยทางตอนใต้ และตะวันตก ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูง ในช่วง 20-22 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ส่วนภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นั้น มีการกระจายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เป็นแถบกว้าง ซึ่งจะมีความเข้มอยู่ในช่วง 20-23 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งกระจายอยู่ทั่วบริเวณ และภาคเหนือ มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์แปรค่าอยู่ในช่วง 18-22 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน



April

รูปที่ 2.8 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน เมษายน [2]

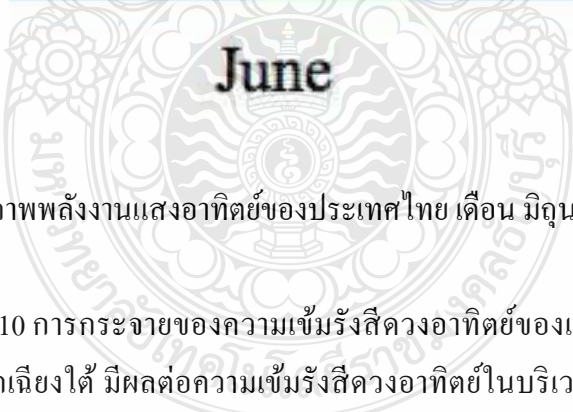
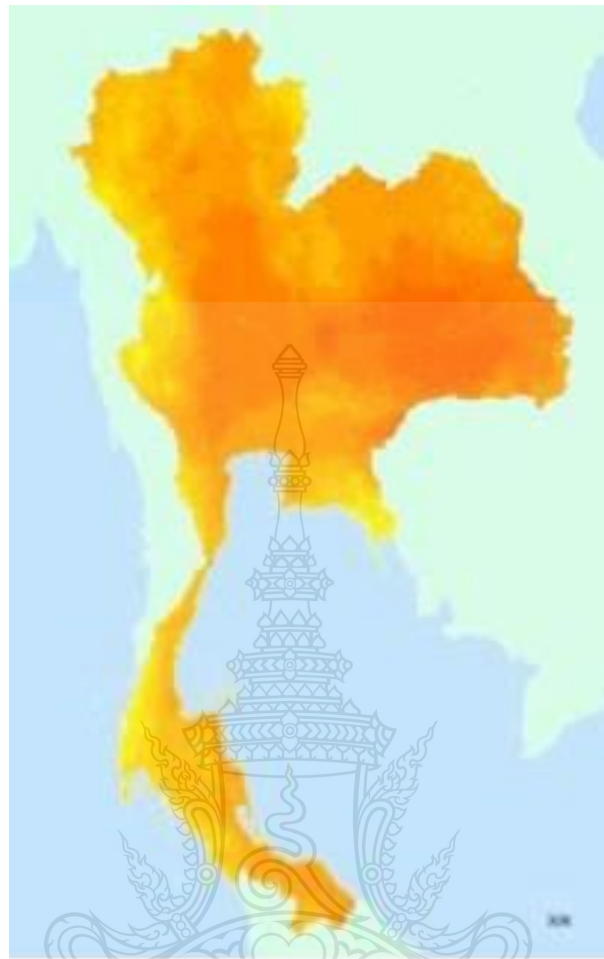
จากรูปที่ 2.8 การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนเมษายน ซึ่งมุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ ตอนเที่ยงวันจะตั้งฉากหรือเกือบตั้งฉากกับพื้นผิวโลกทั่วทั้งประเทศ เนื่องจากช่วงดังกล่าวอยู่ในช่วงฤดูแล้ง ท้องฟ้าค่อนข้างแจ่มใส ทำให้ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงทั่วทั้งประเทศ โดยจะกระจายอยู่ในช่วง 18-23 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งโดยเฉพาะที่อยู่บริเวณทางภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ มีความเข้มสูงกระจาย 20-23 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน เนื่องจากเป็นบริเวณดังกล่าวใกล้เส้นศูนย์สูตรมากกว่าทางตอนเหนือของประเทศ บริเวณภาคเหนือยังคงมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงประมาณ 19-22 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งในขณะที่บริเวณทางภาคตะวันออก จะมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ประมาณ 17-20 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน



May

รูปที่ 2.9 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน พฤษภาคม [2]

จากรูปที่ 2.9 การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือน พฤษภาคม ในเดือน พฤษภาคม ทั่วทั้งประเทศเริ่ม ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยส่งผลทำให้ท้องฟ้านั้นมีเมฆปกคลุมมาก โดยบางวันมีฝนตกและทำให้บริเวณทั่วทั้งประเทศมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจากเดือนเมษายน ดังนั้นบริเวณพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ จึงมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์กระจายอยู่ที่ 16-21 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ตลอดแนวเทือกเขาภาคตะวันตก ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ลดลงอยู่ในช่วง ประมาณ 15-19 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ส่วนในภาคใต้ฝั่งตะวันตกของประเทศ มีค่าอยู่ในช่วง 15-18 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน เนื่องจากรับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างมาก ส่วนภาคใต้ฝั่งตะวันออก ค่าความเข้มรังสี อยู่ในช่วง 18-20 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน เพราะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้น้อย สำหรับภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ยังคงได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ค่อนข้างน้อยจึงทำให้ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าสูงประมาณ 20-22 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน



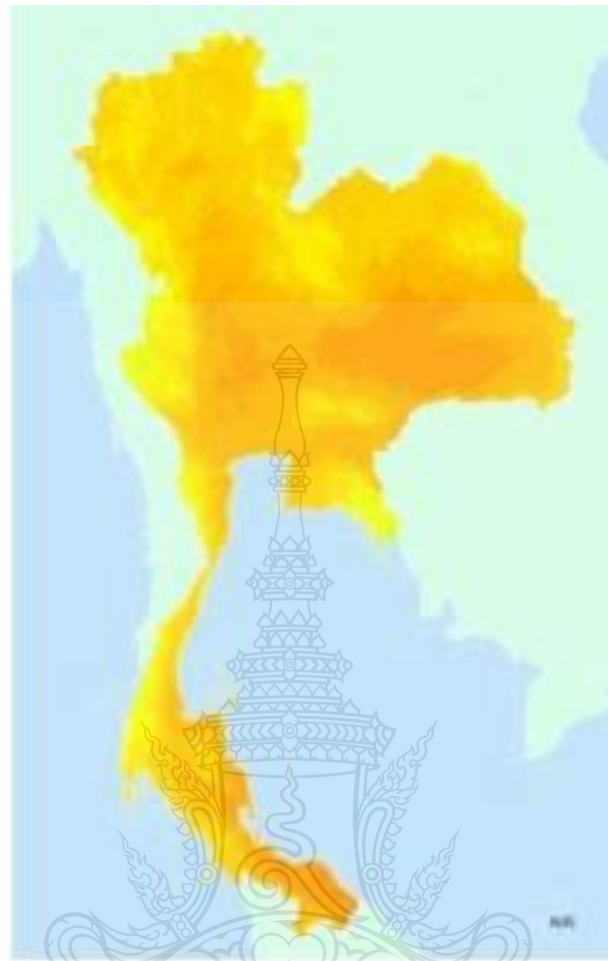
รูปที่ 2.10 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน มิถุนายน [2]

จากรูปที่ 2.10 การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนมิถุนายนนั้น อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มีผลต่อความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในบริเวณต่างๆของประเทศสูงขึ้น ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม และมีฝนตกมาก จึงส่งผลทำให้บริเวณทั่วทั้งประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์ลดลง ในเดือนพฤษภาคม ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศกระจายที่ 15-21 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน สำหรับบริเวณเงาฝนในเขตภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศในจังหวัดสิงห์บุรี ร้อยเอ็ด มหาสารคาม สุรินทร์ บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ และบริเวณในจังหวัดใกล้เคียงยังคงมีค่าความเข้มสูง อยู่ในช่วงของค่าที่ 20-22 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน



รูปที่ 2.11 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน กรกฎาคม [2]

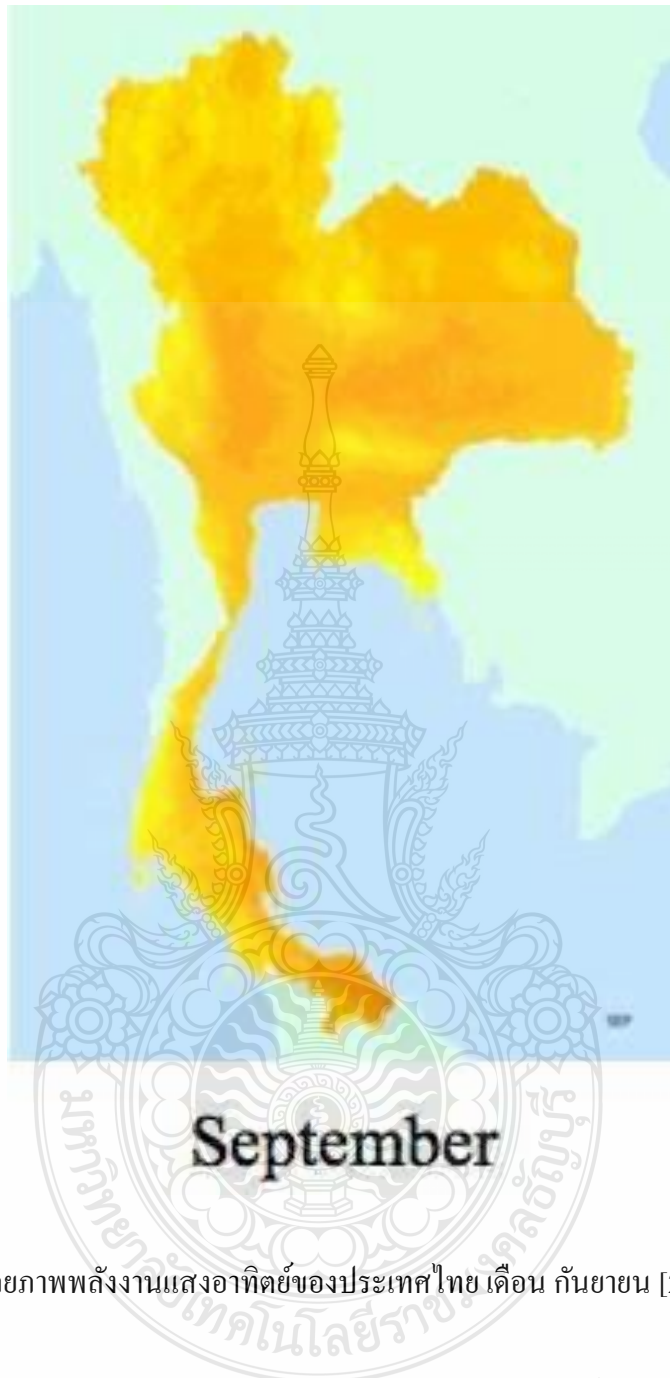
จากรูปที่ 2.11 การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนกรกฎาคม โดยในเดือนนี้พื้นที่ทั่วประเทศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้บริเวณนั้นมีเมฆและฝนกระจายอยู่ทั่วประเทศ ทำให้ค่ารังสีดวงอาทิตย์ลดลง มีค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 14-20 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน โดยเฉพาะทางภาคเหนือตอนบน ภาคตะวันตกของประเทศ ซึ่งติดกับเทือกเขาตะนาวศรี และภาคใต้ฝั่งตะวันตกมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่ำ ประมาณ 14-17 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งบริเวณนั้นมีความเข้มสูง 18-20 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน จะปรากฏเป็นหย่อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



August

รูปที่ 2.12 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน สิงหาคม [2]

จากรูปที่ 2.12 โดยมีการกระจายค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนสิงหาคมนี้ ซึ่งพื้นที่ทั่วประเทศยังคงอยู่ในอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ บริเวณนั้นมีลักษณะการกระจายค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศ มีค่าลดลงมาจากเดือนกรกฎาคม โดยบริเวณนั้นมีการกระจายค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์บริเวณทั่วทั้งประเทศนั้นจะอยู่ในช่วง 13-19 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน แต่ในช่วงบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศนั้น ยังมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ค่อนข้างสูง คือมีค่าอยู่ในช่วง ที่ประมาณ 18-20 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ภาคของตะวันตกที่ติดกับเทือกเขาและบริเวณภาคใต้ฝั่งภาคตะวันตกของประเทศ ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม ทำให้มีค่าต่ำสุดในรอบปี จะมีค่าประมาณ 13-16 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน



รูปที่ 2.13 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน กันยายน [2]

จากรูปที่ 2.13 โดยการกระจายค่าของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนกันยายน ถึงแม้ว่าดวงอาทิตย์จะเคลื่อนตัวมาอยู่ที่ศูนย์สูตรท้องฟ้า แต่โดยพื้นที่ทั่วประเทศนั้นยังคงถูกปกคลุมด้วยเมฆอันเนื่องมาจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้พื้นที่ทุกภาคของประเทศไทยมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ค่อนข้างต่ำ กล่าวคือส่วนใหญ่ มีค่ากระจายอยู่ที่ 14-19 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน มีเพียงพื้นที่เล็กๆของภาคตะวันออกเฉียงเหนือใน จังหวัดร้อยเอ็ด มหาสารคาม และกาฬสินธุ์ ซึ่งจะเป็นบริเวณเงาฝนที่แห้งแล้งมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ สูงอยู่ในช่วง 19-21 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน



October

รูปที่ 2.14 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน ตุลาคม [2]

จากรูปที่ 2.14 โดยมีการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนตุลาคมโดยทั่วไป ช่วงเดือนตุลาคม ประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ปริมาณฝนลดลง และท้องฟ้าแจ่มใส แต่เป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปอยู่ทางใต้ของเส้นศูนย์สูตร ท้องฟ้าทำให้รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าลดลงจากเดือนกันยายน แต่ด้วยสภาพท้องฟ้าที่แจ่มใส ทำให้การกระจายรังสีดวงอาทิตย์บริเวณของภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศนั้น มีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 17-19 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน และใน ส่วนบริเวณอื่นๆ ของประเทศยังคงมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนไม่ต่างกับเดือนกันยายน ยกเว้น บริเวณทางภาคเหนือตอนบน และภาคใต้ของประเทศค่อนข้างที่จะมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนลดลงประมาณ 14-17 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน



November

รูปที่ 2.15 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน พฤศจิกายน [2]

จากรูปที่ 2.15 โดยมีการกระจายค่าของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ของเดือนพฤศจิกายน พื้นที่ทั่วประเทศ จะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออกจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ค่อนข้างมากทำให้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมาก ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จึงมีค่าน้อยกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันออก ส่วนทางภาคเหนือก็ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ท้องฟ้าจะมีสภาพฟ้าห้ว ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับนั้นมีค่าน้อย อยู่ในช่วง 13-17 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งสำหรับในส่วนของภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยจะมีการกระจายค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งโดยคล้ายคลึงกันคือมีค่าอยู่ในช่วง 18-19 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน



รูปที่ 2.16 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย เดือน ธันวาคม [2]

จากรูปที่ 2.16 โดยการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนธันวาคมในเดือนนี้ ดวงอาทิตย์เคลื่อนตัว ไปอยู่ทางตอนใต้ของเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้ามากที่สุด ทำให้มีรังสีจากดวงอาทิตย์ นอกบรรยากาศโลกบนพื้นราบมีค่าต่ำสุด ถึงแม้ว่าในท้องฟ้าจะมีสภาพแจ่มใส แต่รังสีของดวงอาทิตย์ ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกบริเวณประเทศไทย มีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ลดลง จากเดือนพฤศจิกายน โดยเป็นผลมาจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ กล่าวคือทางตอนใต้นั้นจะค่อนข้างมีค่าของรังสีดวงอาทิตย์ กระจายอยู่ในช่วง 12-16 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งที่อื่นๆของประเทศไทยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ มีค่าอยู่ในช่วง 17-19 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน โดยบริเวณทางภาคเหนือตอนบนของประเทศนั้น ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่า ลดลงอยู่ในช่วง 13-16 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน

2.4 การแผ่รังสีของวัตถุดำ (Blackbody Radiation)

เมื่อก้าวถึงคุณลักษณะการแผ่รังสีของผิวจริงทั่วไปแล้ว จำเป็นจะต้องเข้าใจแนวความคิดของวัตถุดำก่อน วัตถุดำเป็นผิวทางจินตภาพ ซึ่งมีคุณลักษณะดังนี้

2.4.1 วัตถุดำนั้นจะดูดรังสีกระทบทั้งหมดไว้ไม่มีการสะท้อนกลับ โดยไม่ได้คำนึงในเรื่องของความยาวคลื่นและทิศทาง

2.4.2 วัตถุดำจะแผ่รังสีได้มากกว่าวัตถุอื่นๆ ทุกชนิดที่อุณหภูมิ และความยาวคลื่นเดียวกัน

2.4.3 วัตถุดำจะแผ่รังสีออกโดยไม่ขึ้นกับทิศทาง นั่นคือวัตถุดำเป็น diffuse emitter

โดยวัตถุดำเป็นการแผ่รังสี และตัวดูดรังสีที่ดีที่สุด (Perfect emitter and absorber) ดังนั้นวัตถุดำ จึงเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบคุณสมบัติการแผ่รังสีของผิวจริงต่างๆ ขณะที่วัตถุดำเป็นผิวในอุดมคติ แต่ก็เป็นไปได้ที่ในการแผ่รังสีในห้องทดลองซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันที่สุด จากหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์พอที่จะกล่าวว่า รังสีที่ออกจากรูเล็กๆ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิผิว และซึ่งสอดคล้องกับการปล่อยออกของวัตถุดำ เนื่องจากการปล่อยออกของวัตถุดำนั้นเป็น Diffuse ค่าของ $I_{\lambda,b}$ ของรังสีที่ออกจากรูเป็นอิสระกับทิศทาง เป็นผลให้ผิวเล็กๆ ในช่องกรวย มีค่า $G_{\lambda} = E_{\lambda,b}(\lambda, T)$ จะสรุปได้ว่าการแผ่รังสีของวัตถุดำเกิดขึ้นจริงในช่องกลวง โดยไม่คำนึงถึงว่าผิวของช่องกลวงนั้นจะมีการสะท้อนหรือดูดกลืนได้ดีเพียงใด

2.5 กฎการกระจายของแพลงก์ (Planck distribution Law)

การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุดำนั้นมึลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น (Spectral distribution) ที่แน่นอนชัดเจน Planck เป็นคนแรกที่หาค่านี้ ซึ่งความเข้มของรังสีที่ความยาวคลื่นใดนั้นต้องเป็นดังนี้

$$I_{\lambda,b}(\lambda, T) = \frac{2hc_0^2}{\lambda^5 [\exp(hc_0/\lambda kT) - 1]} \quad (2.1)$$

โดยที่ h คือ ค่าคงที่สากลของ Planck = 6.6256×10^{-34} จูล-วินาที

k คือ ค่าคงที่สากลของ Boltzmann = 1.3805×10^{-23} จูลต่อองศาเคลวิน

c_0 คือ ความเร็วของแสงในสุญญากาศ = 2.998×10^8 เมตรต่อวินาที

T คือ ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุดำหน่วยคือ องศาเคลวิน

เนื่องจากวัตถุเป็น Diffuse emitter ดังนั้น spectral emissive power อยู่ในรูป

$$E_{\lambda,b}(\lambda,T) = \pi I_{\lambda,b}(\lambda,T) = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]} \quad (2.2)$$

$$C_1 = 2\pi hc_0^2 = 3.7413 \times 10^8 \quad W \cdot \mu m^4 / m^2$$

$$C_2 = (hc_0/k) = 1.4388 \times 10^4 \quad \mu m \cdot K$$

2.6 กฎการแทนที่ของเวียน (Wien's Displacement Law)

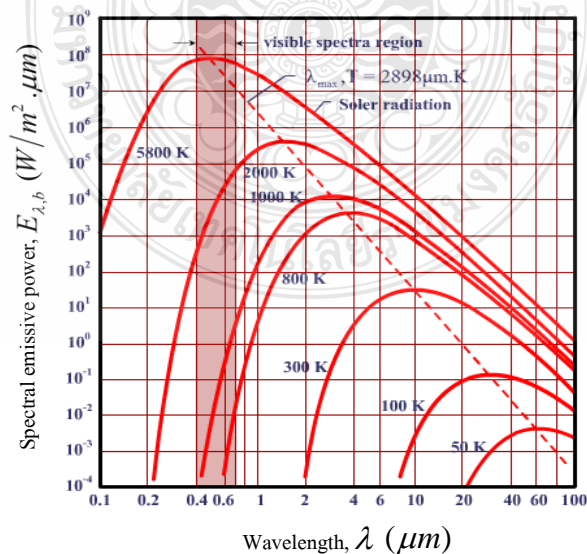
พบว่าวัตถุจะมีการแผ่รังสีความร้อนที่สูงสุด ($E_{\lambda,max}$) ที่ความยาวคลื่น λ_{max} ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโดยการดิฟเฟอเรนเชียลสมการ (2.2) เทียบกับ λ และทำให้เท่ากับศูนย์จะได้

$$C_3 = 2897.8 \quad \mu m \cdot K$$

โดยที่

$$C_3 = 2897.8 \quad \mu m \cdot K \quad (2.3)$$

จากสมการ (2.3) เรียกว่า Wien's Displacement Law โดยเส้นประที่แสดงการเปลี่ยนแปลงโดยจุดที่มีการแผ่รังสีความร้อนสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 0.5 ไมโครเมตร สำหรับดวงอาทิตย์เป็นช่วงที่มองเห็นได้ สำหรับวัตถุที่ 1000 องศาเซลเซียส การปล่อยออกสูงสุดเกิดที่ 2.9 ไมโครเมตร บางรังสีที่ปล่อยออกมาจะมองเห็นแสงสีแดงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความยาวคลื่นจะยิ่งสั้นลงการแผ่รังสีที่สูงสุดจนกระทั่งการปล่อยออกสุดทำให้เกิดขึ้นทั้งทั่วสเปกตรัมที่มองเห็น



รูปที่ 2.17 กำลังออกของวัตถุที่เคลื่อนอันหนึ่ง (Spectral blackbody emissive power) [23]

2.7 กฎของสเตฟาน โบลท์มาน (Stefan – Boltzmann Law)

โดยการแทน Plank distribution Law ค่า total emissive power ของวัตถุดำ E_b

$$E_b = \int_0^{\infty} \frac{C_1}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]} dx \quad (2.4)$$

ตัวแปรของปริพันธ์เปลี่ยนจาก λ เป็น λT

$$E_b = T^4 \int_{\lambda T=0}^{\infty} \frac{C_1}{(\lambda T)^5 \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]} d(\lambda T) \quad (2.5)$$

โดยหาการปริพันธ์ผลลัพธ์จะเป็น

$$E_b = \sigma T^4 \quad (2.6)$$

โดยที่ค่าของ Stefan – Boltzmann ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า C_1 และ C_2 มีค่าเป็น

$$\sigma = 5.670 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

สำหรับวัตถุดำ ความเข้มของการแผ่รังสีหาได้จาก

$$I_b = \frac{E_b}{\pi} \quad (2.7)$$

2.8 ฟังก์ชันการแผ่รังสีของวัตถุดำ (Blackbody Radiation functions)

สิ่งหนึ่งที่สนใจปล่อยออกในการปล่อยรังสีของวัตถุดำช่วงความยาวคลื่น $\lambda = 0$ ถึง λ ใดๆ เป็นฟังก์ชันของการส่งออกทั้งหมด $\lambda = 0$ ถึง $\lambda = \infty$ ซึ่งค่าแผ่รังสีในช่วงความยาวของคลื่นใด ๆ เรียกว่า Band emission ปริมาณนี้หาได้จากนิยามของมัน ซึ่งกำหนดโดย

$$F_{(0 \rightarrow \lambda)} \equiv \frac{\int_0^\lambda E_{\lambda,b} d\lambda}{\int_0^\infty E_{\lambda,b} d\lambda} = \frac{\int_0^\lambda E_{\lambda,b} d\lambda}{\sigma T^4}$$

$$F_{0-\lambda} = \left(\frac{C_1}{\sigma} \right) \int_0^{\lambda T} \frac{1}{(\lambda T)^5 \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T} \right) - 1 \right]}$$

$$= f(\lambda T) \quad (2.8)$$

นอกจากนี้อาจใช้หาค่าเศษส่วนของการแผ่รังสีระหว่างสองความยาวคลื่น λ_1 และ λ_2 ใด ๆ ได้เช่นกันเนื่องจาก

$$F_{(\lambda_1 - \lambda_2)} = \frac{\int_0^{\lambda_2} E_{b\lambda} d\lambda - \int_0^{\lambda_1} E_{b\lambda} d\lambda}{\sigma T^4}$$

$$F_{(\lambda_1 - \lambda_2)} = F_{(0 - \lambda_2)} - F_{(0 - \lambda_1)} \quad (2.9)$$

และนอกจากนี้ยังสามารถหาค่าปล่อยออกของวัตถุค่าได้เช่นกัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์มาก โดยการสังเกตว่าอัตราส่วน $E_{\lambda,b}/\sigma T^5$ เป็นฟังก์ชันของ λT เท่านั้น

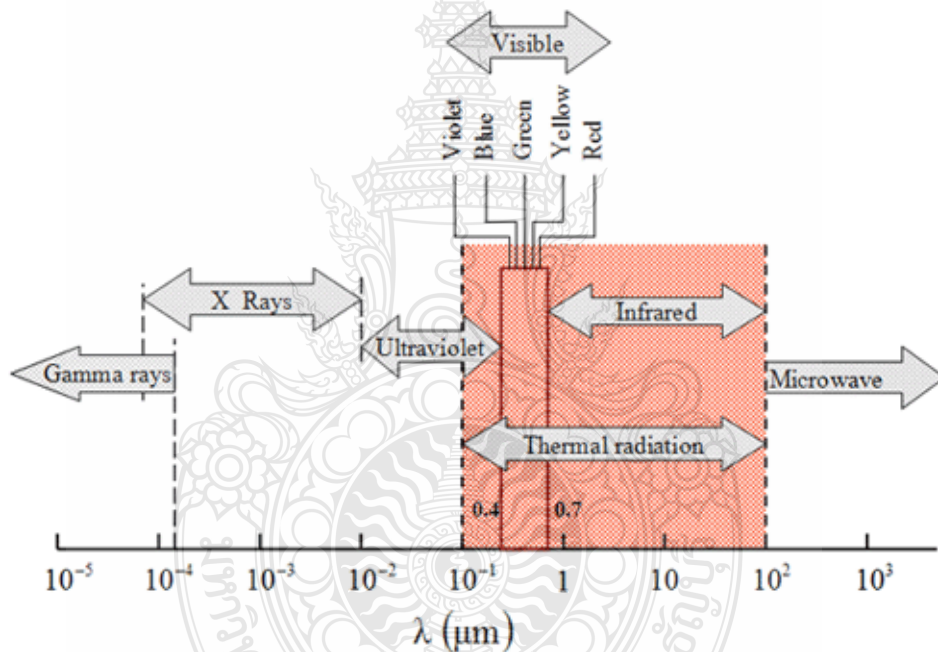
$$\frac{E_{\lambda,b}}{\sigma T^5} = \frac{C_1}{\sigma} \frac{1}{(\lambda T)^5 \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T} \right) - 1 \right]} \quad (2.10)$$

เนื่องจากทราบค่า σ , C_1 และ C_2 จึงหาค่าอัตราส่วนนี้โดยอยู่ในรูป λT ใด ๆ

2.9 พื้นฐานการแผ่รังสีความร้อน

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำและการพาความร้อนต้องการให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในบางรูปของสารแต่ในการแผ่รังสีความร้อนนั้นไม่จำเป็นต้องอาศัยสารในการแผ่รังสี การแผ่รังสีหมายถึง พลังงานที่ได้มีการแผ่รังสีความร้อนถูกส่งออกไปโดยวัตถุ ซึ่งวัตถุทุกชนิดนั้นที่มีค่าอุณหภูมิ

สูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์สามารถแผ่รังสีความร้อน โดยพิจารณาของแข็งชิ้นหนึ่งเริ่มต้นที่อุณหภูมิ T_s ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม T_{sur} โดยรอบๆของแข็งเป็นสุญญากาศ เนื่องจากของแข็งชิ้นนี้สามารถแยกตัวจากผนังสิ่งแวดล้อม โดยสุญญากาศดังนั้นจึงไม่มีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำและการพา แต่พบว่าของแข็งนั้นจะเย็นตัวลง และในที่สุดจะเข้าสู่สมดุลกับสิ่งแวดล้อมรอบตัว โดยการเย็นตัวนี้จะเกี่ยวข้องกับการลดลงของพลังงานภายในที่เก็บไว้โดยของแข็งและเป็นผลโดยตรงของการส่งออกของการแผ่รังสีความร้อนจากผิว ในขณะที่เดียวกันผิวนั้นก็จะรับหรือดูดกลืนการแผ่รังสีจากสิ่งแวดล้อม ถ้า $T_s > T_{sur}$ แล้วอัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิโดยการแผ่รังสี q_r จะออกจากพื้นผิวและพื้นผิวจะเย็นจนกระทั่ง T_s เข้าสู่ T_{sur}



รูปที่ 2.18 สเปกตรัมการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุ [23]

สเปกตรัมการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุ

การแผ่รังสีความร้อน	$0.1 \leq \lambda \leq 100$	ไมโครเมตร
การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์	$0.1 \leq \lambda \leq 0.3$	ไมโครเมตร
การแผ่รังสีในช่วงที่มองเห็นได้	$0.4 \leq \lambda \leq 0.7$	ไมโครเมตร
การแผ่รังสีของรังสี X Rays	$\lambda = 10^{-4}$	ไมโครเมตร

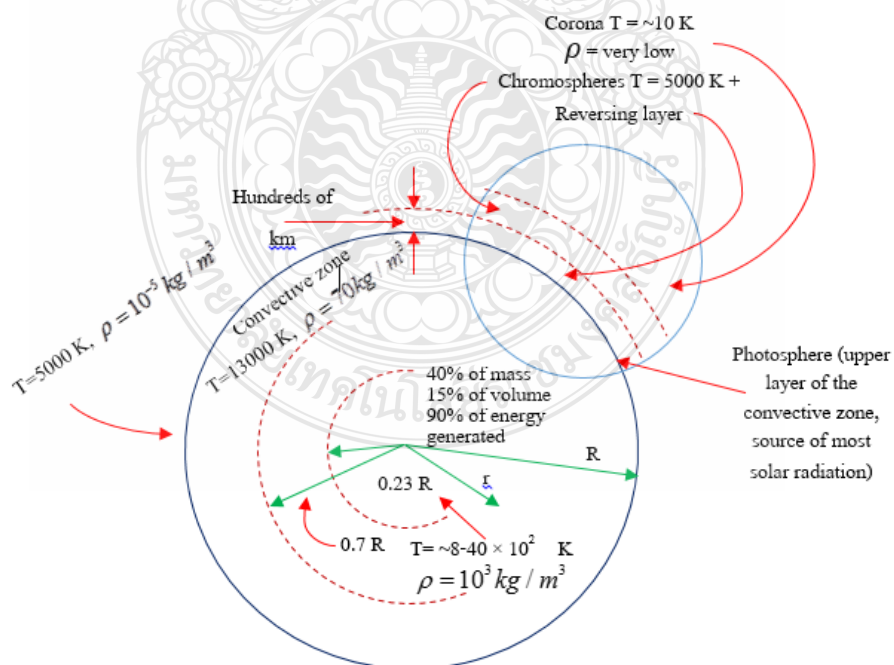
การแผ่รังสีของรังสีแกมมา	$\lambda = 10^{-2}$	ไมโครเมตร	
ความยาวคลื่น	$\lambda = \frac{c}{\nu}$		(2.11)

โดย λ = ความยาวคลื่น
 c = ความเร็วในการเคลื่อนที่
 ν = การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

สำหรับค่า C ของสุญญากาศ $C_0 = 2.998 \times 10^8$ เมตรต่อวินาที หน่วยของความยาวคลื่นนั้น โดยปกติเป็นไมโครเมตร (μm) ซึ่ง 1 ไมโครเมตร = 10^6 เมตร

2.10 รังสีดวงอาทิตย์

พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่แผ่จากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวหลายชนิดซึ่งปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุด คือการรวมตัวกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม โดยมวลของนิวเคลียสในฮีเลียมมีค่าน้อยกว่ามวลของไฮโดรเจน ซึ่งมวลส่วนที่หายไป คือมวลที่เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงาน พลังงานนี้จะเกิดขึ้นภายในดวงอาทิตย์ที่มีอุณหภูมิหลายล้าน องศาเคลวิน โดยพลังงานจะมีการถ่ายเทมาที่บริเวณผิวของดวงอาทิตย์ และแผ่ออกจากผิวอวกาศ



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของดวงอาทิตย์ [23]

รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของดวงอาทิตย์ประมาณ ร้อยละ 90 ของพลังงานที่ปล่อยออกจากดวงอาทิตย์จะเกิดที่แกนกลางของดวงอาทิตย์ถึงที่บริเวณ 0.23 R (เมื่อ R คือรัศมีของดวงอาทิตย์) ซึ่งจะมีน้ำหนักประมาณ ร้อยละ 40 ของน้ำหนักทั้งหมดของดวงอาทิตย์ โดยการเริ่มจากจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ไปถึงบริเวณ 0.7 R อุณหภูมิจะลดลงประมาณ 130,000 องศาเซลวิน และความหนาแน่นซึ่งจะลดลงเหลือ 70 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยที่บริเวณดังกล่าวนี้ เริ่มที่จะมีการถ่ายเทความร้อนโดยการพาและจะเรียกบริเวณตั้งแต่ 0.7 R ถึง 1 R ว่าบริเวณของการพาความร้อน (Convection Zone) ซึ่งอุณหภูมิจะลดลงเหลือ 5,800 องศาเซลวิน และมีความหนาแน่น

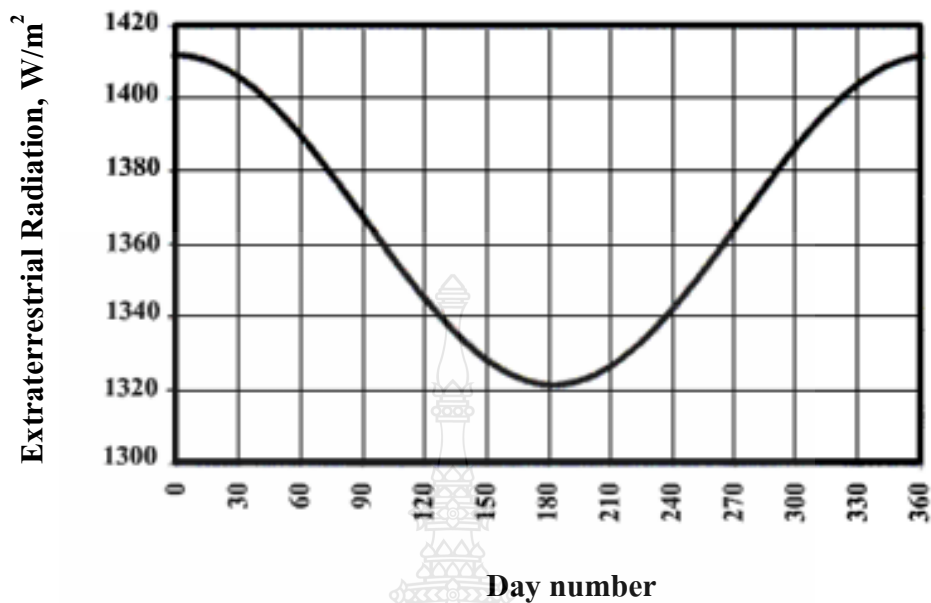
2.10.1 ค่าคงที่แสงอาทิตย์

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์โดยที่วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ไม่เป็นวงกลม ดังนั้นระยะห่างระหว่างโลก และดวงอาทิตย์จึงมีค่าไม่เท่ากันที่เวลาใดๆ โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงประมาณ ร้อยละ 1.7 ซึ่งระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลก และดวงอาทิตย์นั้นจะมีค่าประมาณ 8×10^6 เมตร ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นหนึ่งหน่วยเหนือบรรยากาศโลก ที่เวลาต่างกันจึงมีค่าไม่เท่ากัน ค่าคงที่แสงอาทิตย์ (Solar Constant) คือค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ โดยมีระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลก กับดวงอาทิตย์ซึ่งมีค่าประมาณ 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร

2.10.2 การแปรเปลี่ยนของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศ

สาเหตุหลัก 2 ประการ เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลก (Extraterrestrial Radiation) มีค่าไม่คงที่ คือการเปลี่ยนแปลงค่ารังสีที่ปลดปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์ และการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์มีค่าน้อยมาก (น้อยกว่า ร้อยละ ± 1.5) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์นั้น จึงเป็นสาเหตุเดียวที่จะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลกมีค่าไม่คงที่ โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีอาทิตย์ที่อยู่เหนือบรรยากาศ จะอยู่ในช่วง ร้อยละ 3 โดยที่จะสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่หนึ่งหน่วยเหนือบรรยากาศโลก G_{on} วัน ลำดับที่ n ของปี และค่าคงที่แสงอาทิตย์ ดังสมการ

$$G_{on} = G_{sc} = \left[1 + 0.33 \cos \left(\frac{360n}{356} \right) \right] \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.20 พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบที่พื้นผิวหนึ่งตารางเมตร เหนือบรรยากาศโลกในวันต่างๆ ตลอดทั้งปี [23]

2.10.3 ประเภทของรังสีที่ผิวโลกและมวลอากาศ

2.10.3.1 รังสีตรง (Beam or Direction) คือ ค่ารังสีที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์โดยตรง ตกลงบนผิวรับแสง มีทิศทางแน่นอนที่เวลาหนึ่งเวลาใด ทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์

2.10.3.2 รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) คือ ค่ารังสีอาทิตย์ในส่วนของที่ถูกสะท้อนจากบรรยากาศของโลกและวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในบริเวณทางเดินของแสงก่อนตกกระทบพื้นผิวรับแสง รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางของท้องฟ้า

2.10.3.3 รังสีรวม (Total or Global Radiation) คือ ค่าผลจากการรวมของรังสีตรง และรังสีกระจายที่ตกกระทบผิวรับแสง ในกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นเอียงนั้นรังสีรวมจะประกอบด้วย รังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและผิวโลก เรียกรังสีรวมเหล่านี้ว่า Total Radiation สำหรับกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นราบ รังสีรวมจะมาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้าไม่มีส่วนมาจากผิวโลก เรียกรังสีรวมในกรณีนี้ว่า Global Radiation

2.10.3.4 มุมซันนิธ (Zenith Angle, θ_z) คือ มุมระหว่างแนวตั้งฉากกับระนาบระดับ และแนวลำแสงดวงอาทิตย์

2.10.3.5 มวลอากาศ (Air Mass, m) คือบริเวณสัดส่วนของความหนาบรรยากาศที่รังสีตก ส่องผ่านต่อความหนาของบรรยากาศ เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งตรงศีรษะ นอกบรรยากาศ กำหนดให้มวลอากาศเท่ากับ 0 สำหรับที่น้ำทะเล ถ้ามุมซิมินิธมีค่าระหว่าง 0 องศา ถึง 7 องศา สามารถหาค่ามวลอากาศได้จากความสัมพันธ์

$$m = \sec \theta_z \quad (2.13)$$

จากสมการ (2.13) จะเห็นได้ว่าที่ระดับน้ำทะเลเมื่อดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะ ($\theta_z = 0$ องศา) จะได้มวลอากาศเท่ากับ 1 และเมื่อมุมซิมินิธ ($\theta_z = 60$ องศา) มวลอากาศจะเท่ากับ 2 กรณีที่ดวงอาทิตย์อยู่ใกล้ขอบฟ้าหรือมุมซิมินิธ (θ_z) ค่าสูงกว่า 70 องศา ส่วนโค้งของผิวโลกนั้นจะมีผลต่อมวลอากาศโดยมวลอากาศสามารถหาได้จาก

$$m = [1229 + (614 \sin \alpha_s)^2]^{1/2} - 614 \sin \alpha_s \quad (2.14)$$

เมื่อ α_s นั้นคือ มุมระหว่างพื้นราบกับแนวเส้นแวงอาทิตย์ และสมการที่ (2.13) และ (2.14) ใช้หาค่ามวลอากาศที่ระดับน้ำทะเล ใน $\alpha_s + \theta_z = 90$ องศา กรณีที่ต้องการหาค่ามวลอากาศที่ระดับสูงกว่าระดับน้ำทะเล (h) กิโลเมตร หรือมีความดัน (P) มิลลิบาร์ มวลอากาศสามารถหาได้จากสมการ

$$m = m_0 \left[\frac{P}{1013.25} \right] \quad (2.15)$$

$$\text{หรือ} \quad m = m_0 [1 - 0.1h] \quad (2.16)$$

โดยที่ m_0 คือมวลอากาศที่คำนวณจากสมการ (2.15) หรือ (2.16)

2.10.4 เวลาสุริยะ

เวลาสุริยะ (Solar Time) เป็นเวลาที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า เวลาเที่ยงสุริยะ (Solar Noon) คือในช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ข้ามเส้นเมริเดียนของตำแหน่งที่ตั้งเกดนั้น สาเหตุที่เวลาสุริยะต่างจากเวลามาตรฐานท้องถิ่น (Standard Time) เนื่องมาจาก

2.10.4.1 เส้นเมริเดียน ของตำแหน่งที่ต้องการหาเวลาสุริยะนั้น ซึ่งจะแตกต่างกัน กับเส้นเมริเดียนที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่น ดวงอาทิตย์ใช้เวลาประมาณ 4 นาทีต่อ 1 ลองจิจูด ที่เปลี่ยนไป

2.10.4.2 การกวัดแกว่งของแกนหมุนของโลกนั้น ซึ่งจะมีผลต่อเวลาที่ดวงอาทิตย์ ข้ามเส้นเมริเดียนของตำแหน่งที่สังเกตซึ่งมีการกวัดแกว่งนี้หาได้จากสมการเวลา (Equation of Time) ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสุริยะ และเวลามาตรฐานสามารถหาได้จาก

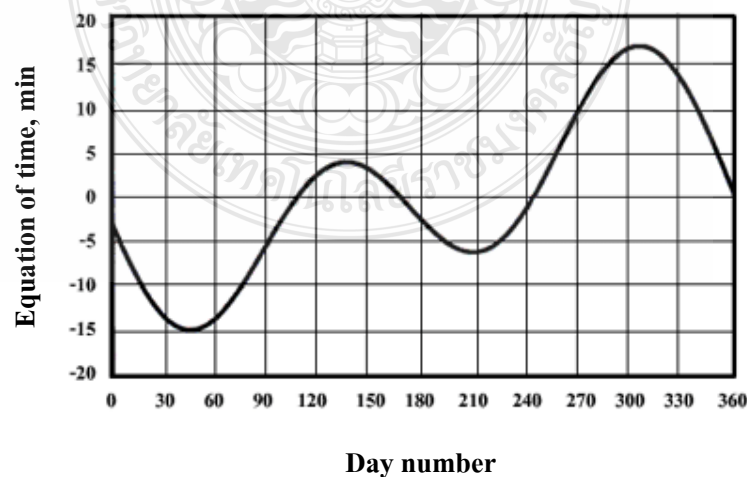
$$\text{Solar Time} = \text{Standard Time} \pm 4(L_s - L_{local}) + E \quad (2.17)$$

เมื่อ L_s คือเส้นเมริเดียน ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าเวลามาตรฐานท้องถิ่น L_{local} คือเส้นเมริเดียนของ ตำแหน่งที่ต้องการหาเวลาสุริยะ และ E คือสมการเวลา (นาที) สามารถหาได้จากสมการที่ (2.18) สำหรับเครื่องหมาย "±" หน้าเทอมที่ 2 ทางขวามือเป็น (+) ใช้สำหรับการหาค่าของซีกโลกตะวันตก และ (-) ใช้สำหรับการหาค่าของซีกโลกตะวันออก

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \sin B - 0.014615 \cos 2B - 0.04089 \sin 2B) \quad (2.18)$$

เมื่อ $B = (n-1) \left(\frac{360}{365} \right) \quad (2.19)$

และ n คือ n ลำดับที่ของปี ($1 \leq n \leq 360$)



รูปที่ 2.21 สมการเวลา E ในหน่วยนาที [23]

2.10.5 ทิศทางของรังสีตรง

ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างระนาบการหมุนของโลกที่เวลาใดๆกับรังสีตรงหรือ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับระนาบ สามารถอธิบายได้โดยใช้มุมต่างๆ ดังนี้

2.10.5.1 ละติจูด (Latitude, ϕ) คือ มุมที่อยู่บริเวณทางทิศเหนือ หรืออยู่ทางทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร เมื่อวัดไปทางทิศเหนือกำหนดให้มีค่าเป็นบวก และเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ ละติจูดมีค่าอยู่ระหว่าง -90 องศา ถึง 90 องศา

2.10.5.2 มุมเอียง (Slope, β) คือมุมระหว่างพื้นผิวของระนาบรับแสงกับแนวระดับ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 องศา ถึง 180 องศา

2.10.5.3 มุมชั่วโมง (Hour Angle, ω) คือ มุมที่จะใช้แทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากเมอริเดียนท้องถิ่นไปทางตะวันออก หรือทางตะวันตก มีค่าเป็นลบในช่วงเวลาก่อนเที่ยงของสุริยะ และเป็นบวกหลังเที่ยงของสุริยะ โดยมีค่า 15 องศา ต่อหนึ่งชั่วโมง

2.10.5.4 มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle, δ) คือ มุมระหว่างแนวเส้นแวงอาทิตย์เมื่อเที่ยงสุริยะกับระนาบศูนย์สูตร กำหนดให้มีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ และมีค่าเป็นลบนั้นเมื่อวัดไปทางทิศใต้ มุมเดคลิเนชัน มีค่าเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง -23.45 องศา ถึง 23.45 องศา สามารถคำนวณได้จาก

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \frac{(284 + n)}{365} \right] \quad (2.20)$$

2.10.5.5 มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar Altitude Angle, α_s) คือ มุมระหว่างพื้นราบกับแนวเส้นแวงดวงอาทิตย์ มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ ที่เวลาใดๆสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\sin \alpha_s = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (2.21)$$

2.10.5.6 มุมอะซิมุทพื้นดิน (Surface Azimuth Angle, γ) คือมุมบริเวณระหว่างทิศใต้กับทิศทางการหันหน้าของแผงรับแสง ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง -180 องศา ถึง 180 องศา โดยมีค่าเป็นศูนย์เมื่อหันไปทางทิศใต้ เป็นบวกเมื่อหันไปทางทิศตะวันตก และเป็นลบเมื่อหันไปทางทิศตะวันออก

2.10.5.7 มุมอะซิมุทดวงอาทิตย์ (Solar Azimuth Angle, γ_s) คือมุมที่อยู่ระหว่างระนาบแนวตั้งของดวงอาทิตย์ และระนาบของเมอริเดียนท้องถิ่น โดยที่กำหนดให้วัดจากทางทิศใต้

ของระนาบแนวคังดวงอาทิตย์ ไปทางตะวันตกมีค่าเป็นบวก และวัดไปทางตะวันออกมีค่าเป็นลบ และมีค่าเป็นศูนย์ที่ทิศใต้ มุมอะซิมูทดวงอาทิตย์มีค่าในช่วง - 180 องศา ถึง 180 องศา โดยจะสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.22)

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha_s} \quad (2.22)$$

2.10.5.8 มุมตกกระทบ (Incidence Angle, θ) คือ มุมที่ระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์ บนพื้นผิวกับแนวตั้งฉากของพื้นผิว ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบ และมุมอื่นๆสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.23)

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \beta \cos \phi \sin \delta \cos \gamma \\ &+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \phi \end{aligned} \quad (2.23)$$

กรณีพื้นราบ ($\beta = 0$ องศา) มุมตกกระทบ คือ มุมซิมินิธ

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (2.24)$$

สำหรับพื้นผิวรับแสงที่หันหน้าไปทางเหนือในซีกโลกเหนือ สมการ (2.23) ลดรูปเป็น

$$\cos \theta = \cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \delta \quad (2.25)$$

กรณีพื้นผิวรับแสงหันหน้าไปทางเหนือในซีกโลกใต้จะได้

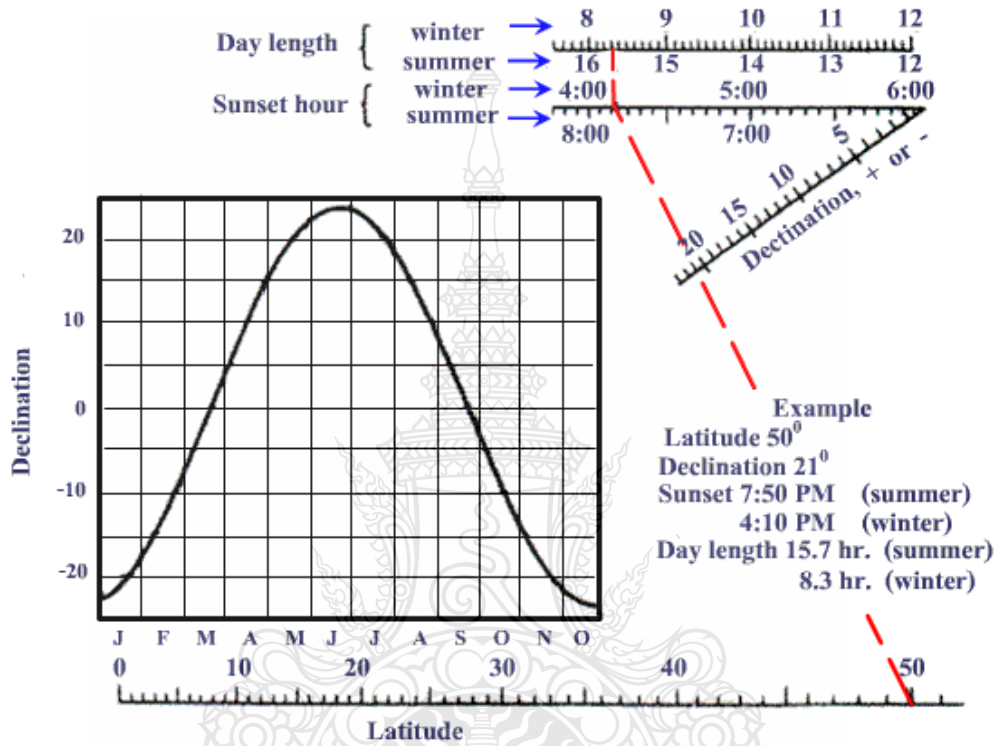
$$\cos \theta = \cos(-\beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi + \beta) \sin \delta \quad (2.26)$$

พื้นผิวรับแสง และมุมต่างๆที่เกี่ยวข้องสามารถหามุมชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ตก (Sunset Hour Angle, ω_s) เมื่อ θ_z เท่ากับ 90 องศา

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta \quad (2.27)$$

และสามารถหาความยาวนานของวันได้จากสมการ

$$N = \frac{2}{5} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (2.28)$$



รูปที่ 2.22 โนโมแกรมสำหรับหาความยาวนานของวัน และเวลาพระอาทิตย์ตก [23]

2.10.6 รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบเหนือบรรยากาศ

ที่เวลาใดๆนั้นจะสามารถหาค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบเหนือบรรยากาศได้จากความสัมพันธ์

$$G_0 = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \cos \theta_z \quad (2.29)$$

เมื่อ G_{sc} คือค่าคงที่แสงอาทิตย์ และ n คือ วันลำดับที่ n ของปี เมื่อแทนสมการ (2.29) จะได้

$$G_0 = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] (\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta) \quad (2.30)$$

ดังนั้น สามารถที่จะหาค่ารังสีตกกระทบในบริเวณแนวราบเหนือบรรยากาศ ณ วันที่ใดๆ โดยวิธีการหาปริพันธ์สมการ (2.30) ตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นถึงดวงอาทิตย์ตก

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \times \left[\cos \phi \cos \delta \cos \omega_s \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (2.31)$$

เมื่อ H_0 คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์รายวันในแนวราบเหนือบรรยากาศ (จุดต่อตารางเมตร) G_{sc} คือ ค่าคงที่แสงอาทิตย์ (1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร) และ ω_s คือ มุมชั่วโมงดวงอาทิตย์ตก (องศา) หาได้จากสมการ (2.26)

2.10.7 อัตราส่วนรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีบนพื้นราบ

รูปที่ 2.23 เป็นการแสดงตกกระทบของรังสีตรงบนพื้นราบ และพื้นเอียงซึ่งรังสีตรงที่ตกกระทบพื้นเอียงต่อรังสีตรง ที่ตกกระทบบนพื้นราบ R_b ที่เวลาใดๆ หาได้จากความสัมพันธ์

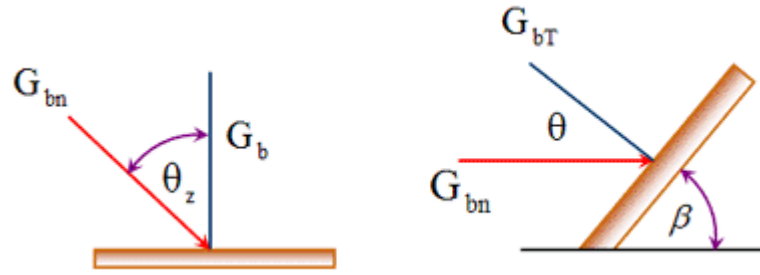
$$R_b = \frac{G_{bI}}{G_b} = \frac{G_{bn} \cos \theta}{G_{bn} \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2.32)$$

โดย G_{bI} และ G_b คือ รังสีตรง ที่กระทบพื้นเอียง และพื้นราบตามลำดับ เมื่อซีกโลกเหนือ และแผ่รับแสงหันหน้าไปทางทิศใต้ จะได้ความสัมพันธ์

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad (2.33)$$

และสำหรับซีกโลกใต้ และแผ่รับแสงหันหน้าไปทางทิศเหนือ

$$R_b = \frac{\cos(\phi + \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi + \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad (2.34)$$



รูปที่ 2.23 รังสีตรงบนพื้นราบและพื้นเอียง [23]

ฉะนั้นสามารถคำนวณหาอัตราส่วนรังสีรวมที่ตกกระทบพื้นเอียงต่อรังสีรวมที่ตกกระทบบนพื้นราบ (R) ได้จากสมการ (2.35) เนื่องจากการคำนวณตลอดทั้งชั่วโมงจึงใช้สัญลักษณ์ I แทนสัญลักษณ์ G ซึ่งหมายถึง อัตราพลังงาน สำหรับสัญลักษณ์ H ที่จะพบต่อไป หมายถึง ปริมาณรังสีตลอดทั้งวัน

$$R = \frac{I_T}{I} \quad (2.35)$$

เมื่อ I_T และ I คือ ค่ารังสีรวมชั่วโมงที่ตกกระทบลงบนพื้นเอียง และลงบนพื้นราบ ตามลำดับ อาจแสดงในเทอมของรังสีตรง และรังสีกระจายได้ดังนี้

$$R = \frac{I_T}{I} R_b + \frac{I_d}{I} R_d \quad (2.36)$$

โดยที่ $R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} \quad (2.37)$

และ $R_d = \frac{I_{dT}}{I_d} \quad (2.38)$

เมื่อ R_b คือค่าอัตราส่วนรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีตรงบนพื้นราบ และ R_d คือ อัตราส่วนของค่ารังสีกระจายบนพื้นเอียงต่อรังสีกระจายบนพื้นราบ I_{bT} และส่วน I คือค่ารังสีตรงรายชั่วโมง

ที่ตกกระทบพื้นเอียงและพื้นราบตามลำดับ I_{dT} และ I_d คือ ค่ารังสีกระจายรายชั่วโมงที่ตกกระทบพื้นเอียงและพื้นราบ ตามลำดับ

ถ้า ρ คือ อัตราการสะท้อนแสงของพื้นดิน

$$R = \frac{I_T}{I} R_b + \frac{I_d}{I} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \rho \quad (2.39)$$

ใช้ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสงของพื้นดินประมาณ 0.2 สำหรับพื้นที่ไม่มีหิมะปกคลุม และ 0.7 สำหรับพื้นที่หิมะตกใหม่ สำหรับกรณีของค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวันสามารถหาค่า \bar{R} ได้ดังนี้

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_T}{\bar{H}} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (2.40)$$

และ

$$\bar{H}_T = \bar{H} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \bar{R}_b + \bar{H}_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \bar{H}_\rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (2.41)$$

สำหรับซีกโลกเหนือ

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta} \quad (2.42)$$

เมื่อ

$$\omega_s = \min \{ \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta), \cos^{-1}(-\tan(\phi + \beta) \tan \delta) \} \quad (2.43)$$

โดยที่ “min” หมายถึง จำนวนที่มีค่าน้อยกว่าของ 2 เทอม ในวงเล็บสำหรับซีกโลกใต้

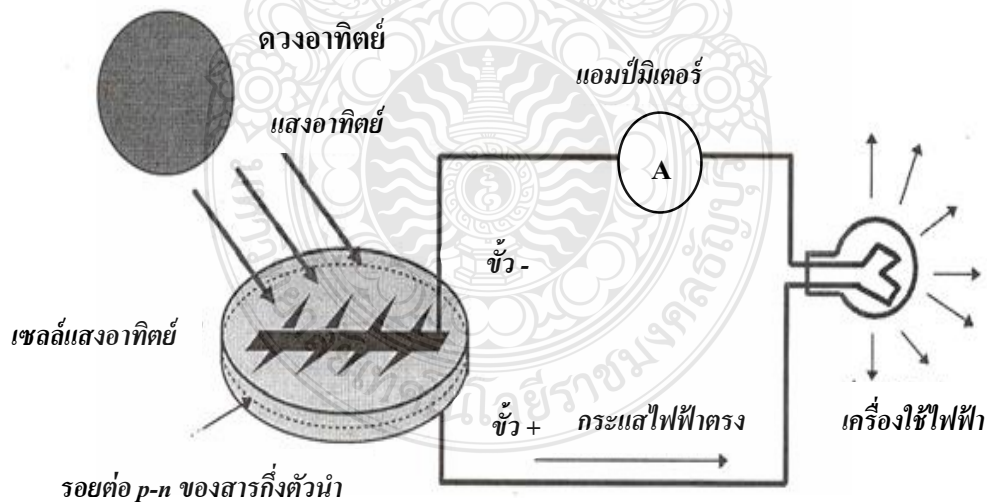
$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi + \beta) \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin(\phi + \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta} \quad (2.44)$$

และ

$$\omega_s = \min \{ \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta), \cos^{-1}(-\tan(\phi + \beta) \tan \delta) \} \quad (2.45)$$

2.11 หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 2.24 แสดงโครงสร้าง และหลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ จะนิยมนกันมากที่สุดได้แก่ รอยต่อพีเอ็น (p-n) ของสารกึ่งตัวนำและวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้น โลกได้แก่ ซิลิคอน ซึ่งสามารถถลุงได้จากแร่ควอตไซต์หรือทราย และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ตลอดจนทำให้เป็นผลึก เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผ่นอาจจะมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว) หรือมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด (ด้านละ 5 นิ้ว) มีความหนา 200-400 ไมโครเมตร (0.2-0.4 มิลลิเมตร) และนำมาแพร่ซึมสารเจือปนในเตาอุณหภูมิสูง (ประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส) เพื่อจะสร้างรอยต่อ p-n ที่มีความลึกประมาณ 0.3-0.5 ไมโครเมตร ขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นผิวสัมผัสโลหะเต็มแผ่น ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่รับแสงมีลักษณะเป็นลายเส้นคล้ายก้างปลา เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ เกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าชนิดประจุลบและประจุบวกขึ้นซึ่งได้แก่ อิเล็กตรอน และ โฮล โครงสร้างรอยต่อ p-n จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อแยกอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบและแยกโฮลให้ไหลไปที่ขั้วบวกด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรง ขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้าด้วยกันกับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดกระแสตรง (เช่น หลอดแสงสว่าง มอเตอร์กระแสตรง ฯลฯ) ก็จะมีกระแสไฟฟ้าเกิดการไหลในวงจร [1]



รูปที่ 2.24 โครงสร้างและหลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรประมาณ 3 แอมแปร์ และให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.5 โวลต์ ถ้าต้องการให้ได้กระแสไฟฟ้ามากๆ ทำได้โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายเซลล์มาต่อขนานกัน หรือถ้าต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงๆ ก็ทำได้โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายเซลล์มาต่ออนุกรมกัน ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีขายทั่วไปนั้นจะถูกออกแบบไว้ในกรอบอะลูมิเนียมสีเหลืองผิมน้ำ จะเรียกว่า แผง หรือมอดูล (module) โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีขนาดประมาณ 1.2×0.5 ตารางเมตร ภายใน 1 แผง จะมีเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากต่ออนุกรมกัน (เช่น 32-40 เซลล์) เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผงนั้นจะให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 16-20 โวลต์ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรประมาณ 3-4 แอมแปร์ และให้กำลังไฟฟ้าประมาณ 40-50 วัตต์ โดยในกรอบของอะลูมิเนียมนี้ จะออกแบบปิดผนึกด้านหน้าด้วยแผ่นกระจกใส และในส่วนของด้านหลังปิดผนึกด้วยวัสดุกันความชื้น และฝุ่นละอองไม่ให้เข้าไปสู่เซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นถ้าผู้ใช้ต้องการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับต้องต่ออินเวอร์เตอร์ (inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงให้กลายเป็นกระแสสลับ ก่อนที่จะต่อเซลล์แสงอาทิตย์ โดยปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้งานบนพื้นโลกมากที่สุดมี 3 ชนิด ซึ่งจะประกอบไปด้วย เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน ชนิดผลึกโพลีซิลิคอน และชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน

2.11.1 ผลตอบสนองเชิงสเปกตรัมและประสิทธิภาพการรวบรวมพาหะ

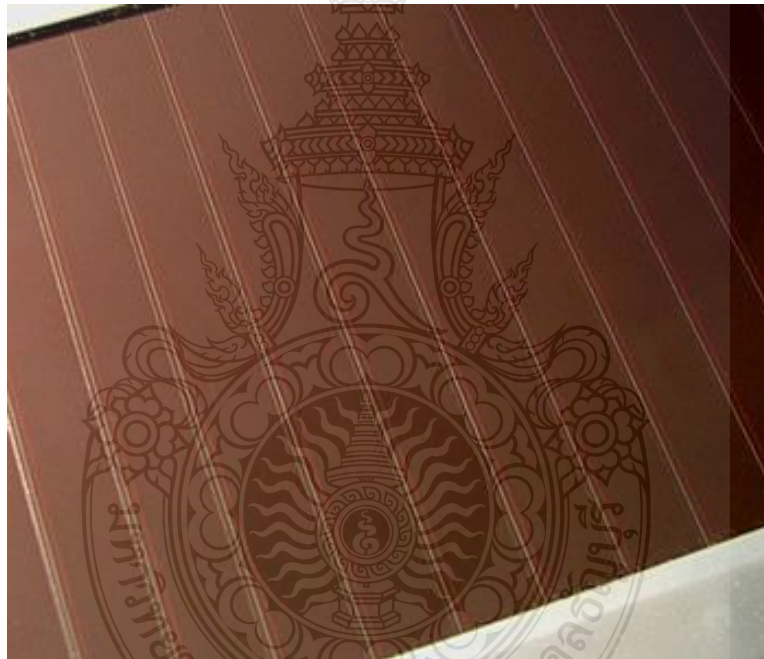
เมื่อส่องแสงอาทิตย์เข้าสู่เซลล์แสงอาทิตย์ ค่ากระแสไฟฟ้าโฟโต (photocurrent) ที่เซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตได้ จะขึ้นกับลักษณะของสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ และผลส่งผลตอบสนองเชิงสเปกตรัมของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งผลตอบสนองเชิงสเปกตรัม (spectral response) หมายถึง อัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าโฟโตลัดวงจร $J_{sc}(\lambda)$ ต่อพลังงานแสง $P(\lambda)$ ที่เซลล์แสงอาทิตย์นั้นได้รับ ซึ่งทั้ง $J_{sc}(\lambda)$ และ $P(\lambda)$ เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์ โดยผลตอบสนองเชิงสเปกตรัม มีหน่วยเป็น แอมแปร์/วัตต์ (A/W) ค่าว่า ประสิทธิภาพการรวบรวมพาหะ (collection efficiency) หมายถึง ค่าอัตราส่วนของจำนวนอิเล็กตรอนที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตต่อจำนวนโฟตอน ที่ตกกระทบบนที่บริเวณเซลล์แสงอาทิตย์ โดยประสิทธิภาพการรวบรวมพาหะเป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นแสง ซึ่งนิยามอีก 2 ชนิด คือประสิทธิภาพการรวบรวมพาหะภายใน (internal collection efficiency: η_{in}) หมายถึง ค่าประสิทธิภาพการรวบรวมพาหะในกรณี ที่สมมติว่าผิวที่ด้านรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่มีการสะท้อนแสง และค่าประสิทธิภาพของการรวบรวมพาหะภายนอก (external collection efficiency: η_{ext}) หมายถึง ประสิทธิภาพการรวบรวมพาหะกรณีผิวด้านรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ เกิดการสะท้อนแสง [1]

2.12 ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์

โดยทั่วไปแผงโซลาร์เซลล์นั้น จะทำมาจากซิลิกอน (Silicon) ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ แบบอะมอร์ฟัส (Amorphous) และชนิดเรียงผลึก (Multi aray) โดยแบบชนิดเรียงผลึกยังสามารถที่จะแบ่งย่อยๆได้อีกสองแบบ คือ แบบผสม (Poly crystalline) และแบบผลึกเดี่ยว (Mono crystalline) เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจนั้น จำเป็นที่จะต้องทราบถึงชนิด และความเหมาะสมของการใช้งานของแผงโซลาร์เซลล์ดังกล่าว

2.12.1 แผงโซลาร์เซลล์ ชนิด อะมอร์ฟัส

แผงโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มเคลือบบางๆ ลักษณะโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นสีดำ ตามรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แผงโซลาร์เซลล์ชนิดอะมอร์ฟัส [10]

โดยส่วนใหญ่ อะมอร์ฟัส จะผลิตแรงดันโวลต์สูง ประมาณ 36-60 โวลต์ และมีแอมแปร์ต่ำ จึงทำให้เหมาะสำหรับที่จะใช้กับระบบทำงานที่ต้องการแรงดันสูง เช่น ระบบปั้มน้ำ หรือระบบไฟฟ้าส่องสว่างที่มีระยะของสายไฟยาวๆ การใช้งานของ แผงอะมอร์ฟัสนั้น จะต้องมีการเลือกใช้อุปกรณ์ร่วมที่เหมาะสม เช่น เครื่องที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่ และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับแรงดัน โดยทั่วไป ไม่นิยมใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ เพียงลูกเดียว เพราะจะสูญเสียแรงดันไปโดยเปล่าประโยชน์

ถ้าแผงอะมอฟส มีขนาดแรงดันทำงานที่ 48-60 โวลต์ควรต่อแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ต่อแบบอนุกรม ให้มีแรงดันที่ 48 โวลต์ ซึ่งการต่อแบตเตอรี่ในลักษณะนี้ จะสามารถใช้ประโยชน์จากแผงโซลาร์เซลล์ ได้สูงสุด ข้อเสียของแผงชนิดนี้ คืออายุการใช้งานประมาณ 5-6 ปี ซึ่งถือว่าไม่มาก แต่จะมีราคาไม่แพง สามารถผลิตได้ในประเทศไทย โดยประสิทธิภาพของแผงชนิดนี้ไม่สูง ประมาณร้อยละ 5-6 เท่านั้น ดังนั้นการติดตั้ง แผงชนิดนี้จึงต้องอาศัยพื้นที่มาก [10]

2.12.2 แผงโซลาร์เซลล์ชนิดเรียงผลึก

แผงโซลาร์เซลล์นี้ทำโดยการเรียงตัวของวาฟเฟอร์ (wafers) หรือที่นิยมเรียกว่าเซลล์ (Cell) และนำมาเข้ากรอบโดยมีกระจกใสปิดอยู่ด้านหน้าวาฟเฟอร์ ที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำ ซึ่งอาจจะทำจากผลึกเดี่ยว หรือผลึกผสม ดังแสดงในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ก้อนวาฟเฟอร์ ก่อนจะตัดออกเป็นแผ่นเซลล์ [10]

เพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับมายังแผง ซึ่งอาจจะทำให้แผงโซลาร์เซลล์ เกิดความเสียหายได้สำหรับประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดนี้จะอยู่ที่ประมาณ ร้อยละ 12-15

2.12.4 แบบผลึกเดี่ยว (Mono crystalline)

โดยโซลาร์เซลล์ที่เป็นผลึกเดี่ยว ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะได้รับความสนใจจากผู้ใช้งาน เนื่องจากโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ มีประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่สูงถึง ร้อยละ 15 และราคาไม่แตกต่างจากโซลาร์เซลล์ชนิดผสม โดยเซลล์ผลึกเดี่ยวสามารถทำได้จากการนำซิลิกอนมาแยกผลึกให้เหลือแต่ชนิดของผลึกที่ต้องการ จากนั้นหล่อเป็นก้อนวาฟเฟอร์ และทำการตัดออกเป็นแผ่นบางๆ และนำเซลล์มาเรียงเป็นแผงโซลาร์เซลล์ต่อไป แสดง ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 แผง โซลาร์เซลล์ชนิดผลึกเดี่ยว [10]

แผ่นเซลล์จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด และรูปร่างของเซลล์ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตการนำไปใช้งานเหมือนกับแผงโซลาร์เซลล์แบบผลึกผสม ซึ่งสามารถพิจารณาคุณสมบัติแผงโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ได้ตามตารางนี้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์แบบผลึกเดี่ยว [10]

Wp (W)	Electricity Performance Parameter				Module size	Installation Size (mm)			Weight
	Vmp (V)	Imp (A)	Ise (A)	Voc (V)	L × W × H (mm)	A/A1	B	Hole size	(kg)
165	36.0 +- 0.5	4.78 +- 0.20	5.53 +- 0.20	44.0 +- 0.5	1573×823×46.50	1200/600	788	10 +- 7.0	~15.0
90	18.0 +- 0.5	4.79 +- 0.20	5.22 +- 0.20	22.0 +- 0.5	1196×534×25	930/465	495	6 +- 6.4	~7.0
85	18.5 +- 0.5	4.66 +-0.20	5.09 +- 0.20	22.0 +- 0.5	1196×534×25	930/465	495	6 +- 6.4	~7.0
80	17.5 +- 0.5	4.53 +- 0.20	4.91 +- 0.20	22.0 +- 0.5	1196×534×25	930/465	495	6 +- 6.4	~7.0
75	17.5 +- 0.5	4.34 +- 0.20	4.94 +- 0.20	22.0 +- 0.5	1196×534×25	930/465	495	6 +- 6.4	~7.0
53	17.5 +- 0.5	3.12 +- 0.20	3.50 +- 0.20	21.0 +- 0.5	786×531×25	600	495	4.6 +- 6.4	~5.0
40	17.5 +- 0.5	2.34 +-0.20	2.62 +- 0.20	21.0 +- 0.5	626×531×25	415	495	4.6 +-6.4	~3.6
20	17.5 +- 0.5	1.20 +- 0.20	1.34 +- 0.20	21.0 +- 0.5	621×281×25	415	245	4.6 +- 6.5	~2.2
15	18.5 +-0.5	0.82 +- 0.20	0.88 +- 0.20	22.0 +- 0.5	421×301×25	220	264	4.6 +- 6.5	~1.5
10	17.5 +-0.5	0.60 +- 0.20	0.66 +- 0.20	21.0 +- 0.5	356×301×25	190	264	4.6 +-6.5	~1.4
5	18.0 +-0.5	0.29 +-0.20	0.33 +- 0.20	21.0 +- 0.5	291×205×25				~0.9

จากตารางที่ 2.2 จากการพิจารณาที่แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 10 วัตต์ จะมีแรงดันที่ 17.5 โวลต์ และมีกระแสใช้งานที่ 0.60 แอมแปร์ และเมื่อพิจารณาแผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 20 วัตต์ ซึ่งจะมีแรงดันเท่ากันคือ 17.5 โวลต์ แต่จะมีกระแสสูงขึ้นคือ 1.2 แอมแปร์ นั้นหมายความว่าวัตต์เพิ่มขึ้น จาก 10 วัตต์ เป็น 20 วัตต์ มีเฉพาะแอมแปร์ของแผงโซลาร์เซลล์เท่านั้น ที่เพิ่มขึ้นซึ่งคุณสมบัตินี้ทำให้แผงโซลาร์เซลล์ง่ายต่อการใช้งาน เช่นถ้าต้องการใช้แผงโซลาร์เซลล์ เป็นระบบชาร์จไฟให้กับแบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ ขนาด 12 แอมแปร์ ควรจะใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาดใด จากตารางที่ 2.2 พบว่าโวลต์ของแผงโซลาร์เซลล์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 17-18 โวลต์ ซึ่งสามารถต่อชาร์จเข้ากับแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ โดยผ่านไดโอดได้ แต่ขึ้นอยู่กับขนาดของแอมแปร์ที่เลือก ว่าต้องการแผงโซลาร์เซลล์ขนาดกี่แอมแปร์ โดยถ้าเลือกชนิดแผงโซลาร์เซลล์ที่มีแอมแปร์สูง จะทำให้การชาร์จแบตเตอรี่เต็มเร็วมากขึ้นขนาดวัตต์ของโซลาร์เซลล์จะมีค่ามากขึ้น และแผงขนาดใหญ่ ซึ่งจะทำให้มีราคาเพิ่มสูงขึ้น โดยปกติแล้วในการชาร์จแบตเตอรี่ตามมาตรฐานของผู้ผลิตแบตเตอรี่ จะถูกกำหนดให้การชาร์จปกติไว้ให้น้อยกว่า 10 เท่าของแอมแปร์ ดังนั้น เมื่อขนาดแบตเตอรี่ 12 แอมแปร์ ควรจะเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาดไม่ควรเกิน 1.2 แอมแปร์ จากตารางที่ 2.2 จะพบว่าควรเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ที่มีขนาด 20 วัตต์ ทั้งนี้การเลือกแผงยังขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานอีกด้วย โดยอาจจะเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ที่มีขนาด 5 วัตต์หรือ 10 วัตต์ ก็ได้เพียงแต่แบตเตอรี่จะใช้เวลามากกว่าเท่านั้น

2.13 การพิจารณาแผงโซลาร์เซลล์

แผงโซลาร์เซลล์ที่ขายโดยทั่วไปมีหลายเกรดให้เลือกแต่ส่วนใหญ่ราคาจะเท่ากันเนื่องจากผู้บริโภคมองขาดความรู้เรื่องการเลือกซื้อแผงโซลาร์เซลล์ โดยทั่วไปแล้ว วาฟเฟอร์ ที่อยู่ด้านในของแผงจะมีคุณภาพ หรือคุณสมบัติใกล้เคียงกัน แต่จะมีบางส่วนแตกต่างกัน ในรายละเอียดของการเข้ากรอบและวัสดุที่ใช้ทำกรอบ สำหรับการพิจารณาเบื้องต้นนั้น ควรพิจารณาถึงการรับรองของแผงโซลาร์เซลล์ว่าได้รับการรับรองจากสถาบันไหน และเชื่อถือได้มากหรือน้อยเพียงใด โดยปกติแล้วแผงโซลาร์เซลล์จะได้รับการตรวจรับรอง IEC61215 ของมหาวิทยาลัย Arizona ในสหรัฐอเมริกา แต่ว่าการรับรองผลของสถาบันนี้มีราคาสูงมากจึงทำให้ผู้ผลิตขอใบรับรองเฉพาะรุ่นที่มีขนาดกำลังวัตต์สูงๆ ด้วยเหตุนี้ อาจไม่มีใบรับรองทุกรุ่นแต่สามารถพิจารณาจากใบรับรอง CE ได้ นอกจากนี้เพื่อให้ได้แผงโซลาร์เซลล์ที่ดีและมีอายุการใช้งานได้นาน ควรพิจารณาเบื้องต้นดังนี้

2.13.1 แผงโซลาร์เซลล์ที่ดีควรมีกรอบที่แข็งแรง มีความหนาพอสมควร เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและติดตั้ง



รูปที่ 2.29 แผงโซลาร์เซลล์ที่ดีควรมีกรอบที่แข็งแรง มีความหนาพอสมควร

2.13.2. กระจกที่ใช้ปิดแผงควรเป็นกระจกตัดเงา หรือสามารถช่วยลดการสะท้อนของแสง กระจกชนิดนี้จะช่วยให้แผงโซลาร์เซลล์ผลิตกำลังไฟฟ้าได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

2.13.3. การเชื่อมต่อเซลล์ภายในของแต่ละเซลล์ ต้องมีความเรียบร้อย ขนาดของเซลล์ภายในแผงควรที่จะเท่ากัน เนื่องจากขนาดของเซลล์ที่ต่างกันจะทำให้ผลิตแรงดันที่ต่างกันจึงอาจจะทำให้แผงโซลาร์เซลล์มีอายุการใช้งานที่สั้นลง



รูปที่ 2.30 การเชื่อมต่อเซลล์ภายใน ของแต่ละเซลล์

2.13.4. การประกอบเข้ากรอบต้องมีความเรียบร้อยมีการป้องกันน้ำซึมเป็นอย่างดี ไม่มีรอยของการซ่อมแซม

2.13.5 ด้านหลังแผงมีกล่อง สำหรับเชื่อมต่อสะดวกต่อการต่อใช้งาน ต้องมีความแข็งแรง มีระบบป้องกันน้ำป้องกันฝุ่นได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.31 กล่องสำหรับเชื่อมต่อสายไฟกันน้ำและป้องกันฝุ่น

2.13.6 นอกจากนี้แผงที่ดีภายในกล่องสำหรับต่อสายไฟควรจะมีส่วนประกอบด้วยไดโอด เพื่อป้องกันการย้อนกลับของกระแสไฟจากแบตเตอรี่ ที่ส่งมายังแผงโซลาร์เซลล์จากความถี่ในการเลือกแผงโซลาร์เซลล์เพียงเท่านี้จะทำให้สามารถเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ที่ได้มาตรฐาน และมีอายุการใช้งานที่ยืนยาว นอกจากการเลือกแผงโซลาร์เซลล์ที่ดี

2.14 โซลาร์เซลล์ การออกแบบและเชื่อมต่อระบบโซลาร์เซลล์

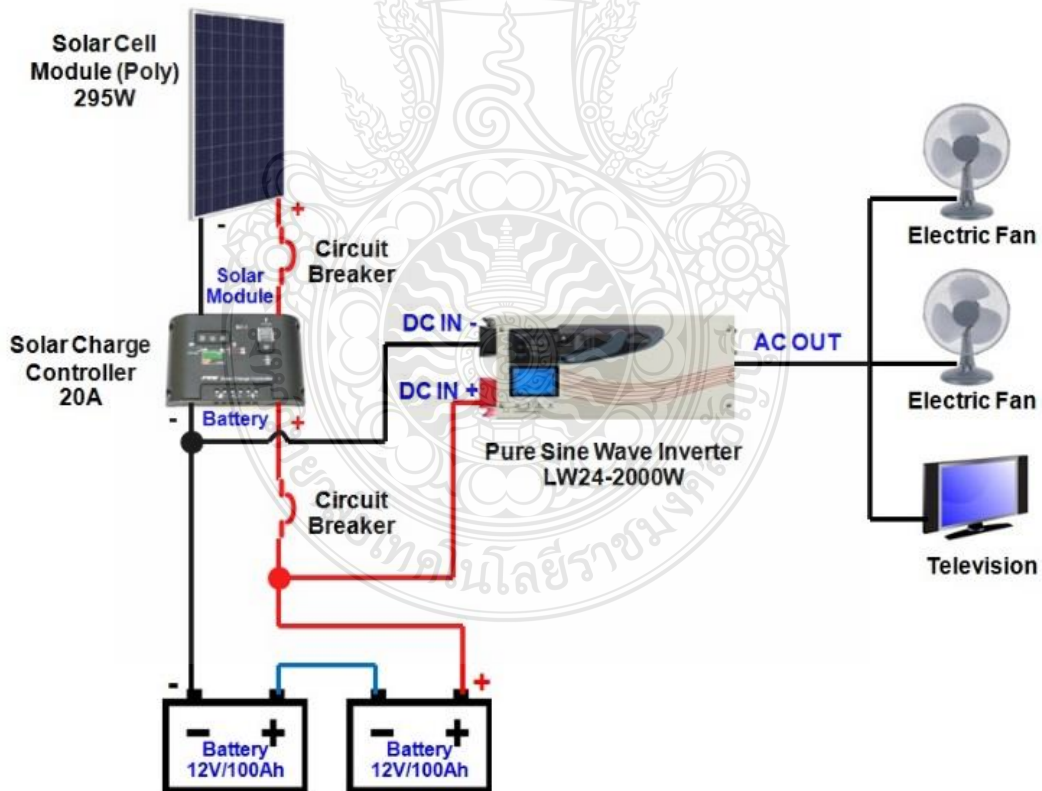
2.14.1 การออกแบบระบบโซลาร์เซลล์แบบออฟกริด (Off Grid Solar System Design) จะต้องทำการคำนวณค่าต่างๆ ดังนี้

2.14.1.1 ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดและจำนวนของแผงโซลาร์เซลล์

2.14.1.2 ขนาดความจุรวมของแบตเตอรี่

2.14.1.3 ขนาดของอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

2.14.1.4 ขนาดของเครื่องควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ (Solar Charge Controller)



รูปที่ 2.32 ตัวอย่างการเชื่อมต่อระบบโซลาร์เซลล์ [11]

2.15 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรส่วนสำคัญที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณาการนำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนกระทั่งการนำไปคำนวณระบบ หรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

2.15.1 ความเข้มแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่า เมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์ จะมีผลตามความเข้มของแสงไม่มากนัก โดยความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐาน คือความเข้มแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอก และจะวัดที่ระดับน้ำทะเลในลักษณะที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงที่ได้นั้นจะมีค่าเท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศา กับพื้นโลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 750 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง [11]

2.15.2 อุณหภูมิเซลล์

กระแสไฟ (Current) จะไม่สามารถแปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป โดยในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศา ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง ร้อยละ 0.5 และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ V_{oc}) ที่ 21 โวลต์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่าแรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์นั้น เมื่อยังไม่ได้มีการต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 โวลต์ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ยกตัวอย่าง เช่น มีค่าอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้มีค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลงถึง ร้อยละ 2.5 (ร้อยละ 0.5 x 5 องศาเซลเซียส) นั่นคือ ทำให้แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ V_{oc} จะลดลง 0.525 โวลต์ (21 โวลต์ x ร้อยละ 2.5) เหลือ 20.475 โวลต์ (21 โวลต์ - 0.525 โวลต์) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วยจากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้นก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์นั้น จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่าใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่น แผงชนิดหนึ่งให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ความเข้มแสง 1,200 วัตต์ต่อตารางเมตร ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร

และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส แล้วจะพบว่าแสงที่ระบุไว้ว่ามีค่ากำลังไฟฟ้า 80 วัตต์ นั้น มีกำลังไฟฟ้าต่ำกว่า สาเหตุดังกล่าวควรคำนึงถึงข้อกำหนดนี้ในการเลือกแผงแต่ละชนิดด้วย [11]

2.15.3 จำนวนเซลล์

โดยปกติเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิกอนจะมีแรงดันไฟฟ้า ประมาณ 0.5 โวลต์ ต่อเซลล์ ในการนำเซลล์ไปใช้งานจะต้องนำเซลล์มาต่อกันในลักษณะอนุกรมเพื่อที่จะให้แรงดันไฟฟ้า วงจรเปิดให้สูงขึ้น โดยจะมีผลต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรน้อยมาก

2.15.4 พื้นที่เซลล์

โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของบริเวณเซลล์ ที่มีแสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ และที่มีพื้นที่รับแสงมากกว่าจะมีกระแสไฟฟ้าลัดวงจรมากกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่รับแสงน้อย

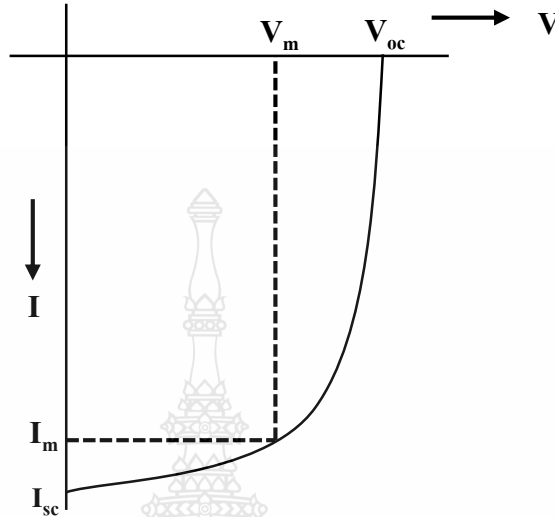
2.15.5 ประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภท ที่ใช้ในปัจจุบันมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า ที่แตกต่างกัน ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิเดียวกันนั้น เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวจะให้ค่าการผลิต กระแสไฟฟ้าสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผ่นบางแต่ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกเดี่ยวจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผ่นบาง

2.15.6 ฝุ่นละออง

โดยผลกระทบของฝุ่น และเงานั้นเป็นปัญหาที่สำคัญของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มุมตกกระทบ 0 ถึง 50 องศา ฝุ่นสามารถจะทำให้ปริมาณของแสงที่ตกกระทบลงบนเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าลดลงได้ถึง ร้อยละ 2.7 และถ้าหากทำการทดสอบ โดยเป็นระยะเวลายาวจะส่งผลทำให้สมรรถนะ แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ลดลงประมาณ ร้อยละ 1 เนื่องจากความสกปรกบนผิวกระจกเมื่อไม่มีฝนตก เป็นเวลา 1 เดือน แสงที่ส่องผ่านกระจกที่ทำมุมเอียง 45 องศา ลดลง ร้อยละ 8

2.16 สมรรถนะการทำงานและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.33 แสดงลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

จากรูปที่ 2.33 โดยเป็นการแสดงค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วิธีการวัดค่าทางไฟฟ้า เมื่อ I_m และ V_m แทนค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดที่ทำให้กำลังไฟฟ้าที่เอาต์พุตมีค่าสูงสุด จากรูปที่ 2.33 ค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดคือ จุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ส่วน I_{sc} นั้นแทนกระแสไฟฟ้ลัดวงจร ซึ่งเป็นการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยตรงที่จุดเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่ใช่ตัวต้านทาน หรือวงจรทางไฟฟ้า และ V_{oc} แทนความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด วิธีการวัดค่าใช้วิธีเดียวกันกับการวัดกระแสไฟฟ้าวงจรปิด ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานหรือ ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์หาได้จาก

จากสมการ

$$\eta_{pv} = \frac{P_m}{P_i A} \quad (2.46)$$

เมื่อ $P_m = I_m V_m$

P_m = แทนกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากแสงอาทิตย์ หน่วยคือ วัตต์

P_i = แทนความเข้มแสงอาทิตย์ หน่วยคือ วัตต์ต่อตารางเมตร

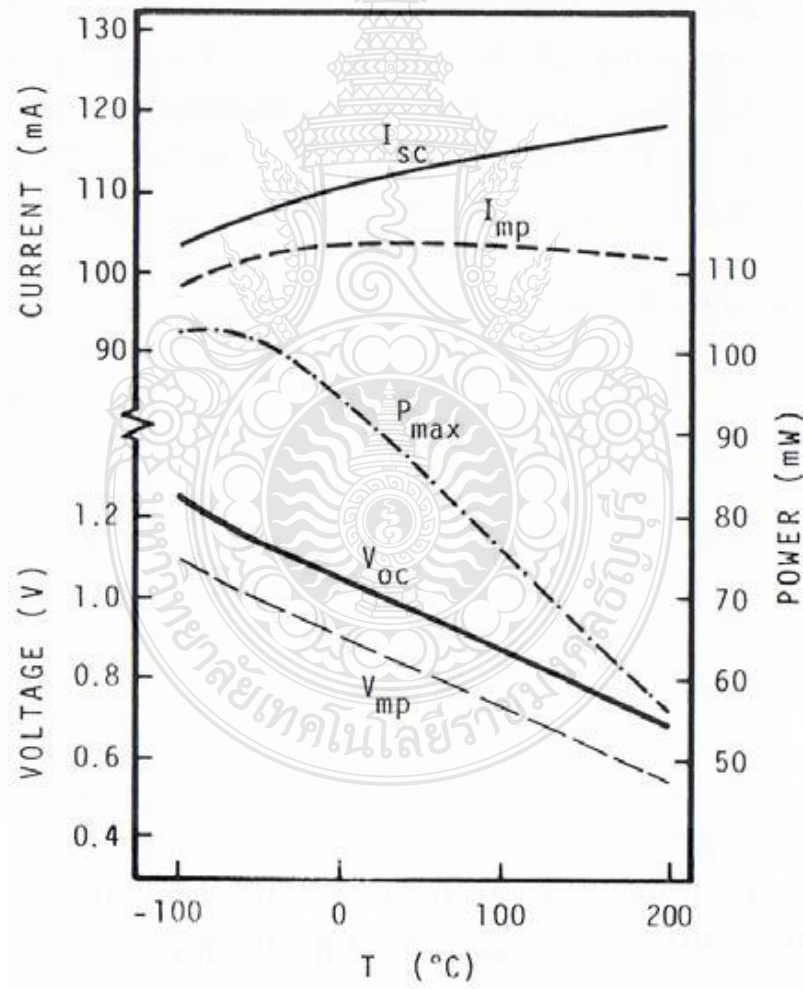
A = แทนพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ หน่วยคือ ตารางเมตร

โดยในส่วนที่อัตราส่วนระหว่าง $I_m V_m$ กับ $I_c V_c$ เรียกว่า ฟิลล์แฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะเขียนสมการฟิลล์แฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ว่า

$$FF = \frac{I_m V_c}{I_{sc} V_{oc}} \quad (2.47)$$

และ $P_m = I_m V_m = FF(I_{sc} V_{oc})$ เมื่อแทนค่าเหล่านี้ลงในสมการ (2.46) จะได้ว่า

$$\eta_{PV} = \frac{FF(I_{sc} V_{oc})}{P_i} \quad (2.48)$$

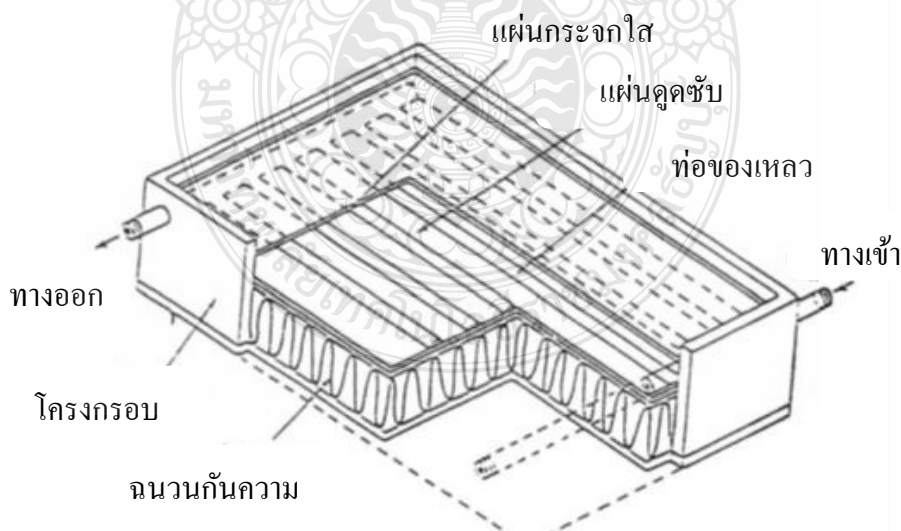


รูปที่ 2.34 แสดงตัวแปรค่าทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ [4]

จากรูปที่ 2.34 ได้แสดงค่ากราฟของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของค่าต่างๆทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด AlGaAs/GaAs กับค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น จะส่งผลให้ตัวแปรค่าต่างๆทางไฟฟ้าบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

2.17 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.35 แสดงถึงวัสดุภายใน โดยการทำน้ำให้ร้อนด้วยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ นับว่าเป็นการเลียนแบบธรรมชาติอย่างหนึ่ง เพราะน้ำที่อยู่ในแหล่งน้ำในที่โล่งแจ้งตามธรรมชาติย่อมได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ตลอดเวลา โดยน้ำในส่วนที่อยู่บริเวณผิวน้ำเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โมเลกุลของน้ำจะดูดซับเอาพลังงานความร้อนไว้ อุณหภูมิจึงสูงขึ้น ในขณะที่ระดับลึกลงไปอุณหภูมิของน้ำจะลดลงตามความลึกของระดับน้ำ แบบอย่างจาก ธรรมชาตินี้แม้กระทั่งในปัจจุบัน แหล่งที่มีอากาศหนาวยังมีคนนำน้ำมาตากแดด ไว้เพื่อสำหรับอาบชำระร่างกาย หรือนำมาใช้ประโยชน์อย่างอื่นมากมาย จากการเลียนแบบธรรมชาตินี้ ทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มาจนแล้ว โดยในปัจจุบันถือว่าเป็นสินค้าเชิงพาณิชย์ โดยหลักการของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และวิธีผลิตไม่ยุ่งยากมากนัก จึงเป็นเทคโนโลยีที่น่าส่งเสริมให้มีการใช้กันให้แพร่หลายมากขึ้นซึ่งจะช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดทีเดียว



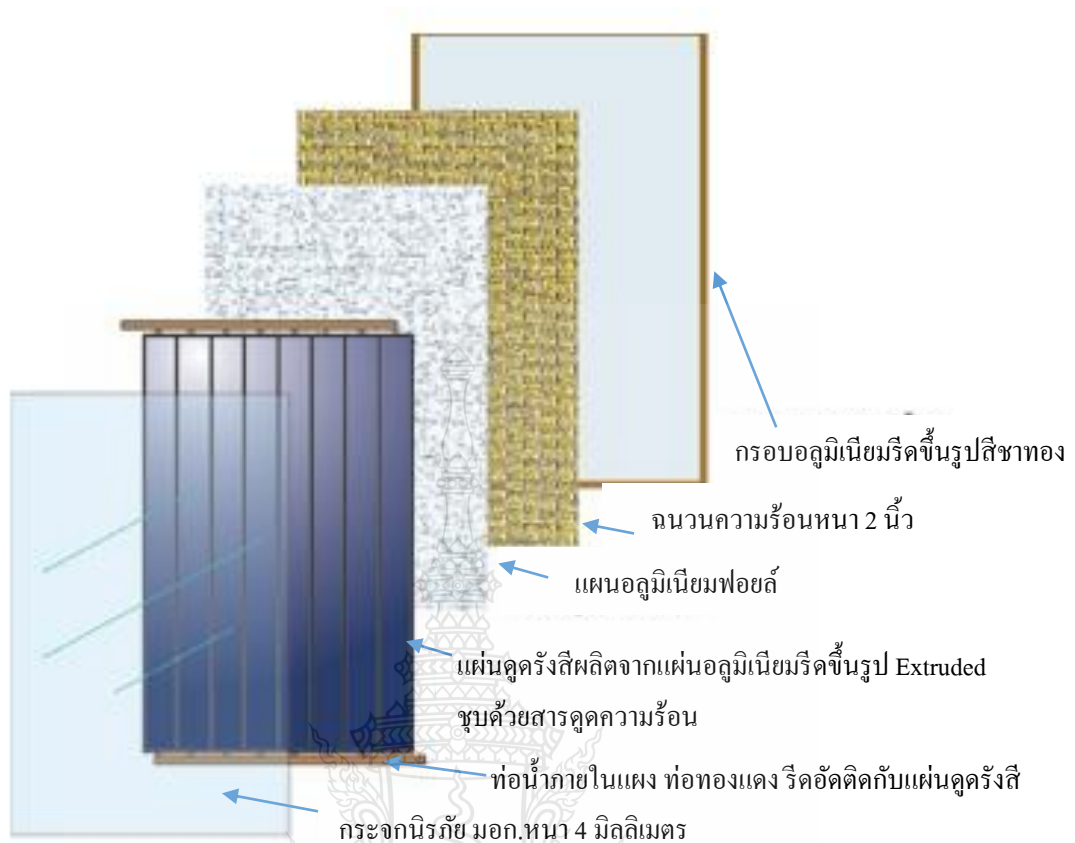
รูปที่ 2.35 แผงสะสมความร้อนแบบเรียบใช้ของเหลวเป็นสารทำงาน [7]



รูปที่ 2.36 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ [12]

2.17.1 ส่วนประกอบของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

2.17.1.1 โดยแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (solar flat plate collector) มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมแบนเป็นส่วนที่รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ จากรูปที่ 2.36, 2.37 และมีการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่ไหลอยู่ในท่อทองแดงซึ่งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีส่วนประกอบสำคัญคือ (1) แผ่นกระจก ที่ใช้สำหรับปิดบริเวณด้านบนของกล่อง โดยจะใช้กระจกนिरภัย ซึ่งมีความทนทานต่อแรงกระแทก และความร้อนจากแสงอาทิตย์ แผ่นกระจกจะช่วยกักเก็บความร้อนให้อยู่ภายในกล่อง ซึ่งจะเป็นการป้องกันการสูญเสียความร้อนให้กับบรรยากาศ (2) แผ่นคูริงลี ซึ่งทำหน้าที่ดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ และถ่ายเทความร้อนผ่านท่อทองแดงให้กับน้ำที่ไหลอยู่ในบริเวณท่อทองแดง แผ่นคูริงลีส่วนใหญ่จะทำมาจากอะลูมิเนียม และถูกเคลือบด้วยสารที่มีคุณสมบัติในการคูริงลีสูง (3) ท่อลำเลียงน้ำ โดยเป็นท่อสำหรับให้น้ำไหลผ่านภายในของส่วนที่รับแสงอาทิตย์ ท่อนี้จะถูกอัดติดกับแผ่นคูริงลี ส่วนใหญ่จะใช้ท่อทองแดงเพราะมีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนให้น้ำที่อยู่ภายในได้ดี ทนต่อการกัดกร่อนไม่เป็นสนิม และรับแรงดันได้สูง



รูปที่ 2.37 ส่วนประกอบสำคัญของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ [12]

2.17.1.2 ถังเก็บน้ำร้อน

จากรูปที่ 3.38 ถังน้ำร้อนทำด้วยสแตนเลสไม่เป็นสนิมสามารถทนความดันได้สูงกว่า 6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ภายในถังได้ออกแบบให้สามารถกักเก็บ และจ่ายน้ำร้อนโดยไม่ปนกับน้ำเย็นที่ไหลเข้า และยังเก็บน้ำร้อนไว้ได้นานเนื่องจากหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ภายนอกถังถูกหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียมขึ้นรูปเพื่อเกิดให้ความคงทนและแข็งแรง แล้วปิดด้วยฝาครอบชนิด สแตนเลส ที่ไม่เป็นสนิม

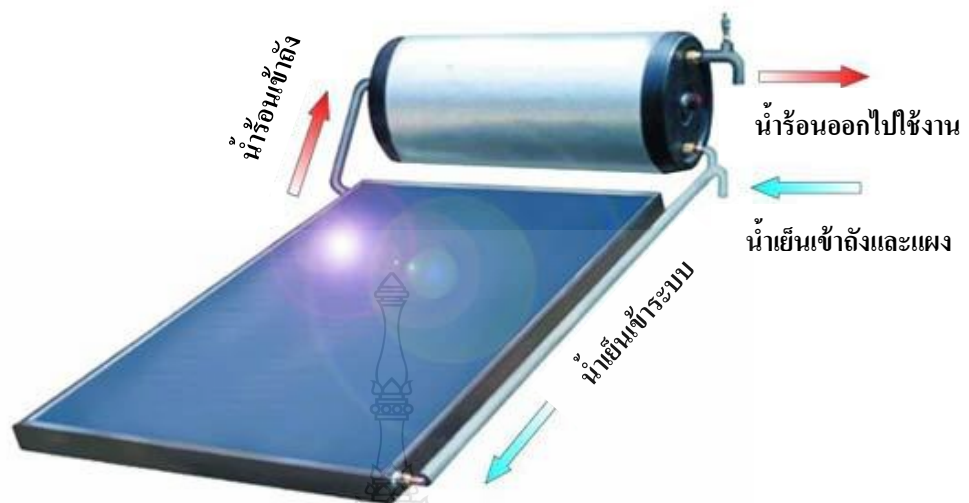


รูปที่ 2.38 ถังน้ำร้อนทำด้วยสแตนเลสไม่เป็นสนิม [12]

2.18 ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งได้เป็น 3 ระบบใหญ่ๆดังนี้

2.18.1 ระบบน้ำไหลเวียนตามธรรมชาติ

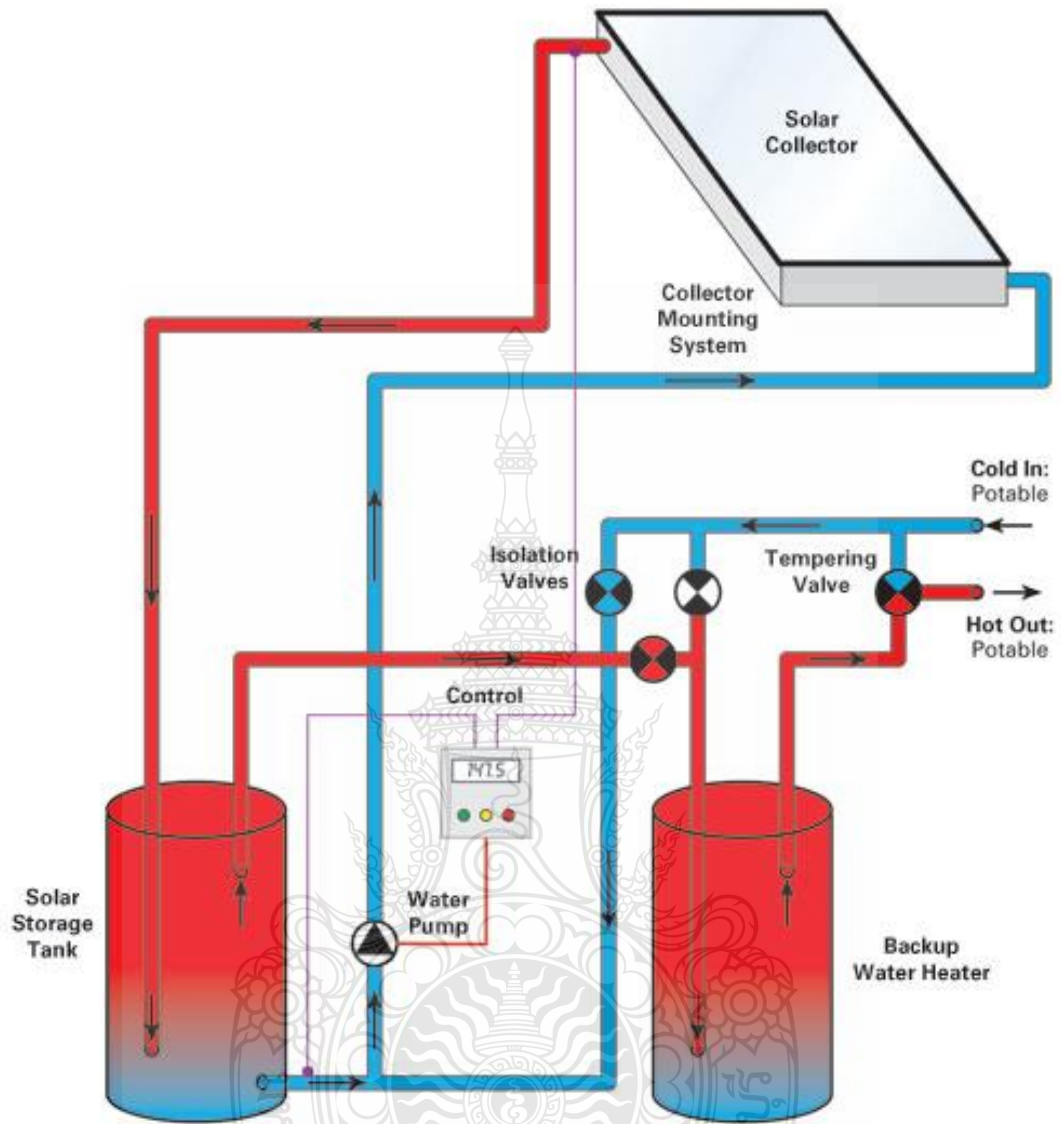
จากรูปที่ 2.39 นิยมใช้กับระบบเล็กๆ เช่น ตามบ้านพักอาศัย การไหลของน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของน้ำร้อนในแผงรับแสงอาทิตย์ โดยเมื่อเวลาได้รับแสงจากดวงอาทิตย์น้ำร้อนจะขยายตัวและลอยขึ้นสู่ด้านบนของแผง ไหลเข้าส่วนบนของถังหม้อจนวน น้ำเย็นจากถังจะไหลเข้าแทนที่ทางด้านล่างของแผง น้ำจะไหลเวียนเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ระบายเท่าที่แผงรับแสงยังได้รับแสงอาทิตย์ ข้อจำกัดของระบบนี้ จะต้องวางถังให้สูงกว่าแผงเสมอ เพื่อให้เกิดการไหลเวียนของน้ำร้อน โดยถังถังควรจะต้องสูงกว่าส่วนบนสุดของแผง ประมาณ 30 - 60 เซนติเมตร ทั้งนี้เพื่อป้องกันการไหลเวียนกลับของทิศทางน้ำร้อนในเวลากลางคืน ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนจากน้ำร้อนในถังไปสู่อากาศแวดล้อม นอกจากนี้จะต้องเดินท่อซึ่งต่อระหว่างแผง และถังด้วยท่อขนาดใหญ่อพอสมควร เพื่อให้ น้ำไหลได้สะดวกที่สุด โดยพยายามลดการใช้ข้องอ หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่จะมีผลทำให้การไหลของน้ำสะดุด [12]



รูปที่ 2.39 แสดงระบบน้ำไหลเวียนตามธรรมชาติ [12]

2.18.2 ระบบน้ำไหลเวียนโดยการบังคับ (Thermo Control)

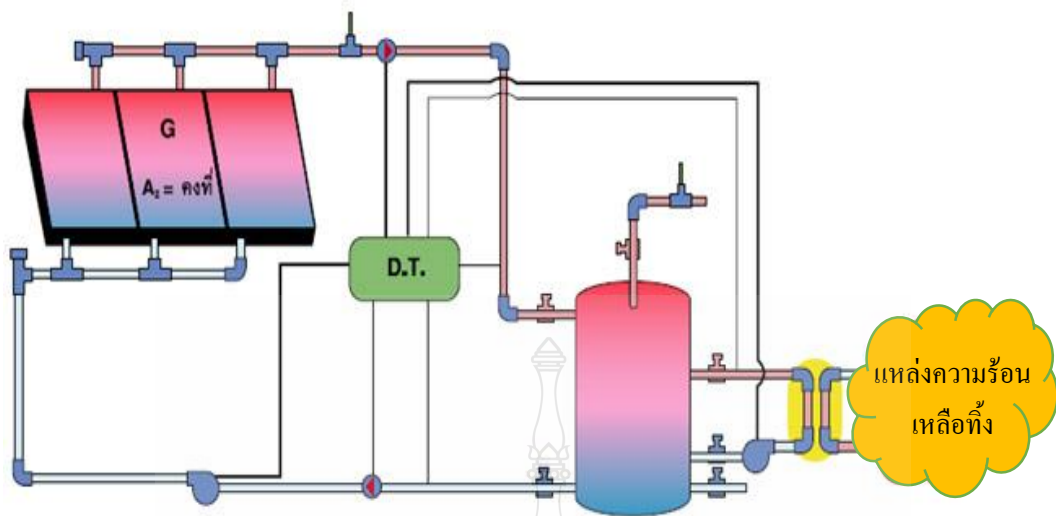
ระบบน้ำไหลเวียนโดยการบังคับจากรูปที่ 2.40 นิยมใช้กับระบบกลางถึงระบบใหญ่ เช่น โรงแรม โรงพยาบาล โรงงานอุตสาหกรรม ฯลฯ โดยระบบนี้จะถูกนำมาติดตั้งเพื่อการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้วิธีการไหลของน้ำเย็นที่เกิดจากการบังคับด้วยปั๊มน้ำ เมื่อน้ำในแผงของ SP Collector สะสมความร้อนจากแสงอาทิตย์จนทำให้ได้อุณหภูมิสูงถึงค่า ค่าหนึ่งที่ตั้งไว้ ตัวอย่าง เช่น 65 องศาเซลเซียส Thermostat จะส่งสัญญาณให้ Controller สั่งปั๊มน้ำให้ทำการดูดน้ำเย็นจากถังหมั่นจนวน ดันเข้าสู่ด้านล่างของแผง SPC เพื่อแทนที่ของน้ำร้อน ซึ่งน้ำร้อนนั้นจะถูกดันให้ไหลเข้าส่วนบนของถังหมั่นจนวนจนหมด น้ำเย็นจะถูกบรรจุเต็มอยู่ในแผง SPC จากนั้น Controller ก็จะสั่งให้ปั๊มน้ำให้หยุด น้ำเย็นในแผง SPC ก็จะเริ่มสะสมความร้อนจากแสงอาทิตย์ต่อไป จนอุณหภูมิสูงขึ้นถึงค่าที่ตั้งไว้โดย Thermostat จะส่งสัญญาณให้กับ Controller สั่งปั๊มน้ำให้ทำงานเป็นลำดับขั้นต่อไป ระบบก็ทำงานไหลเวียนเป็นวัฏจักร トラบที่ยังมีแสงอาทิตย์ตกกระทบบแผง Solar Power Collector [12]



รูปที่ 2.40 ระบบน้ำไหลเวียนโดยการบังคับ [12]

2.18.3 ระบบน้ำไหลเวียนแบบผสมผสาน

ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน จากรูปที่ 2.41 เป็นการนำเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ ผสมผสานกับความร้อนเหลือทิ้ง จากการระบายความร้อนของเครื่องทำความเย็นหรือเครื่องปรับอากาศที่ใช้โดยทั่วไป โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เพื่อที่จะได้ลดขนาดพื้นที่แผงรับรังสีความร้อน และใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า ทั้งยังเป็นการลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานเชิงพาณิชย์ในการผลิตน้ำร้อน



รูปที่ 2.41 ระบบน้ำไหลเวียนแบบผสมผสาน [12]

2.18.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสี

รูปแบบการคำนวณค่าของปริมาณความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีที่มีรูปแบบที่ง่าย โดยใช้สมการเชิงเส้นในการคำนวณ ดังนั้น กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี h_r เพื่อที่จะพิจารณาการแผ่รังสีพื้นผิวทั้งสอง ดังสมการ

$$Q = A_1 h_r (T_1 - T_2) \quad (2.49)$$

โดยที่

$$h_r = \frac{\sigma(T_2^2 + T_1^2)(T_2 - T_1)}{\frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{(1 - \epsilon_2)A_1}{\epsilon_2 A_2}} \quad (2.50)$$

ถ้าพื้นที่ A_1 และ A_2 ไม่เท่ากันค่า h_r จะขึ้นกับ A_1 และ A_2 และถ้า T_1 และ T_2 นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน สมการที่ (2.50) จะแสดงอยู่ในรูป $4\sigma\bar{T}^3$ โดยที่ \bar{T} คือค่าอุณหภูมิเฉลี่ย

$$4\sigma\bar{T}^3 = \sigma(T_2^2 + T_1^2)(T_2 - T_1) \quad (2.51)$$

2.18.5 การไหลภายในท่อ

กรณีการไหลแบบปั่นป่วนที่พัฒนาเต็มรูปแบบ (Fully Developed Turbulent Flow) ในท่อ ($Re = \rho v D_h / \mu > 2200$) Kays & Crawford (1980) [24] แนะนำให้ใช้สมการ Petukhov

$$Nu = \frac{(f/8) Re Pr}{1.07 + 12.7 \sqrt{f/8} (Pr^{2/3} - 1)} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^n \quad (2.52)$$

เมื่อ $n = 0.11$ สำหรับการทำความร้อน และ 0.25 สำหรับการทำความเย็น ค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน กรณีที่ผิวเรียบหาได้จาก

$$f = (0.79 \ln Re - 64)^{-2} \quad (2.53)$$

กรณีไม่ใช่ท่อกลมต้องใช้เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (Hydraulic Diameter)

$$D_h = \frac{4(\text{flow area})}{\text{wetted perimeter}} \quad (2.54)$$

สำหรับท่อสั้นที่มีค่า L/D มากกว่า 1.0 และทางเข้าเป็นมุมแหลม (Sharp-Edged Entry) Mcadams (1954) [25] ได้เสนอสมการ

$$Nu_{short} = Nu_{long} \left[1 + \left(\frac{D}{L} \right)^{0.7} \right] \quad (2.55)$$

สำหรับการไหลแบบราบเรียบ $Nu = 3.7$ (อุณหภูมิผิวคงที่) และ $Nu = 4.4$ (ฟลักซ์ความร้อนคงที่) สำหรับท่อสั้นและชั้นขอบเขตความร้อนและการเคลื่อนที่ของไหลที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ที่เพิ่มขึ้นบริเวณทางเข้า Heaton (1964) [26] มีสมการดังนี้

$$Nu = Nu_\infty \frac{a(Re Pr Dh/L)^m}{1 + b(Re Pr Dh/L)^n} \quad (2.56)$$

ค่าคงที่ a, b, m และ n ดังตารางที่ 2.3 ค่าคงที่ในสมการที่ (2.56) ให้ไว้ในตารางที่ 2.4 ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่ในสมการที่ (2.56) สำหรับท่อกลมที่มีอัตราการให้ความร้อนคงที่

Pr	a	b	m	n
0.7	0.00398	0.0114	1.66	1.12
10	0.00236	0.00857	1.66	1.13
∞	0.00172	0.00281	1.66	1.21

$Nu_{\infty} = 4.4$

ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่ในสมการที่ (2.56) สำหรับท่อกลมที่มีอุณหภูมิผนังคงที่

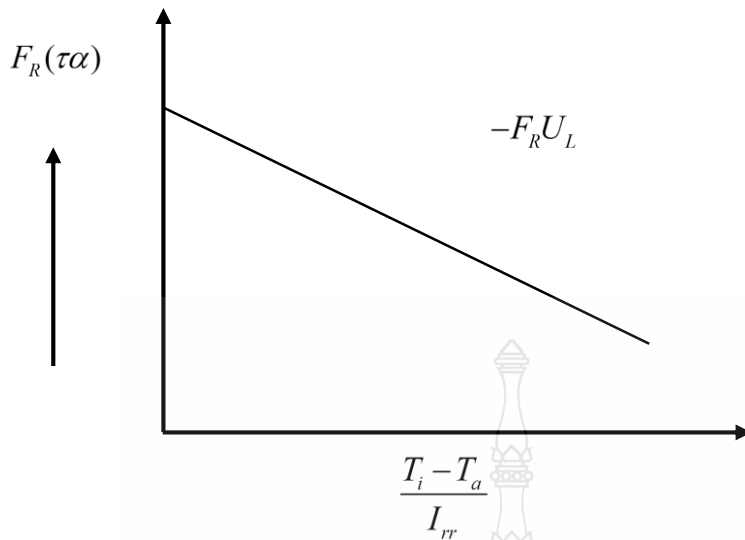
Pr	a	b	m	n
0.7	0.0791	0.0331	1.15	0.82
5	0.0534	0.0335	1.15	0.82
∞	0.0461	0.0316	1.15	0.82

$Nu_{\infty} = 3.7$

2.18.6 การคำนวณประสิทธิภาพของแผงผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{A_c \cdot I_{rr}} = \frac{\dot{m} c_p \Delta T}{A_c \cdot I_{rr}} \quad (2.57)$$

เมื่อ	η	=	ประสิทธิภาพของแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
	\dot{Q}	=	พลังงานความร้อน
	\dot{m}	=	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ
	c_p	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่
	ΔT	=	ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทางออก
	A_c	=	พื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ของแผง
	I_{rr}	=	ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.42 แสดงการหาประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ [7]

2.19 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบ PV/T พบว่า การศึกษาเกี่ยวกับระบบนี้มีทั้งการศึกษาเชิงวิเคราะห์ ศึกษาจากแบบจำลอง และการศึกษาเชิงทดลอง ซึ่งมีการเริ่มศึกษามากกว่า 25 ปี ซึ่งเกือบทั้งหมดนั้น เป็นผลการศึกษาที่ใช้ในระบบขนาดเล็ก โดยผลการศึกษาพบว่าระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง ร้อยละ 5–20 สำหรับผลการศึกษาเชิงทดลองที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

Lalovic [18] ทำการสร้างและทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบไม่มีรูปผลึก (amorphous silicon photovoltaic cells) การทดสอบพบว่าระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าผลคูณการส่งผ่านและการดูดกลืนความร้อน ($\tau\alpha$) มีค่าต่ำเท่ากับ 0.53 และมีค่าความชันของเส้นลักษณะเฉพาะของสมรรถนะก็มีค่าต่ำเช่นกันมีค่าเท่ากับ 3.25 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อองศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังเสนอว่า เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์การใช้สาร indium tin oxide (ITO ซึ่งจะยอมให้สเปกตรัมความยาวคลื่นสูงกว่า 0.5 ไมโครเมตร ผ่านได้) นำมาเคลือบผิวด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้รังสีแสงอาทิตย์บางส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืนโดยชั้นของเซลล์จะสามารถผ่านไปยังแผ่นดูดซับความร้อน (absorber plate) ซึ่งเป็นสีดำได้

Sopian และคณะ [19] ได้ทำการสร้างและทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าและอากาศร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์แบบสองกลีบ ที่เหมาะสำหรับเครื่องอบแห้ง โดยการวิเคราะห์นั้นอยู่บนพื้นฐานของสมการสมดุลพลังงานที่แต่ละชิ้นส่วนของระบบ เริ่มตั้งแต่ฝาปิดกระจก ช่องอากาศไหลช่องแรก

ช่องอากาศไหลด้านล่าง ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และที่แผ่นหลังของแผง การศึกษายังได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและผลการจำลองซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกันมาก

Brogren และ Karlsson [16] ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงระดับต่ำ การศึกษาพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการเพิ่มความเข้มแสง การผลิตไฟฟ้ารายปีมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดคือประมาณสองเท่า และค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้นประมาณ 3-4 เท่าอุณหภูมิน้ำร้อนมีค่าประมาณ 50 องศาเซลเซียส

Tripanagnostopoulos และคณะ [15] นั้นได้ทำการศึกษาเชิงทดลองระบบระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งแบบที่มีฝาปิดกระจกและไม่มีฝาปิด ทั้งใช้อากาศและน้ำเป็นสารทำงาน ระบบที่ใช้มีการเสริมสมรรถนะด้วยแผ่นสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffused reflectors) โดยจากทำด้วยแผ่นอลูมิเนียม ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมซึ่งใช้เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกหลากหลาย (pc-Si) มีค่าสูงกว่าระบบที่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์อย่างง่ายเท่ากับ ร้อยละ 3.2

Coventry [17] ทำการศึกษาเชิงทดลองระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสง ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าประมาณ ร้อยละ 58 และค่าประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้ามีค่าประมาณ ร้อยละ 11 (เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานป้อนเข้าเดียวกัน จึงได้ประสิทธิภาพรวมประมาณ ร้อยละ 69) นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบมีค่าต่ำกว่าแผงสะสมความร้อนแบบดั้งเดิม

นิคม และคณะ [14] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการลดความร้อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบหล่อเย็น เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณด้านบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จะส่งผลทำให้สมรรถนะการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ซึ่งระบบหล่อเย็นที่สร้างขึ้นมี 2 แบบ คือ แบบระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ และระบบหล่อเย็นด้วยแผ่นครีบริบ ระบบหล่อเย็นด้วยน้ำจะประกอบด้วยแผ่นเพลทอะลูมิเนียม และท่อทองแดง ส่วนในระบบหล่อเย็นด้วยแผ่นครีบริบ มีส่วนประกอบไปด้วยแผ่นเพลทอะลูมิเนียม และแผ่นครีบริบอะลูมิเนียม โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวซิลิคอนรุ่น BP 253 จำนวน 2 แผงซึ่งระบบหล่อเย็นด้วยน้ำปรับอัตราการไหลเชิงปริมาตร 2.88×10^{-6} , 3.60×10^{-6} , 4.24×10^{-6} และ 5.88×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่าอัตราการไหล 4.24×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ให้ผลผลิตที่สุด ซึ่งทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ร้อยละ 21.05 ส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.51 และผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น ร้อยละ 9.35 โดยระบบหล่อเย็นด้วยแผ่นครีบริบลดลงได้ 9.10 องศาเซลเซียส ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.28 ผลิตกำลังไฟฟ้าที่ได้เพิ่มขึ้น ร้อยละ 5.02

องอาจ และคณะ [13] นั้นได้ทำการศึกษา และวิเคราะห์การติดตั้งของระบบโฟโตโวลตาอิก ขนาด 10 กิโลวัตต์สูงสุด โดยมีโหลดปั๊มน้ำพุ 3 เฟส เพื่อศึกษา และวิเคราะห์ค่าผลของพลังงานไฟฟ้าที่จะได้รับหลังการติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก ขนาด 10 กิโลวัตต์สูงสุด บริเวณพื้นที่จริง ซึ่งมีโหลดเป็นปั๊มน้ำ 3 เฟส ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 270 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน พบว่า ระบบสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดที่เป็นปั๊มน้ำพุ ได้ประมาณ ร้อยละ 14 เมื่อผลรวมการใช้งานของโหลดอยู่ที่ 270 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน หรือเงื่อนไขการวิเคราะห์อยู่ที่การใช้งาน 9 ชั่วโมงต่อวัน นอกจากนี้ การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์นั้น พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับมาจากระบบโฟโตโวลตาอิกนั้นมีราคาประมาณ 1.75 บาทต่อหน่วย ซึ่งในข้อมูลที่ได้รับนี้สามารถนำมาเป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาระบบพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้งานได้ในอนาคต

สุริยะ และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาระบบจัดการงานซ่อมบำรุงระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยนำเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ซอร์ฟแวร์ (Mod RS sim Simulator) นำมาช่วยในการวิเคราะห์ทางด้านความเสียหายของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดความเสียหายและเวลาการซ่อมบำรุง จากการทดสอบพบว่า การรับส่งข้อมูลผ่าน โปโตคอลล Modbus ซอร์ฟแวร์ และสามารถทำการรับส่งข้อมูลได้โดยอย่างถูกต้อง ซึ่งผลการประเมินสมรรถนะตามมาตรฐาน ASHRAE 93:77 3 พบว่าถ้าให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยกว่า ร้อยละ 1 การทำงานของระบบสามารถช่วยวางแผนการบำรุงรักษาให้กับระบบผลิตน้ำร้อนได้

อมรเทพ และคณะ [21] ทำการศึกษาคำหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่ในระบบจำหน่ายเพื่อลดกำลังสูญเสีย โดยใช้วิธีแบบจำลองจำหน่ายแบบเรเดียล 33บัส มาตรฐาน IEEE ใช้โปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ โดยผลการทดสอบพบว่าหลังการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบลดลงร้อยละ 36.79 ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพของแรงดันเพิ่มมากขึ้น

อำนาจ และคณะ [22] นั้นได้ทำการศึกษาหาประสิทธิภาพความเข้มแสง ของแผงสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ สำหรับระบบหอคอยรวมแสงอาทิตย์ โดยได้ศึกษาสมรรถนะของระบบสะท้อนแสงที่ใช้สำหรับระบบหอคอย ซึ่งได้มีการออกแบบโปรแกรม และสร้างระบบควบคุมแผงสะท้อนแสงด้วยวิธีการคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากการทดสอบพบว่า แบบที่มีการเพิ่มความเข้มแสงให้ประสิทธิภาพความเข้มแสงสูงกว่าแบบแผ่นเรียบมีค่าเฉลี่ยประมาณ 6.5 ค่าความแม่นยำสามารถยอมรับได้โดยแสงที่ตกกระทบไม่หลุดออกจากพื้นที่ตัวรับแสง

จिरพงษ์ และคณะ [27] นั้นได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์แรงแผ่ผลิตน้ำร้อนจากวัสดุโพลีเมอร์ โดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณซึ่งนำวัสดุโพลีเมอร์ พีพี-อาร์ พีวีซี และพีวีซี-บี มาทำการทดลอง เทียบกับมาตรฐาน ASHRAE Standard 93-77 โดยการออกแบบคำนวณ โดยโปรแกรม CFD Ver.2011 ผลการศึกษาพบว่า การจำลองทางคณิตศาสตร์สอดคล้องกับการทดลองจริง อาจจะต่ำกว่าเล็กน้อย เพราะฉะนั้นการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการพัฒนา และแก้ไขปัญหาที่เกิดจากแรงแผ่ผลิตน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุโพลีเมอร์ได้



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

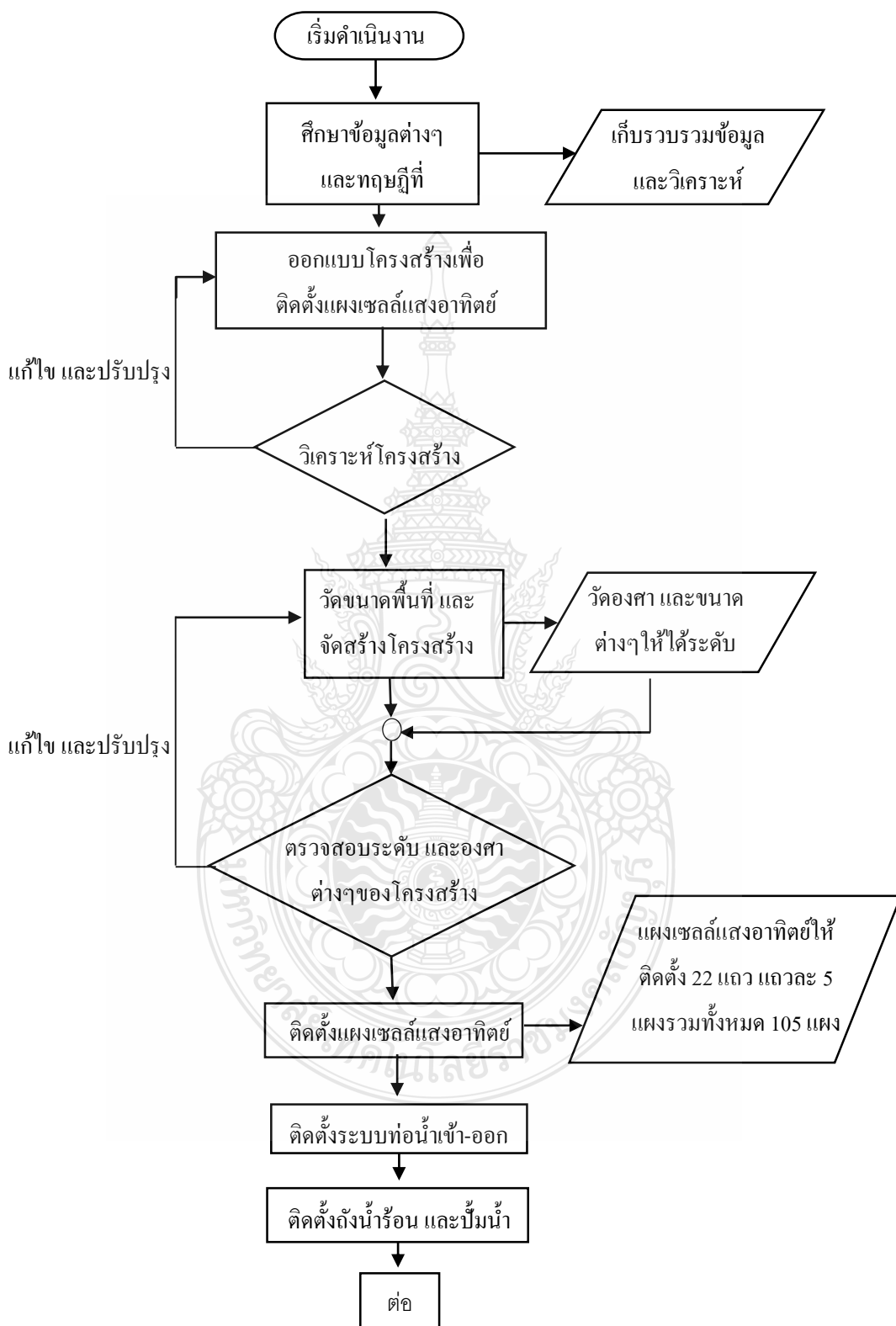
ในการทดลองศึกษาหรือทำงานวิจัยนั้น สิ่งสำคัญคือการเตรียมความพร้อมในด้านข้อมูลอย่างจริงจัง และระเบียบแบบแผนการดำเนินงานอย่างถูกต้องรวมถึง เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานจะต้องมีความเที่ยงตรง และแม่นยำที่ใช้สำหรับการทำการทดลองตามแผนการดำเนินงาน

3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย

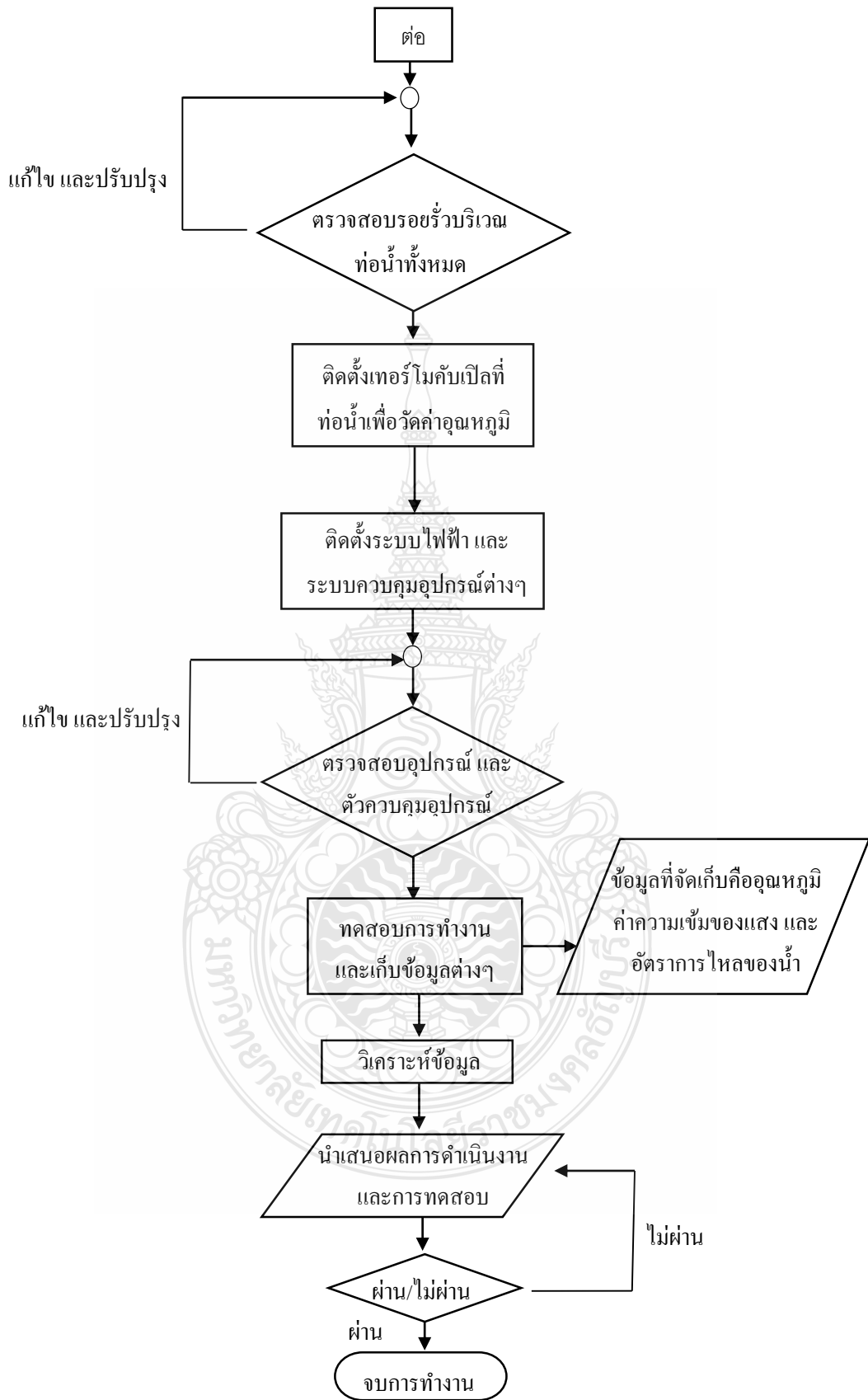
การศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้า และน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์										
ลำดับที่	ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน - ปี								
		มี.ย.- ศ.ล. 2556	ก.ย.- ต.ล. 2556	พ.ย.- ธ.ล. 2556	ม.ค.- มี.ค. 2557	เม.ย.- มิ.ย. 2557	ก.ค.- ก.ย. 2557	ต.ค.- ธ.ค. 2557	ม.ค.- มี.ค. 2558	เม.ย.- พ.ค. 2558
1	ศึกษาและรวบรวมข้อมูล									
2	วิเคราะห์และออกแบบแผง (PV/T)									
3	เขียนแบบโครงสร้าง									
4	ติดตั้งชุดโครงสร้างรับแผง (PV/T)									
5	ทดสอบผลความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของสารตัวนำ									
6	ทดสอบวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแผง (PV/T)									
7	ปรับปรุงการทำงานภาพโดยรวมของระบบ									
8	วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นและนำมาแก้ไข									
9	สรุป และจัดพิมพ์									

รูปที่ 3.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย

ผังงานการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3.2 แสดงแผนผังงานการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3.3 แสดงแผนผังงานการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

3.2.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูล

3.2.1.1 ค้นคว้าหาข้อมูลจากตำรา และจากหนังสือ วิศวกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy Engineering) การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) และอื่นๆ

3.2.1.2 สืบค้นข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต ทบทวนงานวิจัยในเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้อง เช่น (www.scidirect.com)

3.2.1.3 สอบถาม และปรึกษาขอคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน

3.2.2 วิเคราะห์และออกแบบระบบแผงผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วม

3.2.2.1 วิเคราะห์การออกแบบแผงผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วม

3.2.2.2 วิเคราะห์ด้าน โครงสร้าง การรองรับน้ำหนักแผงผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วม

3.2.2.3 วิเคราะห์ตำแหน่งการเอียงของแผงทำมุมรับแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2.2.4 วิเคราะห์ขนาดท่อส่งถ่ายของสารตัวนำ

3.2.2.5 วิเคราะห์การแลกเปลี่ยนความร้อนในถังเก็บสารตัวนำ

3.2.3 เขียนแบบระบบแผงผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วม

3.2.4 วิเคราะห์และออกแบบชุดควบคุมการทำงานของไฟฟ้า

3.2.4.1 วิเคราะห์ชุดควบคุมการรับกระแสไฟฟ้าจากแผงผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วม

3.2.5 ทดสอบหาค่าผลการวัดความเข้มของแสง และอุณหภูมิบริเวณตำแหน่งที่จะติดตั้งแผงผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วม

3.2.6 การทดลองการทำงาน

3.2.6.1 วัดกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วม

3.2.6.2 วัดอุณหภูมิของสารตัวนำที่ใช้ในการทดลองบริเวณทางเข้า และบริเวณทางออกของแผงผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วม

3.2.6.3 วัดอุณหภูมิของสารตัวนำทางเข้า และทางออกของถังเก็บสารตัวนำ

3.2.6.4 วัดอุณหภูมิของสารตัวนำกึ่งกลางถังเก็บสารตัวนำ

3.2.6.5 วัดอัตราการไหลของสารตัวนำ

3.3 สถานที่ทำการติดตั้งและทดสอบ

โดยสถานที่ทำการติดตั้ง และทำการทดสอบบริเวณลานจอดรถภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง

จังหวัดปทุมธานี ที่ตำแหน่งละติจูด 14 องศา 2 ลิปดาเหนือ ลองจิจูด 100 องศา 43 ลิปดาตะวันออก จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ.2542) กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่าได้มีการกระจายของค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศไทยได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีดวงอาทิตย์ สูงสุดระหว่าง เดือนเมษายน และเดือนพฤษภาคม โดยจะมีค่ารังสีอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ สูงสุดเฉลี่ยทั้งปี อยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี โดยบางส่วนของพื้นที่ภาคกลาง อยู่ที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อุดรธานี และลพบุรี นั้นจะได้รับปริมาณค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ตลอด ทั้งปี 19 ถึง 20 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน โดยพื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น ร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ทั้งหมด ของประเทศนอกจากนี้ยังพบว่า ร้อยละ 50.2 ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับค่าจากรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ในช่วง 18-19 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี ของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่า มีค่าเท่ากับ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่า ประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

3.4 เครื่องมือและวิธีการทดลอง

3.4.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

โดยมีขนาด 1×1 ตารางเมตร จำนวน 105 แผง ดังรูปที่ 3.5

3.4.2 แอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์สำหรับใช้วัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า

3.4.3 Pyranometer ยี่ห้อ EKO รุ่น S11107.064 ใช้วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

3.4.4 Data Logger ยี่ห้อ GRAPHTEC รุ่น GL 820 ใช้วัดค่าและบันทึกอุณหภูมิ

3.4.5 สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K

3.4.6 สายไฟสำหรับต่อวงจรไฟฟ้า

3.4.7 ถังควบคุมความดันและอุณหภูมิ

3.4.8 วาล์วน้ำ, เช็ควาล์ว

3.4.9 เครื่องมือวัดอัตราการไหล (flow meter)

3.4.10 มอเตอร์ปั้มน้ำ ขนาด 0.5 แรงม้า 650 วัตต์ 3.2 แอมแปร์

3.4.11 สะพานไฟ และสวิทช์ไฟ

3.5 วิธีการทดสอบและการบันทึกผล

ก่อนที่จะทำการทดสอบทุกครั้ง เพื่อเก็บข้อมูล โดยต้องตรวจสอบอุปกรณ์ และเครื่องมือวัดที่ใช้วัดค่า มีความเที่ยงตรงเท่ากันหรือไม่ เพื่อที่จะปรับให้ได้มาตรฐานและตรงกัน ซึ่งจะช่วยให้ข้อมูลที่ได้มีความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น โดยจะบันทึกค่าผลการทดสอบทุกๆ 1 นาที เริ่มตั้งแต่วันที่ 9.00 น. จนถึงเวลา 17.00 น. ของทุกวันที่ทำการทดสอบโดยข้อมูลที่ต้องการบันทึกได้แก่

3.5.1 บันทึกค่าของกระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

3.5.2 บันทึกค่าของอุณหภูมิ (T_1 - T_9)

3.5.3 บันทึกอัตราการไหลของน้ำในแต่ละวัน

3.5.4 บันทึกค่าความเข้มแสงอาทิตย์

โดยกำหนด

T_1 แทน อุณหภูมิที่ท่อน้ำเย็น Section 1

T_2 แทน อุณหภูมิที่ท่อน้ำร้อน Section 1

T_3 แทน อุณหภูมิที่ท่อน้ำเย็น Section 2

T_4 แทน อุณหภูมิที่ท่อน้ำร้อน Section 2

T_5 แทน อุณหภูมิที่ท่อน้ำร้อนที่รวม

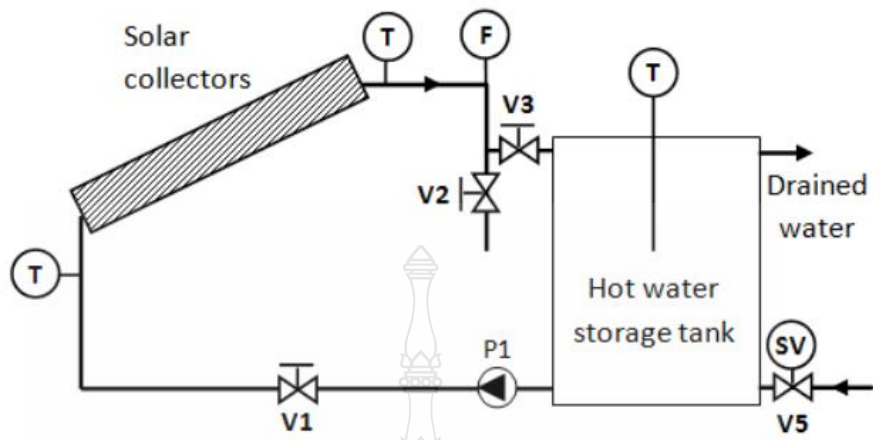
T_6 แทน อุณหภูมิที่ท่อน้ำเย็นที่รวม

T_7 แทน อุณหภูมิที่ถังน้ำร้อน

T_8 แทน อุณหภูมิพื้นผิวกระจกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

T_9 แทน อุณหภูมิบรรยากาศใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 3.4 โดยได้แสดงแผนผังของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ที่ทำงานร่วมกับแผงสะสมความร้อนผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรียบ (Flat Plate Hot Water Solar Collector) ที่ถูกประกอบเป็นชุดเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งจะมีพื้นที่ในรับแสงรวม 105 ตารางเมตร และใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง ระบบนี้มีอายุการใช้งานแล้วประมาณ 7 ปี ซึ่งติดตั้งและทดสอบ ตำแหน่งละติจูด 14 องศา 2 ลิปดา เหนือ ลองจิจูด 100 องศา 43 ลิปดา ตะวันออก แผงทุกแผง มีฝาปิดกระจก และทุกแผงได้ทำการหันหน้าไปทางทิศใต้ ทามุมกับระนาบ 14 องศา ทดลองในช่วงเวลา 9.00 น.-17.00 น.



รูปที่ 3.4 แผนผังของระบบที่ใช้ในการศึกษานี้ [5]



รูปที่ 3.5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำงานร่วมกับแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรียบ

ระบบที่ใช้ในการทดลองนั้นแสดงดังรูปที่ 3.4 ประกอบด้วยแผงผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วม ซึ่งมีจำนวน 105 แผง พื้นที่รวม 105 ตารางเมตร แต่เนื่องจากข้อจำกัดของภาระทางไฟฟ้าสูงสุดที่มีอยู่ จึงทำการทดสอบระบบเพียง 105 แผง มีการต่อแบบอนุกรมเป็นแถวแนวตั้งแถวละ 5 แผง และจากนั้นต่อทุกแถวแบบขนาน ร่วมกับท่อหลัก (Header) ทั้งด้านบนและด้านล่าง โดยระบบผลิตน้ำร้อนนั้นเป็นแบบการไหลวนแบบบังคับ (Forced Circulation) น้ำร้อนที่ผลิตได้นั้นจะถูกสะสมไว้ในถังน้ำร้อน

สแตนเลส ขนาด 0.4 ลูกบาศก์เมตร ดังรูปที่ 3.6 เพื่อจ่ายไปยังภาระของน้ำร้อน น้ำจะถูกปั๊มให้ไหลวนอยู่ในระบบ โดยบังคับให้ไหลออกบริเวณทางออกที่อยู่ด้านบนของถังน้ำร้อน ไปยังทางเข้าด้านล่างของแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และไหลกลับเข้าสู่ด้านล่างของถังน้ำร้อน และเพื่อควบคุมอุณหภูมิของน้ำ ที่จ่ายเข้าสู่บริเวณแผงสะสมความร้อนให้คงที่ อุณหภูมิของน้ำในถังนั้นจึงถูกควบคุมโดยตัวควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนแบบดิจิทัล (Digital Temperature Controller) โดยที่จะทำงานร่วมกับโซลินอยด์วาล์ว (V5 ในรูปที่ 3.4) เพื่อเปิด และปิดน้ำประปา (Tap water) เข้าไปผสมกับน้ำร้อนในถังให้ได้อุณหภูมิในถังตามต้องการ ซึ่งเป็นการศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นบทความนี้ จะนำเสนอสมรรถนะการทำงานเบื้องต้น โดยการทดสอบจะแยกเป็นการทดสอบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งผลิตไฟฟ้าและแผงผลิตน้ำร้อน โดยทั้งสองส่วนนี้เป็นพลังงานที่มีประโยชน์ที่เราต้องการ โดยมีพลังงานแสงอาทิตย์ป้อนเข้าเพียงค่าเดียวเท่านั้น



รูปที่ 3.6 ถังเก็บน้ำร้อนที่ใช้ในการทดลอง

จากการทดสอบสมรรถนะได้ใช้มาตรฐาน การทดสอบแผงสะสมความร้อนแสงอาทิตย์ของ ISO 9459-2 [5] แต่ทำการทดสอบเบื้องต้นเท่านั้น (ยังไม่ได้ทดสอบหาค่า $F_R(\tau\alpha)$ และ $F_R U_L$ ของแผง) กล่าวคือ ทำการทดสอบเพื่อหาค่าอัตราความร้อนใช้ประโยชน์ (Useful Energy Gain, \dot{Q}_u) ในช่วงสภาวะคงตัวเท่านั้น

โดยคำนวณจากสมการที่ (3.1) และ (3.2) ตามลำดับ

$$\dot{Q}_u = mc_p(T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (3.1)$$

และ

$$\eta_c = \dot{Q}_u / A_c G_T \quad (3.2)$$

โดยที่

- \dot{Q}_u = อัตราการผลิตความร้อน หน่วยคือ วัตต์
- m = อัตราการไหลเชิงมวลน้ำร้อน หน่วยคือ กิโลกรัมต่อวินาที
- C_p = ความร้อนจำเพาะของน้ำร้อน หน่วยคือ กิโลจูลต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส
- $T_{c,o}$ = อุณหภูมิที่ทางออกของแผง หน่วยคือ องศาเซลเซียส
- $T_{c,i}$ = อุณหภูมิที่ทางเข้าของแผง หน่วยคือ องศาเซลเซียส
- η_c = ประสิทธิภาพของแผง
- A_c = พื้นที่รับแสง หน่วยคือ ตารางเมตร
- G_T = ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ หน่วยคือ วัตต์ต่อตารางเมตร

3.5.1 ขั้นตอนการทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะของระบบผลิตน้ำร้อนมีขั้นตอนดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้ คือปรับสภาพน้ำโดยการเปิดน้ำประปา เข้าไปไล่น้ำในระบบก่อนเริ่มต้นการทดลองทุกครั้ง

3.5.2 เปิดปั๊มน้ำเพื่อให้ น้ำหมุนเวียนในระบบก่อนเวลา 9:00 น. และเริ่มทำการทดสอบจนถึงเวลา 17:00 น.

3.5.3 ตั้งอุณหภูมิที่ตัวควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการ

3.5.4 เปิดระบบบันทึกข้อมูล และบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้า และบริเวณทางออกของแผงสะสมความร้อนแสงอาทิตย์โดยบันทึกทุกๆ หนึ่งนาที

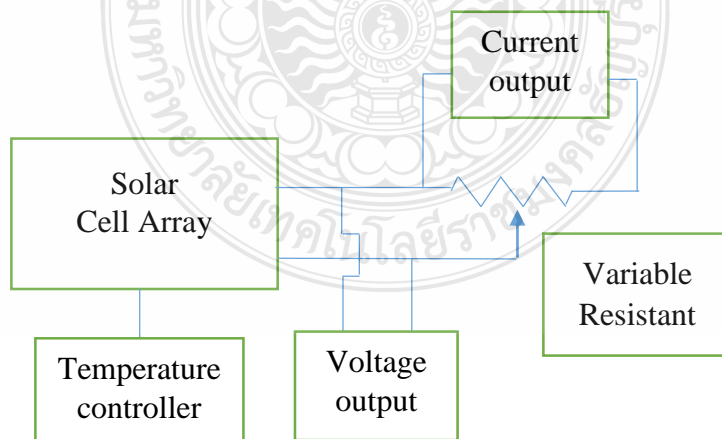
3.5.5 ปรับอัตราการไหลของน้ำที่วาล์วควบคุมการไหล (V1 ในรูปที่ 3.4) และเริ่มบันทึกอัตราการไหลโดยการอ่านจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่มีการตรวจเทียบ (Calibrate) ด้วยการตวงน้ำด้วยถังในเวลาที่กำหนดแล้วนำไปชั่ง โดยจดบันทึกค่าอัตราการไหลของน้ำทุกๆ ครึ่งชั่วโมง

3.5.6 บันทึกค่ารังสีแสงอาทิตย์ด้วยไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) โดยการใช้เครื่องบันทึกยี่ห้อ EKO รุ่น S11107.064 และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ GRAPHTEC รุ่น GL 820 ดังรูปที่ 3.7 โดยที่ติดตั้งในระนาบเดียวกับแผงสะสมความร้อน และบันทึกค่าทุกๆ 1 นาที



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

วิธีการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทำการทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ (Maximum Output Power) และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงสภาวะคงตัวเท่านั้น ซึ่งต่อวงจรไฟฟ้า ดังแสดงใน รูปที่ 3.8 โดยคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากสมการที่ (3.3) และ (3.4) ตามลำดับ



รูปที่ 3.8 การต่อวงจรไฟฟ้าในการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

$$P_{mp} = V_{mp} I_{mp} \quad (3.3)$$

$$\eta_{\max} = \frac{P_{mp}}{A_c G_T} \times 100 \quad (3.4)$$

โดยที่ V_{mp} = แรงดันไฟฟ้าเมื่อผลิตกำลังสูงสุด

I_{mp} = กระแสไฟฟ้าเมื่อผลิตกำลังสูงสุด

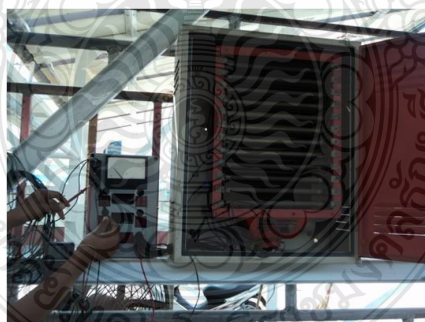
3.5.7 ในการทดลองเพื่อประเมินหาค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

3.5.7.1 ดำเนินการทดลองในช่วงที่คาดว่าแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดของแต่ละวัน

3.5.7.2 ปรับค่าความต้านทานที่ทำหน้าที่เสมือนเป็น โหลดของระบบกระแสไฟฟ้า ชุดความต้านทานปรับค่าได้ แสดงดังรูปที่ 3.9 โดยปรับเพิ่มขึ้นทีละขั้นๆ และพร้อมทั้งทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้

3.5.7.3 โดยใช้วิธีบันทึกค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทุกครั้งที่มีเริ่มการปรับ ในส่วนของค่าความต้านทาน หรืออาจใช้ข้อมูลที่บันทึกไว้ในการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนก็ได้

3.5.7.4 นำค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสที่วัดได้ไปพล็อตกราฟ



รูปที่ 3.9 ชุดความต้านทานปรับค่าได้

ประสิทธิภาพของระบบโดยรวม (Overall System Efficiency) กำหนดได้จากสมการที่ (3.5)

$$\eta_{\max} = \frac{P_{mp} + \dot{Q}_u}{A_c G_T} \times 100 \quad (3.5)$$

บทที่ 4

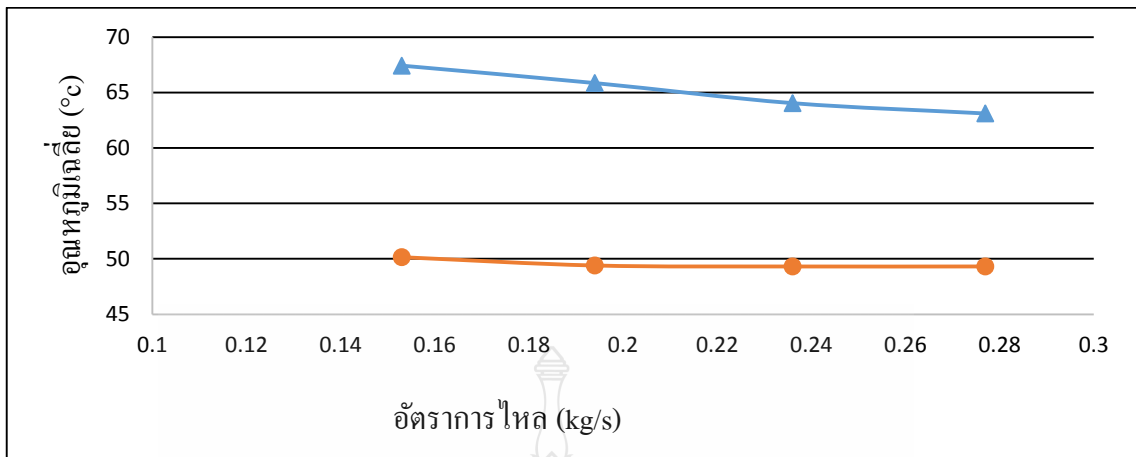
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองในการหาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการทำของระบบที่มีการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหล่อเย็นด้วยน้ำกับแบบที่ไม่มีมีการระบายความร้อนซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างซึ่งจะจัดลำดับการวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้คือ การวิเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งโดยในแบบที่ 1 จะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอมอร์ฟัสซิลิคอนที่ทำงานร่วมกับแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรียบ และมีฝาปิดกระจกประกอบเป็นชุดเดียวกัน โดยจะใช้น้ำประปาเป็นสารตัวกลางในการหล่อเย็นซึ่งอยู่บริเวณใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแบบที่ 2 จะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอมอร์ฟัสซิลิคอน แล้วให้ทำงานในสภาวะที่ไม่มีมีการระบายความร้อนโดยขณะรับแสงอาทิตย์ ทดสอบภายใต้มาตรฐานการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ISO 94592-2 [5] มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

4.1 การวิเคราะห์หาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

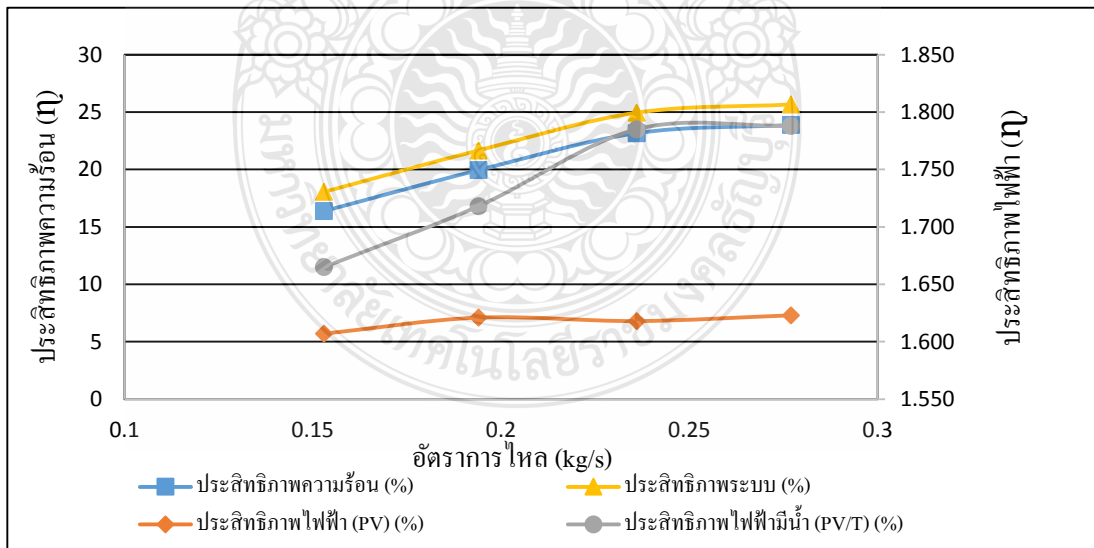
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอมอร์ฟัสซิลิคอน ทำการติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์จำนวน 105 แผง ทุกแผงหันไปทางทิศใต้ทำมุมกับกับระนาบ 14 องศา ทดลองในช่วงเวลา 9.00น.-17.00 น. ที่ตำแหน่งละติจูด 14 องศา 2 ลิปดาเหนือ ลองจิจูด 100 องศา 2 ลิปดาตะวันออก และเลือกวันที่ 3, 7, 11 และ 15 ของเดือน มีนาคม 2557 มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง เพราะจะอยู่ในช่วงที่มีแสงอาทิตย์มีมากที่สุดของเดือนนั้น กล่าวคือ ในช่วงสภาวะอากาศปลอดโปร่งและมีท้องฟ้าแจ่มใส

4.1.1 ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบระบายความร้อนโดยใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง โดยติดตั้งแผงผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนรวม จำนวน 105 แผง พื้นที่รวม 105 ตารางเมตร โดยมีการต่อแบบอนุกรมเป็นแถวแนวตั้งแถวละ 5 แผง แล้วต่อทุกแถวแบบขนานด้วยร่วม (Header) ทั้งด้านบน และทางด้านล่าง ระบบผลิตน้ำร้อนเป็นแบบการไหลวนแบบบังคับ (Forced Circulation) น้ำร้อนที่ผลิตได้จะถูกสะสมไว้ในถังน้ำร้อนสแตนเลส ขนาด 0.4 ลูกบาศก์เมตร โดยในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้มีการลดอุณหภูมิออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งอัตราการไหลลงที่ตลอดของวันที่ได้ทำการทดสอบนั้นๆ และเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ด้วยเครื่อง Data Logger และนำค่าสูงสุดมาคำนวณหาประสิทธิภาพในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยตั้งแต่ 9.30-16.30 น. ที่พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 770- 780 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อวัน และมีอุณหภูมิน้ำเข้าแผงคงที่ 50 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.1 แสดงถึงอุณหภูมิน้ำเข้าคงที่เฉลี่ย 50 องศาเซลเซียส และน้ำออกซึ่งจะเห็นได้ว่าการลดลงของอุณหภูมิน้ำร้อนที่ทางออกของแผง เมื่อได้ทำการปรับอัตราการไหลของน้ำสูงขึ้น 0.153, 0.194, 0.236, 0.277 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ อุณหภูมิจะลดลง เฉลี่ย 67.429, 65.857, 64.046, 63.113 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบตั้งแต่เวลา 9.30-16.30 น. ที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.153, 0.194, 0.236, 0.277 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.2 โดยจะเป็นการแสดงค่าของระบบผลิตไฟฟ้า และน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เวลา 9.30-16.30 น. มีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อน (PV/T) โดยเปรียบเทียบกับระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อน (PV) จะเห็นได้ว่า อัตราการไหลของน้ำ ที่ระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปรับขึ้น 0.153, 0.194, 0.236, 0.277 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า (PV/T) สูงขึ้น แล้วคงที่ อยู่ที่อัตราการไหล 0.236 กิโลกรัมต่อวินาที กล่าวคือ เมื่อได้เพิ่มอัตราการไหลให้สูงขึ้นประสิทธิภาพทางไฟฟ้านั้นก็จะไม่เพิ่มขึ้น แสดงว่านั่นคืออัตราการไหล 0.236 กิโลกรัมต่อวินาที มีค่าเหมาะสมที่สุด และในการทดลองนั้น มีค่าประสิทธิภาพไฟฟ้าเฉลี่ย ร้อยละ 1.785 และมีค่าประสิทธิภาพความร้อนเฉลี่ยร้อยละ 23.164 ที่ค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 770- 780 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อวัน อุณหภูมิน้ำร้อนทางเข้าควบคุมที่ 50 องศาเซลเซียส และทางออกอุณหภูมิจะลดลง เฉลี่ย 67.429, 65.857, 64.046, 63.113 องศาเซลเซียส ตามลำดับของอัตราการไหล ดังแสดงในตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราการความร้อนเฉลี่ย ตั้งแต่เวลา 9.30-16.00 น.

วันที่	อัตราการไหล (kg/s)	เฉลี่ย $T_{c,i}$	เฉลี่ย $T_{c,o}$	อัตราการความร้อน (kW.)	ประสิทธิภาพความร้อน (%)
3/3/2557	0.153	50.151	67.429	11.076	16.382
7/3/2557	0.194	49.403	65.857	13.375	19.943
11/3/2557	0.236	48.315	64.046	15.555	23.164
15/3/2557	0.277	49.316	63.113	16.013	23.891

ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ตั้งแต่เวลา 9.30-16.00 น.

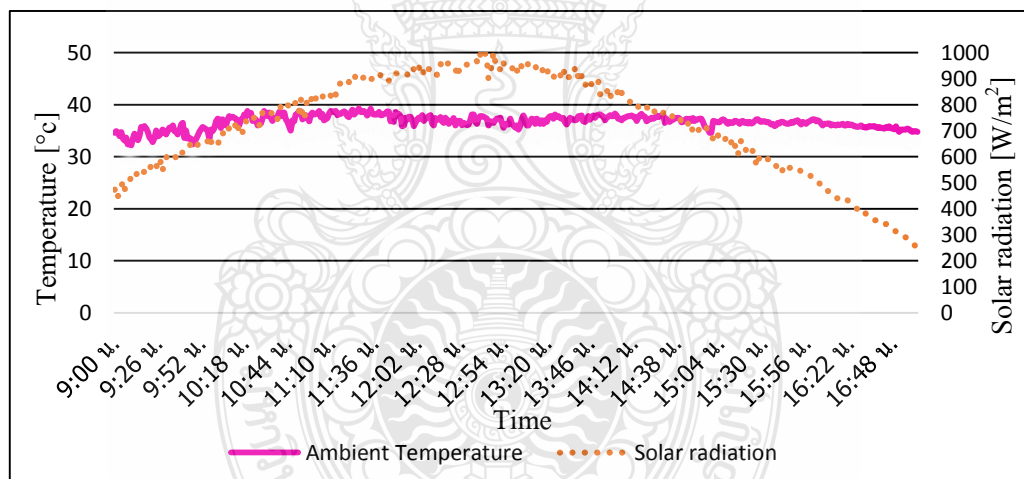
วันที่	ประสิทธิภาพไฟฟ้า (PV) (%)	อัตราการไหล (kg/s)	ประสิทธิภาพไฟฟ้า (PV/T) (%)	ประสิทธิภาพรวม (PV/T) (%)
3/3/2557	1.607	0.153	1.664	18.046
7/3/2557	1.621	0.194	1.718	21.661
11/3/2557	1.618	0.236	1.785	24.948
15/3/2557	1.622	0.277	1.788	25.679

จากตารางที่ 4.2 คือผลจากการบันทึกค่าผลการทดลองเฉลี่ย ที่อัตราการไหล 0.153, 0.194, 0.236, 0.277 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ เพื่อหาประสิทธิภาพไฟฟ้า และอัตราการไหลที่เหมาะสม จะเห็นได้ว่าวันที่ 11/3/2557 อัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยที่ 0.236 กิโลกรัมต่อวินาที มีประสิทธิภาพไฟฟ้าเฉลี่ยร้อยละ 1.785 เหมาะสมที่สุดเมื่อเปรียบ เทียบกับอัตราการไหลอื่น ดังแสดงในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ และกำลังไฟฟ้า ตั้งแต่เวลา 9.30-16.00 น.

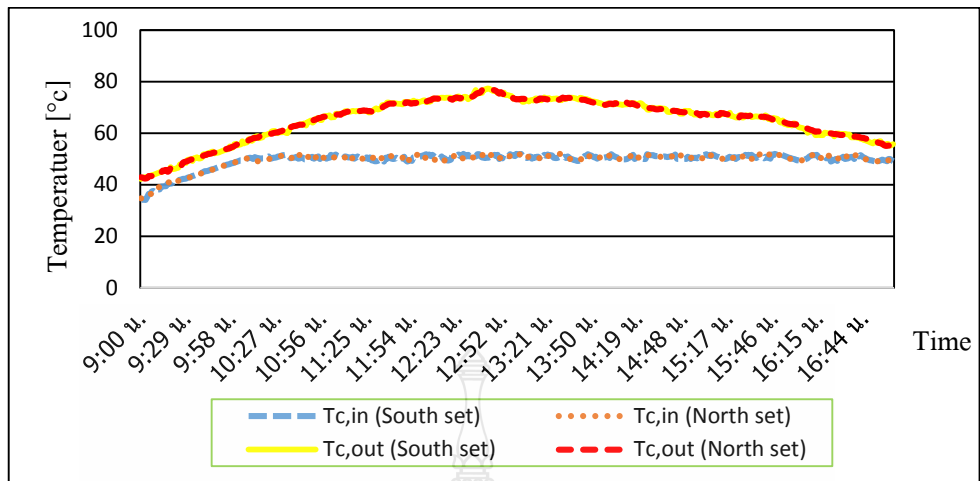
วันที่	ค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m ²)	ความเข้มรังสีเฉลี่ย (mV.)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (PV/T) W.	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (PV) W.
3/3/2557	777.599	5.311	1125.340	1086.815
7/3/2557	771.303	5.268	1152.360	1086.916
11/3/2557	772.328	5.275	1198.860	1086.623
15/3/2557	770.864	5.265	1198.950	1086.851

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย ตั้งแต่เวลา 9.30-16.00 น. จะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบ (PV/T) วันที่ 11/3/2557 และ 15/3/2557 มีผลใกล้เคียงกัน ซึ่งอัตราการไหลของน้ำค่อนข้างที่จะไม่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าแล้ว ฉะนั้นวันที่ 11/3/2557 จะเลือกอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยที่ 0.236 กิโลกรัมต่อวินาที เหมาะสมที่สุด



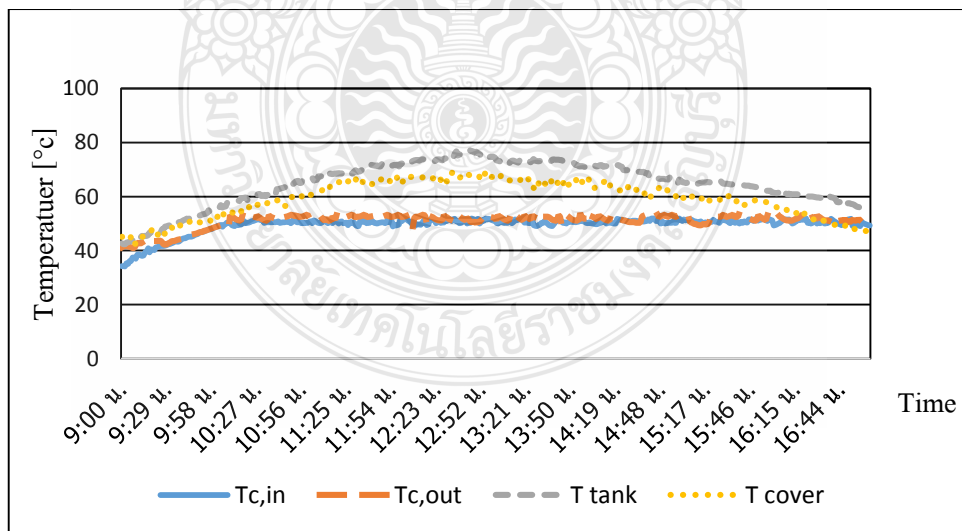
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่ารังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวัน

จากรูปที่ 4.3 การแสดงให้เห็นถึงค่าของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆตลอดทั้งวัน โดยใช้อุปกรณ์ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) ใช้เป็นเครื่องมือ ในการวัดค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ โดยความเข้มแสงอาทิตย์จะมีหน่วยเป็น วัดต่อตารางเมตร จากกราฟค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อแสงมากขึ้นนั่นคือใกล้เคียง เฉลี่ยที่ค่าสูงสุด 967.50 วัดต่อตารางเมตร และลดลงเมื่อแสงอาทิตย์ ค่อยๆหมดลง และใช้เทอร์โมคัปเปิล (Type K) ในการวัดค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม โดยจากกราฟ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาเพียงเล็กน้อย



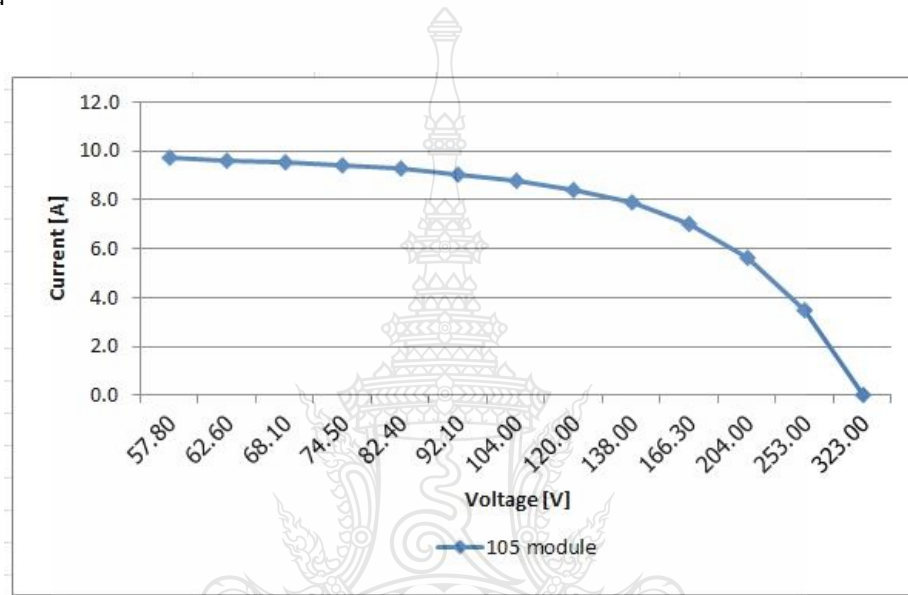
รูปที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิน้ำเข้า และออกของแผง ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.236 กิโลกรัมต่อวินาที

จากรูปที่ 4.4 เป็นการแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิน้ำเข้าแผง เริ่มต้นที่ 30 องศาเซลเซียส แล้วคงที่ที่ 50 องศาเซลเซียส เมื่อเวลา 10.00 น. ไปจนถึง 17.00 น. และค่าอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากแผง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เริ่มสูงขึ้นเรื่อยๆตามช่วงเวลาต่างๆ โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 77 องศาเซลเซียส ที่ใกล้เที่ยง และค่อยๆลดลงตามลำดับ เมื่อแสงอาทิตย์ค่อยๆหมดลง อัตราการไหลน้ำที่เหมาะสมที่สุด อยู่ในช่วงการไหล 0.236 กิโลกรัมต่อวินาที ตลอดทั้งวัน



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิน้ำเข้าออกภายในถังน้ำร้อนและอุณหภูมิที่พื้นผิวกระจกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.236 กิโลกรัมต่อวินาที

จากรูปที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนจะค่อยๆสูงขึ้นเริ่มตั้งแต่ 50 องศาเซลเซียส เมื่อเวลา 10.00 น. ไปจนถึง 17.00 น. และมีอุณหภูมิน้ำในถังที่นำไปใช้ประโยชน์จะเริ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามช่วงเวลาต่างๆ โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 77 องศาเซลเซียส ที่ใกล้เที่ยง และค่อยๆลดลงตามลำดับ เมื่อแสงอาทิตย์ค่อยๆหมดลง และมีอัตราการไหลน้ำที่เหมาะสมทั้งวันเฉลี่ยที่ 0.236 กิโลกรัมต่อวินาที อุณหภูมิน้ำวนกลับมาใช้ใหม่คงที่ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ตลอดทั้งวัน และอุณหภูมิผิวกระจกเฉลี่ยสูงสุดที่ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตลอดทั้งวัน

จากรูปที่ 4.6 แสดงการทำงานของแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อในขณะที่แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit voltage, V_{oc}) แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ถูกลัดวงจร เมื่อได้รับแสง กระแสไฟฟ้าในวงจรจะเป็นศูนย์ กระแสไฟฟ้า (Short circuit current, I_{sc}) เป็นกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ถูกลัดวงจร เมื่อแสงตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลไปยังวงจรภายนอก สภาวะนี้กระแสไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุด

4.2 การหาประสิทธิภาพของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

4.2.1 หาประสิทธิภาพน้ำร้อนสูงสุด

$$Eff (HV) = \frac{mC_p \Delta T}{(A_c \cdot G_T / 1000)}$$

$$Eff(HV) = \frac{0.236 \times 4.19 \times (64.046 - 49.315)}{(0.8281 \times 105 \times 772.328 / 1000)}$$

$$Eff(HV) = 0.2169$$

ดังนั้น จะได้ประสิทธิภาพของน้ำร้อน คือ ร้อยละ 21.691

4.2.2 หาประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

$$Eff(PV) = \frac{P_{mp}}{A_c \cdot G_T}$$

$$Eff(PV) = \frac{1198.86}{0.8281 \times 105 \times 772.328}$$

$$Eff(PV) = 0.01785$$

ดังนั้น จะได้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 105 แผง คือ ร้อยละ 1.785

4.2.3 หาประสิทธิภาพสูงสุดของระบบ

$$Eff(total) = \frac{\dot{m}C_p \Delta T + (P_{mp} / 1000)}{A_c \cdot G_T / 1000}$$

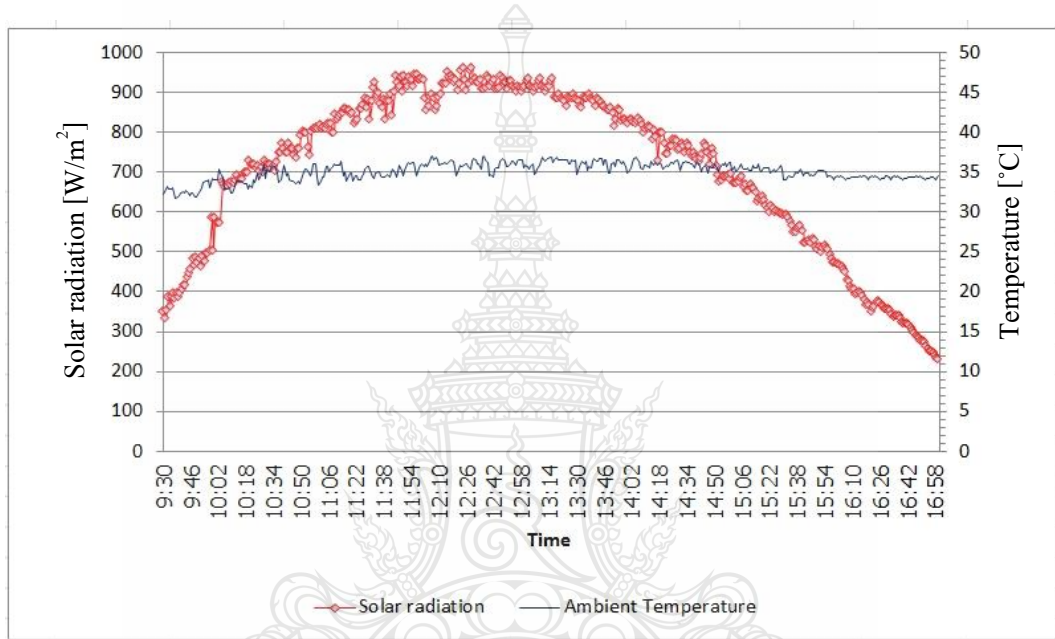
$$Eff(total) = \frac{(0.236 \times 4.19 \times (64.046 - 49.315)) + \left(\frac{1198.86}{1000}\right)}{\left(\frac{0.8281 \times 105 \times 772.328}{1000}\right)}$$

$$Eff(total) = 0.2347$$

ดังนั้น จะได้ประสิทธิภาพรวมของระบบ ร้อยละ 23.476

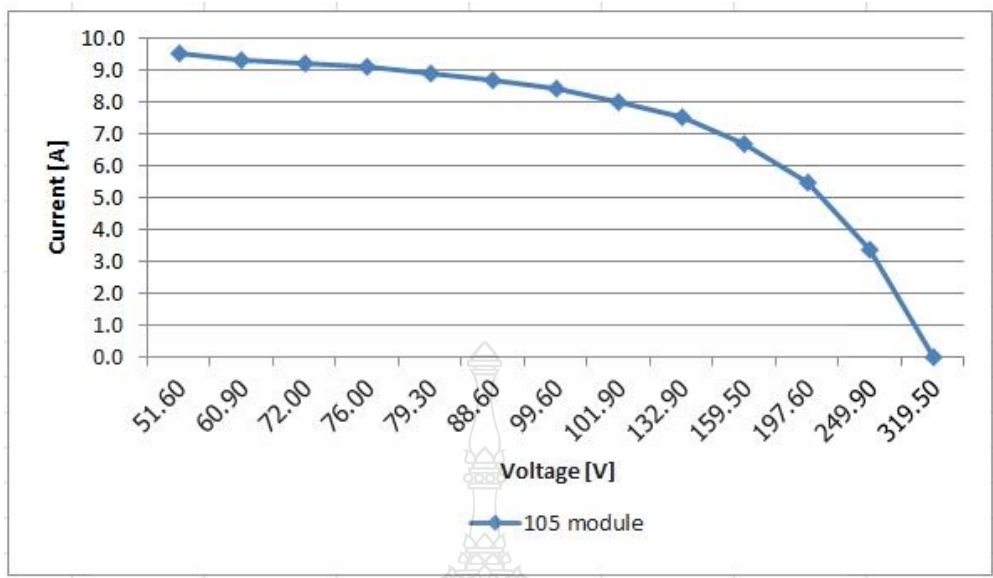
4.3 แสดงค่าการทดลองรังสีแสงอาทิตย์สภาวะการทำงานที่ไม่มีภาระระบายความร้อน

ในการทดลองใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอมอร์ฟัส ทำการติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์จำนวน 105 แผง โดยทุกแผงหันไปทางทิศใต้เพื่อรับแสงอาทิตย์ทำมุมกับกับระนาบ 14 องศา ทดลองช่วง 9.00 น.-17.00 น. ที่ตำแหน่งละติจูด 14 องศา 2 ลิปดาเหนือ ลองจิจูด 100 องศา 2 ลิปดา ตะวันออก โดยไม่มีภาระระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่ารังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิตลอดทั้งวัน

จากรูปที่ 4.7 แสดงค่าของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆ ตลอดทั้งวัน โดยใช้อุปกรณ์ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) เป็นเครื่องมือวัดค่าความเข้มของแสงอาทิตย์โดยความเข้มแสงอาทิตย์จะมีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร โดยจากกราฟค่าความเข้มแสงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อแสงมากขึ้นนั้นคือใกล้เที่ยง เฉลี่ยที่ค่าสูงสุด 967.50 วัตต์ต่อตารางเมตร และจะลดลงเมื่อแสงอาทิตย์ค่อยๆหมดลงโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (Type K) ในการวัดอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจากกราฟอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตลอดทั้งวัน

จากรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นการแสดงค่าการทำงานของแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อขณะแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit voltage, V_{oc}) แรงดันไฟฟ้า ขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ถูกลัดวงจร เมื่อได้รับแสง กระแสไฟฟ้าในวงจรจะเป็นศูนย์ กระแสไฟฟ้า (Short circuit current, I_{sc}) เป็นกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ถูกลัดวงจร เมื่อมีแสงตกลงมากระทบที่บริเวณ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลไปยังวงจรภายนอก สถานะนี้กระแสไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุด

4.4 คำนวณหาประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ในสถานะการทำงานที่ไม่มีภาระบายความร้อน

4.4.1 หาประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

$$Eff(PV) = \frac{P_{mp}}{A_c \cdot G_T}$$

$$Eff(PV) = \frac{1086.80}{0.8281 \times 105 \times 772.328}$$

$$Eff(PV) = 0.0168$$

ดังนั้น จะได้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 105 แผง คือ ร้อยละ 1.618

บทที่ 5

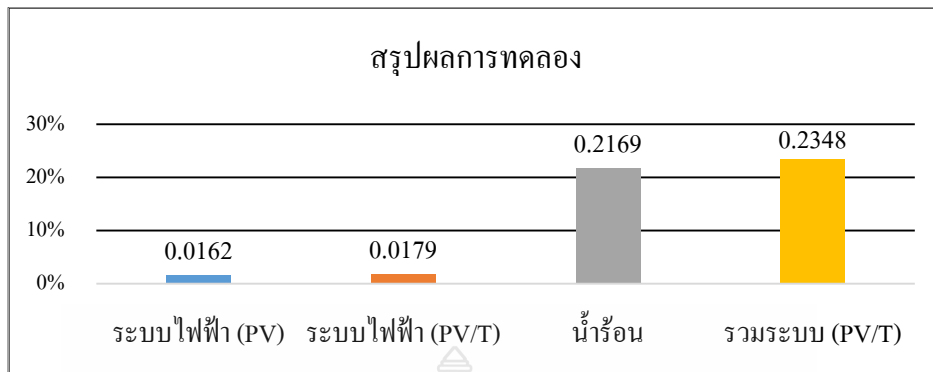
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอการศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีขนาด 105 ตารางเมตร โดยการใช้วิธีการบันทึก ค่าผลการทดลองด้วยเครื่องบันทึกค่ารังสีแสงอาทิตย์ด้วยไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) ยี่ห้อ EKO รุ่น S11107.064 ร่วมกับอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ GRAPHTEC รุ่น GL 820 ที่ติดตั้งในระนาบเดียวกับแผงสะสมความร้อน และบันทึกค่าทุกๆ 1 นาที โดยในการทดสอบหาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ (Maximum Output Power) และหาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นำมาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางไฟฟ้า โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน ที่มีการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นำมาใช้ในการทดลอง และแบบที่ไม่มีมีการระบายความร้อน โดยได้ใช้วิธีการทดสอบสมรรถนะตามมาตรฐาน ISO 9459-2 แต่ทดสอบเบื้องต้นเท่านั้น (ยังไม่ได้ทดสอบหาค่า $F_R(\tau\alpha)$ และ $F_R U_L$ ของแผง) นั่นกล่าวคือ ทดสอบเพื่อหาค่าอัตราความร้อนการใช้ประโยชน์ (Useful Energy Gain, Q_u) ในช่วงสภาวะคงตัวเท่านั้น และโครงสร้างเป็นที่ใช้สอย อาทิ เช่น ลานจอดรถ

5.1 ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและน้ำร้อน

จากการวิเคราะห์การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในบทที่ 4 แบ่งออกเป็น 2 กรณีโดย

กรณีที่ 1 ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน ที่ได้ทำการศึกษาทำงานร่วมกับแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรียบ และได้มีฝาปิดกระจกประกอบเป็นชุดเดียวกัน โดยใช้น้ำเป็นสารตัวกลางในการหล่อเย็นบริเวณใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้มีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่ ร้อยละ 1.79 กรณีที่ 2 ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน ซึ่งจะมีฝาปิดกระจกประกอบเป็นชุดเดียวกัน ทำงานในสภาวะที่ไม่มีมีการระบายความร้อน มีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ ร้อยละ 1.62 โดยแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ มีผลแปรผันตรงกับประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น จะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าลดลง ดังนั้นเมื่อทดลองโดยการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และยังส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น



รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 5.1 แสดงถึงระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ โดยที่การศึกษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ได้ถูกใช้งานมาแล้วเป็นระยะเวลาประมาณ 7 ปี ถูกนำมาติดตั้ง และทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของระบบ จากผลการศึกษาพบว่าระบบมีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าอยู่ที่ร้อยละ 1.79 และประสิทธิภาพทางน้ำร้อนอยู่ที่ ร้อยละ 21.69 และประสิทธิภาพรวมของระบบอยู่ที่ ร้อยละ 23.48 ซึ่งผลการทดลอง นั้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ คุณนิคม และคณะ โดยการศึกษาวิธีการเพิ่มสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวซิลิคอน รุ่น BP 253 จำนวน 2 แผง โดยได้มีการลดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบหล่อเย็นโดยใช้น้ำ และแบบแผ่นครีป พบว่าระบบหล่อเย็นด้วยน้ำสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางไฟฟ้าได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีการระบายความร้อน

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย

5.2.1 ในการทดสอบบางช่วงขณะ เกิดเมฆบางส่วนทำให้ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ลดลงส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ผลการทดลองระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการทดลองช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ถ้าจะประเมินสมรรถนะได้อย่างเต็มรูปแบบ ควรทดลองตลอดช่วงฤดูกาลเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล

5.2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นั้นสามารถนำไปศึกษาต่อยอดได้อาทิ เช่นน้ำร้อนที่ได้จากระบบ

5.2.3 ค่าผลการทดลองนี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน เพียงอย่างเดียว หากเปรียบเทียบกับชนิดอื่นควรนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆแบบมาทดสอบ

บรรณานุกรม

- [1] ดุสิต เครื่องาม. (2553). **ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์**. สืบค้นจาก <http://www.thaisolarfuture.com>
- [2] กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. **แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551 - 2565)**. สืบค้นจาก <http://www.dede.go.th/dede/index.php>.
- [3] Faherbruch, A. L., & Bube, R. H. (1983). **Fundamentals of Solar Cell**. New York, NY: Academic Press.
- [4] Backus, C. E. (1976). **Solar Cell**. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineer, Inc.
- [5] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1991). **Solar Engineering of Thermal Processes** (2nd ed.). New York, NY: John Wiley & Sons.
- [6] **ภาพถ่ายดวงอาทิตย์**. สืบค้นจาก <http://www.matichon.co.th/>
- [7] บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว. (2554). **วิศวกรรมพลังงานแสงอาทิตย์**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [8] **บริวารของดวงอาทิตย์**. สืบค้นจาก <http://www.myfirstbrain.com/>
- [9] **โลก**. สืบค้นจาก <http://jupiterity.blogspot.com/>
- [10] ถนัด เกษประดิษฐ์. **การเลือกซื้อแผงโซลล่าเซลล์**. สืบค้นจาก <http://www.engineo.co.th>
- [11] **โซลล่าเซลล์ การออกแบบและเชื่อมต่อระบบโซลล่าเซลล์**. สืบค้นจาก <http://system.champbizshop.com/design.htm>
- [12] **เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์**. สืบค้นจาก <http://hotwater.siam2web.com/>
- [13] **องอาจ แสดใหม่**. (2552). **การออกแบบและวิเคราะห์การติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกขนาด 10 กิโลวัตต์สูงสุด สำหรับปั้มน้ำพื 3 เฟส เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายการไฟฟ้า**. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [14] นิคม ฝั่งคำ. (2551). การเพิ่มสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยระบบหล่อเย็น. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์).
- [15] Tripanagnostopoulos, Y., Nousia, Th., Souliotis, M., & Yianoulis, P. (2002). Hybrid photovoltaic/thermal solar systems. *Solar Energy*, 72(3), 217–234.
- [16] Brogren, M., & Karlsson, B. (2001). Low-concentrating water-cooled PV– thermal hybrid systems for high latitudes, 17th EUPVSEC.
- [17] Coventry, J. S. (2005). Performance of a concentrating photovoltaic/thermal solar collector. *Solar Energy*, 78(2), 211–222.
- [18] Lalovic, B. (1986). A hybrid amorphous silicon photovoltaic and thermal solar collector. *Solar Cells*, 19, 131–138.
- [19] Sopian, K. S., Liu, H. T., Kakac, S., & Veziroglu, T. N. (2000). Performance of a double pass photovoltaic thermal solar collector suitable for solar drying systems. *Energy Conversion and Management*, 41(4), 353–365.
- [20] สุริยะ สุกรินทร์. (2554). การพัฒนาระบบจัดการงานซ่อมบำรุงระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วยคอมพิวเตอร์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).
- [21] อมรเทพ แพทยานันท์. (2555). การหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ในระบบจำหน่ายเพื่อลดกำลังสูญเสีย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).
- [22] อำนาจ เงินปลื้มปลา. (2556). การศึกษาประสิทธิภาพความเข้มแสงของแผงสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์สำหรับระบบหอคอยรวมแสงอาทิตย์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [23] ทวีวัฒน์ สุภารส และคณะ. (2558). **บทเรียนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เรื่องการแผ่รังสีความร้อน**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล. สืบค้นจาก <http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Thermal%20Radiation/about.htm>
- [24] Kays, W. M., & Crawford, M. E. (1980). **Convective Heat and Mass Transfer**. (2nd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- [25] McAdams, W. H. (1954). **Heat Transmission**. (3rd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- [26] Heaton, H. S., Reynolds, W. C., & Kays, W. M. (1964). Heat Transfer in Annular Passages: Simultaneous Development of Velocity and Temperature Fields in Laminar Flow. **Int. J. Heat and Mass Transfer**, 7, 763.
- [27] จีรพงษ์ พงษ์สีทอง. (2555). **การวิเคราะห์แผนผลิตภัณฑ์น้ำร้อนจากวัสดุโพลีเมอร์โดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ**. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).

ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์การทดลอง

GL820 midi Logger



Built-in 5.7" TFT LCD Color Display

Stand-alone or PC-connected operation

20 Analog Channels Standard, Expandable to 200

Input-to-output and channel-to-channel Isolation

USB and Ethernet PC Interfaces



Features

Voltage, Current, and Temperature Measurement Functions

Use the GL820 to measure voltages, currents, 4-20 mA process currents, as well as thermocouple- and RTD-based temperatures.

Four Unique 'Pulse' Inputs for Discrete Measurements

The GL820 provides discrete input channels that can be used for counting and rotational speed measurement applications. Or program the discrete inputs as simple logic level input channels.

Four Alarm Outputs

Program the GL820 to trigger its open-collector outputs as a function of analog input signal level judgment, pulse judgment, or logic pattern.

Wide Sample Interval Selections

Sample intervals can be programmed to be one of sixteen values ranging from 10 ms to one hour.

Bright TFT LCD Color Display

The focal point of the GL820 is its built-in 5.7-inch color display that allows real time trending, data review, and complete instrument configuration.

Engineering Units Scaling

Each GL820 channel allows up to four break points to be programmed for accurate scaling into meaningful units like psi, grams, newtons, gallons per minute, etc.

Flexible Triggering Options

The GL820 allows data capture to be started or stopped based upon signal level, an external event, date/time, alarm, duration, or Boolean channel combinations. Analog signal triggers can be programmed based upon level and window tests: above threshold, below threshold, inside window, or outside window.

Real Time and Post-recorded Calculations

The GL820 may be programmed to calculate average value, peak value, minimum value, rms, and arithmetic operations (+, -, ×, /) between channels.

Flexible Power Requirements

Power the GL820 from its provided international AC adaptor, from an optional built-in battery pack, or from any 9 to 24 VDC source using an optional cable.

PC Connectivity via USB or Ethernet

Allows data transfer to the PC either in real time or from the GL820's memory. Also allows complete configuration of the GL820.

PC Software Bundle Included

The GL820 includes a Windows application for direct capture, measurement, and monitoring of GL820 data. In addition to waveform and data value capture and display, the application can export data to an Excel file for further analysis and report creation. The software includes built-in help for quick reference.

With its color monitor and internal memory the GL820 is a compact, lightweight, multi-channel data logger that provides 20 standard analog measurement channels, expandable to 200. The GL820 is equipped with a large internal flash memory to allow the direct capture of acquired data, and its built-in USB port may be used to connect any standard USB flash drive for incremental capacity. Alternatively, the USB or the integral Ethernet port may be connected to a PC to allow data upload in real time or from memory, as well as local or remote configuration and real time data acquisition. The Ethernet feature includes WEB and FTP server functions, which allows monitoring from a remote location as well as data transfer.

Wide Voltage Measurement Range

Each GL820 analog channel can measure from 20 mV to 50 VFS across eleven programmable measurement ranges.

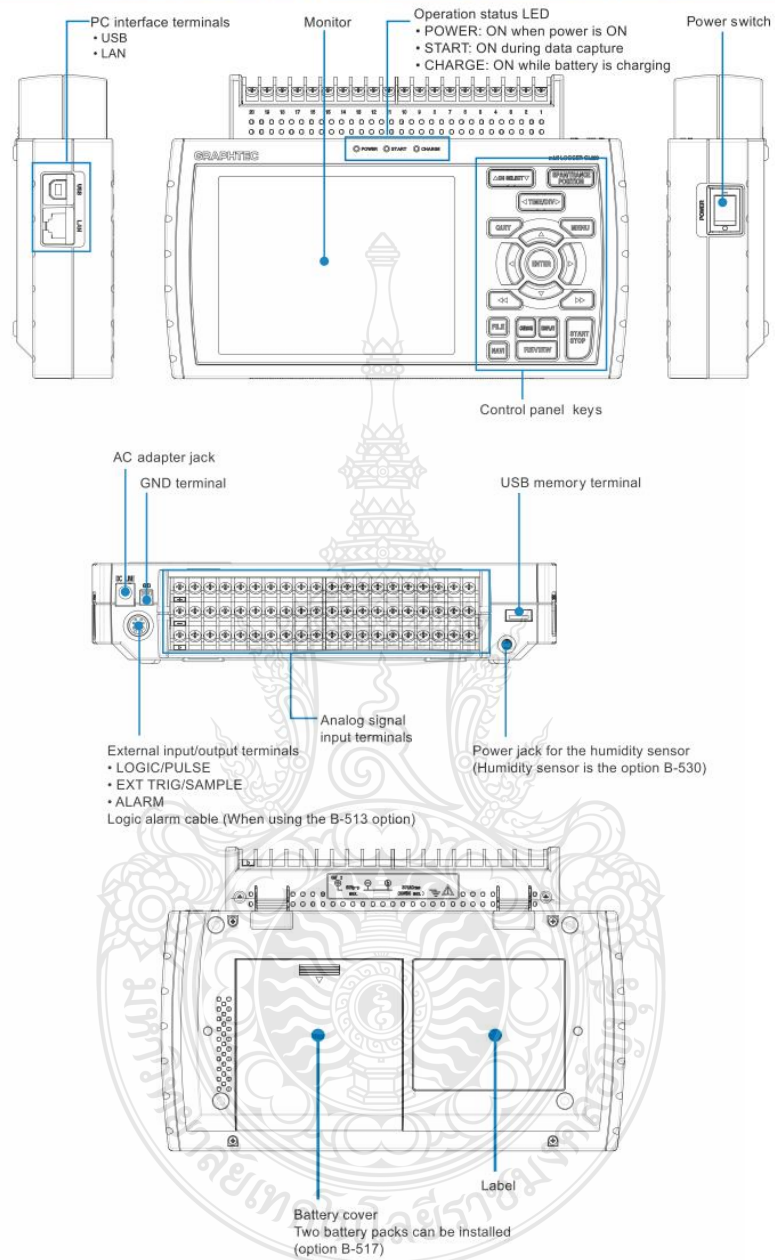
Full Electrical Isolation Per Channel

Each analog GL820 channel is electrically isolated from all others and from instrument ground to allow accurate and safe measurements in industrial applications where ground potential differences are common.

DATAQ Instruments, Inc. • 241 Springside Drive • Akron, Ohio 44333 • Tel: 330-668-1444 • Email: support@dataq.com • www.dataq.com

รูปที่ ก.1 ข้อมูลจำเพาะเครื่องมือบันทึกข้อมูล Data Logger GL 820

GL820 Display, I/O, and Control Overview



330-668-1444

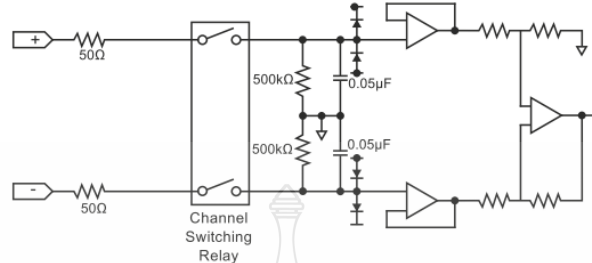
2

www.dataq.com

รูปที่ ก.2 ข้อมูลจำเพาะเครื่องมือบันทึกข้อมูล Data Logger GL 8209 (ต่อ)

GL820 Analog Input Circuit and Measurement Ranges

Each GL820 analog input channel features electrical isolation using a photo MOS relay switching method to maintain safe and accurate measurements in demanding industrial environments.



Voltage Measurement Ranges per Channel

Range	Maximum SPAN	Minimum SPAN	Minimum Resolution
20mV	-22.000 to +22.000mV	0.200mV	0.001mV
50mV	-55.00 to +55.00mV	0.50mV	0.01mV
100mV	-110.00 to +110.00mV	1.00mV	0.01mV
200mV	-220.00 to +220.00mV	2.00mV	0.01mV
500mV	-550.0 to +550.0mV	5.0mV	0.1mV
1V	-1.1000 to +1.1000V	0.0100V	0.0001V
2V	-2.2000 to +2.2000V	0.0200V	0.0001V
5V	-5.500 to +5.500V	0.050V	0.001V
10V	-11.000 to +11.000V	0.100V	0.001V
20V	-22.000 to +22.000V	0.200V	0.001V
50V	-55.00 to +55.00V	0.50V	0.01V

Process Current Measurement (with model R250 resistor)

Range	Maximum SPAN	Minimum SPAN	Minimum Resolution
1-5 V	-5.500 to +5.500V	0.050V	0.001V

Temperature Measurement Ranges per Channel

Range	Maximum SPAN	Minimum SPAN	Measurement Range	Minimum Resolution
K	-270 to +2000°C	50°C	-200 to +1370°C	0.1°C
J			-200 to +1100°C	
T			-200 to +400°C	
R			0 to +1600°C	
E			-200 to +900°C	
B			+600 to +1920°C	
S			0 to +1760°C	
N			0 to +1300°C	
W			0 to +2315°C	
PT100			-200 to +850°C	
JPT100			-200 to +500°C	
PT1000			-200 to +500°C	

Optional Humidity Measurement Range

Range	Maximum SPAN	Minimum SPAN	Minimum Resolution
0 to 100%	0 to +110%	1.0%	0.1%

รูปที่ ก.3 ข้อมูลจำเพาะเครื่องมือบันทึกข้อมูล Data Logger GL 820 (ต่อ)

MAXIMUM TEMPERATURE RANGE

Thermocouple Grade
-328 to 2282°F
-200 to 1250°C

Extension Grade
32 to 392°F
0 to 200°C

LIMITS OF ERROR
(whichever is greater)
Standard: 2.2°C or 0.75% Above 0°C
2.2°C or 2.0% Below 0°C
Special: 1.1°C or 0.4%

COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:
Clean Oxidizing and Inert; Limited Use in Vacuum or Reducing; Wide Temperature Range; Most Popular Calibration

TEMPERATURE IN DEGREES °C
REFERENCE JUNCTION AT 0°C



Thermocouple Grade

Nickel-Chromium
vs.
Nickel-Aluminum



Extension Grade

Revised Thermocouple Reference Tables

TYPE K
Reference Tables
N.I.S.T.
Monograph 175
Revised to ITS-90

Z

Thermoelectric Voltage in Millivolts

°C	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C	
-260	-6.458	-6.457	-6.456	-6.455	-6.453	-6.452	-6.450	-6.448	-6.446	-6.444	-6.441	-260	250	10.153	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.398	10.439	10.480	10.520	10.561	250
-250	-6.441	-6.438	-6.435	-6.432	-6.429	-6.425	-6.421	-6.417	-6.413	-6.408	-6.404	-250	260	10.561	10.602	10.643	10.684	10.725	10.766	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971	260
-240	-6.404	-6.399	-6.393	-6.388	-6.382	-6.377	-6.370	-6.364	-6.358	-6.351	-6.344	-240	270	10.971	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.258	11.300	11.341	11.382	270
-230	-6.344	-6.337	-6.329	-6.322	-6.314	-6.306	-6.297	-6.289	-6.280	-6.271	-6.262	-230	280	11.382	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795	280
-220	-6.262	-6.252	-6.243	-6.233	-6.223	-6.213	-6.202	-6.192	-6.181	-6.170	-6.158	-220	290	11.795	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.126	12.167	12.209	290
-210	-6.158	-6.147	-6.135	-6.123	-6.111	-6.099	-6.087	-6.074	-6.061	-6.048	-6.035	-210	300	12.209	12.250	12.291	12.333	12.374	12.415	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624	300
-200	-6.035	-6.021	-6.007	-5.994	-5.980	-5.965	-5.951	-5.936	-5.922	-5.907	-5.891	-200	310	12.624	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	13.000	13.040	310
-190	-5.891	-5.876	-5.861	-5.845	-5.829	-5.813	-5.797	-5.780	-5.763	-5.747	-5.730	-190	320	13.040	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457	320
-180	-5.730	-5.713	-5.695	-5.678	-5.660	-5.642	-5.624	-5.606	-5.588	-5.569	-5.550	-180	330	13.457	13.498	13.540	13.582	13.624	13.666	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874	330
-170	-5.550	-5.531	-5.512	-5.493	-5.474	-5.454	-5.435	-5.415	-5.395	-5.374	-5.354	-170	340	13.874	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.126	14.167	14.209	14.251	14.293	340
-160	-5.334	-5.333	-5.313	-5.292	-5.271	-5.250	-5.228	-5.207	-5.185	-5.163	-5.141	-160	350	14.293	14.335	14.377	14.419	14.461	14.503	14.545	14.587	14.629	14.671	14.713	350
-150	-5.141	-5.119	-5.097	-5.074	-5.052	-5.029	-5.006	-4.983	-4.960	-4.936	-4.913	-150	360	14.713	14.755	14.797	14.839	14.881	14.923	14.965	15.007	15.049	15.091	15.133	360
-140	-4.913	-4.889	-4.865	-4.841	-4.817	-4.793	-4.768	-4.744	-4.719	-4.694	-4.669	-140	370	15.133	15.175	15.217	15.259	15.301	15.343	15.385	15.427	15.469	15.511	15.554	370
-130	-4.669	-4.644	-4.618	-4.593	-4.567	-4.542	-4.516	-4.490	-4.463	-4.437	-4.411	-130	380	15.554	15.596	15.638	15.680	15.722	15.764	15.806	15.848	15.891	15.933	15.975	380
-120	-4.411	-4.384	-4.357	-4.330	-4.303	-4.276	-4.249	-4.221	-4.194	-4.166	-4.138	-120	390	15.975	16.017	16.059	16.102	16.144	16.186	16.228	16.270	16.313	16.355	16.397	390
-110	-4.138	-4.110	-4.082	-4.054	-4.025	-3.997	-3.968	-3.939	-3.911	-3.882	-3.852	-110	400	16.397	16.439	16.482	16.524	16.566	16.608	16.651	16.693	16.735	16.778	16.820	400
-100	-3.852	-3.823	-3.794	-3.764	-3.734	-3.705	-3.675	-3.645	-3.614	-3.584	-3.554	-100	410	16.820	16.862	16.904	16.947	16.989	17.031	17.074	17.116	17.158	17.201	17.243	410
-90	-3.554	-3.523	-3.492	-3.462	-3.431	-3.400	-3.368	-3.337	-3.306	-3.274	-3.243	-90	420	17.243	17.285	17.328	17.370	17.413	17.455	17.497	17.540	17.582	17.624	17.667	420
-80	-3.243	-3.211	-3.179	-3.147	-3.115	-3.083	-3.050	-3.018	-2.986	-2.953	-2.920	-80	430	17.667	17.709	17.752	17.794	17.837	17.879	17.921	17.964	18.006	18.049	18.091	430
-70	-2.920	-2.887	-2.854	-2.821	-2.788	-2.755	-2.721	-2.688	-2.654	-2.620	-2.587	-70	440	18.091	18.134	18.176	18.218	18.261	18.303	18.346	18.388	18.431	18.473	18.516	440
-60	-2.587	-2.553	-2.519	-2.485	-2.450	-2.416	-2.382	-2.347	-2.312	-2.278	-2.243	-60	450	18.516	18.558	18.601	18.643	18.686	18.728	18.771	18.813	18.856	18.898	18.941	450
-50	-2.243	-2.208	-2.173	-2.138	-2.103	-2.067	-2.032	-1.996	-1.961	-1.925	-1.889	-50	460	18.941	18.983	19.026	19.068	19.111	19.154	19.196	19.239	19.281	19.324	19.366	460
-40	-1.889	-1.854	-1.818	-1.782	-1.745	-1.709	-1.673	-1.637	-1.600	-1.564	-1.527	-40	470	19.366	19.408	19.451	19.494	19.537	19.579	19.622	19.664	19.707	19.750	19.792	470
-30	-1.527	-1.490	-1.453	-1.417	-1.380	-1.343	-1.305	-1.268	-1.231	-1.194	-1.156	-30	480	19.792	19.835	19.877	19.920	19.962	20.005	20.048	20.090	20.133	20.175	20.218	480
-20	-1.156	-1.119	-1.081	-1.043	-1.006	-0.968	-0.930	-0.892	-0.854	-0.816	-0.778	-20	490	20.218	20.261	20.303	20.346	20.389	20.431	20.474	20.516	20.559	20.602	20.644	490
-10	-0.778	-0.739	-0.701	-0.663	-0.624	-0.586	-0.547	-0.508	-0.470	-0.431	-0.392	-10	500	20.644	20.687	20.730	20.772	20.815	20.857	20.900	20.943	20.985	21.028	21.071	500
0	-0.392	-0.353	-0.314	-0.275	-0.236	-0.197	-0.157	-0.118	-0.079	-0.039	0.000	0	510	21.071	21.113	21.156	21.199	21.241	21.284	21.326	21.369	21.412	21.454	21.497	510
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397	0	520	21.497	21.540	21.582	21.625	21.668	21.710	21.753	21.796	21.838	21.881	21.924	520
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.716	0.756	0.796	10	530	21.924	21.966	22.009	22.052	22.094	22.137	22.179	22.222	22.265	22.307	22.350	530
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203	20	540	22.350	22.393	22.435	22.478	22.521	22.563	22.606	22.649	22.691	22.734	22.776	540
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612	30	550	22.776	22.819	22.862	22.904	22.947	22.990	23.032	23.075	23.117	23.160	23.203	550
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023	40	560	23.203	23.245	23.288	23.331	23.373	23.416	23.458	23.501	23.544	23.586	23.629	560
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436	50	570	23.629	23.671	23.714	23.757	23.799	23.842	23.884	23.927	23.970	24.012	24.055	570
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851	60	580	24.055	24.097	24.140	24.182	24.225	24.267	24.310	24.353	24.395	24.438	24.480	580
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267	70	590	24.480	24.523	24.565	24.608	24.650	24.693	24.735	24.778	24.820	24.863	24.905	590
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682	80	600	24.905	24.948	24.990	25.033	25.075	25.118	25.160	25.203	25.245	25.288	25.330	600
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096	90	610	25.330	25.373	25.415	25.458	25.500	25.543	25.585	25.627	25.670	25.712	25.755	610
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509	100	620	25.755	25.797	25.840	25.882	25.924	25.967	26.009	26.052	26.094	26.136	26.179	620
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.8																

Revised Thermocouple Reference Tables

TYPE K
Reference Tables
N.I.S.T.
Monograph 175
Revised to ITS-90



Thermocouple Grade

Nickel-Chromium
VS.
Nickel-Aluminum



Extension Grade

MAXIMUM TEMPERATURE RANGE

Thermocouple Grade

- 328 to 2282°F

- 200 to 1250°C

Extension Grade

32 to 392°F

0 to 200°C

LIMITS OF ERROR

(whichever is greater)

Standard: 2.2°C or 0.75% Above 0°C

2.2°C or 2.0% Below 0°C

Special: 1.1°C or 0.4%

COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:

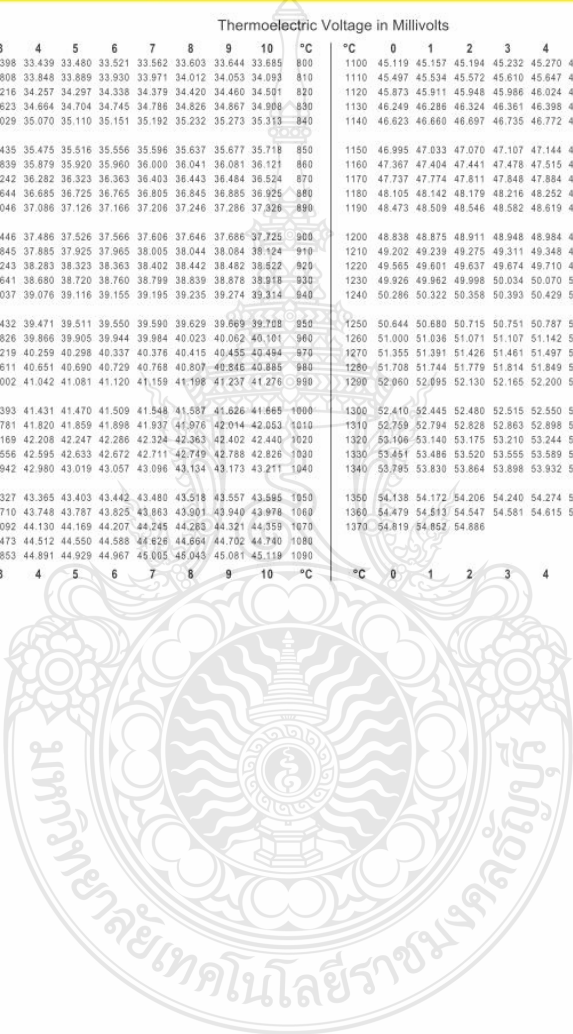
Clean Oxidizing and Inert; Limited Use in Vacuum or Reducing; Wide Temperature Range; Most Popular Calibration

TEMPERATURE IN DEGREES °C

REFERENCE JUNCTION AT 0°C

Thermoelectric Voltage in Millivolts

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
800	33.275	33.316	33.357	33.398	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685	800	1100	45.119	45.157	45.194	45.232	45.270	45.308	45.346	45.383	45.421	45.459	1100
810	33.685	33.726	33.767	33.808	33.848	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093	810	1110	45.497	45.534	45.572	45.610	45.647	45.685	45.723	45.760	45.798	45.836	1110
820	34.093	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501	820	1120	45.873	45.911	45.948	45.986	46.024	46.061	46.099	46.136	46.174	46.211	1120
830	34.501	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908	830	1130	46.249	46.286	46.324	46.361	46.399	46.436	46.473	46.511	46.548	46.585	1130
840	34.908	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313	840	1140	46.623	46.660	46.697	46.735	46.772	46.809	46.847	46.884	46.921	46.958	1140
850	35.313	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718	850	1150	46.995	47.033	47.070	47.107	47.144	47.181	47.218	47.256	47.293	47.330	1150
860	35.718	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121	860	1160	47.367	47.404	47.441	47.478	47.515	47.552	47.589	47.626	47.663	47.700	1160
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524	870	1170	47.737	47.774	47.811	47.848	47.884	47.921	47.958	47.995	48.032	48.069	1170
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925	880	1180	48.105	48.142	48.179	48.216	48.252	48.289	48.326	48.363	48.399	48.436	1180
890	36.925	36.965	37.006	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326	890	1190	48.473	48.509	48.546	48.582	48.619	48.656	48.692	48.729	48.765	48.802	1190
900	37.326	37.366	37.406	37.446	37.486	37.526	37.566	37.606	37.646	37.686	37.725	900	1200	48.838	48.875	48.911	48.948	48.984	49.021	49.057	49.093	49.130	49.166	1200
910	37.725	37.765	37.805	37.845	37.885	37.925	37.965	38.005	38.044	38.084	38.124	910	1210	49.202	49.239	49.275	49.311	49.348	49.384	49.420	49.456	49.493	49.529	1210
920	38.124	38.164	38.204	38.243	38.283	38.323	38.363	38.402	38.442	38.482	38.522	920	1220	49.565	49.601	49.637	49.674	49.710	49.746	49.782	49.818	49.854	49.890	1220
930	38.522	38.561	38.601	38.641	38.680	38.720	38.760	38.799	38.839	38.878	38.918	930	1230	49.926	49.962	49.998	50.034	50.070	50.106	50.142	50.178	50.214	50.250	1230
940	38.918	38.958	38.997	39.037	39.076	39.116	39.155	39.195	39.235	39.274	39.314	940	1240	50.286	50.322	50.358	50.393	50.429	50.465	50.501	50.537	50.572	50.608	1240
950	39.314	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	39.629	39.668	39.708	950	1250	50.644	50.680	50.715	50.751	50.787	50.822	50.858	50.894	50.929	50.965	1250
960	39.708	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101	960	1260	51.000	51.036	51.071	51.107	51.142	51.178	51.213	51.249	51.284	51.320	1260
970	40.101	40.141	40.180	40.219	40.259	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494	970	1270	51.355	51.391	51.426	51.461	51.497	51.532	51.567	51.603	51.638	51.673	1270
980	40.494	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885	980	1280	51.708	51.744	51.779	51.814	51.849	51.885	51.920	51.955	51.990	52.025	1280
990	40.885	40.924	40.963	41.002	41.042	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276	990	1290	52.060	52.095	52.130	52.165	52.200	52.235	52.270	52.305	52.340	52.375	1290
1000	41.276	41.315	41.354	41.393	41.431	41.470	41.509	41.548	41.587	41.626	41.665	1000	1300	52.410	52.445	52.480	52.515	52.550	52.585	52.620	52.655	52.690	52.724	1300
1010	41.665	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053	1010	1310	52.769	52.794	52.828	52.863	52.898	52.932	52.967	53.002	53.037	53.071	1310
1020	42.053	42.092	42.131	42.169	42.208	42.247	42.286	42.324	42.363	42.402	42.440	1020	1320	53.106	53.140	53.175	53.210	53.244	53.279	53.313	53.348	53.382	53.417	1320
1030	42.440	42.478	42.516	42.555	42.593	42.633	42.672	42.711	42.749	42.788	42.826	1030	1330	53.451	53.486	53.520	53.555	53.589	53.623	53.658	53.692	53.727	53.761	1330
1040	42.826	42.865	42.903	42.942	42.980	43.019	43.057	43.096	43.134	43.173	43.211	1040	1340	53.795	53.830	53.864	53.898	53.932	53.967	54.001	54.035	54.069	54.104	1340
1050	43.211	43.250	43.288	43.327	43.365	43.403	43.442	43.480	43.518	43.557	43.595	1050	1350	54.138	54.172	54.206	54.240	54.274	54.308	54.343	54.377	54.411	54.445	1350
1060	43.595	43.633	43.672	43.710	43.748	43.787	43.825	43.863	43.901	43.940	43.978	1060	1360	54.479	54.513	54.547	54.581	54.615	54.649	54.683	54.717	54.751	54.785	1360
1070	43.978	44.016	44.054	44.092	44.130	44.169	44.207	44.245	44.283	44.321	44.359	1070	1370	54.819	54.852	54.886								1370
1080	44.359	44.397	44.435	44.473	44.512	44.550	44.588	44.626	44.664	44.702	44.740	1080												
1090	44.740	44.778	44.816	44.854	44.891	44.929	44.967	45.005	45.043	45.081	45.119	1090												



รูปที่ ก.4 ข้อมูลจำเพาะอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ Thermocouple Type K (ต่อ)

ML-020 series Small Sensors

High performance

Combining the special designed filters with the high efficient detector makes it possible to characterize "spectral response" which is close to the ideal response. Temperature dependence is quite small, max. 1%, in actual measurement.

Small and lightweight

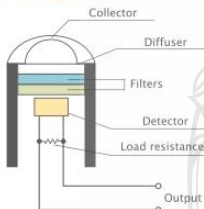
The sensors are suitable for the use in limited space and at multi point measurement.

High durability

The sensors are designed to use continuously in all weather condition.

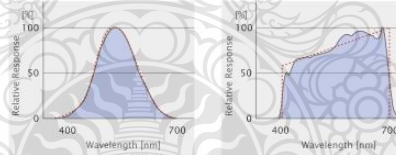
When creatures or plants receive natural and artificial light as illuminance or light energy, reactions are very big difference spectrally depends on the types. Human eye reacts to illuminance and plants react to number of photon. According to this fact, natural and artificial light should be selected very carefully for measurement of fundamental study of applied research. Based on these backgrounds, we have developed three sensors for such individual measuring purpose by taking our advantage of long experience for energy measuring.

PRINCIPLE OF MEASUREMENT



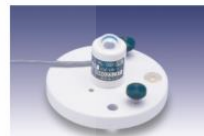
Special designed collector and diffuser are mounted on the upper part of the detector. This optical component realizes excellent character for cosine response and sensitivity. The transmitting light flux reached to the filters whose spectral response coincides for individual measuring purpose illuminance, photon number and irradiance, as shown in the following figure, the Si-photodiode detects the flux through the filters and converts accurately to electric signal proportional to the flux.

SPSPECTRAL CHARACTERISTICS

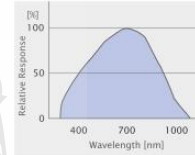


Luxmeter
ML-020S-0, ML-020S-1

Photon sensor
ML-020P



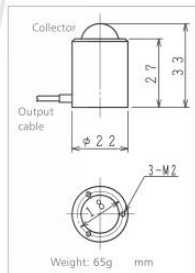
with option leveling plate



Pyranometer
ML-020VM

Specifications

	Luxmeter		Photon sensor	Pyranometer
	ML-020S-0 High illuminance	ML-020S-1 Low illuminance	ML-020P	ML-020VM
Spectral response	CIE Photopic Curve		Photosynthetically Photon Flux Density	Solar Irradiance (300 to 1100nm)
Measuring range	~150,000	~30,000	~3000	~1.4
Unit	lx	lx	μmol·s ⁻¹ ·m ⁻²	kW/m ²
Output	~30mV	~30mV	~10mV	~10mV
Internal resistance	280 Ω	1.3 kΩ	160 Ω	10 Ω
Temperature response (-10 to +50 °C)	0.3%	0.4%	1.1%	0.5%
COS response (at 30/60/80 deg.)	1 / 1.5 / 17%			
Spectral error	2.3%	2.3%	7.7%	—
Output cable	5m, standard			





ภาคผนวก ข

ขั้นตอนดำเนินการก่อสร้าง



รูปที่ ข.1 การประกอบโครงสร้าง (11 พฤศจิกายน 2556)



รูปที่ ข.2 การเริ่มดำเนินการก่อสร้างฐาน (16 พฤศจิกายน 2556)



รูปที่ ข.3 ติดตั้งโครงสร้าง (30 ธันวาคม 2556)



รูปที่ ข.4 ติดตั้งแผงผลิตกระแสไฟฟ้าและน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ (6 มกราคม 2557)



รูปที่ ข.5 วางระบบท่อส่งสารตัวนำ และหุ้มฉนวน (20 มกราคม 2557)



รูปที่ ข.6 สร้างห้องควบคุมกระแสไฟฟ้า (17 กุมภาพันธ์ 2557)



รูปที่ ข.7 ติดตั้งชุดควบคุมกระแสไฟฟ้า (24 กุมภาพันธ์ 2557)

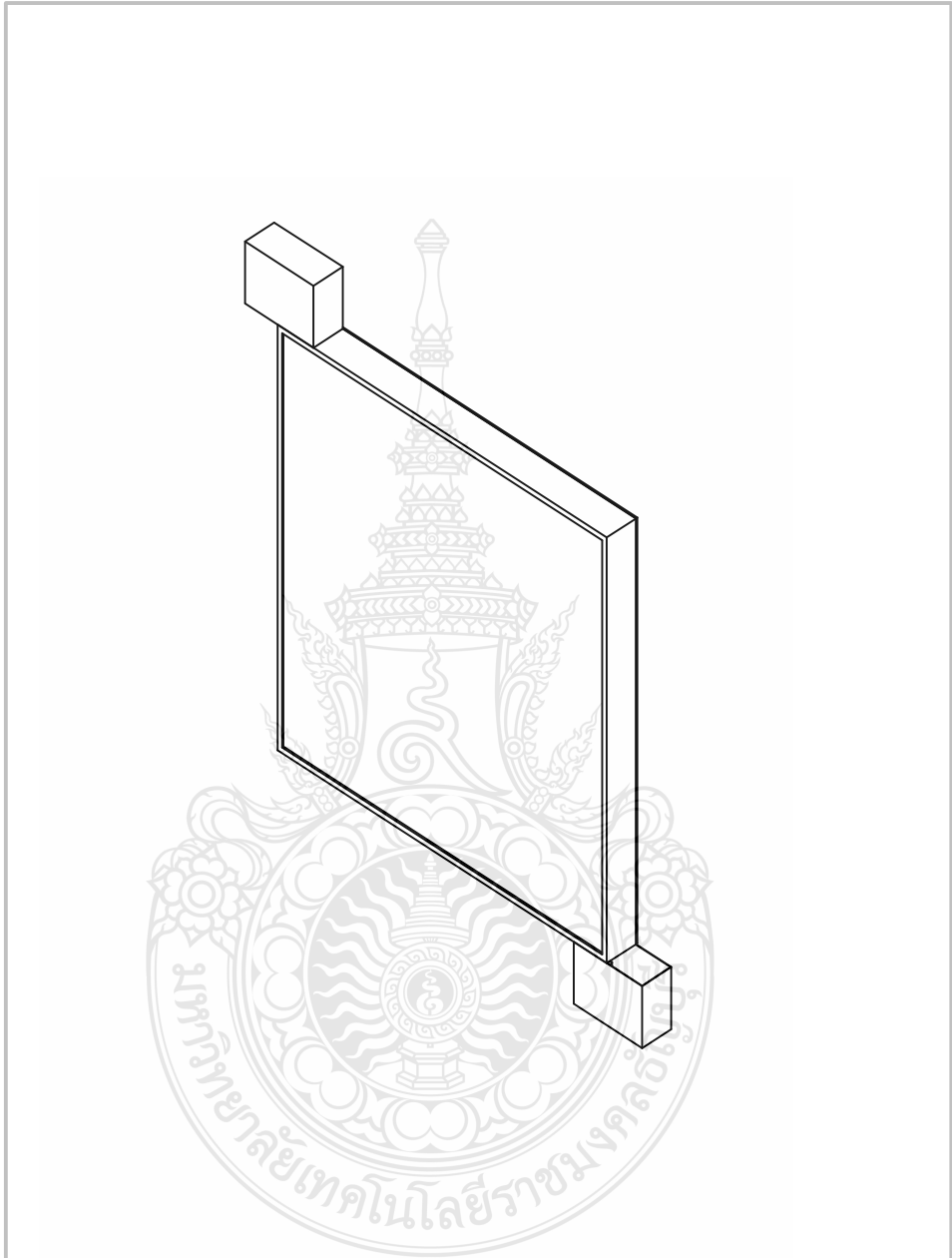


รูปที่ ข.8 โครงสร้างชุดทดสอบ (1 มีนาคม 2557)

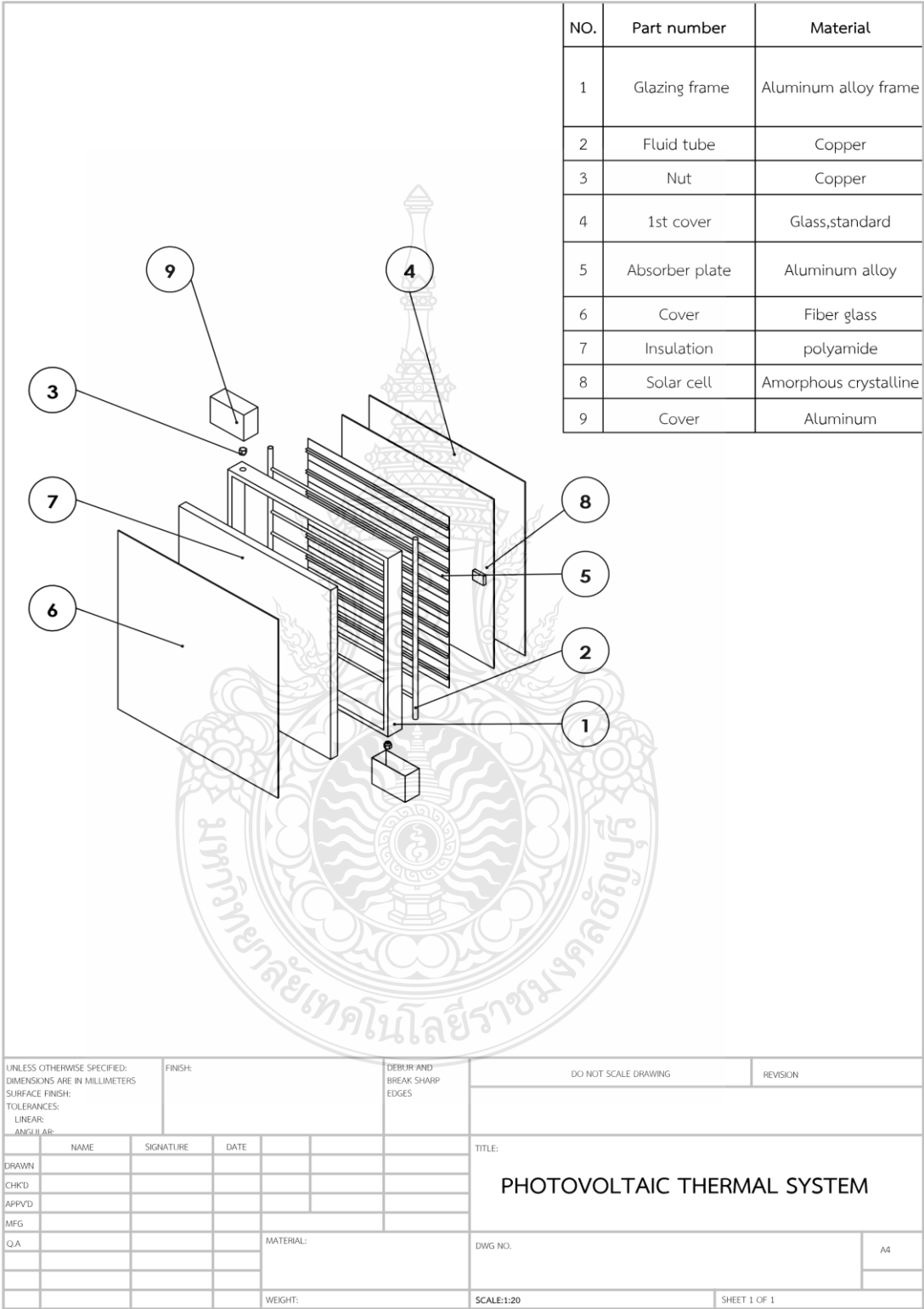
ภาคผนวก ค

แบบแปลนโครงสร้างระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์



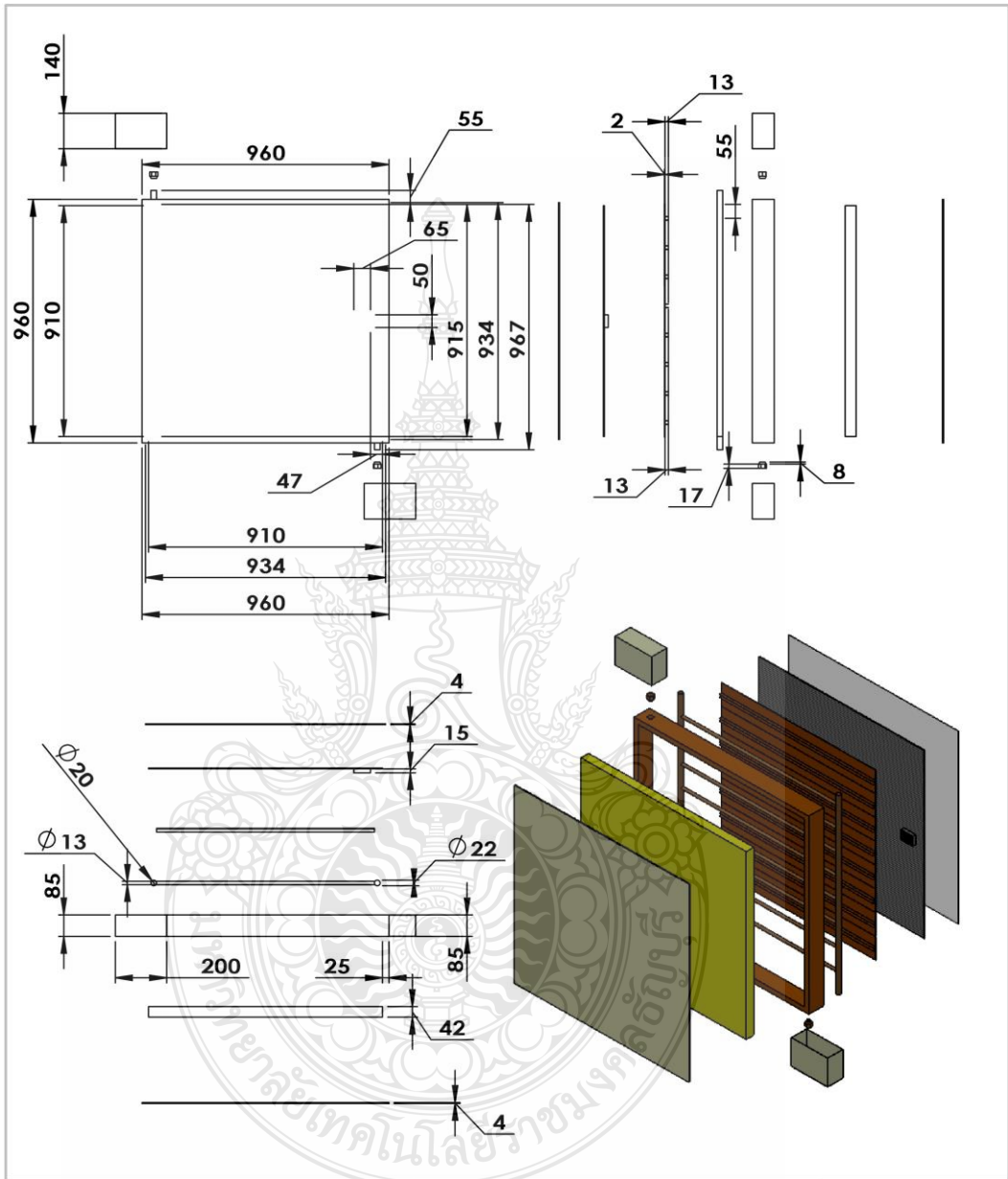


UNLESS OTHERWISE DIMENSIONS ARE IN SURFACE TOLERANC		FINIS		DEBUR BREAK EDGE		DO NOT SCALE		REVISI	
DRAW		NAM		SIGNATU		DAT		TITL	
CHK								PHOTOVOLTAIC THERMAL	
APPV									
MF									
O						MATERIA		DWG	
								A	
						WEIGH		SCALE:1:	
								SHEET 1	

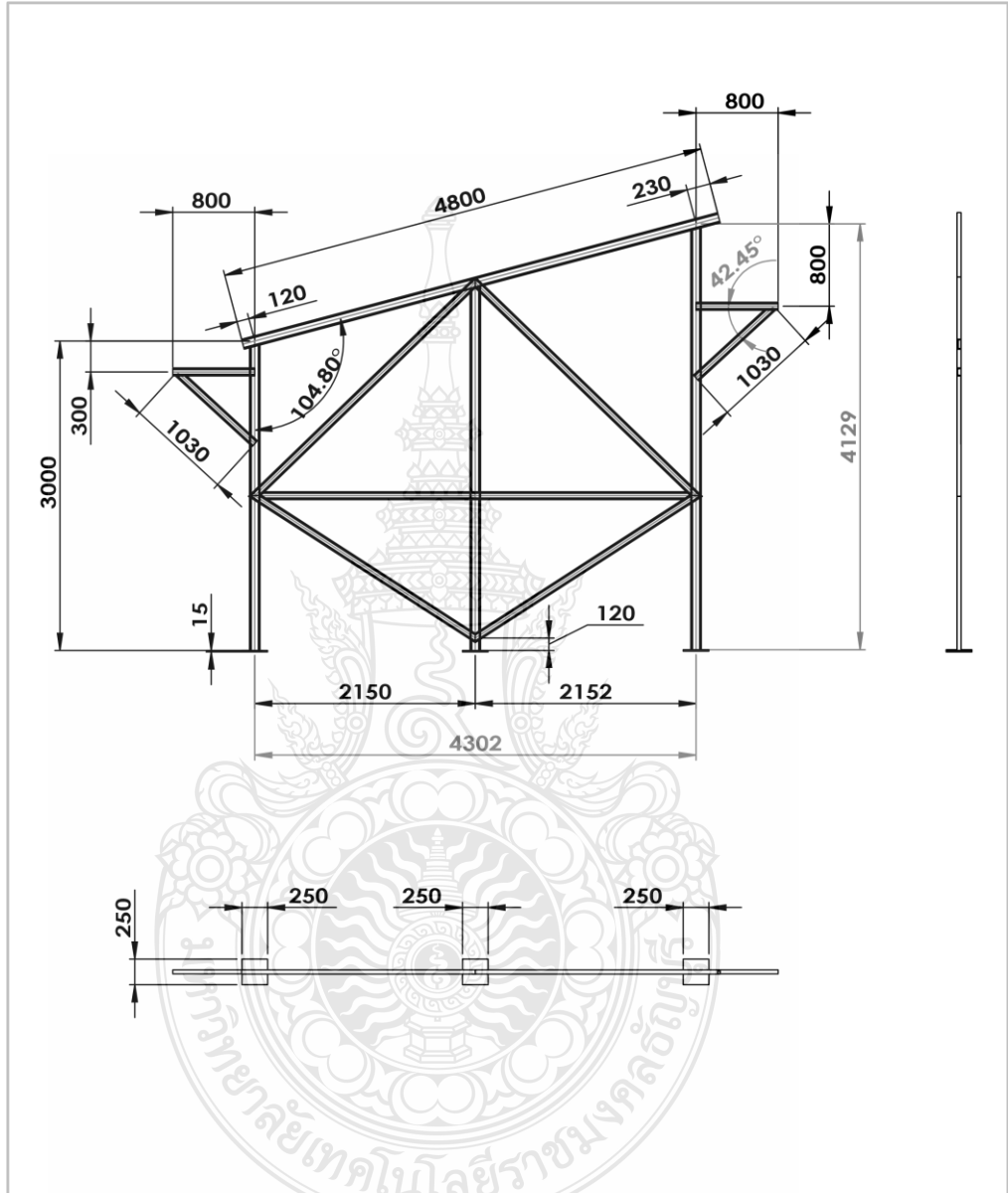


NO.	Part number	Material
1	Glazing frame	Aluminum alloy frame
2	Fluid tube	Copper
3	Nut	Copper
4	1st cover	Glass,standard
5	Absorber plate	Aluminum alloy
6	Cover	Fiber glass
7	Insulation	polyamide
8	Solar cell	Amorphous crystalline
9	Cover	Aluminum

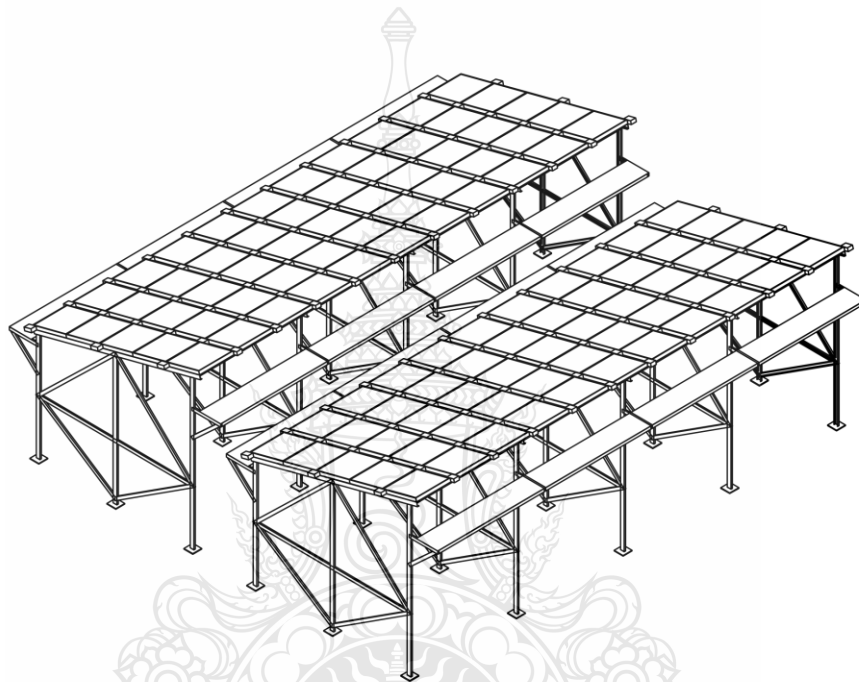
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	
DRAWN				TITLE: PHOTOVOLTAIC THERMAL SYSTEM			
CHKD				MATERIAL:			
APPVD				DWG NO.			
MFG				SCALE:1:20			
Q.A				SHEET 1 OF 1			
WEIGHT:				A4			



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE		TITLE: PHOTOVOLTAIC THERMAL SYSTEM	
CHKD					DWG NO.	A4
APPVD				MATERIAL:		
MFG				WEIGHT:	SCALE:1:20	SHEET 1 OF 1
QA						



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN				TITLE: STRUCTURE			
CHKD				DWG NO.			
APPR'D				MATERIAL:			
MFG				WEIGHT:			
QA				SCALE:1:50			
				SHEET 1 OF 1			



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
DRAWN		NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:				
CHKD					STRUCTURE				
APPVD									
MFG									
QA									
		MATERIAL:			DWG NO.			A4	
		WEIGHT:			SCALE:1:100			SHEET 1 OF 1	

ภาคผนวก ง
ผลการทดลองค่าอุณหภูมิและค่ารังสีแสงอาทิตย์



ตารางที่ ๑.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 550 (l/hr)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อร์วมน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่อร์วมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
9:30	3.812	41.90	47.90	41.70	47.30	47.30	41.70	46.60	47.10	30.20
9:31	3.972	42.00	47.90	41.70	47.50	47.50	41.70	47.90	46.70	30.20
9:32	3.870	42.20	48.10	41.80	48.60	48.60	41.70	47.90	45.40	30.20
9:33	3.995	42.30	48.40	42.10	48.90	48.90	41.80	48.90	46.50	30.30
9:34	3.743	42.40	48.40	42.40	49.00	49.00	42.10	49.00	47.50	30.30
9:35	3.964	42.70	49.70	42.50	49.20	49.20	42.30	49.20	47.40	30.50
9:36	4.070	42.90	49.80	42.80	49.40	49.40	42.40	49.40	48.90	30.50
9:37	4.148	43.00	49.90	43.00	49.70	49.70	42.70	49.70	48.80	30.50
9:38	4.109	43.40	49.20	43.20	49.80	49.80	42.90	49.80	48.10	30.70
9:39	4.145	43.50	50.30	43.40	50.00	50.00	43.40	49.20	49.20	30.50
9:40	4.135	43.80	50.40	43.80	50.30	50.30	43.50	50.30	49.40	30.90
9:41	4.139	44.00	50.60	43.90	50.30	50.30	43.20	50.40	48.90	30.80
9:42	4.058	44.30	50.20	44.20	50.60	50.60	43.40	50.60	48.70	30.80
9:43	4.146	44.50	50.20	44.30	50.60	50.60	43.80	50.60	49.70	30.70
9:44	4.190	44.60	50.40	44.50	50.90	50.90	44.30	50.90	50.20	30.80
9:45	4.140	44.90	51.70	44.80	51.20	51.20	44.50	51.20	50.80	30.80
9:46	4.231	45.20	51.90	45.10	51.50	51.50	44.60	51.50	50.70	30.60
9:47	4.257	45.20	51.50	45.10	51.60	51.60	44.90	51.90	50.10	30.40
9:48	4.310	45.40	52.30	45.20	52.00	52.00	45.10	51.50	50.40	31.00
9:49	4.301	45.60	52.30	45.40	52.00	52.00	45.10	52.30	50.80	31.10
9:50	4.354	45.80	52.60	45.60	52.10	52.10	45.20	52.30	50.70	31.30
9:51	4.482	46.00	52.90	45.80	52.30	52.30	45.40	52.60	50.10	31.60
9:52	4.484	46.10	52.10	46.00	52.40	52.40	45.80	52.90	50.50	31.60
9:53	4.379	46.30	52.30	46.30	52.60	52.60	46.00	52.60	50.50	32.10
9:54	4.380	46.60	52.40	46.40	52.80	52.80	46.10	52.80	50.10	32.20
9:55	4.418	46.80	52.50	46.60	52.90	52.90	46.60	52.90	50.50	32.10
9:56	4.412	46.90	52.80	46.90	53.20	53.20	46.90	53.20	50.30	31.40
9:57	4.438	47.10	53.00	47.10	53.40	53.40	46.90	53.40	50.30	31.10
9:58	4.418	47.40	53.30	47.40	53.70	53.70	47.10	53.50	50.50	31.90
9:59	4.444	47.50	53.50	47.50	53.80	53.80	47.40	53.60	50.80	31.50
10:00	4.515	47.70	53.60	47.70	53.80	53.80	47.50	53.80	50.60	31.60
10:01	4.499	47.90	53.80	47.90	54.00	54.00	47.70	54.90	51.40	31.80
10:02	4.638	48.00	54.90	48.00	54.10	54.10	47.90	54.20	51.20	32.10
10:03	4.486	48.30	54.20	48.30	54.50	54.50	48.00	54.50	50.10	32.20
10:04	4.490	48.40	54.40	48.40	54.70	54.70	48.40	54.70	50.70	31.50
10:05	4.485	48.60	55.70	48.60	55.10	55.10	48.60	55.10	50.80	31.40
10:06	4.503	48.80	55.90	48.80	55.40	55.40	48.80	55.40	51.80	31.90
10:07	4.402	49.00	55.20	49.10	55.70	55.70	49.20	55.70	52.80	32.10
10:08	4.551	49.20	55.50	49.20	56.00	56.00	49.30	56.00	52.70	32.30
10:09	4.718	49.40	55.60	49.30	56.10	56.10	49.50	56.80	51.40	31.90

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 550 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อร์วมน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่อร์วมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
10:10	4.738	49.50	56.80	49.50	56.30	56.30	48.80	56.00	52.40	31.30
10:11	4.649	49.80	56.00	49.70	56.50	56.50	49.50	56.20	53.80	31.60
10:12	4.646	50.00	56.20	50.00	56.80	56.80	49.80	56.40	54.00	31.60
10:13	4.822	50.10	56.40	50.20	57.10	57.10	50.40	57.60	55.00	31.70
10:14	4.843	50.30	57.60	50.40	57.20	57.20	50.30	57.70	54.90	32.10
10:15	4.748	50.40	57.70	50.30	57.50	57.50	50.40	57.60	54.90	32.00
10:18	4.979	50.70	58.50	49.20	58.10	58.10	49.10	58.20	53.40	31.60
10:19	4.788	50.40	58.70	49.10	58.20	58.20	50.40	58.30	52.80	31.30
10:20	4.917	50.30	58.80	49.10	58.30	58.30	49.40	58.60	53.20	31.90
10:21	4.943	50.20	58.00	49.10	58.60	58.60	49.50	58.40	54.10	32.40
10:22	4.745	50.10	58.20	49.00	58.70	58.70	49.70	59.40	54.30	32.40
10:23	5.002	50.20	58.40	49.20	59.10	59.10	50.60	59.40	55.80	31.90
10:24	5.029	50.20	59.40	49.40	59.20	59.20	50.90	59.50	55.70	31.90
10:25	5.001	50.40	59.40	49.50	59.30	59.30	50.10	59.70	55.00	32.00
10:26	5.086	50.60	59.50	49.70	59.50	59.50	50.20	58.70	55.10	32.00
10:27	5.040	50.90	59.70	50.00	59.70	59.70	50.40	59.10	55.80	31.40
10:28	5.100	50.10	59.80	50.10	59.80	59.80	50.60	59.20	56.90	31.70
10:29	5.117	50.20	60.70	50.20	59.80	59.80	50.90	59.30	56.10	31.90
10:30	4.967	50.40	60.80	50.40	60.00	60.00	50.90	60.30	56.20	31.90
10:31	5.012	50.50	60.80	50.50	60.10	60.10	51.20	60.30	56.90	31.80
10:32	5.051	50.60	60.00	50.60	60.30	60.30	51.40	60.60	56.70	31.90
10:33	5.103	50.90	60.10	50.90	60.30	60.30	51.50	60.80	57.10	31.80
10:34	5.142	51.00	60.30	50.90	60.60	60.60	51.60	61.00	57.10	32.10
10:35	5.145	51.20	60.30	51.20	60.80	60.80	51.20	60.30	57.20	32.20
10:36	5.183	51.40	60.30	51.40	61.00	61.00	51.40	60.30	57.90	32.10
10:37	5.156	51.50	60.60	51.50	60.30	60.30	50.20	60.60	57.90	32.00
10:38	5.204	51.60	60.10	51.50	60.30	60.30	50.50	60.10	57.10	32.10
10:39	5.223	51.90	60.00	51.00	60.60	60.60	50.50	60.60	57.70	31.90
10:40	5.220	51.00	61.10	51.00	62.00	62.00	50.50	60.80	57.10	32.10
10:41	5.252	50.20	62.30	50.20	62.30	62.30	50.50	60.00	57.30	32.40
10:42	5.245	50.50	62.50	50.50	62.50	62.50	50.50	60.10	58.10	32.10
10:43	5.233	50.50	62.70	50.50	62.70	62.70	50.60	60.30	58.40	32.30
10:44	5.299	50.60	62.90	50.60	62.80	62.80	50.50	60.30	58.60	32.00
10:45	5.301	50.80	63.00	50.80	62.90	62.90	50.60	62.70	58.60	31.90
10:46	5.305	50.10	63.20	50.00	63.10	63.10	50.80	62.80	58.60	31.90
10:47	5.338	50.20	63.40	51.90	63.20	63.20	50.20	62.90	58.50	32.30
10:48	5.340	50.40	63.40	51.00	63.30	63.30	50.40	63.10	58.40	32.10
10:49	5.364	50.50	63.50	50.20	63.30	63.30	50.50	63.20	56.40	32.40
10:50	5.367	49.80	63.80	50.50	63.40	63.40	50.50	63.40	56.70	32.40
10:51	5.379	49.80	63.00	50.50	63.40	63.40	50.60	63.50	56.30	32.40
10:52	5.402	49.10	64.30	50.60	64.00	64.00	50.60	63.80	56.80	32.40

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 550 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อร์วมน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่อร์วมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
10:53	5.430	50.30	64.60	51.10	64.10	64.10	50.80	63.00	57.80	31.80
10:54	5.486	50.60	64.90	51.90	64.60	64.60	50.10	64.10	59.50	32.50
10:55	5.427	50.80	64.10	50.70	64.80	64.80	50.50	64.60	59.90	31.90
10:56	5.415	50.10	64.30	50.10	65.10	65.10	51.60	64.80	59.00	32.30
10:57	5.476	50.40	65.50	50.50	65.20	65.20	51.00	65.50	59.00	32.20
10:58	5.478	50.70	65.70	51.60	65.50	65.50	50.50	65.70	59.40	32.30
10:59	5.452	50.90	65.80	51.00	65.90	65.90	50.50	65.80	59.50	32.10
11:00	5.490	50.00	65.00	51.30	65.90	65.90	50.60	65.00	59.90	32.10
11:01	5.518	51.10	65.10	50.20	66.10	66.10	50.10	65.10	59.90	32.30
11:02	5.526	51.90	66.40	50.50	66.30	66.30	50.40	66.40	60.80	32.30
11:03	5.575	50.70	66.60	50.50	66.40	66.40	50.10	66.40	61.10	32.40
11:05	5.614	50.40	66.70	50.90	66.50	66.50	50.30	66.50	60.80	32.70
11:06	5.632	50.50	66.90	50.10	66.50	66.50	50.60	66.50	60.70	32.60
11:07	5.589	51.60	66.00	50.20	66.60	66.60	50.80	66.60	60.60	32.40
11:08	5.558	51.00	66.20	50.40	66.90	66.90	50.10	66.90	61.00	32.00
11:09	5.609	51.30	66.20	50.60	66.90	66.90	51.20	66.00	61.00	32.40
11:10	5.563	51.70	67.50	50.30	67.10	67.10	51.00	66.20	61.20	32.10
11:11	5.628	51.20	67.50	50.60	67.20	67.20	50.50	66.20	61.30	31.90
11:12	5.645	51.00	67.50	50.80	67.20	67.20	50.30	67.50	61.70	32.30
11:13	5.667	50.50	67.50	50.10	67.10	67.10	50.10	67.50	61.80	32.30
11:14	5.664	50.30	67.50	50.20	67.50	67.50	50.20	67.50	62.10	32.40
11:15	5.691	50.20	67.60	50.40	67.80	67.80	50.90	66.90	62.80	32.80
11:16	5.690	50.90	68.50	50.60	68.00	68.00	50.80	66.90	63.10	32.90
11:17	5.720	50.80	68.50	49.50	68.20	68.20	50.70	67.10	62.90	32.90
11:18	5.784	50.60	68.40	50.70	68.30	68.30	50.10	68.50	62.00	32.90
11:19	5.819	50.60	68.30	50.10	68.30	68.30	50.60	68.50	63.20	32.50
11:20	5.807	50.60	68.40	50.40	68.40	68.40	50.80	68.40	64.30	32.80
11:21	5.751	50.80	68.60	50.10	68.40	68.40	50.10	68.30	64.70	32.80
11:22	5.805	50.10	68.50	50.40	68.70	68.70	50.70	68.40	64.70	32.80
11:23	5.826	50.50	68.40	50.70	68.60	68.60	50.90	68.50	64.70	32.80
11:24	5.574	50.90	68.70	50.90	68.70	68.70	50.60	68.40	64.40	32.60
11:25	5.849	50.60	68.40	50.60	68.60	68.60	50.00	68.70	65.40	32.90
11:26	5.809	50.80	68.50	50.80	68.60	68.60	50.60	68.60	65.30	33.10
11:27	5.788	50.50	68.60	50.10	68.70	68.70	50.80	68.60	65.50	33.00
11:28	5.675	50.40	68.60	50.20	68.80	68.80	50.10	68.70	66.50	33.00
11:29	5.837	50.20	68.60	50.40	68.70	68.70	50.20	68.80	65.80	33.20
11:30	5.995	50.60	68.70	50.30	68.70	68.70	50.40	68.70	65.30	33.10
11:31	5.936	50.00	68.00	50.60	68.50	68.50	49.40	68.00	65.60	33.20
11:32	5.924	50.60	68.00	50.80	68.60	68.60	50.20	68.70	65.80	32.80
11:33	5.867	49.50	68.30	50.10	68.40	68.40	50.60	68.50	65.00	32.90
11:34	5.892	49.30	68.70	50.40	68.50	68.50	50.10	68.60	65.10	32.60

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 550 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อร์วมน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่อร์วมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
11:35	5.883	49.10	69.30	49.40	68.60	68.60	50.40	69.30	65.10	32.40
11:36	5.932	49.10	69.70	49.00	68.70	68.70	49.40	69.70	66.60	32.40
11:37	5.917	49.20	69.10	49.40	69.00	69.00	49.10	69.10	65.00	32.90
11:38	5.956	49.60	69.30	49.40	69.40	69.40	49.10	69.30	65.70	32.90
11:39	5.977	49.60	69.70	50.30	69.80	69.80	50.90	69.40	65.90	32.90
11:40	5.985	49.80	70.90	50.20	70.00	70.00	50.80	69.80	65.00	32.40
11:41	5.958	49.00	70.90	50.90	70.40	70.40	50.60	70.00	65.70	32.90
11:42	5.928	50.50	70.90	50.80	70.70	70.70	51.40	70.40	65.50	32.80
11:43	5.928	50.10	71.90	50.60	71.10	71.10	50.10	70.70	65.20	32.70
11:44	6.057	50.80	71.90	51.40	71.30	71.30	50.80	71.70	65.50	33.10
11:45	6.061	50.30	71.70	51.10	71.40	71.40	50.30	71.70	64.70	32.90
11:46	6.067	50.10	71.70	51.10	71.40	71.40	51.10	71.70	64.20	32.90
11:47	6.138	50.00	71.70	51.10	71.50	71.50	50.80	71.60	64.90	32.60
11:48	6.153	50.10	71.60	50.80	71.50	71.50	50.30	71.50	64.70	33.10
11:49	5.941	50.50	71.50	50.50	71.50	71.50	50.10	71.40	65.80	33.50
11:50	5.588	50.10	71.40	50.40	71.50	71.50	50.00	71.50	65.40	33.20
11:52	6.130	50.50	71.30	50.40	71.50	71.50	50.40	71.10	66.10	33.10
11:53	6.129	50.10	71.10	50.50	71.20	71.20	50.50	72.00	66.60	32.80
11:54	5.855	50.80	72.10	51.60	71.10	71.10	50.50	72.10	66.60	32.50
11:55	6.000	49.40	72.00	51.00	71.90	71.90	50.10	72.10	66.40	32.40
11:56	5.805	49.00	72.00	51.30	71.90	71.90	50.50	72.30	65.10	33.20
11:57	5.910	49.40	72.10	49.60	71.80	71.80	51.60	72.60	65.20	32.70
11:58	5.954	49.40	72.10	49.30	71.40	71.40	50.50	71.80	65.80	32.60
11:59	5.785	49.20	72.30	49.40	71.50	71.50	51.60	71.40	64.80	33.10
12:00	5.952	50.60	72.60	49.70	71.70	71.70	49.00	71.50	65.40	33.30
12:01	5.958	50.70	71.90	51.50	71.60	71.60	49.60	71.70	65.90	33.40
12:02	6.057	50.70	72.30	51.80	71.80	71.80	49.30	71.60	65.80	33.60
12:03	5.470	50.80	71.80	51.00	71.10	71.10	49.40	71.80	67.50	33.50
12:04	6.056	50.90	72.10	51.80	71.20	71.20	49.70	71.10	65.00	33.40
12:05	6.049	50.90	72.20	51.80	71.20	71.20	51.80	72.10	65.10	33.40
12:06	6.054	51.30	72.60	51.00	71.60	71.60	51.00	72.20	65.40	33.60
12:07	6.111	51.40	72.70	50.90	71.90	71.90	51.80	72.60	65.80	33.70
12:08	6.075	51.80	72.00	50.10	72.20	72.20	51.80	72.70	66.70	32.90
12:09	6.065	51.30	72.10	50.60	72.50	72.50	51.60	72.00	67.20	32.90
12:10	5.988	51.70	72.10	50.40	72.70	72.70	51.10	72.10	66.40	33.30
12:11	5.994	51.10	72.30	50.80	72.80	72.80	50.70	72.70	66.70	33.30
12:12	6.091	51.60	73.30	50.80	73.20	73.20	50.30	72.80	67.40	33.40
12:13	6.085	51.10	73.50	50.30	73.40	73.40	49.30	73.20	67.10	33.00
12:14	6.058	50.70	73.30	49.30	73.50	73.50	49.10	73.40	67.10	33.70
12:15	6.070	50.50	73.30	49.10	73.50	73.50	49.80	73.50	67.20	33.50
12:16	6.103	50.20	73.50	49.80	73.30	73.30	49.70	73.50	67.30	33.10

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 550 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อร์วมน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่อร์วมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
12:17	6.105	50.10	73.60	49.70	73.30	73.30	49.70	73.30	67.60	33.20
12:18	6.054	50.90	73.80	49.70	73.50	73.50	49.50	73.60	67.40	33.50
12:19	5.973	50.00	73.80	49.10	73.50	73.50	50.20	73.80	67.00	33.90
12:20	5.678	50.20	73.60	49.50	73.60	73.60	51.20	73.80	67.40	34.00
12:21	6.106	49.60	73.80	50.20	73.50	73.50	51.50	73.60	67.20	33.90
12:22	6.042	49.30	73.80	51.20	73.40	73.40	49.40	73.80	67.20	33.20
12:23	6.049	49.40	73.70	51.50	73.40	73.40	49.70	73.80	67.00	33.40
12:24	6.050	49.70	73.70	51.40	73.20	73.20	51.50	73.70	67.60	33.40
12:25	6.116	51.50	73.40	51.30	73.00	73.00	51.50	73.70	67.40	33.00
12:26	6.112	51.50	73.40	51.10	73.60	73.60	51.50	73.20	66.80	33.20
12:27	5.966	51.50	73.20	51.80	73.80	73.80	51.30	73.00	65.90	33.10
12:28	5.987	51.30	74.10	51.30	73.80	73.80	50.10	73.60	66.10	33.40
12:29	5.629	51.70	74.20	51.60	73.60	73.60	50.60	73.80	65.60	33.20
12:30	5.966	51.10	73.40	50.50	73.40	73.40	50.80	73.80	65.00	33.20
12:31	6.071	51.00	73.40	50.40	73.80	73.80	50.30	73.60	66.30	33.60
12:32	6.027	51.90	74.00	50.10	73.70	73.70	50.60	73.40	65.10	33.20
12:33	5.948	51.50	74.10	50.50	73.70	73.70	50.40	74.00	66.80	33.00
12:34	6.007	51.00	74.00	50.10	73.40	73.40	51.10	74.10	65.90	33.40
12:35	5.980	51.60	73.10	50.60	73.40	73.40	51.00	74.00	65.60	33.60
12:36	6.100	51.00	73.50	50.80	74.00	74.00	51.90	73.10	65.20	33.60
12:37	6.105	51.50	74.10	50.30	74.10	74.10	51.50	73.50	66.90	34.00
12:39	6.125	51.80	75.90	50.40	74.60	74.60	51.60	74.50	69.00	33.90
12:40	6.168	51.00	76.70	51.20	75.20	75.20	51.80	75.90	68.60	33.70
12:41	6.132	51.80	75.20	51.30	75.50	75.50	50.80	76.70	68.60	33.40
12:42	6.154	51.80	75.50	51.50	75.60	75.60	50.80	75.20	68.70	33.30
12:43	6.110	51.00	75.60	51.10	75.90	75.90	50.10	75.50	66.90	33.20
12:44	6.127	50.60	75.60	51.80	76.70	76.70	50.30	75.60	67.30	33.10
12:45	6.130	50.40	76.90	50.80	76.80	76.80	50.60	75.90	66.60	33.40
12:46	6.137	50.30	76.80	50.80	76.90	76.90	51.90	76.70	67.00	34.10
12:47	6.092	50.40	77.20	50.10	77.00	77.00	51.60	76.80	68.30	33.60
12:48	6.148	50.40	77.30	50.30	77.10	77.10	50.00	77.20	68.30	33.40
12:49	6.152	50.70	77.10	50.60	76.90	76.90	50.70	77.30	68.20	33.60
12:50	6.230	50.90	76.70	51.90	76.90	76.90	50.20	77.10	67.60	33.50
12:51	6.187	50.20	76.30	51.40	76.80	76.80	51.90	76.70	67.70	33.90
12:52	6.160	51.60	76.60	50.80	76.70	76.70	51.70	76.70	67.30	33.30
12:53	6.158	51.10	76.10	50.30	76.40	76.40	51.40	76.30	67.10	33.20
12:54	6.134	51.60	75.50	50.00	75.80	75.80	51.10	76.60	66.90	33.20
12:55	6.089	50.00	75.90	50.50	75.30	75.30	51.80	76.10	66.60	33.20
12:56	6.113	50.70	75.50	50.20	75.90	75.90	50.00	75.80	67.40	33.20
12:57	6.150	50.20	75.10	50.80	75.40	75.40	50.50	75.30	66.90	33.60
12:58	6.126	51.90	75.70	50.50	74.90	74.90	51.30	75.90	65.90	33.40

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 550 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่ร่วมน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่ร่วมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
12:59	6.092	51.70	74.70	50.10	74.30	74.30	51.10	75.40	68.20	33.60
13:00	6.148	51.40	74.70	50.00	74.40	74.40	51.90	74.90	68.70	33.10
13:01	6.133	51.10	74.70	50.50	74.10	74.10	51.60	74.30	67.00	32.60
13:02	6.249	51.80	74.40	51.30	74.30	74.30	51.80	74.40	67.90	32.80
13:03	6.229	51.50	74.40	51.10	74.40	74.40	51.50	74.70	67.80	33.10
13:04	6.240	51.30	73.40	51.90	73.40	73.40	51.30	74.70	67.20	33.50
13:05	6.165	51.10	73.30	51.60	73.30	73.30	51.10	74.70	67.00	33.60
13:06	6.061	51.90	73.30	51.60	73.10	73.10	51.90	74.40	67.50	33.60
13:07	6.106	51.80	73.30	51.50	73.20	73.20	50.30	73.40	67.40	33.70
13:08	6.136	51.70	73.10	51.70	73.10	73.10	50.00	73.30	67.80	33.70
13:09	6.169	51.90	73.20	51.90	73.30	73.30	50.80	73.10	66.90	33.30
13:10	6.143	51.20	72.10	51.50	73.30	73.30	50.90	73.20	67.80	33.70
13:11	6.159	51.70	72.10	50.30	73.30	73.30	50.50	73.30	67.40	33.80
13:12	6.132	50.40	72.90	50.00	73.00	73.00	50.20	73.10	66.00	33.70
13:13	6.042	50.30	72.70	50.70	72.80	72.80	50.40	73.20	66.10	33.60
13:14	6.143	50.70	72.30	50.80	72.90	72.90	50.30	72.10	66.10	33.70
13:15	6.159	50.90	72.80	50.90	72.90	72.90	50.70	72.10	66.10	33.40
13:16	6.132	50.10	72.90	50.50	72.80	72.80	50.90	72.90	66.00	33.40
13:17	6.042	50.60	72.60	50.20	72.90	72.90	50.10	73.30	65.60	33.70
13:18	6.044	50.40	73.40	50.40	72.70	72.70	50.60	73.30	65.50	33.40
13:19	6.053	50.80	73.50	50.40	72.70	72.70	51.60	73.00	65.30	33.20
13:20	6.094	50.80	72.70	50.10	72.90	72.90	51.20	72.80	65.40	32.80
13:21	6.048	50.30	73.10	50.30	73.50	73.50	51.70	72.60	65.10	33.00
13:22	5.966	51.80	72.70	51.50	73.40	73.40	51.50	73.40	65.80	33.50
13:23	5.945	51.00	73.30	51.00	73.30	73.30	51.50	73.50	66.90	33.20
13:24	5.988	51.60	73.90	51.60	73.30	73.30	51.30	72.80	66.30	33.60
13:26	5.981	51.70	73.10	51.10	73.10	73.10	50.40	72.70	66.60	33.30
13:27	6.075	51.50	73.60	51.20	73.20	73.20	50.40	72.70	67.10	33.20
13:28	6.085	51.50	73.10	51.10	73.10	73.10	50.10	73.10	66.00	33.20
13:29	6.072	51.30	73.20	51.20	73.10	73.10	50.30	72.70	66.00	33.60
13:30	6.130	50.40	73.40	51.10	73.60	73.60	51.50	73.30	65.20	34.00
13:31	6.094	50.30	73.40	51.10	73.50	73.50	49.40	73.90	63.00	33.90
13:32	6.048	50.30	73.50	51.50	73.00	73.00	49.20	73.30	64.90	33.90
13:33	6.016	50.60	73.20	51.70	73.00	73.00	49.10	73.20	65.80	33.30
13:34	6.018	50.80	72.90	51.90	73.10	73.10	49.40	73.10	64.50	33.90
13:35	6.035	50.10	72.80	51.50	73.60	73.60	49.50	73.20	66.50	33.90
13:36	6.030	50.40	73.60	51.70	73.80	73.80	50.30	73.10	65.50	33.80
13:37	6.017	50.80	73.40	51.00	73.50	73.50	50.30	73.20	65.00	33.70
13:38	6.025	50.30	73.30	50.60	73.60	73.60	50.90	73.40	65.00	33.20
13:39	6.003	50.90	73.60	50.30	73.70	73.70	50.40	73.40	64.40	33.40
13:40	6.011	50.40	73.80	50.10	73.70	73.70	50.00	73.50	65.50	33.60

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 550 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อร์วมน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่อร์วมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
13:41	6.027	50.00	73.70	49.80	73.60	73.60	49.40	73.00	64.30	33.70
13:42	6.024	49.80	73.70	49.60	73.40	73.40	49.20	73.10	65.10	33.90
13:43	6.051	49.60	73.60	49.40	73.30	73.30	49.10	73.60	66.50	33.90
13:44	6.031	49.40	73.50	49.20	73.40	73.40	49.80	73.80	65.80	33.80
13:45	6.028	49.20	73.20	49.10	73.40	73.40	50.60	73.70	65.90	33.80
13:46	5.994	49.20	73.00	49.40	73.50	73.50	51.20	73.70	66.40	34.20
13:47	5.961	49.40	73.70	49.50	73.20	73.20	51.10	73.60	63.50	34.50
13:48	5.945	49.80	73.60	50.30	73.00	73.00	51.80	73.50	64.30	34.50
13:49	5.933	50.60	73.40	51.20	73.00	73.00	50.70	73.50	65.20	34.30
13:50	5.956	51.20	73.30	51.00	73.00	73.00	50.30	73.20	65.20	34.40
13:51	5.955	51.10	73.20	51.80	72.70	72.70	50.50	73.00	64.30	34.30
13:52	5.924	51.80	73.00	51.50	72.50	72.50	50.00	73.00	65.90	34.10
13:53	5.886	51.50	72.70	51.00	72.30	72.30	50.50	73.00	64.40	33.70
13:54	5.891	51.30	72.50	50.70	72.10	72.10	50.70	73.20	64.40	33.80
13:55	5.867	50.90	72.30	50.30	72.00	72.00	50.60	73.00	64.80	33.90
13:56	5.849	50.60	72.30	50.50	71.70	71.70	50.80	72.70	66.00	33.70
13:57	5.885	50.80	72.10	50.00	71.70	71.70	50.60	72.50	66.70	33.60
13:58	5.835	50.10	72.00	50.50	71.30	71.30	50.50	71.70	66.90	33.60
13:59	5.816	50.60	71.70	50.70	71.10	71.10	50.60	71.70	65.10	33.60
14:00	5.814	50.80	71.70	50.40	70.90	70.90	50.70	71.30	66.50	34.10
14:01	5.785	50.60	71.30	50.40	71.20	71.20	50.90	71.10	66.70	33.70
14:02	5.867	50.50	71.10	50.30	71.10	71.10	51.20	71.30	66.00	33.90
14:03	5.849	50.60	70.90	50.30	70.90	70.90	50.80	71.10	64.60	34.40
14:04	5.885	50.70	71.10	50.60	71.10	71.10	50.60	70.90	65.10	33.80
14:05	5.702	50.90	71.70	50.10	71.20	71.20	50.20	71.10	66.60	33.70
14:06	5.651	50.30	71.30	51.70	71.50	71.50	50.10	71.20	66.90	33.70
14:07	5.659	51.80	71.10	51.20	71.40	71.40	50.50	71.50	65.70	33.60
14:08	5.667	51.30	71.40	50.80	71.20	71.20	50.10	71.40	64.90	33.40
14:09	5.663	50.90	71.20	50.60	71.60	71.60	50.00	71.10	64.10	33.90
14:10	5.651	50.70	71.80	50.20	71.60	71.60	50.00	71.70	62.80	33.70
14:11	5.647	50.50	71.40	50.10	71.00	71.00	49.80	71.30	63.90	33.80
14:13	5.638	50.00	71.10	49.80	71.30	71.30	50.00	71.40	64.40	33.60
14:14	5.648	50.00	70.90	49.70	71.20	71.20	50.20	71.60	64.20	33.70
14:15	5.626	49.80	71.10	49.70	71.90	71.90	50.50	71.60	64.40	33.60
14:16	5.623	49.80	71.20	49.80	71.90	71.90	50.90	71.00	64.90	33.60
14:17	5.561	50.00	71.10	50.20	71.80	71.80	51.50	71.10	66.20	33.70
14:18	5.492	50.30	71.30	50.50	71.40	71.40	50.00	71.30	64.70	33.70
14:19	5.476	50.60	71.80	50.90	71.20	71.20	50.30	71.20	63.60	33.80
14:20	5.409	51.10	71.40	51.50	71.60	71.60	50.40	70.90	63.90	34.20
14:21	5.455	51.60	71.20	50.00	71.60	71.60	50.30	71.10	64.40	33.80
14:22	5.480	50.00	71.60	50.30	71.10	71.10	50.10	71.20	64.40	33.40

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 550 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่ร่วมน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่ร่วมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
14:23	5.414	50.40	70.60	50.40	71.00	71.00	50.00	71.10	64.00	33.60
14:24	5.430	50.50	71.20	50.10	70.60	70.60	50.00	71.20	63.70	33.70
14:25	5.419	50.40	71.60	51.10	70.40	70.40	51.80	71.60	62.80	33.40
14:26	5.339	50.30	71.60	51.00	70.20	70.20	51.60	71.60	62.40	33.70
14:27	5.392	50.10	71.10	51.00	70.10	70.10	51.40	71.10	62.30	33.90
14:28	5.334	50.00	70.30	51.80	70.10	70.10	51.30	71.00	62.60	33.70
14:29	5.360	50.00	70.30	51.70	70.00	70.00	51.20	69.80	63.70	33.60
14:30	5.253	51.80	69.20	51.60	69.80	69.80	51.20	69.70	64.40	33.90
14:31	5.256	51.60	69.00	51.40	69.70	69.70	50.90	69.70	63.50	33.70
14:32	5.300	51.50	69.10	51.30	69.70	69.70	50.90	69.80	63.40	33.50
14:33	5.260	51.40	69.90	51.20	69.60	69.60	50.80	69.70	64.10	33.40
14:34	5.206	51.40	69.80	51.20	69.60	69.60	50.80	69.90	64.50	33.40
14:35	5.258	51.10	69.70	50.90	69.40	69.40	51.10	69.80	63.90	33.80
14:36	5.220	51.10	69.50	50.90	69.20	69.20	51.10	69.70	62.60	33.60
14:37	5.136	51.10	69.60	50.80	69.20	69.20	51.10	69.50	61.40	33.40
14:38	5.138	51.10	69.80	50.80	69.30	69.30	51.00	69.60	61.10	33.70
14:39	5.144	51.00	69.70	50.80	69.30	69.30	50.80	69.20	62.60	34.20
14:40	5.127	50.80	69.50	50.60	69.10	69.10	50.90	69.10	63.20	34.00
14:41	5.193	50.90	69.50	50.70	69.20	69.20	50.80	69.00	62.40	33.90
14:42	5.191	50.80	69.30	50.60	69.10	69.10	50.70	69.10	60.30	33.90
14:43	5.134	50.70	68.30	50.50	69.00	69.00	50.80	68.70	58.90	33.70
14:44	5.162	50.80	68.20	50.60	69.10	69.10	50.90	68.60	60.60	33.90
14:45	5.088	50.90	68.10	51.10	68.70	68.70	51.50	68.70	60.10	33.70
14:46	5.032	51.10	68.60	51.00	68.60	68.60	51.00	66.80	61.00	33.70
14:47	5.106	51.20	68.70	51.50	68.70	68.70	51.90	66.80	60.20	33.70
14:48	5.093	51.70	68.60	51.00	68.60	68.60	51.90	66.70	60.10	33.70
14:49	5.062	50.10	68.50	51.90	68.60	68.60	51.90	66.70	60.40	33.50
14:50	4.951	50.00	68.60	51.90	68.40	68.40	51.00	66.70	60.80	33.60
14:51	5.029	50.00	67.60	51.90	68.20	68.20	51.00	66.60	60.90	33.70
14:52	4.891	50.10	67.60	51.00	68.20	68.20	50.80	66.60	60.50	33.70
14:53	4.742	50.10	67.50	51.00	68.10	68.10	50.00	66.50	60.00	34.10
14:54	4.842	50.10	68.60	50.80	68.10	68.10	50.80	66.50	56.40	33.70
14:55	4.800	50.00	68.60	50.60	68.00	68.00	50.40	66.50	58.10	34.10
14:56	4.778	50.80	68.50	50.20	68.00	68.00	50.00	66.40	59.10	33.40
14:57	4.856	50.40	68.70	50.70	68.10	68.10	50.40	66.40	59.50	33.60
14:58	4.895	50.00	67.80	50.30	68.10	68.10	50.30	66.30	59.60	33.40
15:00	4.924	50.30	67.20	50.40	67.70	67.70	50.20	66.00	59.10	33.70
15:01	4.851	50.40	67.30	50.20	67.90	67.90	50.70	65.90	58.80	33.40
15:02	4.706	50.20	67.20	50.70	67.70	67.70	50.20	65.60	58.80	33.40
15:03	4.672	50.70	67.10	50.40	67.30	67.30	50.30	65.10	59.70	33.70
15:04	4.599	50.30	67.10	50.10	66.90	66.90	51.60	64.80	60.90	33.80

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 550 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่ร่วมน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่ร่วมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
15:05	4.576	50.30	67.40	50.20	67.50	67.50	51.90	66.30	60.90	33.60
15:06	4.659	51.40	67.50	50.30	67.40	67.40	51.40	66.00	60.00	33.60
15:07	4.561	51.60	67.50	51.60	67.50	67.50	51.00	65.40	60.10	33.40
15:08	4.655	51.80	67.60	51.90	67.20	67.20	51.50	65.20	60.10	33.70
15:09	4.632	51.20	67.50	51.40	67.00	67.00	51.20	65.10	61.20	33.50
15:10	4.550	51.60	67.40	51.00	67.10	67.10	51.60	65.10	60.30	33.70
15:11	4.611	51.10	67.10	51.50	67.00	67.00	51.10	64.50	59.50	33.90
15:12	4.538	51.70	66.90	51.20	67.00	67.00	51.70	64.40	59.20	33.70
15:13	4.596	51.40	66.90	50.90	67.10	67.10	51.40	64.20	59.60	33.70
15:14	4.542	51.10	67.60	50.60	67.90	67.90	51.10	64.30	58.20	33.50
15:15	4.417	50.80	67.60	50.50	67.00	67.00	50.80	64.30	58.80	33.40
15:16	4.479	50.70	67.30	50.30	67.00	67.00	50.70	64.30	59.30	33.70
15:17	4.296	50.50	67.10	50.20	67.80	67.80	50.50	64.70	59.90	33.60
15:18	4.398	50.30	67.90	50.10	67.70	67.70	50.30	65.00	58.20	33.20
15:19	4.335	50.10	67.60	49.90	67.70	67.70	50.80	65.10	59.10	33.60
15:20	4.131	50.00	67.40	50.00	67.50	67.50	50.30	65.20	57.70	33.20
15:21	4.403	50.10	67.40	50.40	67.40	67.40	50.20	65.20	57.20	33.20
15:22	4.542	50.50	67.10	50.80	67.20	67.20	50.50	65.20	57.70	33.40
15:23	4.453	50.80	67.90	50.30	67.10	67.10	50.00	65.30	57.50	33.60
15:24	4.368	50.50	66.70	50.20	66.90	66.90	50.50	65.30	58.20	33.40
15:25	4.259	50.40	66.60	50.50	66.60	66.60	50.70	65.20	58.80	33.20
15:26	4.361	50.70	66.30	50.00	66.40	66.40	50.60	65.10	58.90	33.50
15:27	4.368	50.00	66.10	50.50	66.40	66.40	51.40	65.10	58.20	33.30
15:28	4.331	50.60	66.00	50.70	66.10	66.10	50.70	65.10	57.90	33.40
15:29	4.231	50.70	66.90	50.60	66.00	66.00	50.70	64.90	58.30	33.60
15:30	4.192	50.70	66.90	51.40	66.80	66.80	50.60	65.20	58.40	33.20
15:31	3.842	50.60	66.00	51.10	66.80	66.80	50.30	65.10	58.40	33.40
15:32	4.000	50.30	66.00	50.30	66.70	66.70	51.60	65.60	58.40	33.40
15:33	4.078	51.60	66.80	50.00	66.70	66.70	51.20	64.90	58.80	33.20
15:34	4.023	51.20	66.90	50.30	66.60	66.60	51.60	64.80	57.40	33.20
15:35	3.981	51.60	66.70	50.90	66.60	66.60	51.10	64.80	57.90	33.10
15:36	3.965	51.10	66.90	50.40	66.70	66.70	51.60	64.70	57.50	33.10
15:37	3.987	51.60	66.20	50.00	66.80	66.80	50.50	64.60	57.80	33.50
15:38	4.037	51.10	66.30	50.50	66.00	66.00	50.10	64.50	57.40	33.70
15:39	3.956	50.70	66.40	50.10	66.10	66.10	51.60	64.50	57.10	33.50
15:40	3.964	50.30	66.50	51.60	66.20	66.20	51.20	64.30	57.00	33.60
15:41	3.970	50.80	66.40	51.20	66.10	66.10	50.30	64.20	56.60	33.60
15:42	3.895	50.40	66.40	51.80	66.10	66.10	50.80	64.20	57.00	33.50
15:43	3.853	50.00	66.40	51.50	66.30	66.30	50.40	64.10	55.10	33.50
15:44	3.770	50.60	66.20	51.20	66.40	66.40	50.00	64.00	55.20	33.60
15:45	3.704	50.20	66.10	51.80	66.40	66.40	50.60	64.00	55.00	33.10

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 550 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำเย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อร์วมน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่อร์วมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำ ร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
15:47	3.777	50.50	66.60	51.10	66.10	66.10	50.80	64.20	54.50	33.40
15:48	3.895	50.40	65.40	51.80	66.00	66.00	50.50	64.10	55.40	33.40
15:49	3.857	50.10	65.40	51.50	65.70	65.70	50.40	64.10	55.80	33.40
15:50	3.824	51.70	65.10	51.20	65.50	65.50	51.50	64.00	56.00	33.40
15:51	3.812	51.40	65.90	51.80	65.30	65.30	51.50	63.80	55.50	33.20
15:52	3.792	51.90	65.70	51.50	65.20	65.20	51.30	63.80	55.60	33.40
15:53	3.742	51.70	65.70	51.30	65.20	65.20	51.00	63.70	55.70	33.10
15:54	3.726	51.30	65.40	51.00	65.00	65.00	51.70	63.60	55.90	33.00
15:55	3.742	51.00	64.30	51.70	64.80	64.80	51.40	63.50	54.70	33.00
15:56	3.770	51.70	64.10	51.40	64.60	64.60	51.10	63.50	55.20	32.90
15:57	3.748	51.40	64.90	51.10	64.50	64.50	51.70	63.40	55.10	33.00
15:58	3.700	51.20	63.60	50.90	64.30	64.30	51.40	63.20	54.90	32.90
15:59	3.693	50.90	63.40	50.60	64.00	64.00	51.90	63.10	54.30	33.10
16:00	3.687	50.70	63.20	50.50	63.80	63.80	51.70	62.40	56.00	33.30
ค่าเฉลี่ย	5.311	50.145	67.430	50.116	67.386	67.386	50.102	67.042	61.174	32.978



ตารางที่ 2 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 700 (l/hr)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ หน้า เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ หน้า ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ หน้า เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ หน้า ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ หน้าร้อน (°C)	อุณหภูมิ หน้าร้อน (°C)	อุณหภูมิ หน้าร้อน (°C)	อุณหภูมิ หน้าร้อน (°C)	อุณหภูมิ หน้าร้อน (°C)
9:30	3.637	40.70	47.70	41.00	47.80	47.30	42.50	47.70	45.80	30.30
9:31	3.739	41.50	47.80	42.00	47.80	47.50	43.60	47.80	46.80	30.60
9:32	3.687	41.60	48.00	42.00	48.10	47.70	43.80	48.00	46.30	30.50
9:33	3.715	40.60	48.10	41.00	48.20	47.80	43.80	48.10	46.40	30.30
9:34	3.754	41.00	48.30	41.00	48.30	47.90	43.80	48.30	46.00	30.40
9:35	3.813	41.20	48.50	41.00	48.60	48.10	44.10	48.50	46.40	30.50
9:36	3.842	42.30	48.70	42.00	48.80	48.30	44.30	48.70	47.00	30.80
9:37	3.844	41.50	48.80	42.00	49.00	48.50	44.30	48.80	46.90	30.50
9:38	3.831	41.40	49.10	41.00	49.20	48.60	44.50	49.10	46.80	30.60
9:39	3.895	41.50	49.30	42.00	49.40	48.90	44.60	49.30	47.10	30.50
9:40	3.897	41.70	49.40	42.00	49.50	49.10	44.80	49.40	46.50	30.30
9:41	3.889	41.90	49.70	42.00	49.70	49.30	44.90	49.70	47.70	30.50
9:42	3.872	42.10	49.80	42.00	50.00	49.40	45.10	49.80	48.70	30.30
9:43	3.921	43.20	50.00	43.00	50.20	49.70	45.30	50.00	49.00	30.10
9:44	3.974	43.30	50.20	43.00	50.40	49.90	45.40	50.20	48.70	30.10
9:45	3.967	42.40	50.30	42.00	50.60	50.10	45.50	50.30	48.50	30.30
9:46	3.947	42.50	50.60	43.00	50.80	50.20	45.80	50.60	48.30	30.10
9:47	4.023	42.70	50.70	43.00	51.10	50.50	45.80	50.70	48.50	30.10
9:48	4.093	42.80	50.90	43.00	51.10	50.60	46.00	50.90	49.10	30.20
9:49	4.109	42.10	51.10	42.00	51.40	50.80	46.10	51.10	49.80	30.40
9:50	4.127	43.20	51.30	43.00	51.50	51.00	46.40	51.30	49.50	30.30
9:51	4.140	43.50	51.50	44.00	51.70	51.20	46.50	51.50	50.10	30.50
9:52	4.140	43.40	51.80	43.00	52.00	51.40	46.70	51.80	49.90	30.40
9:53	4.161	43.50	52.00	44.00	52.10	51.50	46.90	52.00	50.30	30.80
9:54	4.218	43.80	52.10	44.00	52.40	51.80	46.90	52.10	50.90	30.50
9:55	4.181	43.90	52.40	44.00	52.60	52.00	47.00	52.40	51.50	30.80
9:56	4.222	44.10	52.60	44.00	52.90	52.30	47.10	52.60	52.40	30.70
9:57	4.225	45.30	52.80	45.00	53.10	52.40	47.50	52.80	52.80	31.10
9:58	4.342	45.50	52.90	46.00	53.20	52.60	47.60	52.90	51.50	30.50
9:59	4.367	45.60	53.20	46.00	53.40	52.80	47.70	53.20	52.10	30.80
10:00	4.414	44.80	53.40	45.00	53.60	53.00	48.00	53.40	51.40	30.80
10:01	4.403	44.80	53.50	45.00	53.70	53.20	48.00	53.50	50.80	30.70
10:02	4.438	45.20	53.80	45.00	54.00	53.40	48.20	53.80	51.50	31.00
10:03	4.409	45.30	54.00	45.00	54.30	53.70	48.50	54.00	53.00	31.10
10:04	4.340	45.30	54.30	45.00	54.60	53.80	48.70	54.30	52.70	31.10
10:05	4.477	46.50	54.40	47.00	54.80	54.10	48.80	54.40	53.50	31.40
10:06	4.535	45.90	54.60	46.00	54.90	54.30	48.90	54.60	52.30	31.40
10:07	4.579	45.80	54.80	46.00	55.10	54.50	49.10	54.80	52.90	31.90
10:08	4.564	46.00	54.90	46.00	55.20	54.60	49.30	54.90	52.40	32.30
10:09	4.628	46.30	55.20	46.00	55.50	54.90	49.50	55.20	52.80	32.10
10:10	4.647	46.40	55.50	46.00	55.80	55.20	49.80	55.50	53.80	32.30
10:11	4.607	47.70	55.60	48.00	55.90	55.30	49.80	55.60	52.30	32.30
10:12	4.421	46.80	55.90	47.00	56.10	55.50	50.00	55.90	52.50	32.30
10:13	4.586	46.90	56.10	47.00	56.40	55.70	50.20	56.10	53.20	31.90
10:14	4.602	47.10	56.40	47.00	56.60	56.00	50.40	56.40	53.40	32.00

ตารางที่ ๓.๒ การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 700 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
10:15	4.658	47.30	56.60	47.00	56.90	56.10	50.50	56.60	53.30	32.10
10:16	4.714	48.40	56.80	47.00	57.00	56.40	50.00	56.80	52.80	31.90
10:17	4.725	47.50	57.00	48.00	57.20	56.50	50.00	57.00	52.80	31.70
10:18	4.726	48.70	57.20	49.00	57.40	56.80	49.70	57.20	54.00	32.30
10:19	4.735	48.00	57.40	48.00	57.60	56.90	49.70	57.40	54.30	32.10
10:20	4.802	48.10	57.60	48.00	57.90	57.20	49.70	57.60	54.10	32.20
10:21	4.866	48.30	57.80	48.00	58.10	57.40	49.70	57.80	54.30	32.40
10:22	4.769	48.30	58.10	48.00	58.30	57.60	49.80	58.10	54.40	32.10
10:23	4.809	47.60	58.20	49.00	58.50	57.80	49.90	58.20	54.60	32.30
10:24	4.889	48.80	58.40	49.00	58.80	58.00	50.00	58.40	55.10	32.30
10:25	4.859	49.00	58.50	49.00	59.10	58.20	50.00	58.50	55.40	32.50
10:26	4.792	49.10	58.80	49.00	59.20	58.40	50.30	58.80	54.80	32.20
10:27	4.655	50.20	58.90	50.00	59.50	58.60	50.50	58.90	55.00	32.10
10:28	4.902	50.30	59.00	50.00	59.50	58.70	50.60	59.00	56.30	32.20
10:29	4.863	50.50	59.20	51.00	59.70	58.90	50.50	59.20	56.30	32.40
10:30	4.967	50.70	59.40	51.00	59.80	59.10	51.10	59.40	56.00	32.20
10:31	5.012	51.20	59.70	50.00	60.10	59.20	51.80	59.70	56.90	32.30
10:32	5.051	51.30	59.40	50.00	60.00	59.20	51.60	59.40	55.20	32.70
10:33	5.103	51.60	59.70	51.00	60.10	59.50	52.30	59.70	56.40	32.90
10:34	5.142	50.00	60.00	50.00	60.30	59.70	52.10	60.00	57.20	32.90
10:35	5.145	50.30	60.00	50.00	60.50	59.80	52.10	60.00	55.90	33.00
10:36	5.183	50.10	60.10	50.00	60.60	60.00	51.70	60.10	56.60	33.10
10:37	5.156	50.10	60.40	50.00	60.90	60.10	51.50	60.40	56.70	32.90
10:38	5.204	51.90	60.80	52.00	61.30	60.30	50.90	60.80	56.90	32.60
10:39	5.223	51.50	60.90	51.00	61.40	60.50	50.50	60.90	57.10	32.40
10:40	5.220	51.10	61.10	51.00	61.50	60.60	49.70	61.10	57.90	32.40
10:41	5.252	50.60	61.30	51.00	61.80	60.80	49.00	61.30	58.60	32.50
10:42	5.245	50.00	61.40	49.00	61.70	61.00	49.80	61.40	58.60	32.40
10:43	5.233	49.50	61.60	51.00	61.90	61.20	49.60	61.60	58.40	31.90
10:44	5.299	49.10	62.00	49.00	62.30	61.40	49.30	62.00	58.90	32.10
10:45	5.301	48.80	62.00	50.00	62.30	61.50	49.80	62.00	58.60	32.40
10:46	5.305	48.30	62.10	49.00	62.60	61.90	50.00	62.10	58.70	32.20
10:47	5.338	48.10	62.30	49.00	62.60	62.00	49.70	62.30	59.60	32.60
10:48	5.340	49.80	62.40	50.00	62.90	62.20	49.50	62.40	59.00	32.30
10:49	5.364	49.70	62.60	50.00	63.10	62.30	49.30	62.60	59.40	32.40
10:50	5.367	49.50	62.70	50.00	63.10	62.40	49.40	62.70	59.40	32.10
10:51	5.379	49.40	62.80	49.00	63.20	62.60	49.80	62.80	58.60	31.80
10:52	5.402	49.50	62.90	50.00	63.40	62.80	49.10	62.90	58.90	31.80
10:53	5.430	49.70	62.80	50.00	63.40	62.80	49.80	62.80	57.20	32.20
10:54	5.486	50.20	62.90	50.00	63.50	62.80	49.80	62.90	56.40	31.70
10:55	5.427	49.40	62.90	49.00	63.40	62.90	49.50	62.90	57.20	32.20
10:56	5.415	49.80	63.00	50.00	63.50	63.00	49.70	63.00	57.60	32.10
10:57	5.476	49.20	63.10	49.00	63.50	63.10	49.40	63.10	57.50	32.40
10:58	5.478	49.90	63.30	50.00	63.80	63.20	50.30	63.30	58.30	32.30
10:59	5.452	50.70	63.40	51.00	64.20	63.40	51.50	63.40	58.90	32.10

ตารางที่ ๒.2 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 700 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
11:00	5.490	51.50	63.30	52.00	64.30	63.30	52.90	63.30	58.00	32.60
11:01	5.518	50.30	63.10	50.00	64.00	63.20	52.80	63.10	55.00	32.30
11:02	5.526	50.50	63.40	50.00	64.10	63.30	50.80	63.40	56.90	32.40
11:03	5.575	50.60	63.40	51.00	64.10	63.40	50.00	63.40	56.30	32.40
11:04	5.591	50.60	63.50	51.00	64.30	63.50	50.00	63.50	56.90	32.30
11:05	5.614	50.30	63.80	50.00	64.60	63.50	50.30	63.80	57.70	32.80
11:06	5.632	50.40	64.00	50.00	64.60	63.70	50.20	64.00	59.10	32.60
11:07	5.589	50.10	64.00	50.00	64.70	63.80	50.80	64.00	60.40	33.20
11:08	5.558	50.40	63.90	50.00	64.70	63.80	50.60	63.90	58.00	32.50
11:09	5.609	50.60	64.00	51.00	64.40	63.80	51.80	64.00	58.80	32.90
11:10	5.563	50.50	64.50	51.00	64.70	64.00	50.60	64.50	59.80	32.90
11:11	5.628	50.30	64.90	50.00	65.20	64.30	50.10	64.90	59.80	33.00
11:12	5.645	51.10	65.20	51.00	65.30	64.40	49.00	65.20	59.80	32.90
11:13	5.667	50.20	65.40	50.00	65.60	64.70	49.60	65.40	59.70	33.20
11:14	5.664	49.50	65.70	51.00	65.80	64.90	48.00	65.70	59.20	32.30
11:15	5.691	48.90	65.90	49.00	66.10	65.20	49.60	65.90	60.80	32.60
11:16	5.690	48.20	66.00	48.00	66.40	65.50	49.40	66.00	59.40	32.50
11:17	5.720	49.80	66.30	50.00	66.60	65.70	49.30	66.30	60.80	32.30
11:18	5.784	49.50	66.30	50.00	66.70	65.80	49.70	66.30	61.50	32.60
11:19	5.819	49.30	66.30	49.00	66.70	66.00	49.70	66.30	61.80	32.80
11:20	5.807	49.10	66.30	49.00	66.80	66.10	49.70	66.30	61.20	32.80
11:21	5.751	49.90	66.40	51.00	67.00	66.20	49.60	66.40	61.80	32.80
11:22	5.805	49.70	66.40	51.00	67.10	66.20	49.80	66.40	60.70	32.60
11:23	5.826	49.80	66.70	51.00	67.30	66.40	49.80	66.70	59.10	32.40
11:24	5.574	49.00	66.60	50.00	67.20	66.40	49.20	66.60	60.10	32.70
11:25	5.849	49.20	66.40	50.00	67.20	66.40	49.20	66.40	60.50	32.50
11:26	5.809	49.70	66.40	51.00	67.40	66.40	49.50	66.40	61.80	32.80
11:27	5.788	50.30	66.40	50.00	67.40	66.30	49.80	66.40	61.50	32.80
11:28	5.675	49.90	66.30	50.00	67.20	66.40	50.40	66.30	60.90	33.10
11:29	5.837	50.00	66.40	50.00	67.20	66.40	50.70	66.40	60.60	33.00
11:30	5.995	51.20	66.30	51.00	67.10	66.40	50.20	66.30	60.20	33.10
11:31	5.936	50.80	66.30	51.00	67.10	66.30	50.10	66.30	59.60	32.90
11:32	5.924	50.40	66.30	50.00	67.20	66.30	50.50	66.30	60.40	33.10
11:33	5.867	51.80	66.30	51.00	67.10	66.30	50.70	66.30	60.50	33.10
11:34	5.892	50.10	66.40	50.00	67.20	66.30	50.30	66.40	61.70	33.40
11:35	5.883	50.40	66.50	50.00	67.30	66.40	51.00	66.50	62.70	33.30
11:36	5.932	50.50	66.60	51.00	67.40	66.50	51.70	66.60	63.00	33.30
11:37	5.917	49.40	66.80	49.00	67.70	66.60	51.20	66.80	63.10	33.50
11:38	5.956	51.10	67.00	50.00	67.90	66.80	50.40	67.00	64.10	33.80
11:39	5.977	51.60	67.30	52.00	68.10	66.90	50.00	67.30	63.10	33.40
11:40	5.985	52.10	67.50	50.00	68.20	67.20	50.80	67.50	64.00	33.20
11:41	5.958	52.60	67.80	51.00	68.60	67.40	50.50	67.80	64.70	33.60
11:42	5.928	51.90	68.20	51.00	68.90	67.70	49.00	68.20	64.70	33.60
11:43	5.928	50.10	68.50	50.00	69.20	68.00	50.00	68.50	63.20	33.30
11:44	6.057	50.20	68.60	50.00	69.20	68.10	50.50	68.60	61.80	33.50

ตารางที่ 2 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 700 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
11:45	6.061	50.50	69.10	51.00	69.70	68.50	50.00	69.10	60.60	33.40
11:46	6.067	50.70	69.40	51.00	70.10	68.90	50.00	69.40	61.10	33.00
11:47	6.138	50.80	69.70	51.00	70.40	69.10	49.60	69.70	61.40	33.00
11:48	6.153	50.30	70.10	50.00	70.60	69.40	51.70	70.10	61.50	32.90
11:49	5.941	50.60	70.50	51.00	71.10	69.80	51.30	70.50	62.00	33.10
11:50	5.588	50.10	70.70	50.00	71.20	70.10	51.20	70.70	61.70	33.10
11:51	6.259	51.50	70.90	52.00	71.50	70.20	50.70	70.90	61.60	33.00
11:52	6.130	50.90	70.90	51.00	71.70	70.40	50.00	70.90	62.80	33.80
11:53	6.129	49.70	71.10	49.00	72.00	70.60	50.90	71.10	63.10	33.50
11:54	5.855	48.40	71.00	49.00	71.80	70.70	50.60	71.00	63.20	33.60
11:55	6.000	50.20	71.30	50.00	71.70	70.90	50.10	71.30	64.30	33.50
11:56	5.805	50.10	71.40	50.00	72.20	70.90	50.40	71.40	65.20	33.60
11:57	5.910	50.90	71.50	50.00	72.60	71.00	52.30	71.50	64.70	33.90
11:58	5.954	50.80	71.50	51.00	72.30	71.20	51.50	71.50	64.70	33.70
11:59	5.785	50.90	71.50	51.00	72.60	71.30	51.20	71.50	63.70	33.80
12:00	5.952	51.10	71.70	51.00	72.40	71.20	50.30	71.70	62.90	33.40
12:01	5.958	51.40	71.70	50.00	72.30	71.40	50.10	71.70	63.70	33.20
12:02	6.057	50.80	71.70	51.00	72.40	71.40	49.50	71.70	62.90	33.20
12:03	5.470	50.20	71.60	50.00	72.20	71.40	49.10	71.60	62.80	33.60
12:04	6.056	49.70	71.50	50.00	72.30	71.40	49.80	71.50	63.10	33.90
12:05	6.049	49.30	71.40	49.00	72.40	71.40	49.50	71.40	63.90	33.90
12:06	6.054	49.10	71.60	49.00	72.70	71.40	49.20	71.60	64.90	33.80
12:07	6.111	49.80	71.60	50.00	72.90	71.50	49.20	71.60	64.40	33.30
12:08	6.075	49.50	71.40	50.00	72.90	71.50	49.90	71.40	65.60	33.80
12:09	6.065	49.30	71.30	49.00	73.00	71.50	49.70	71.30	65.50	33.90
12:10	5.988	49.10	71.20	49.00	72.70	71.50	49.90	71.20	63.70	33.20
12:11	5.994	49.90	71.00	50.00	72.80	71.50	49.80	71.00	62.60	33.20
12:12	6.091	49.90	71.00	50.00	72.90	71.40	49.00	71.00	61.80	33.10
12:13	6.085	49.10	70.90	49.00	72.90	71.40	49.80	70.90	62.60	33.30
12:14	6.058	49.50	70.90	50.00	72.70	71.40	49.10	70.90	61.90	33.40
12:15	6.070	49.80	70.70	50.00	72.60	71.30	49.00	70.70	61.70	33.40
12:16	6.103	49.60	70.50	50.00	72.50	71.20	49.00	70.50	64.30	33.90
12:17	6.105	50.80	70.30	51.00	72.40	71.00	52.90	70.30	64.40	33.90
12:18	6.054	50.60	70.10	51.00	72.10	70.90	52.60	70.10	63.90	33.90
12:19	5.973	50.60	70.10	51.00	72.10	70.70	50.70	70.10	63.40	33.90
12:20	5.678	50.90	70.10	51.00	72.00	70.60	50.80	70.10	62.50	33.50
12:21	6.106	50.00	70.00	50.00	71.70	70.60	51.30	70.00	63.10	33.70
12:22	6.042	50.80	69.80	51.00	71.50	70.40	50.20	69.80	63.20	33.80
12:23	6.049	50.20	69.80	50.00	71.10	70.30	51.20	69.80	63.50	34.10
12:24	6.050	51.00	69.40	51.00	70.90	69.90	50.70	69.40	63.20	34.20
12:25	6.116	51.10	69.40	51.00	70.50	70.00	50.60	69.40	64.70	34.00
12:26	6.112	51.30	69.60	51.00	70.20	69.70	50.80	69.60	65.80	34.10
12:27	5.966	50.70	69.80	51.00	69.90	69.70	50.80	69.80	65.40	34.40
12:28	5.987	50.00	70.00	50.00	70.00	69.50	50.20	70.00	63.20	34.10
12:29	5.629	50.30	70.40	50.00	70.10	69.40	50.60	70.40	60.10	34.00

ตารางที่ 2 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 700 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
12:30	5.966	50.20	70.70	50.00	70.30	69.50	50.60	70.70	58.80	33.30
12:31	6.071	50.20	70.90	50.00	70.40	69.70	50.10	70.90	61.20	33.40
12:32	6.027	50.40	70.90	50.00	70.50	69.90	51.40	70.90	63.30	33.80
12:33	5.948	50.60	71.00	51.00	70.70	70.10	51.10	71.00	64.50	33.90
12:34	6.007	51.80	71.00	52.00	70.70	70.10	50.50	71.00	63.40	33.70
12:35	5.980	51.20	70.90	51.00	71.00	70.30	50.10	70.90	63.60	33.90
12:36	6.100	50.60	71.10	51.00	70.90	70.30	49.90	71.10	63.00	33.80
12:37	6.105	50.00	71.10	50.00	71.10	70.40	49.40	71.10	61.70	33.50
12:38	6.186	49.80	71.30	50.00	71.20	70.40	49.10	71.30	62.10	33.40
12:39	6.125	49.50	71.20	50.00	71.40	70.60	48.90	71.20	63.40	33.40
12:40	6.168	49.30	71.20	49.00	71.70	70.70	48.80	71.20	64.20	33.90
12:41	6.132	49.10	71.10	49.00	71.70	70.70	49.70	71.10	64.30	33.70
12:42	6.154	49.80	71.00	50.00	71.80	70.80	49.50	71.00	64.30	33.70
12:43	6.110	49.80	71.00	50.00	72.10	70.90	49.90	71.00	64.40	34.10
12:44	6.127	49.80	71.10	50.00	72.10	71.00	49.90	71.10	64.70	33.10
12:45	6.130	49.90	70.90	50.00	72.10	70.90	49.90	70.90	64.40	33.60
12:46	6.137	49.10	70.60	49.00	72.00	70.70	49.40	70.60	63.10	34.40
12:47	6.092	49.60	70.60	50.00	72.00	70.70	51.10	70.60	63.50	33.90
12:48	6.148	50.10	70.40	50.00	71.90	70.70	49.70	70.40	62.80	34.10
12:49	6.152	50.90	70.40	51.00	71.80	70.70	51.10	70.40	62.90	33.60
12:50	6.230	51.70	70.20	52.00	71.70	70.50	52.00	70.20	63.70	33.80
12:51	6.187	50.60	70.20	51.00	71.80	70.40	50.00	70.20	63.80	34.00
12:52	6.160	50.40	70.00	50.00	71.50	70.40	50.70	70.00	63.20	33.90
12:53	6.158	50.40	69.90	50.00	71.40	70.30	50.80	69.90	63.40	34.10
12:54	6.134	50.40	69.80	50.00	71.40	70.10	50.80	69.80	64.40	33.60
12:55	6.089	50.10	69.90	50.00	71.50	70.00	50.60	69.90	64.20	33.50
12:56	6.113	50.90	69.90	51.00	71.10	69.90	50.70	69.90	63.30	33.80
12:57	6.150	50.20	69.70	50.00	70.90	69.80	50.10	69.70	64.50	34.10
12:58	6.126	50.40	69.80	50.00	71.00	69.80	50.60	69.80	63.60	33.70
12:59	6.140	50.20	70.00	50.00	71.30	69.80	50.30	70.00	64.90	33.90
13:00	6.119	50.80	70.00	51.00	71.20	69.90	50.70	70.00	64.70	33.80
13:01	6.133	50.20	70.10	50.00	71.10	69.90	50.30	70.10	64.40	33.90
13:02	6.249	50.70	70.20	51.00	70.90	70.00	50.90	70.20	65.50	33.40
13:03	6.229	49.30	70.20	49.00	70.90	70.10	50.20	70.20	64.30	33.70
13:04	6.240	50.90	70.30	51.00	70.90	70.10	50.40	70.30	63.90	33.40
13:05	6.165	50.50	70.40	51.00	71.40	70.10	50.50	70.40	63.80	33.60
13:06	6.061	50.20	70.40	50.00	71.50	70.20	50.20	70.40	64.60	34.10
13:07	6.106	50.70	70.50	51.00	71.20	70.30	50.90	70.50	64.90	34.20
13:08	6.136	50.30	70.60	50.00	71.50	70.40	50.50	70.60	65.50	34.20
13:09	6.169	50.80	70.70	51.00	71.50	70.20	51.80	70.70	64.30	33.90
13:10	6.143	50.50	70.70	51.00	71.40	70.40	51.30	70.70	64.60	34.20
13:11	6.159	50.00	70.70	50.00	71.10	70.40	50.90	70.70	65.30	34.30
13:12	6.132	51.60	70.90	52.00	71.40	70.60	50.80	70.90	65.70	34.40
13:13	6.042	51.20	71.00	51.00	71.70	70.60	50.60	71.00	65.50	34.20
13:14	5.958	50.90	71.20	51.00	72.00	70.70	50.30	71.20	65.80	34.20

ตารางที่ ง.2 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 700 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
13:15	5.884	50.70	71.30	51.00	72.40	70.90	50.10	71.30	65.40	34.10
13:16	6.046	50.30	70.90	50.00	72.40	70.90	50.00	70.90	62.50	34.10
13:17	6.033	50.10	70.90	50.00	72.60	71.00	49.80	70.90	62.10	34.10
13:18	6.044	50.00	70.90	50.00	72.30	71.10	49.80	70.90	63.00	34.50
13:19	6.053	50.00	71.10	50.00	72.60	71.20	49.70	71.10	63.40	34.40
13:20	6.094	49.80	71.00	50.00	72.60	71.20	50.00	71.00	64.10	34.60
13:21	6.048	49.80	71.00	50.00	72.70	71.20	50.00	71.00	64.30	34.30
13:22	5.966	49.90	71.00	50.00	72.70	71.30	50.20	71.00	63.70	34.50
13:23	5.945	50.30	71.10	50.00	72.70	71.20	50.10	71.10	63.20	34.10
13:24	5.988	50.70	71.10	51.00	72.60	71.20	51.40	71.10	63.20	33.70
13:25	5.979	51.10	71.00	51.00	72.40	71.20	51.10	71.00	65.10	33.90
13:26	5.981	51.50	70.90	52.00	72.50	71.20	52.50	70.90	63.60	34.40
13:27	6.075	52.60	70.70	53.00	72.20	71.10	50.20	70.70	62.70	34.00
13:28	6.085	50.10	70.60	50.00	72.10	70.90	50.20	70.60	64.00	34.10
13:29	6.072	50.10	70.40	50.00	71.80	70.70	50.70	70.40	63.70	34.20
13:30	6.130	50.60	70.20	51.00	71.70	70.40	50.70	70.20	64.50	34.60
13:31	6.094	50.40	70.20	50.00	71.50	70.60	50.30	70.20	64.20	34.30
13:32	6.048	51.20	70.10	51.00	71.10	70.30	50.30	70.10	63.80	34.10
13:33	6.016	50.90	69.80	51.00	71.10	70.20	50.80	69.80	63.70	34.60
13:34	6.018	50.30	69.80	50.00	70.60	69.90	50.20	69.80	62.10	34.10
13:35	6.035	50.10	70.00	50.00	70.40	69.80	50.70	70.00	61.90	34.20
13:36	6.030	50.80	70.10	51.00	70.40	69.70	50.60	70.10	62.60	34.20
13:37	6.017	50.20	70.30	50.00	70.60	69.90	50.40	70.30	63.50	34.40
13:38	6.025	50.90	70.60	51.00	70.90	70.00	50.30	70.60	63.20	34.10
13:39	6.003	50.60	70.70	51.00	71.00	70.00	50.70	70.70	63.40	34.20
13:40	6.011	49.10	70.80	49.00	71.30	70.30	50.90	70.80	63.00	34.20
13:41	6.027	50.60	70.80	51.00	71.20	70.30	50.20	70.80	63.80	34.20
13:42	6.024	50.00	70.90	50.00	71.20	70.40	50.70	70.90	64.00	34.40
13:43	6.051	50.40	71.00	50.00	71.20	70.50	50.00	71.00	64.80	34.50
13:44	6.031	52.70	71.10	51.00	71.40	70.60	50.20	71.10	63.80	34.20
13:45	6.028	51.00	71.10	50.00	71.30	70.60	51.90	71.10	65.20	34.30
13:46	5.994	52.50	71.20	51.00	71.50	70.70	51.70	71.20	65.80	34.40
13:47	5.961	52.00	71.20	51.00	71.70	70.70	51.10	71.20	65.40	34.80
13:48	5.945	51.50	71.10	52.00	71.40	70.60	50.70	71.10	64.60	34.50
13:49	5.933	51.10	71.10	51.00	71.50	70.60	50.40	71.10	63.50	34.40
13:50	5.956	50.90	71.40	51.00	71.30	70.70	50.30	71.40	64.70	34.00
13:51	5.955	50.50	71.40	51.00	71.30	70.70	49.90	71.40	64.60	34.40
13:52	5.924	50.20	71.30	50.00	71.40	70.80	49.80	71.30	64.40	34.10
13:53	5.886	49.90	71.20	50.00	71.60	70.70	49.50	71.20	64.00	34.40
13:54	5.891	49.60	71.10	50.00	71.50	70.70	49.40	71.10	64.90	34.30
13:55	5.867	49.50	71.10	50.00	71.40	70.90	49.30	71.10	65.20	34.20
13:56	5.849	49.20	70.90	49.00	71.40	70.60	49.20	70.90	65.40	34.60
13:57	5.885	49.10	70.90	49.00	71.70	70.70	49.20	70.90	64.60	33.90
13:58	5.835	49.10	70.90	49.00	71.80	70.70	49.20	70.90	65.40	34.10
13:59	5.816	49.20	70.90	49.00	72.00	70.80	49.30	70.90	66.70	34.40

ตารางที่ ๖.๒ การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 700 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
14:00	5.814	49.20	70.60	49.00	71.80	70.70	49.30	70.60	66.40	34.70
14:01	5.785	49.10	70.40	49.00	72.10	70.70	49.30	70.40	64.70	34.60
14:02	5.787	49.20	70.40	49.00	72.00	70.70	49.60	70.40	62.70	34.20
14:03	5.779	49.40	70.40	49.00	71.70	70.60	49.60	70.40	62.40	34.10
14:04	5.727	49.50	70.40	50.00	71.80	70.60	49.60	70.40	64.30	34.30
14:05	5.702	49.70	70.30	50.00	71.70	70.50	50.00	70.30	64.20	34.30
14:06	5.651	50.00	70.10	50.00	71.50	70.40	50.00	70.10	63.80	34.70
14:07	5.659	50.30	69.90	50.00	71.40	70.30	49.80	69.90	64.30	34.80
14:08	5.667	50.70	69.80	51.00	71.30	70.10	50.10	69.80	63.00	34.50
14:09	5.663	51.40	69.80	51.00	71.20	70.00	51.30	69.80	62.90	34.20
14:10	5.651	50.50	69.60	51.00	71.00	69.90	52.90	69.60	62.40	34.10
14:11	5.647	50.80	69.50	51.00	70.80	69.70	50.50	69.50	63.20	34.40
14:12	5.651	50.30	69.20	50.00	70.30	69.30	50.90	69.20	61.80	34.40
14:13	5.638	50.90	68.80	51.00	70.40	69.20	50.00	68.80	62.10	34.20
14:14	5.648	50.40	68.90	50.00	69.50	69.10	50.60	68.90	62.60	34.70
14:15	5.626	50.80	68.60	51.00	69.10	68.90	50.30	68.60	62.40	34.40
14:16	5.623	50.20	68.40	50.00	68.90	68.70	50.70	68.40	62.30	34.40
14:17	5.561	50.40	68.40	50.00	68.60	68.40	50.50	68.40	62.60	34.40
14:18	5.506	50.10	68.70	50.00	68.40	68.30	51.70	68.70	62.30	33.80
14:19	5.451	50.30	68.70	50.00	68.40	68.10	51.10	68.70	61.10	34.10
14:20	5.445	52.50	69.00	53.00	68.40	68.00	50.60	69.00	62.50	34.10
14:21	5.452	51.60	69.00	52.00	68.70	68.10	50.30	69.00	63.10	34.50
14:22	5.435	51.10	68.60	51.00	68.90	68.10	50.00	68.60	63.10	34.20
14:23	5.501	50.60	68.50	51.00	69.20	68.00	49.60	68.50	63.50	34.50
14:24	5.471	50.20	68.40	50.00	69.60	68.00	49.40	68.40	62.90	34.40
14:25	5.463	50.00	68.60	50.00	70.30	68.30	49.20	68.60	63.00	34.50
14:26	5.444	49.70	68.60	50.00	70.40	68.60	49.10	68.60	63.20	34.70
14:27	5.405	49.50	68.70	50.00	70.70	68.90	48.80	68.70	63.60	34.70
14:28	5.386	49.20	68.70	49.00	70.70	69.10	48.80	68.70	63.00	34.70
14:29	5.370	49.00	68.80	49.00	70.90	69.20	48.60	68.80	63.80	34.70
14:30	5.373	48.90	68.90	50.00	70.70	69.30	48.50	68.90	62.00	34.40
14:31	5.341	48.80	68.90	50.00	70.60	69.30	48.40	68.90	62.10	34.40
14:32	5.334	48.40	69.00	49.00	70.50	69.30	48.20	69.00	61.40	34.30
14:33	5.265	48.40	69.40	49.00	70.60	69.40	48.50	69.40	61.90	34.10
14:34	5.187	48.30	69.40	49.00	70.60	69.40	48.80	69.40	63.50	34.40
14:35	5.181	48.30	69.50	49.00	70.50	69.50	48.30	69.50	63.70	34.50
14:36	5.182	48.50	69.50	50.00	70.30	69.40	48.30	69.50	63.90	34.50
14:37	5.159	48.70	69.40	50.00	69.90	69.30	49.10	69.40	61.80	34.50
14:38	5.141	48.90	69.40	50.00	69.50	69.30	48.80	69.40	62.10	34.30
14:39	5.119	49.20	69.20	49.00	69.20	69.00	49.90	69.20	62.60	34.20
14:40	5.121	49.50	69.70	50.00	68.60	68.70	52.30	69.70	63.20	34.40
14:41	5.129	50.50	68.90	51.00	68.80	68.70	51.50	68.90	61.20	34.40
14:42	5.113	51.60	68.90	52.00	68.50	68.30	50.50	68.90	61.70	34.50
14:43	5.113	50.00	68.90	50.00	68.40	68.20	50.60	68.90	61.20	34.80
14:44	5.076	50.60	69.10	51.00	68.30	68.10	50.90	69.10	61.30	34.50

ตารางที่ 2 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 700 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
14:45	5.032	50.20	69.10	50.00	68.10	68.00	50.80	69.10	61.00	34.40
14:46	4.989	50.70	68.80	51.00	68.00	67.90	50.80	70.00	61.20	34.40
14:47	4.959	50.10	68.70	50.00	68.00	67.80	50.30	68.70	61.20	34.70
14:48	4.965	50.60	68.70	51.00	68.00	67.70	50.70	68.70	60.90	34.40
14:49	4.977	51.70	68.60	52.00	67.60	67.70	51.00	68.60	62.00	34.50
14:50	5.008	52.70	67.40	53.00	68.00	67.50	50.90	67.40	62.10	34.80
14:51	5.024	52.60	68.50	53.00	67.70	67.20	50.20	68.50	61.80	34.20
14:52	4.979	51.70	68.70	52.00	67.70	67.40	50.60	68.70	62.40	34.30
14:53	4.933	50.00	68.80	50.00	67.50	67.50	50.30	68.80	62.30	34.90
14:54	4.901	51.40	68.70	51.00	67.50	67.40	50.20	68.70	61.40	34.70
14:55	4.870	50.30	69.00	50.00	67.80	67.40	50.10	69.00	61.30	34.30
14:56	4.871	50.60	69.20	51.00	68.00	67.50	50.40	69.20	60.50	34.20
14:57	4.877	50.90	69.30	51.00	68.10	67.40	50.80	69.30	60.40	34.10
14:58	4.862	50.20	69.40	50.00	68.30	67.80	50.00	69.40	61.70	34.40
14:59	4.848	50.50	69.60	51.00	68.30	68.00	50.20	69.60	60.50	33.90
15:00	4.859	50.80	69.50	51.00	68.60	68.00	51.80	69.50	60.80	34.40
15:01	4.861	50.10	69.70	50.00	68.50	68.10	51.20	69.70	60.40	34.40
15:02	4.804	50.50	69.70	51.00	68.50	68.10	50.60	69.70	60.70	34.40
15:03	4.798	51.80	69.40	52.00	68.30	68.20	50.10	69.40	59.80	34.40
15:04	4.778	51.40	69.50	51.00	68.30	68.00	49.80	69.50	60.30	34.30
15:05	4.718	50.90	69.60	51.00	68.40	68.00	49.40	69.60	59.70	34.30
15:06	4.674	50.30	69.70	50.00	68.30	68.00	49.10	69.70	60.80	34.40
15:07	4.634	50.00	69.70	50.00	68.20	68.00	48.90	69.70	61.10	34.70
15:08	4.576	49.60	69.60	50.00	68.40	68.10	48.50	69.60	60.40	34.40
15:09	4.563	49.30	69.40	49.00	68.30	68.10	48.50	69.40	59.60	34.40
15:10	4.553	48.90	69.20	50.00	68.20	68.00	48.30	69.20	58.40	34.20
15:11	4.505	48.80	69.10	50.00	68.00	67.90	48.30	69.10	58.40	34.20
15:12	4.471	48.60	69.10	50.00	67.80	67.80	48.20	69.10	58.20	33.70
15:13	4.436	48.50	68.90	50.00	67.60	67.70	48.00	68.90	58.50	33.90
15:14	4.433	48.40	68.90	49.00	67.60	67.60	48.10	68.90	58.70	34.30
15:15	4.422	48.20	68.70	49.00	67.50	67.50	48.10	68.70	58.50	34.30
15:16	4.380	48.20	68.70	49.00	67.40	67.40	48.30	68.70	57.20	33.80
15:17	4.354	48.10	68.60	49.00	67.20	67.20	48.40	68.60	57.90	33.70
15:18	4.318	48.20	68.30	49.00	66.80	67.10	48.10	68.30	57.10	33.80
15:19	4.292	48.30	68.10	49.00	66.60	66.90	48.80	68.10	56.40	33.80
15:20	4.290	48.60	67.90	50.00	66.10	66.50	49.70	67.90	55.60	33.70
15:21	4.246	49.00	67.60	49.00	66.00	66.40	49.90	67.60	56.10	33.90
15:22	4.214	49.50	67.50	50.00	65.80	66.10	51.50	67.50	54.60	33.60
15:23	4.166	50.50	67.40	51.00	65.60	65.90	52.90	67.40	55.20	33.70
15:24	4.120	51.80	67.20	52.00	65.40	65.80	50.00	67.20	55.60	33.70
15:25	4.110	50.40	67.10	50.00	64.90	65.70	50.60	67.10	55.80	33.60
15:26	4.105	50.10	66.60	50.00	64.50	65.40	50.80	66.60	55.40	33.80
15:27	4.133	50.90	66.40	51.00	64.00	65.10	50.70	66.40	55.80	34.20
15:28	4.146	49.70	65.90	50.00	63.90	64.80	50.20	65.90	56.40	34.20
15:29	4.126	50.80	65.50	51.00	63.80	64.50	50.60	65.50	56.60	34.20

ตารางที่ 2 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 700 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถึงน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
15:30	4.120	50.00	65.50	50.00	63.40	64.10	50.70	65.50	55.30	33.90
15:31	4.091	50.90	65.50	51.00	63.10	63.90	50.50	65.50	55.40	33.80
15:32	4.035	50.60	65.70	51.00	63.00	63.80	51.70	65.70	54.90	34.10
15:33	4.008	50.50	65.80	51.00	62.80	63.70	50.30	65.80	54.80	33.90
15:34	3.980	52.70	66.00	53.00	63.00	63.50	50.10	66.00	54.30	33.60
15:35	4.000	51.70	65.90	52.00	62.90	63.20	49.40	65.90	54.00	33.50
15:36	3.987	50.90	65.80	51.00	62.90	63.20	49.20	65.80	53.10	33.50
15:37	3.967	50.20	65.80	50.00	62.90	63.20	48.80	65.80	53.50	33.40
15:38	3.924	49.70	65.70	50.00	63.10	63.30	48.50	65.70	53.10	33.40
15:39	3.883	49.30	65.60	49.00	63.10	63.40	48.30	65.60	53.40	33.60
15:40	3.836	49.90	65.40	50.00	63.40	63.40	48.00	65.40	53.50	33.70
15:41	3.812	49.60	65.20	50.00	63.50	63.40	49.80	65.20	52.50	33.70
15:42	3.781	49.30	65.10	49.00	63.50	63.40	49.70	65.10	53.10	33.60
15:43	3.764	49.20	64.90	49.00	63.40	63.40	49.70	64.90	52.60	33.20
15:44	3.760	49.90	64.80	50.00	63.40	63.40	49.60	64.80	53.30	33.60
15:45	3.753	49.80	64.60	50.00	63.20	63.30	49.50	64.60	53.50	33.50
15:46	3.739	49.70	64.40	50.00	63.20	63.10	49.50	64.40	52.60	33.70
15:47	3.742	49.50	64.10	50.00	63.00	62.90	49.60	64.10	52.90	33.40
15:48	3.706	49.50	64.10	50.00	62.70	62.70	49.50	64.10	52.50	33.40
15:49	3.674	49.70	63.80	50.00	62.60	62.60	49.60	63.80	52.80	33.70
15:50	3.622	49.00	63.70	49.00	62.50	62.60	49.80	63.70	52.90	33.60
15:51	3.581	49.20	63.40	49.00	62.10	62.30	49.90	63.40	51.60	33.60
15:52	3.547	49.70	63.20	50.00	61.80	62.10	50.60	63.20	50.60	33.40
15:53	3.523	49.40	63.10	49.00	61.50	62.00	50.60	63.10	51.70	33.60
15:54	3.477	50.10	62.80	50.00	61.50	61.70	50.70	62.80	51.50	33.50
15:55	3.460	51.10	62.50	51.00	61.20	61.70	52.30	62.50	51.60	33.70
15:56	3.426	50.20	62.20	50.00	60.70	61.40	50.70	62.20	50.60	33.30
15:57	3.375	50.50	62.00	51.00	60.40	61.20	50.40	62.00	51.30	33.50
15:58	3.354	50.90	61.80	51.00	60.10	61.20	50.90	61.80	51.50	33.50
15:59	3.338	50.50	61.50	51.00	59.70	60.60	50.70	61.50	51.10	33.60
16:00	3.321	50.20	61.40	50.00	59.40	60.30	50.10	61.40	50.80	33.50
ค่าเฉลี่ย	5.268	49.403	65.857	49.488	66.120	65.423	49.763	65.860	59.465	33.317

ตารางที่ 3.3 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 (l/hr)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ หน้า เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ หน้า ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ หน้า เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ หน้า ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ หน้าร้อน (°C)	อุณหภูมิ หน้าร้อน (°C)	อุณหภูมิ หน้าร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
9:30	2.643	31.90	45.20	31.80	45.40	45.20	31.80	42.70	44.30	30.00
9:31	2.834	32.70	45.20	32.80	45.30	45.20	32.80	42.80	44.80	30.00
9:32	2.701	33.20	45.40	32.80	45.40	45.20	32.80	42.90	43.80	29.80
9:33	2.725	33.00	45.40	33.90	45.30	45.20	33.90	42.80	44.10	30.20
9:34	2.768	33.00	45.30	33.00	45.30	45.20	33.00	43.10	43.60	30.10
9:35	2.742	33.80	45.40	34.30	45.40	45.40	34.30	43.10	43.30	30.20
9:36	2.894	34.30	46.00	34.40	45.60	45.40	34.40	43.20	43.10	29.80
9:37	2.853	35.50	46.00	35.60	45.70	45.70	35.60	43.40	43.40	30.00
9:38	2.902	34.80	46.20	34.80	45.70	45.80	34.80	43.50	45.20	30.40
9:39	2.869	35.10	46.40	35.00	46.00	45.90	35.00	43.60	45.70	30.20
9:40	2.850	35.20	46.40	35.10	46.10	46.00	35.10	43.70	44.40	29.80
9:41	2.897	35.40	46.50	35.30	46.10	46.00	35.30	43.90	45.10	30.40
9:42	2.848	36.50	46.50	36.50	46.20	46.00	36.50	44.00	46.10	30.70
9:43	2.971	36.60	46.50	36.60	46.30	46.10	36.60	44.10	46.60	31.00
9:44	2.980	36.80	46.70	36.70	46.40	46.20	36.70	44.30	46.50	31.00
9:45	3.050	37.90	46.80	37.90	46.50	46.30	37.90	44.30	47.80	31.00
9:46	3.001	37.10	46.90	37.10	46.60	46.50	37.10	44.50	48.80	30.80
9:47	3.152	37.40	47.00	37.30	46.60	46.50	37.30	44.60	48.00	30.70
9:48	3.094	38.50	47.10	38.40	46.90	46.60	38.40	44.50	47.90	30.40
9:49	3.113	38.70	47.40	38.70	47.10	46.80	38.70	44.70	48.10	30.20
9:50	3.082	39.70	47.70	39.70	47.20	47.00	39.70	44.90	48.40	30.20
9:51	3.146	39.80	47.90	39.80	47.40	47.20	39.80	45.10	47.60	30.20
9:52	3.025	39.80	48.10	39.90	47.50	47.40	39.90	45.20	47.90	30.30
9:53	3.159	40.20	48.40	40.10	47.80	47.70	40.10	45.50	47.70	30.30
9:54	3.121	40.50	48.60	40.60	48.10	47.80	40.60	46.30	46.50	30.50
9:55	3.145	40.50	48.80	40.50	48.30	48.20	40.50	46.40	46.50	30.50
9:56	3.385	40.70	49.10	40.70	48.80	48.40	40.70	46.10	48.30	30.50
9:57	3.240	41.50	49.20	41.50	48.90	48.50	41.50	45.50	48.80	30.70
9:58	3.304	41.50	49.50	41.60	49.20	48.70	41.60	45.60	48.90	30.50
9:59	3.431	40.40	49.70	40.60	49.20	48.90	40.60	45.60	49.40	30.90
10:00	3.425	41.00	49.90	41.00	49.50	49.20	41.00	45.80	50.10	30.80
10:01	3.513	41.20	50.10	41.20	49.70	49.50	41.20	46.10	49.80	30.80
10:02	3.523	42.40	50.40	42.30	50.00	49.70	42.30	46.40	50.40	30.70
10:03	3.561	41.50	50.70	41.50	50.30	49.90	41.50	46.60	50.20	30.80
10:04	3.533	41.50	50.80	41.40	50.40	50.10	41.40	46.80	50.30	30.80
10:05	3.590	41.50	51.10	41.50	50.70	50.30	41.50	47.10	49.80	30.60
10:06	3.559	41.70	51.40	41.70	50.90	50.60	41.70	47.40	49.20	30.40
10:07	3.555	41.90	51.40	41.90	50.90	50.80	41.90	47.40	50.40	31.00
10:08	3.633	42.10	51.70	42.10	51.40	51.10	42.10	48.10	51.10	31.10
10:09	3.719	43.20	52.00	43.20	51.60	51.40	43.20	48.00	51.90	31.30
10:10	3.426	43.30	52.30	43.30	52.00	51.60	43.30	48.20	52.00	31.60
10:11	3.668	42.40	52.60	42.40	52.20	51.80	42.40	48.50	51.80	31.60
10:12	3.663	42.50	52.80	42.50	52.50	52.00	42.50	48.60	53.00	32.10
10:13	3.715	42.70	52.80	42.70	52.70	52.20	42.70	48.70	53.30	32.20
10:14	3.763	42.80	53.10	42.80	52.80	52.40	42.80	49.10	52.80	32.10

ตารางที่ 3 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
10:15	3.643	42.10	53.20	42.10	52.90	52.60	42.10	49.20	49.70	31.40
10:16	3.775	43.40	53.60	43.20	53.20	53.00	43.20	49.70	49.10	31.10
10:17	3.871	43.40	53.80	43.50	53.50	53.20	43.50	53.40	51.70	31.90
10:18	3.949	44.40	54.00	43.50	53.80	53.40	49.30	53.50	51.70	31.50
10:19	3.963	43.50	54.10	45.80	54.00	53.50	47.50	53.70	50.60	31.60
10:20	3.608	45.80	54.30	46.90	54.10	53.70	49.60	53.80	52.50	31.80
10:21	3.912	46.90	54.50	47.10	54.30	53.80	49.80	54.00	52.10	32.10
10:22	3.950	47.10	54.60	49.30	54.50	54.00	48.80	54.10	52.50	32.20
10:23	3.503	49.30	54.80	47.50	54.60	54.10	47.50	54.40	49.80	31.50
10:24	3.517	47.50	54.90	49.60	54.60	54.40	49.60	54.60	49.50	31.40
10:25	3.676	49.60	55.20	49.80	54.80	54.60	49.80	54.70	51.50	31.90
10:26	3.624	49.80	55.30	48.80	55.00	54.70	48.80	54.80	52.10	32.10
10:27	4.023	48.80	55.50	48.20	55.20	54.80	48.20	55.20	53.50	32.30
10:28	4.146	48.20	55.60	49.30	55.50	54.90	49.30	55.50	53.50	31.90
10:29	4.234	49.30	55.80	49.30	55.70	55.10	49.30	55.70	50.30	31.30
10:30	4.515	49.30	56.00	49.50	56.00	55.50	49.50	56.00	50.90	31.60
10:31	4.499	49.50	56.20	46.50	56.10	55.50	49.70	56.10	50.50	31.60
10:32	4.638	49.90	56.30	45.90	56.10	55.70	48.00	56.10	51.60	31.70
10:33	4.486	49.80	56.40	49.80	56.30	55.80	49.10	56.30	52.80	32.10
10:34	4.490	49.00	56.60	49.00	56.40	55.90	49.10	55.70	53.00	32.00
10:35	4.485	49.30	56.70	49.30	56.60	56.10	47.30	55.80	53.00	32.20
10:36	4.503	49.40	57.00	49.40	56.90	56.30	49.40	55.90	51.10	31.50
10:37	4.402	49.70	57.20	49.70	57.00	56.40	48.50	56.10	52.70	31.60
10:38	4.551	49.80	57.20	49.80	57.00	56.60	49.70	56.30	51.70	31.30
10:39	4.718	49.90	57.40	49.90	57.10	56.60	48.00	56.40	53.50	31.90
10:40	4.738	49.10	57.40	49.10	57.20	56.90	49.10	56.60	56.30	32.40
10:41	4.649	47.30	57.40	47.30	56.80	56.80	47.30	56.60	54.30	32.40
10:42	4.646	49.40	57.70	49.40	57.00	56.90	49.40	57.00	53.90	31.90
10:43	4.822	48.50	58.00	48.50	57.40	57.10	48.50	57.40	55.10	31.90
10:44	4.843	49.70	58.20	49.70	57.50	57.20	49.70	57.50	55.70	32.00
10:45	4.748	48.00	58.50	48.00	57.70	57.20	48.00	57.70	55.10	32.00
10:46	4.782	49.10	58.80	49.10	58.00	57.70	49.10	58.00	52.60	31.40
10:47	4.854	48.30	59.20	48.30	58.40	58.00	48.30	58.40	55.50	31.70
10:48	4.979	49.30	59.40	48.30	58.40	58.30	48.30	58.40	52.50	31.90
10:49	4.788	47.60	59.50	47.60	58.50	58.40	47.60	58.50	52.10	31.90
10:50	4.917	48.80	59.60	48.80	58.60	58.70	48.80	57.00	54.30	31.80
10:51	4.943	50.50	59.60	49.00	58.80	58.80	49.00	57.40	55.90	31.90
10:52	4.745	50.30	59.70	49.10	58.90	58.80	49.10	57.50	56.00	31.80
10:53	5.002	49.10	59.80	48.30	59.00	58.90	48.30	57.70	56.30	32.10
10:54	5.029	50.20	59.80	49.50	59.20	58.90	49.50	58.00	57.20	32.20
10:55	5.001	50.30	60.00	49.80	59.50	59.10	49.80	58.40	57.00	32.10
10:56	5.086	50.20	60.10	49.80	59.50	59.30	49.80	58.40	54.90	32.00
10:57	5.040	50.00	60.20	50.00	59.70	59.40	50.00	58.50	57.10	32.10
10:58	5.100	50.10	60.30	50.10	59.90	59.50	50.10	56.60	58.00	31.90
10:59	5.117	50.40	60.40	50.40	59.90	59.60	50.40	56.70	57.30	32.10

ตารางที่ 3 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถึงน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
11:00	5.138	50.60	60.40	50.60	59.80	59.70	50.60	57.20	57.90	32.40
11:01	5.129	50.80	60.80	50.80	60.00	59.80	50.80	57.40	58.00	32.10
11:02	4.916	50.10	60.90	50.10	60.00	60.00	50.10	57.40	58.00	32.30
11:03	5.026	50.50	61.10	50.20	60.20	60.20	50.20	58.10	57.50	32.00
11:04	5.260	50.50	61.40	50.50	60.30	60.30	50.50	57.50	57.70	31.90
11:05	5.277	49.40	61.40	49.50	60.30	60.20	49.50	57.50	57.00	31.90
11:06	5.261	50.40	61.40	50.40	60.20	60.20	50.40	57.80	57.20	32.30
11:07	5.231	50.20	61.70	50.20	60.30	60.20	50.20	57.90	58.40	32.10
11:08	5.288	50.20	61.80	50.10	60.50	60.80	50.10	61.80	57.90	32.40
11:09	5.241	50.50	62.10	51.00	60.50	60.80	51.00	62.10	59.00	32.40
11:10	5.248	50.30	62.30	50.90	60.60	60.50	50.90	62.30	58.60	32.40
11:11	5.296	49.10	62.50	50.90	60.80	61.10	50.90	62.60	58.90	32.40
11:12	5.257	50.20	62.80	50.60	60.90	61.30	50.60	62.80	58.80	31.80
11:13	5.091	50.30	62.90	50.40	61.00	61.20	50.40	62.90	59.20	32.50
11:14	5.253	50.20	63.40	50.40	61.00	61.20	50.40	63.40	59.70	31.90
11:15	5.422	50.60	63.60	50.40	61.40	61.50	50.40	63.70	60.50	32.30
11:16	5.465	50.40	63.80	50.40	61.70	61.90	50.40	63.80	60.10	32.20
11:17	5.461	50.50	64.10	50.50	61.70	61.80	50.50	64.10	59.20	32.30
11:18	5.387	50.60	64.30	50.60	62.00	62.00	50.60	64.30	59.50	32.10
11:19	5.463	50.80	64.30	50.80	62.20	62.20	50.80	64.30	58.80	32.10
11:20	5.416	51.10	64.60	51.10	62.40	62.50	51.10	64.60	59.30	32.30
11:21	5.520	51.20	64.70	51.20	62.50	62.80	51.20	64.70	59.30	32.30
11:22	5.519	50.40	64.90	50.40	62.70	63.00	50.40	64.90	59.40	32.40
11:23	5.459	50.60	65.10	50.60	62.80	63.20	50.60	65.10	60.60	32.60
11:24	5.529	50.70	65.10	50.60	62.90	63.40	50.60	65.10	60.80	32.70
11:25	5.521	50.80	65.30	50.70	63.20	63.40	50.70	65.30	61.70	32.60
11:26	5.290	51.90	65.40	51.90	63.30	64.20	51.90	65.40	60.80	32.40
11:27	5.609	49.90	65.60	49.90	63.50	64.20	49.90	65.60	61.10	32.00
11:28	5.157	50.00	65.70	50.00	63.00	63.80	50.00	65.80	60.30	32.40
11:29	5.067	50.50	65.70	50.10	62.80	63.80	50.10	65.70	59.90	32.10
11:30	5.315	50.30	65.80	50.30	62.70	64.00	50.30	65.80	59.80	31.90
11:31	5.647	49.10	65.80	50.20	62.80	63.80	50.20	65.80	60.60	32.30
11:32	5.685	50.20	65.90	50.30	62.50	63.70	50.30	65.90	60.30	32.30
11:33	5.594	50.30	66.00	50.20	62.30	63.60	50.20	66.00	61.20	32.40
11:34	5.639	50.20	66.00	49.00	62.40	63.50	49.00	66.00	62.00	32.80
11:35	5.758	50.60	66.10	50.60	62.60	63.60	50.60	65.90	62.00	32.90
11:36	5.617	50.50	66.10	50.50	62.50	63.60	50.50	66.00	61.50	32.90
11:37	5.732	50.30	66.30	50.20	62.50	63.70	50.20	66.00	61.10	32.90
11:38	5.664	50.90	66.40	50.90	62.40	64.00	50.90	66.20	60.60	32.50
11:39	5.667	50.90	66.60	50.80	62.40	63.90	50.80	66.10	60.80	32.80
11:40	5.645	50.50	66.70	50.50	62.60	63.50	50.50	65.10	61.90	32.80
11:41	5.790	50.30	66.80	50.30	62.70	64.20	50.30	66.80	60.70	32.80
11:42	5.794	50.20	66.90	50.10	62.90	64.50	50.10	66.90	60.40	32.80
11:43	5.767	49.80	67.00	49.80	62.90	64.50	49.80	67.00	60.30	32.60
11:44	5.747	49.80	66.90	49.80	63.00	64.70	49.80	66.90	62.10	32.90

ตารางที่ 3 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
11:45	5.702	49.70	66.80	49.70	62.90	64.60	49.70	64.70	63.40	33.10
11:46	5.621	49.80	66.90	49.80	63.00	64.90	49.80	64.90	64.10	33.00
11:47	5.773	49.70	66.70	49.70	62.90	64.30	49.70	64.50	62.10	33.00
11:48	5.726	49.80	66.80	49.90	63.10	63.90	49.90	63.90	62.50	33.20
11:49	5.788	50.00	67.00	50.10	63.00	64.30	50.10	64.60	62.80	33.10
11:50	5.999	50.20	67.10	50.20	63.20	64.40	50.20	67.10	64.00	33.20
11:51	6.030	50.50	67.20	50.50	63.50	64.70	50.50	67.30	59.80	32.80
11:52	6.042	50.80	67.20	50.80	63.60	64.80	50.80	67.20	57.20	32.90
11:53	6.008	51.20	67.30	51.10	64.00	65.00	51.10	67.30	59.20	32.60
11:54	5.993	51.40	67.10	51.40	63.80	64.90	51.40	67.10	60.10	32.40
11:55	6.088	51.40	66.90	51.40	63.70	64.90	51.40	66.90	59.10	32.40
11:56	6.058	51.70	66.90	51.70	63.80	64.80	51.70	61.80	60.10	32.90
11:57	6.097	50.20	66.70	50.20	63.80	64.80	50.20	62.30	60.90	32.90
11:58	6.190	50.50	66.60	50.50	64.00	64.70	50.50	62.40	60.30	32.90
11:59	6.262	50.80	66.70	50.80	64.00	64.70	50.80	62.60	60.60	32.40
12:00	6.164	51.10	66.70	51.10	64.10	64.70	51.10	62.60	61.20	32.90
12:01	6.187	49.70	66.70	49.70	64.30	64.90	49.70	62.70	61.50	32.80
12:02	6.093	49.90	66.80	49.80	64.50	64.90	49.80	62.90	62.10	32.70
12:03	6.117	49.70	66.70	49.70	64.50	64.90	49.70	62.80	61.20	33.10
12:04	6.159	49.90	67.50	49.90	64.40	65.20	49.90	63.10	61.20	32.90
12:05	6.188	50.20	66.90	50.10	64.70	65.10	50.10	63.20	62.40	32.90
12:06	6.137	50.20	67.10	50.20	64.90	65.20	50.20	63.30	62.90	32.60
12:07	6.169	49.90	67.10	49.90	65.30	65.40	49.90	63.40	62.30	33.10
12:08	6.226	50.10	67.00	50.10	65.00	65.50	50.10	64.30	62.60	33.50
12:09	6.145	50.20	66.90	50.20	64.70	65.50	50.20	64.10	58.80	33.20
12:10	6.141	49.90	66.90	49.90	64.80	65.60	49.90	64.00	55.20	33.10
12:11	6.158	50.00	66.70	50.00	64.50	65.30	50.00	63.90	54.00	33.10
12:12	6.176	50.10	66.60	50.10	64.30	65.80	50.10	64.50	56.60	32.80
12:13	6.260	50.30	66.30	50.30	63.40	65.50	50.30	65.50	56.20	32.50
12:14	6.293	50.20	66.20	50.20	63.80	65.00	50.20	63.60	58.10	32.40
12:15	6.235	50.50	65.70	50.30	62.90	64.40	50.30	63.50	59.40	33.20
12:16	6.259	50.30	65.80	50.20	63.40	64.00	50.20	62.60	59.70	32.70
12:17	6.206	49.10	65.90	49.00	63.30	63.80	49.00	62.20	60.00	32.60
12:18	6.221	50.20	66.10	50.20	64.00	63.80	50.20	61.70	62.10	33.10
12:19	6.189	50.30	66.40	50.30	64.60	64.20	50.30	61.50	62.80	33.30
12:20	6.094	50.20	66.70	50.20	65.40	64.60	50.20	61.80	63.70	33.40
12:21	6.193	49.10	66.70	49.00	65.70	65.10	49.00	62.10	62.90	33.60
12:22	6.232	49.90	67.10	49.90	66.20	65.60	49.90	62.60	61.80	33.50
12:23	6.271	49.90	67.10	50.00	66.40	65.90	50.00	63.10	59.80	33.40
12:24	6.311	49.90	67.50	50.10	66.70	66.30	50.10	63.40	62.20	33.40
12:25	6.258	49.80	67.60	50.30	66.70	66.50	50.30	63.70	62.60	33.60
12:26	6.301	49.70	67.80	50.20	67.00	66.70	50.20	64.00	58.30	33.70
12:27	6.298	49.40	68.30	50.30	67.30	67.00	50.30	64.10	55.50	32.90
12:28	6.285	49.50	68.30	50.50	67.40	67.20	50.50	64.30	53.80	32.90
12:29	6.274	49.80	68.30	50.00	67.40	67.20	50.00	64.50	54.40	33.30

ตารางที่ 3 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
12:30	6.261	49.70	68.10	49.70	67.30	67.30	49.70	64.40	58.30	33.30
12:31	6.266	49.50	68.10	49.50	67.40	67.20	49.50	65.00	59.60	33.40
12:32	6.206	49.40	68.00	49.40	67.20	67.10	49.40	64.90	60.30	33.00
12:33	6.200	49.30	67.80	49.20	67.40	67.10	49.20	65.10	62.30	33.70
12:34	6.279	49.10	67.80	49.10	67.20	67.00	49.10	65.20	62.30	33.50
12:35	6.428	49.20	68.00	49.10	67.20	67.00	49.10	65.50	61.50	33.10
12:36	6.413	49.40	68.00	49.40	67.00	66.90	49.40	65.40	60.80	33.20
12:37	6.354	49.60	68.10	49.60	67.00	66.90	49.60	68.10	61.50	33.50
12:38	6.486	50.10	68.00	50.10	66.90	66.90	50.10	68.20	63.00	33.90
12:39	6.311	50.80	68.10	50.90	67.10	67.00	50.90	68.30	62.50	34.00
12:40	6.222	51.70	68.20	51.70	67.20	67.10	51.70	68.30	63.40	33.90
12:41	6.353	49.90	68.30	49.90	67.40	67.20	49.90	68.40	60.00	33.20
12:42	6.463	50.10	68.30	50.00	67.30	67.20	50.00	68.70	57.80	33.40
12:43	6.501	50.10	68.40	50.10	67.30	67.20	50.10	68.30	55.80	33.40
12:44	6.410	50.40	68.70	50.30	67.20	67.50	50.30	68.50	57.40	33.00
12:45	6.321	49.10	68.30	49.10	67.20	67.40	49.10	68.60	59.10	33.20
12:46	6.344	49.10	68.50	49.10	67.20	67.20	49.10	68.70	60.30	33.10
12:47	6.367	49.40	68.60	49.40	67.10	67.20	49.40	68.90	61.20	33.40
12:48	6.299	49.60	68.70	49.60	67.30	67.50	49.60	69.10	62.20	33.20
12:49	6.249	50.20	68.90	50.10	67.30	67.40	50.10	69.10	61.80	33.20
12:50	6.457	50.00	69.10	50.00	67.40	67.10	50.00	69.30	62.60	33.60
12:51	6.538	50.20	69.30	50.10	67.50	67.40	50.10	69.70	62.10	33.20
12:52	6.458	50.30	69.70	50.30	68.00	67.50	50.30	70.00	63.10	33.00
12:53	6.410	49.10	70.00	49.10	68.20	67.90	49.10	70.10	64.40	33.40
12:54	6.478	49.10	70.10	49.10	68.40	68.20	49.10	70.40	65.10	33.60
12:55	6.541	49.60	70.40	49.60	68.90	68.70	49.60	70.40	64.90	33.60
12:56	6.548	50.10	70.40	50.10	69.40	68.90	50.10	70.60	65.20	34.00
12:57	6.533	50.40	70.60	50.30	69.80	69.20	50.30	70.80	65.10	33.80
12:58	6.518	49.90	70.80	50.10	70.20	69.50	50.10	71.10	65.10	33.90
12:59	6.439	49.90	71.10	50.30	70.30	69.80	50.30	71.10	63.80	33.70
13:00	6.431	49.80	71.10	49.60	70.40	70.00	49.60	71.90	64.00	33.40
13:01	6.194	49.70	71.30	50.10	70.50	70.00	50.10	71.70	64.40	33.30
13:02	6.345	49.40	71.50	50.00	70.50	70.20	50.00	71.80	65.40	33.20
13:03	6.381	49.50	71.60	50.10	70.40	70.30	50.10	71.90	64.00	33.10
13:04	6.352	49.80	71.70	50.30	70.60	70.30	50.30	71.80	63.60	33.40
13:05	6.401	49.70	71.60	49.60	70.70	70.30	49.60	71.70	63.10	34.10
13:06	6.507	50.10	71.80	50.10	70.90	70.50	50.10	71.40	60.30	33.60
13:07	6.521	50.00	71.90	50.00	70.80	70.70	50.00	71.30	64.00	33.40
13:08	6.598	50.10	71.70	50.10	70.70	70.50	50.10	71.20	63.10	33.60
13:09	6.598	50.30	71.80	50.30	70.70	70.70	50.30	71.10	64.10	33.50
13:10	6.593	49.60	71.90	49.60	70.80	70.60	49.60	71.10	62.50	33.90
13:11	6.594	50.10	71.80	50.10	70.30	70.80	50.10	71.90	61.60	33.30
13:12	6.608	51.20	71.70	51.20	70.00	66.00	51.20	71.70	61.70	33.20
13:13	6.598	50.90	71.40	50.90	69.20	70.40	50.90	71.80	61.30	33.20
13:14	6.843	50.50	71.30	50.50	69.10	70.10	50.50	71.90	62.10	33.20

ตารางที่ 3 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
13:15	6.782	50.20	71.20	50.20	68.70	69.80	50.20	71.80	62.40	33.20
13:16	6.649	49.90	71.20	49.90	68.60	69.70	49.90	71.20	60.10	33.60
13:17	6.668	49.70	71.20	49.70	68.60	69.50	49.70	71.20	57.00	33.40
13:18	6.811	49.60	71.20	49.60	68.70	69.20	49.60	71.20	55.70	33.60
13:19	6.643	49.40	71.30	49.40	68.70	69.10	49.40	71.30	54.20	33.10
13:20	6.139	49.20	71.20	49.20	68.40	69.00	49.20	71.20	52.70	32.60
13:21	6.262	49.20	71.00	49.20	68.50	68.90	49.20	71.00	52.60	32.80
13:22	6.627	49.90	70.90	49.40	68.50	69.00	49.40	71.20	57.10	33.10
13:23	6.843	49.90	70.60	49.80	68.50	68.90	49.80	71.00	60.10	33.50
13:24	6.590	49.80	70.40	50.50	68.60	68.80	50.50	70.00	62.00	33.60
13:25	6.598	49.70	70.30	50.90	68.60	68.70	50.90	69.80	61.80	33.60
13:26	6.603	49.40	70.00	49.60	68.60	68.80	49.60	69.80	63.00	33.70
13:27	6.323	49.50	70.00	50.10	68.50	68.70	50.10	69.90	63.50	33.70
13:28	6.370	49.80	69.80	50.00	68.50	68.60	50.00	69.90	62.80	33.30
13:29	6.551	49.70	69.80	50.10	68.40	68.50	50.10	68.80	62.80	33.70
13:30	6.492	50.30	69.90	50.30	68.60	68.60	50.30	68.70	63.80	33.80
13:31	6.525	49.60	69.90	49.60	68.60	68.50	49.60	68.60	65.10	33.70
13:32	6.475	50.10	70.10	50.10	68.60	68.60	50.10	68.50	64.80	33.60
13:33	6.484	49.60	70.10	49.60	68.60	68.60	49.60	68.60	63.50	33.70
13:34	6.456	50.10	70.20	50.10	68.30	68.70	50.10	68.50	58.30	33.40
13:35	6.339	50.00	70.20	50.00	68.20	68.70	50.00	67.90	56.60	33.40
13:36	6.462	50.10	70.00	50.10	68.20	68.60	50.10	67.80	58.00	33.70
13:37	6.356	50.30	69.80	50.30	68.10	68.60	50.30	68.00	57.40	33.40
13:38	6.366	49.60	69.60	49.60	68.00	68.40	49.60	67.90	56.00	33.20
13:39	6.557	50.10	69.50	50.10	67.80	68.30	50.10	68.00	57.00	32.80
13:40	6.449	49.60	69.40	49.60	67.60	68.10	49.60	67.90	59.20	33.00
13:41	6.513	50.10	69.00	50.10	67.20	67.80	50.10	68.60	59.50	33.50
13:42	6.554	50.00	68.60	50.00	66.90	65.20	50.00	69.70	61.10	33.20
13:43	6.470	50.10	68.00	50.10	66.30	67.40	50.10	69.10	62.30	33.60
13:44	6.570	50.30	68.00	50.30	65.80	66.80	50.30	68.40	61.90	33.30
13:45	6.565	49.60	67.80	49.60	65.50	66.40	49.60	67.90	61.60	33.30
13:46	6.536	50.10	67.80	50.10	65.20	66.10	50.10	67.90	60.90	33.20
13:47	6.559	50.00	67.90	50.00	65.10	66.00	50.00	67.20	60.80	33.20
13:48	6.515	50.10	68.10	50.10	65.40	65.70	50.10	67.40	61.90	33.60
13:49	6.341	50.30	68.10	50.30	65.50	65.70	50.30	66.90	60.90	34.00
13:50	6.331	50.10	68.40	50.10	65.70	65.60	50.10	64.80	62.40	33.90
13:51	6.373	50.00	68.70	50.00	66.10	66.00	50.00	64.50	62.80	33.90
13:52	6.416	49.90	69.00	50.10	66.50	66.60	50.10	64.30	61.00	33.30
13:53	6.290	49.90	69.20	50.30	66.90	66.90	50.30	64.10	60.10	33.90
13:54	6.371	49.80	69.10	51.90	66.90	67.10	51.90	64.30	56.50	33.90
13:55	6.286	49.70	69.10	51.60	66.90	67.40	51.60	64.90	55.00	33.80
13:56	6.370	49.40	69.20	51.20	67.50	67.60	51.20	65.30	57.30	33.70
13:57	6.253	49.50	69.20	50.80	67.70	67.70	50.80	65.30	59.20	33.20
13:58	6.291	49.80	69.10	50.30	67.60	67.80	50.30	65.60	61.40	33.40
13:59	6.231	49.70	68.90	50.00	67.60	67.80	50.00	66.00	60.40	33.60

ตารางที่ 3 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
14:00	6.115	49.60	68.90	49.60	67.50	67.80	49.60	66.10	60.90	33.70
14:01	6.207	49.40	68.90	49.40	67.40	67.90	49.40	66.40	60.80	33.90
14:02	6.203	49.00	69.00	49.00	67.00	64.60	49.00	64.60	61.90	33.90
14:03	6.198	50.30	69.00	50.30	67.50	68.10	50.30	68.10	62.80	33.80
14:04	6.379	50.10	69.10	50.10	67.20	67.50	50.10	67.50	63.10	33.80
14:05	6.434	50.00	69.10	50.00	67.10	67.70	50.00	67.70	63.80	34.20
14:06	6.156	50.10	69.00	50.10	66.60	67.50	50.10	67.50	62.90	34.50
14:07	6.223	49.90	69.10	50.30	66.40	67.50	50.30	64.60	62.80	34.50
14:08	6.177	49.90	69.20	50.10	66.40	67.00	50.10	63.70	62.00	34.30
14:09	6.227	49.80	69.40	50.30	66.60	66.90	50.30	63.40	62.00	34.40
14:10	6.365	49.70	69.40	50.10	66.80	67.00	50.10	63.20	61.80	34.30
14:11	6.336	49.40	69.50	50.00	66.90	67.20	50.00	68.10	62.80	34.10
14:12	6.410	49.50	69.70	50.10	67.20	67.40	50.10	68.10	62.40	33.70
14:13	6.460	49.80	69.60	50.30	67.10	67.40	50.30	68.10	62.40	33.80
14:14	6.097	49.70	69.60	50.10	67.40	67.50	50.10	68.00	62.30	33.90
14:15	6.246	50.30	69.70	50.30	67.60	67.70	50.30	68.00	61.70	33.70
14:16	6.210	50.00	69.70	50.00	67.60	67.90	50.00	67.90	60.00	33.60
14:17	5.983	49.60	69.80	49.60	67.80	68.00	49.60	67.80	60.90	33.60
14:18	6.020	49.40	69.80	49.40	67.70	68.10	49.40	65.30	61.40	33.60
14:19	5.898	49.00	69.70	49.00	67.80	68.10	49.00	65.40	61.10	34.10
14:20	5.865	50.30	69.70	50.30	67.80	68.10	50.30	66.70	62.60	33.70
14:21	5.898	50.10	69.70	50.10	67.70	68.10	50.10	66.60	63.20	33.90
14:22	6.017	49.90	69.50	50.00	67.70	68.00	50.00	66.60	62.40	34.40
14:23	6.087	49.90	69.50	50.10	67.60	68.00	50.10	66.30	60.30	33.80
14:24	6.163	49.80	69.50	50.30	67.60	67.90	50.30	65.90	58.90	33.70
14:25	6.141	49.70	69.40	50.10	67.60	67.80	50.10	65.80	60.60	33.70
14:26	6.067	49.40	69.20	50.00	67.40	67.70	50.00	66.10	60.10	33.60
14:27	5.745	49.50	69.20	50.10	67.40	67.70	50.10	66.40	61.00	33.40
14:28	5.725	49.80	69.20	50.30	67.10	67.70	50.30	66.60	60.20	33.90
14:29	5.838	49.70	69.10	50.30	67.10	67.60	50.30	67.10	60.10	33.70
14:30	5.816	50.00	69.10	50.00	67.00	66.70	50.00	67.50	60.40	33.80
14:31	5.871	49.60	68.90	49.60	66.40	67.80	49.60	67.40	60.80	33.70
14:32	5.749	49.40	68.70	49.40	66.20	67.80	49.40	67.70	60.90	33.60
14:33	5.600	49.00	68.60	49.00	66.00	67.10	49.00	67.40	60.50	33.70
14:34	5.827	50.30	68.50	50.30	65.90	66.70	50.30	66.90	60.00	33.60
14:35	5.827	50.10	68.40	50.10	65.50	66.60	50.10	66.60	56.40	33.60
14:36	5.789	50.30	68.40	50.30	65.30	66.60	50.30	66.40	58.10	33.70
14:37	5.757	49.90	68.40	50.00	65.40	66.30	50.00	65.90	59.10	33.70
14:38	5.809	49.90	68.30	49.60	65.60	65.90	49.60	65.00	59.50	33.80
14:39	5.652	49.80	68.40	49.40	65.80	65.80	49.40	64.40	59.60	34.20
14:40	5.777	49.70	68.40	49.00	66.00	66.00	49.00	68.30	59.50	33.80
14:41	5.726	49.40	68.30	50.30	66.10	66.30	50.30	68.30	59.10	33.40
14:42	5.672	49.50	68.30	50.50	66.40	66.30	50.50	68.30	58.80	33.60
14:43	5.624	49.80	68.30	50.00	66.60	66.50	50.00	68.30	58.80	33.70
14:44	5.603	49.70	68.30	49.50	66.70	66.70	49.50	68.20	59.70	33.40

ตารางที่ 3.3 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
14:45	5.541	49.20	68.30	49.20	66.90	66.70	49.20	68.00	60.90	33.70
14:46	5.510	49.00	68.20	49.00	66.90	66.70	49.00	68.10	60.90	33.90
14:47	5.557	49.00	68.00	49.00	66.80	66.90	49.00	68.00	60.00	33.70
14:48	5.492	50.30	68.10	50.30	66.90	66.80	50.30	68.00	60.10	33.60
14:49	5.476	50.50	68.00	50.50	66.90	66.80	50.50	68.10	60.10	33.90
14:50	5.409	50.00	68.00	50.00	66.90	66.90	50.00	68.00	61.20	33.70
14:51	5.455	49.50	68.10	49.50	66.80	66.80	49.50	67.80	60.30	33.50
14:52	5.480	49.20	68.00	49.20	66.70	66.70	49.20	67.80	59.50	33.40
14:53	5.414	49.00	67.80	49.00	66.40	66.70	49.00	67.80	59.20	33.40
14:54	5.430	50.90	67.80	50.90	66.40	66.60	50.90	68.00	59.60	33.80
14:55	5.419	49.90	67.80	49.00	66.40	66.60	49.00	68.00	58.20	33.60
14:56	5.339	49.90	67.60	50.30	66.10	66.40	50.30	68.10	58.80	33.40
14:57	5.392	49.80	67.50	50.50	66.00	66.30	50.50	68.00	59.30	33.70
14:58	5.334	49.70	67.50	50.00	66.00	66.30	50.00	65.50	59.90	34.20
14:59	5.360	49.40	67.50	49.50	66.10	66.30	49.50	66.00	58.20	34.00
15:00	5.253	49.50	67.50	49.20	66.10	66.30	49.20	66.00	59.10	33.90
15:01	5.256	49.80	67.40	49.00	65.90	66.20	49.00	66.60	57.70	33.90
15:02	5.300	49.70	67.30	50.30	65.90	66.40	50.30	66.70	57.20	33.70
15:03	5.260	50.10	67.20	50.10	65.70	66.20	50.10	66.70	57.70	33.90
15:04	5.206	50.00	67.20	50.00	65.40	66.20	50.00	67.20	57.50	33.70
15:05	5.258	50.10	67.00	50.10	65.20	65.70	50.10	67.00	58.20	33.70
15:06	5.220	50.30	66.90	50.30	65.10	65.60	50.30	66.60	58.80	33.70
15:07	5.136	50.30	67.00	50.30	65.10	65.50	50.30	66.20	58.90	33.70
15:08	5.138	50.00	67.10	50.00	64.90	65.40	50.00	66.00	58.20	33.50
15:09	5.144	49.60	67.10	49.60	64.90	65.30	49.60	66.00	57.90	33.60
15:10	5.127	49.90	67.20	50.10	64.90	65.20	50.10	65.90	58.30	33.70
15:11	5.193	49.90	67.10	49.50	64.70	65.50	49.50	65.10	58.40	33.70
15:12	5.191	49.80	67.20	49.20	65.20	65.10	49.20	64.60	58.40	34.10
15:13	5.134	49.70	67.40	50.30	65.30	65.20	50.30	64.00	58.40	33.70
15:14	5.162	49.40	67.40	50.10	65.50	65.30	50.10	63.80	58.80	34.10
15:15	5.088	49.50	67.40	50.00	65.40	65.50	50.00	63.50	57.40	33.40
15:16	5.032	49.80	67.40	50.10	65.50	65.50	50.10	63.50	57.90	33.60
15:17	5.106	49.70	67.40	50.30	65.70	65.60	50.30	63.50	57.50	33.40
15:18	5.093	50.30	67.30	50.30	65.60	65.70	50.30	63.50	57.80	33.60
15:19	5.062	50.00	67.10	50.00	65.50	65.70	50.00	64.00	57.40	33.70
15:20	4.951	49.60	67.10	49.60	65.60	65.70	49.60	64.30	57.10	33.40
15:21	5.029	50.30	66.90	50.30	65.50	65.60	50.30	64.20	57.00	33.40
15:22	4.891	50.30	66.70	50.30	65.40	65.60	50.30	64.30	56.60	33.70
15:23	4.742	50.10	66.70	50.10	65.40	65.60	50.10	64.30	57.00	33.80
15:24	4.842	50.00	66.40	50.00	65.30	65.40	50.00	64.40	55.10	33.60
15:25	4.800	50.10	66.40	50.10	65.20	65.40	50.10	64.40	55.20	33.60
15:26	4.778	50.30	66.30	50.30	65.10	65.20	50.30	64.40	55.00	33.40
15:27	4.856	50.30	66.10	50.30	64.90	65.10	50.30	64.40	54.80	33.70
15:28	4.895	49.90	65.90	50.00	64.70	64.90	50.00	64.40	54.50	33.50
15:29	4.879	49.90	65.80	49.60	64.60	64.80	49.60	64.60	55.40	33.70

ตารางที่ 3 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถึงน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
15:30	4.924	49.80	65.60	50.50	64.50	64.60	50.50	64.50	55.80	33.90
15:31	4.064	49.70	65.50	50.30	64.20	64.40	50.30	64.40	56.00	33.70
15:32	4.064	49.40	65.30	50.00	64.00	64.30	50.00	64.50	55.50	33.70
15:33	4.017	49.50	65.10	50.10	63.80	64.10	50.10	64.40	55.60	33.50
15:34	3.942	49.80	64.80	50.30	63.70	63.90	50.30	64.50	55.70	33.40
15:35	3.879	49.70	64.60	50.30	63.40	63.70	50.30	64.40	55.90	33.70
15:36	3.761	50.00	64.20	50.10	63.20	63.40	50.10	64.30	54.70	33.60
15:37	3.767	50.30	64.10	50.60	63.10	63.20	50.60	64.70	55.20	33.20
15:38	3.822	50.30	63.80	50.40	62.80	63.00	50.40	66.40	55.10	33.60
15:39	3.855	50.00	63.50	51.20	62.50	62.90	51.20	67.50	54.90	33.20
15:40	3.879	50.10	63.40	50.90	62.30	62.70	50.90	65.40	54.30	33.20
15:41	3.790	50.30	63.30	50.30	62.00	62.40	50.30	64.90	54.40	33.40
15:42	3.575	50.30	63.40	50.10	61.90	62.30	50.10	64.70	54.80	33.60
15:43	3.588	50.00	63.50	50.80	62.00	62.20	50.80	63.50	54.10	33.40
15:44	3.599	50.10	63.50	50.20	62.00	62.10	50.20	63.40	54.20	33.20
15:45	3.620	48.50	63.70	50.90	62.30	62.00	50.90	63.70	54.40	33.50
15:46	3.587	49.90	63.70	50.60	62.30	62.40	50.60	63.40	54.60	33.30
15:47	3.644	49.90	63.70	49.10	62.60	62.10	49.10	62.40	53.70	33.40
15:48	3.637	49.80	63.70	50.60	62.60	62.30	50.60	62.10	54.30	33.60
15:49	3.520	49.70	63.70	50.00	62.60	62.40	50.00	61.80	53.80	33.20
15:50	3.461	49.40	63.50	50.40	62.80	62.40	50.40	61.70	53.30	33.40
15:51	3.506	49.50	63.40	52.70	62.90	62.40	52.70	61.70	52.90	33.40
15:52	3.432	49.80	63.30	51.00	62.80	62.40	51.00	61.50	51.80	33.20
15:53	3.496	49.70	63.20	52.50	62.70	62.40	52.50	61.80	52.50	33.20
15:54	3.537	50.30	63.10	52.00	62.70	62.40	52.00	62.00	53.20	33.10
15:55	3.498	50.00	62.90	51.50	62.60	62.30	51.50	61.90	53.90	33.10
15:56	3.467	49.60	62.80	51.10	62.50	62.20	51.10	61.80	53.80	33.50
15:57	3.375	50.50	62.60	50.90	62.40	62.10	50.90	61.80	53.80	33.70
15:58	3.303	50.30	62.40	50.50	62.30	62.10	50.50	61.80	53.90	33.50
15:59	3.243	50.10	62.40	50.20	62.10	61.90	50.20	61.80	53.80	33.60
16:00	3.243	50.30	62.10	49.90	61.90	61.80	49.90	61.80	53.20	33.60
ค่าเฉลี่ย	5.275	49.589	64.046	49.689	62.532	62.681	49.723	62.469	57.513	32.838

ตารางที่ 4 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 1000 (l/hr)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
9:30	3.637	40.50	44.50	40.50	44.70	44.20	40.50	41.90	44.40	30.30
9:31	3.739	40.70	44.60	40.70	44.80	44.30	40.80	42.00	44.20	30.50
9:32	3.687	41.50	44.80	41.50	44.90	44.40	41.50	41.90	43.30	30.00
9:33	3.715	41.60	44.90	41.50	45.10	44.60	41.50	42.30	43.40	30.30
9:34	3.754	40.60	45.00	40.40	45.10	44.80	40.40	42.20	43.40	30.40
9:35	3.813	41.00	45.40	41.00	45.50	44.90	41.20	42.30	44.20	30.00
9:36	3.842	41.20	45.70	41.20	45.70	45.10	41.20	42.50	44.60	29.90
9:37	3.844	42.30	45.80	42.40	45.90	45.40	42.40	42.60	44.60	29.50
9:38	3.831	41.50	46.00	41.50	46.10	45.50	41.50	42.80	43.60	29.20
9:39	3.895	41.40	46.10	41.50	46.00	45.60	41.50	42.80	42.90	29.50
9:40	3.897	41.50	46.30	41.50	46.30	45.80	41.50	42.90	44.20	29.90
9:41	3.889	41.70	46.40	41.70	46.30	45.90	41.70	43.10	45.10	30.00
9:42	3.872	41.90	46.50	41.90	46.60	46.00	41.90	43.10	45.80	30.30
9:43	3.921	42.10	47.60	42.10	46.80	46.30	42.20	43.30	45.50	30.10
9:44	3.974	43.20	46.80	43.20	47.00	46.40	43.20	43.30	46.00	29.60
9:45	3.967	43.30	47.10	43.30	47.10	46.60	43.30	43.50	46.30	29.50
9:46	3.947	42.40	47.10	42.40	47.30	46.80	42.40	43.70	46.60	30.00
9:47	4.023	42.50	47.30	42.50	47.50	46.90	42.50	43.80	45.80	29.80
9:48	4.093	42.70	47.50	42.70	47.70	47.20	42.70	43.90	46.60	29.70
9:49	4.109	42.80	47.70	42.80	47.90	47.40	42.70	44.20	47.20	29.70
9:50	4.127	42.10	47.90	42.10	48.10	47.40	42.10	44.30	47.10	29.50
9:51	4.140	43.20	48.00	43.40	48.20	47.50	43.40	44.30	48.20	29.80
9:52	4.140	43.50	48.20	43.40	48.50	47.80	43.50	44.50	48.30	29.50
9:53	4.161	43.40	48.20	43.40	48.50	47.90	43.40	44.80	47.50	30.00
9:54	4.218	43.50	48.50	43.50	48.80	48.00	43.50	44.80	48.80	30.50
9:55	4.181	43.80	48.60	43.80	48.90	48.30	43.80	45.00	47.20	30.40
9:56	4.222	43.90	48.70	43.90	48.90	48.40	43.90	45.20	45.70	30.00
9:57	4.225	44.10	49.00	44.10	49.20	48.60	44.10	45.30	46.30	30.10
9:58	4.342	45.30	49.30	45.30	49.50	48.90	45.30	45.60	47.30	30.00
9:59	4.367	45.50	49.40	45.50	49.60	49.10	45.60	45.70	46.60	30.00
10:00	4.414	45.60	49.50	45.60	49.80	49.20	45.60	46.00	46.80	30.20
10:01	4.403	44.80	49.70	44.80	50.00	49.40	44.80	46.10	45.30	30.20
10:02	4.438	44.80	49.70	44.80	50.10	49.50	44.80	46.30	45.40	30.10
10:03	4.409	45.20	49.90	45.20	50.40	49.70	45.20	46.50	47.40	30.50
10:04	4.340	45.30	50.00	45.30	50.60	49.70	45.30	46.60	47.60	30.50
10:05	4.477	45.30	50.00	45.30	50.50	49.90	45.30	46.90	46.30	30.30
10:06	4.535	46.50	50.20	46.50	50.60	50.00	46.50	46.90	44.60	30.30
10:07	4.579	45.90	50.50	45.90	50.80	50.10	45.90	47.20	44.80	30.40
10:08	4.564	45.80	50.50	45.80	50.80	50.30	45.80	47.20	44.50	30.50
10:09	4.628	46.00	50.80	46.00	51.10	50.50	46.20	47.40	47.10	31.20
10:10	4.647	46.30	51.00	46.30	51.40	50.60	46.30	47.60	49.30	31.60

ตารางที่ 4 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 1000 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
10:11	4.607	46.40	51.10	46.40	51.50	50.80	46.40	47.70	50.50	31.80
10:12	4.421	47.70	50.20	47.70	51.60	50.90	47.70	48.10	49.20	31.30
10:13	4.586	46.80	51.20	46.80	51.80	51.00	46.80	48.10	48.50	31.60
10:14	4.602	46.90	51.50	46.90	52.10	51.30	46.90	48.30	49.40	31.80
10:15	4.658	47.10	51.70	47.10	52.30	51.50	47.30	48.60	49.40	32.00
10:16	4.714	47.30	52.00	47.30	52.60	51.60	47.30	48.60	50.20	32.00
10:17	4.725	48.40	52.10	48.40	52.80	51.90	48.40	48.80	49.20	32.20
10:18	4.726	47.50	52.50	47.50	53.20	52.10	47.50	48.90	50.00	32.10
10:19	4.735	48.70	52.80	48.70	53.40	52.40	48.70	49.10	50.10	31.80
10:20	4.802	48.00	53.10	48.00	53.50	52.70	48.00	49.20	50.10	31.20
10:21	4.866	48.10	53.20	48.10	53.80	52.90	48.30	49.50	52.00	31.80
10:22	4.769	48.30	53.50	48.30	54.00	53.20	48.30	49.60	50.90	31.40
10:23	4.809	48.30	53.80	48.30	54.30	53.50	48.30	50.00	50.70	30.80
10:24	4.889	47.60	54.10	47.60	54.50	53.70	47.60	50.30	51.70	31.20
10:25	4.859	48.80	54.30	48.80	54.80	53.90	48.80	50.20	53.10	31.90
10:26	4.792	49.00	54.50	49.00	55.10	54.10	49.00	50.70	53.70	32.20
10:27	4.655	49.10	54.70	49.10	55.20	54.30	49.20	50.60	54.30	32.20
10:28	4.902	48.30	54.90	48.30	55.50	54.60	48.30	50.90	53.70	31.80
10:29	4.863	49.50	55.20	49.50	55.80	54.80	49.50	51.40	53.50	31.80
10:30	4.967	49.80	55.30	49.80	56.00	55.10	49.80	51.20	54.40	32.30
10:31	5.012	49.80	55.40	49.80	56.00	55.20	49.80	51.60	52.00	31.60
10:32	5.051	50.00	55.70	50.00	56.30	55.40	50.10	51.70	51.10	31.30
10:33	5.103	50.10	55.90	50.10	56.40	55.60	50.10	52.30	52.90	31.90
10:34	5.142	50.40	56.00	50.40	56.50	55.70	50.40	52.40	53.70	31.60
10:35	5.145	50.60	56.10	50.60	56.50	55.80	50.60	52.60	53.10	31.20
10:36	5.183	50.80	56.30	50.80	56.80	55.90	50.80	52.60	53.50	31.70
10:37	5.156	50.10	56.40	50.10	56.80	56.10	50.10	52.80	54.40	32.00
10:38	5.204	50.20	56.70	50.50	56.90	56.30	50.50	53.30	54.30	32.00
10:39	5.223	50.50	56.90	50.50	57.20	56.60	50.50	53.20	55.60	32.50
10:40	5.220	49.50	56.90	49.40	57.40	56.70	49.40	53.20	55.00	32.60
10:41	5.252	50.40	57.20	50.40	57.50	56.90	50.40	53.20	55.70	32.60
10:42	5.245	50.20	57.50	50.20	57.90	57.10	50.20	53.60	55.50	32.30
10:43	5.233	50.10	57.70	50.20	58.10	57.30	50.30	54.30	54.80	31.40
10:44	5.299	51.00	58.00	51.00	58.40	57.50	51.00	54.10	55.10	31.50
10:45	5.301	50.90	58.20	50.90	58.40	57.70	50.90	54.00	54.90	31.60
10:46	5.305	50.90	58.40	50.80	58.80	58.00	50.80	54.10	55.80	31.60
10:47	5.338	50.60	58.60	50.60	59.20	58.10	50.60	54.30	55.90	31.80
10:48	5.340	50.40	58.80	50.40	59.30	58.30	50.30	54.80	54.80	31.60
10:49	5.364	50.40	58.90	50.50	59.30	58.60	50.50	55.20	54.40	31.30
10:50	5.367	50.40	59.20	50.60	59.50	58.70	50.60	55.50	54.80	31.60
10:51	5.379	50.40	59.20	50.40	59.50	58.80	50.40	55.80	54.40	31.20

ตารางที่ 4 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 1000 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
10:52	5.402	50.50	59.40	50.50	59.70	59.10	50.50	55.60	55.50	31.60
10:53	5.430	50.60	59.50	50.60	59.80	59.10	50.60	56.10	56.20	31.80
10:54	5.486	50.80	59.60	50.80	59.90	59.20	50.80	56.10	56.60	32.10
10:55	5.427	51.10	59.70	51.10	60.10	59.40	51.10	56.00	57.30	32.40
10:56	5.415	51.20	59.90	51.20	60.30	59.50	51.20	56.60	57.00	31.90
10:57	5.476	50.40	60.00	50.40	60.30	59.60	50.40	56.20	56.90	31.40
10:58	5.367	50.60	60.30	50.60	60.40	59.80	50.60	56.40	57.70	31.80
10:59	5.379	50.60	60.20	50.70	60.40	59.90	50.70	56.50	57.80	32.10
11:00	5.402	50.70	60.40	50.80	60.60	60.10	50.70	56.80	58.40	32.40
11:01	5.430	51.90	60.60	51.90	60.90	60.30	51.90	56.80	58.80	32.30
11:02	5.486	49.90	60.80	49.90	61.10	60.40	49.90	57.40	57.80	31.90
11:03	5.575	50.00	61.00	50.00	61.30	60.60	50.00	57.50	58.40	31.90
11:04	5.591	50.10	61.40	50.10	61.60	60.80	50.20	57.80	59.20	31.90
11:05	5.614	50.30	61.50	50.40	61.80	61.00	50.40	58.10	59.80	32.00
11:06	5.632	50.20	61.70	50.20	62.10	61.20	50.20	58.00	58.80	32.30
11:07	5.589	50.30	61.80	50.30	62.10	61.30	50.30	58.30	58.50	31.90
11:08	5.558	50.20	62.00	50.20	62.30	61.40	50.20	58.50	57.80	32.10
11:09	5.609	49.00	62.10	49.10	62.50	61.70	49.10	58.60	58.50	32.30
11:10	5.563	50.60	62.20	50.60	62.30	61.70	50.60	58.50	59.10	32.40
11:11	5.628	50.50	62.40	50.50	62.80	61.80	50.50	58.40	59.80	32.60
11:12	5.645	50.20	62.60	50.30	62.90	62.00	50.40	58.60	60.20	32.60
11:13	5.667	50.90	62.70	50.90	63.10	62.20	50.90	58.50	60.80	32.90
11:14	5.664	50.80	62.80	50.90	63.10	62.30	50.90	58.80	60.80	32.70
11:15	5.691	50.50	62.90	50.50	63.20	62.50	50.50	58.50	61.20	32.60
11:16	5.690	50.30	63.20	50.30	63.50	62.70	50.30	58.90	61.10	32.40
11:17	5.720	50.10	63.30	50.20	63.70	62.80	50.20	59.30	60.80	32.40
11:18	5.628	49.80	63.40	49.80	63.70	63.00	49.80	59.40	61.10	32.90
11:19	5.645	49.80	63.50	49.80	63.90	63.10	49.80	59.70	60.90	32.70
11:20	5.667	49.70	63.60	49.70	64.00	63.20	49.70	59.70	61.10	32.40
11:21	5.664	49.80	63.70	49.80	64.10	63.20	49.70	60.10	61.20	32.20
11:22	5.691	49.70	63.80	49.70	64.20	63.40	49.70	60.20	60.40	32.20
11:23	5.826	49.90	63.70	49.80	64.20	63.20	49.80	60.50	60.80	32.60
11:24	5.574	50.10	63.80	50.10	64.30	63.40	50.10	60.80	59.00	32.30
11:25	5.849	50.20	63.90	50.20	64.40	63.50	50.20	60.80	60.40	32.20
11:26	5.809	50.50	64.00	50.50	64.30	63.60	50.50	60.80	60.40	32.40
11:27	5.788	50.80	64.00	50.80	64.40	63.70	50.80	61.10	59.80	32.50
11:28	5.675	51.10	64.10	51.20	64.60	63.70	51.20	61.20	60.10	32.60
11:29	5.837	51.40	64.20	51.40	64.70	63.90	51.40	61.10	60.50	32.80
11:30	5.995	51.40	64.30	51.40	64.70	63.90	51.50	61.40	60.10	32.10
11:31	5.936	51.70	64.40	51.70	64.90	64.00	51.70	61.50	60.80	32.20
11:32	5.924	50.20	64.60	50.20	65.00	64.10	50.20	61.50	62.20	32.50

ตารางที่ 4 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 1000 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
11:33	5.809	50.50	64.60	50.50	65.00	64.20	50.50	62.20	62.10	32.30
11:34	5.788	50.80	64.70	50.80	65.20	64.40	50.80	61.90	61.50	32.40
11:35	5.675	51.10	64.90	51.10	65.40	64.60	51.10	62.10	61.90	32.10
11:36	5.837	49.70	64.90	49.70	65.50	64.60	49.70	62.30	61.20	32.40
11:37	5.917	49.80	65.00	49.90	65.50	64.60	49.90	62.20	61.50	32.60
11:38	5.956	49.70	65.10	49.70	65.50	64.70	49.70	62.20	61.40	32.50
11:39	5.977	49.90	65.30	49.90	65.80	64.80	49.80	62.40	61.60	32.50
11:40	5.985	50.10	65.40	50.20	66.00	64.90	50.20	62.30	61.80	32.40
11:41	5.958	50.20	65.50	50.20	66.10	65.10	50.20	62.70	61.80	32.30
11:42	5.928	49.90	65.70	49.90	66.30	65.20	49.90	62.70	63.00	32.60
11:43	5.928	50.10	65.80	50.10	66.50	65.40	50.10	62.90	63.20	32.60
11:44	6.057	50.20	65.90	50.20	66.60	65.60	50.20	62.90	63.30	32.80
11:45	6.061	49.90	66.00	49.90	66.70	65.60	49.90	62.80	63.70	33.30
11:46	6.067	50.00	66.10	50.00	66.80	65.80	50.10	63.00	63.10	33.20
11:47	6.138	50.10	66.20	50.10	66.90	66.10	50.10	63.60	63.20	33.10
11:48	6.153	50.30	66.40	50.30	67.20	66.20	50.30	63.20	63.80	33.60
11:49	5.941	50.20	66.70	50.20	67.20	66.40	50.20	63.70	61.90	32.30
11:50	5.588	50.30	66.80	50.50	67.40	66.50	50.50	63.80	63.40	32.90
11:51	6.259	50.20	66.90	50.30	67.70	66.60	50.30	64.10	62.30	33.10
11:52	6.061	49.00	67.00	49.10	67.70	66.70	49.10	64.40	61.70	33.00
11:53	6.067	50.20	67.00	50.20	67.80	66.90	50.20	64.70	62.80	33.00
11:54	6.138	50.30	67.10	50.30	67.90	66.90	50.30	64.90	63.00	33.40
11:55	6.153	50.20	67.10	50.20	68.00	66.90	50.20	65.00	63.20	33.20
11:56	5.805	49.00	67.20	49.10	67.80	67.00	49.20	65.50	62.40	33.60
11:57	5.910	49.90	67.20	49.90	67.80	67.10	49.90	65.50	62.80	33.60
11:58	5.954	50.00	67.30	50.30	67.80	67.10	50.30	65.20	62.60	33.40
11:59	5.785	50.10	67.40	50.10	67.80	67.10	50.10	64.70	62.60	33.20
12:00	5.952	50.30	67.50	50.30	67.70	67.10	50.30	64.40	62.10	33.40
12:01	5.958	50.20	67.40	50.20	67.70	67.20	50.20	64.30	62.90	33.20
12:02	6.057	50.30	67.60	50.30	67.90	67.10	50.30	64.40	63.00	33.10
12:03	5.470	50.50	67.50	50.50	68.00	67.10	50.50	64.20	61.50	33.60
12:04	6.056	50.00	67.50	50.20	67.80	67.00	50.20	64.10	58.80	33.20
12:05	6.049	49.70	67.60	49.60	67.90	67.20	49.50	64.20	59.50	33.20
12:06	6.054	49.50	67.80	49.50	68.20	67.30	49.50	64.60	61.70	33.10
12:07	6.111	49.40	67.80	49.40	68.30	67.40	49.40	64.70	62.30	33.40
12:08	6.075	49.20	67.80	49.30	68.40	67.50	49.30	65.00	63.20	33.60
12:09	6.065	49.10	67.90	49.10	68.50	67.60	49.10	65.50	61.50	33.10
12:10	5.988	49.10	67.90	49.20	68.40	67.60	49.20	65.80	61.20	33.10
12:11	5.994	49.40	67.80	49.40	68.50	67.60	49.50	66.00	61.10	32.90
12:12	6.091	49.60	67.80	49.60	68.50	67.50	49.60	66.00	61.80	32.90
12:13	6.085	50.10	67.80	50.10	68.40	67.50	50.10	66.10	63.10	32.90

ตารางที่ 4 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 1000 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถึงน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
12:14	6.058	50.90	67.80	50.80	68.40	67.50	50.80	66.10	63.00	33.40
12:15	6.070	51.70	67.70	51.70	68.40	67.50	51.70	66.10	64.00	33.90
12:16	6.103	49.90	67.50	49.90	68.30	67.40	49.90	66.10	62.80	33.70
12:17	6.105	50.00	67.50	50.10	68.30	67.50	50.10	66.60	63.80	33.70
12:18	6.054	50.10	67.70	50.10	68.30	67.50	50.10	66.60	65.00	33.70
12:19	5.973	50.30	67.40	50.40	68.10	67.30	50.40	66.60	63.20	33.60
12:20	5.678	49.10	67.50	49.10	68.00	67.30	49.20	66.40	63.60	33.70
12:21	6.106	49.10	67.70	49.10	68.30	67.40	49.10	66.30	64.10	33.60
12:22	6.042	49.40	67.70	49.40	68.30	67.40	49.40	65.80	63.60	33.50
12:23	6.049	49.60	68.00	49.60	68.50	67.60	49.60	65.50	63.30	33.00
12:24	6.050	50.10	68.30	50.20	68.90	67.80	50.20	65.70	63.20	33.00
12:25	6.116	50.00	68.50	50.00	69.20	68.00	50.00	65.90	63.40	33.10
12:26	6.112	50.10	68.70	50.20	69.40	68.30	50.30	66.00	64.10	33.60
12:27	5.966	50.30	69.00	50.30	69.60	68.50	50.30	66.40	64.40	33.80
12:28	5.987	49.10	69.10	49.10	69.80	68.70	49.10	66.50	65.20	33.80
12:29	5.629	49.10	69.40	49.10	70.10	68.90	49.10	66.90	65.30	33.20
12:30	5.966	49.60	69.60	49.60	70.30	69.10	49.60	66.70	64.60	32.90
12:31	6.071	50.10	69.50	50.10	70.30	69.20	50.10	67.10	62.70	33.40
12:32	6.027	50.30	69.80	50.40	70.70	69.40	50.40	67.20	62.40	33.10
12:33	5.948	50.10	70.00	50.10	70.70	69.70	50.10	67.40	63.50	33.40
12:34	5.973	50.30	70.20	50.30	70.90	69.80	50.30	67.50	65.20	33.70
12:35	5.678	49.60	70.40	49.60	70.70	69.90	49.50	69.80	65.50	33.40
12:36	6.106	50.10	70.40	50.20	70.70	70.00	50.20	70.00	65.50	33.80
12:37	6.105	50.00	70.30	50.00	70.70	70.00	50.00	69.10	65.50	34.20
12:38	6.186	50.10	70.50	50.10	70.90	70.00	50.10	68.40	65.20	33.60
12:39	6.125	50.30	70.40	50.30	70.70	70.00	50.30	66.90	63.00	33.80
12:40	6.168	49.60	70.60	49.60	70.70	70.00	49.60	66.30	62.30	33.70
12:41	6.132	50.10	71.00	50.10	70.70	70.20	50.10	67.20	63.80	33.60
12:42	6.154	50.00	71.10	50.00	70.80	70.20	50.10	67.00	64.10	33.80
12:43	6.110	50.10	71.00	50.10	70.80	70.10	50.10	67.00	62.20	33.80
12:44	6.127	50.30	71.10	50.30	70.90	70.40	50.30	67.10	63.40	33.80
12:45	6.130	49.60	71.20	49.60	70.70	70.30	49.60	67.10	64.10	33.80
12:46	6.137	50.10	71.20	50.10	70.90	70.40	50.10	67.30	63.50	33.70
12:47	6.092	51.20	71.20	51.20	70.70	70.40	51.20	67.40	64.90	33.20
12:48	6.148	50.90	71.10	50.90	70.60	70.30	50.90	67.30	63.80	33.40
12:49	6.152	50.50	70.90	50.50	70.60	70.30	50.50	67.10	63.70	33.70
12:50	6.230	50.20	70.90	50.20	70.70	70.10	50.20	66.70	63.40	33.70
12:51	6.187	49.90	70.90	49.90	70.60	70.20	49.80	67.50	63.40	33.80
12:52	6.160	49.70	70.90	49.70	70.70	70.10	49.70	67.70	64.00	33.40
12:53	6.158	49.60	70.70	49.60	70.80	70.10	49.60	67.80	63.90	33.40
12:54	6.134	49.40	70.60	49.40	70.60	70.00	49.40	68.00	64.10	34.10

ตารางที่ 4 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 1000 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
12:55	6.089	49.20	70.50	49.20	70.40	70.00	49.30	68.10	64.00	34.10
12:56	6.113	49.20	70.50	49.20	70.30	70.00	49.20	68.40	64.40	33.80
12:57	6.150	49.40	70.40	49.40	70.60	69.90	49.40	68.50	65.20	34.10
12:58	6.126	49.80	70.10	49.80	70.50	69.80	49.80	68.60	64.30	33.90
12:59	6.092	50.50	70.30	50.50	70.70	69.90	50.50	68.30	65.70	33.90
13:00	6.148	50.90	70.10	50.90	70.70	69.80	50.90	68.40	65.60	34.00
13:01	6.133	49.60	70.00	49.60	70.70	69.80	49.70	68.70	64.40	34.20
13:02	6.249	50.10	69.90	50.10	70.60	69.80	50.10	68.50	63.90	33.90
13:03	6.229	50.00	70.00	50.00	70.60	69.70	50.00	68.70	64.60	33.70
13:04	6.240	50.10	69.90	50.10	70.60	69.70	50.20	69.10	64.60	34.00
13:05	6.165	50.30	69.90	50.30	70.60	69.70	50.30	69.00	64.90	33.90
13:06	6.061	49.60	69.80	49.60	70.70	69.60	49.60	68.90	64.00	33.50
13:07	6.106	50.10	69.80	50.10	70.70	69.50	50.10	68.70	64.90	34.20
13:08	6.136	49.60	69.80	49.60	70.60	69.70	49.60	70.00	64.70	33.80
13:09	6.169	50.10	69.70	50.10	70.70	69.50	50.10	69.50	64.80	34.30
13:10	6.143	50.00	69.70	50.00	70.70	69.60	50.10	68.90	65.50	34.40
13:11	6.159	50.10	69.70	50.10	70.70	69.60	50.10	68.70	65.40	34.10
13:12	6.132	50.30	69.70	50.30	70.70	69.70	50.30	69.20	62.70	34.10
13:13	6.042	49.60	70.00	49.60	70.70	69.70	49.60	68.90	63.40	34.20
13:14	6.143	50.10	70.30	50.10	70.90	69.90	50.10	68.90	64.00	34.00
13:15	6.159	49.60	70.10	49.60	71.10	69.90	49.60	68.80	62.60	34.10
13:16	6.132	50.10	70.40	50.10	71.20	70.00	50.10	68.70	64.60	34.10
13:17	6.042	50.00	70.70	50.00	71.20	70.30	50.00	68.70	65.60	33.90
13:18	6.044	50.10	70.80	50.10	71.20	70.30	50.10	68.70	65.40	34.10
13:19	6.053	50.30	70.90	50.30	71.50	70.40	50.40	68.70	64.30	33.90
13:20	6.094	49.60	71.10	49.60	71.70	70.60	49.60	68.70	64.70	33.80
13:21	6.048	50.10	71.20	50.10	71.50	70.60	50.10	69.20	64.70	33.90
13:22	5.966	50.00	71.10	50.00	71.50	70.70	50.10	69.00	63.50	34.10
13:23	5.945	50.10	70.90	50.10	71.50	70.60	50.10	68.90	64.00	34.10
13:24	5.988	50.30	71.00	50.30	71.50	70.60	50.30	68.80	64.00	33.70
13:25	5.979	50.10	70.90	50.10	71.10	70.40	50.10	68.80	64.30	34.00
13:26	5.981	50.00	70.90	50.00	71.00	70.50	50.00	68.70	62.90	34.00
13:27	6.075	50.10	70.90	50.10	71.00	70.40	50.10	68.70	63.90	33.80
13:28	6.085	50.30	71.00	50.30	71.10	70.50	50.40	68.70	65.10	33.90
13:29	6.072	51.90	70.80	51.90	70.70	70.30	51.90	68.90	63.00	33.60
13:30	6.130	51.60	70.70	51.60	70.50	70.20	51.60	68.60	61.80	33.60
13:31	6.094	51.20	70.70	51.20	70.30	70.00	51.30	68.70	58.80	33.20
13:32	6.048	50.80	70.50	50.80	70.10	69.90	50.80	67.70	59.90	33.70
13:33	6.016	50.30	70.30	50.30	69.90	69.80	50.30	67.80	62.10	33.90
13:34	6.018	50.00	70.20	50.00	70.00	69.50	50.00	68.00	63.20	34.20
13:35	6.035	49.60	70.00	49.60	70.00	69.50	49.60	67.70	63.70	33.80

ตารางที่ 4 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 1000 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
13:36	6.030	49.40	69.80	49.40	69.70	69.40	49.40	67.80	62.80	33.70
13:37	6.017	49.00	69.70	49.00	69.40	69.20	49.20	67.70	62.90	34.20
13:38	6.025	50.30	69.60	50.30	69.60	69.10	50.30	67.70	62.40	33.90
13:39	6.003	50.10	69.50	50.10	69.40	69.00	50.10	67.90	63.80	33.60
13:40	6.011	50.00	69.40	50.00	69.30	68.80	50.00	67.80	61.80	33.40
13:41	6.027	50.10	69.20	50.10	69.00	68.70	50.20	67.70	62.00	33.60
13:42	6.024	50.30	69.10	50.30	68.60	68.60	50.30	67.70	63.00	33.70
13:43	6.051	50.10	68.80	50.10	68.60	68.30	50.10	67.10	63.10	34.10
13:44	6.031	50.30	68.70	50.30	68.60	68.10	50.30	66.60	61.10	33.90
13:45	6.028	50.10	68.70	50.10	68.50	68.20	50.10	66.60	61.40	33.80
13:46	5.994	50.00	68.50	50.00	68.70	68.10	50.00	66.70	60.90	33.70
13:47	5.961	50.10	68.30	50.10	68.70	68.00	50.10	66.70	62.80	34.30
13:48	5.945	50.30	68.10	50.30	68.80	68.00	50.30	66.90	62.50	34.70
13:49	5.933	50.10	68.10	50.10	69.10	68.10	50.10	67.20	63.80	34.60
13:50	5.956	50.30	68.10	50.30	69.10	68.10	50.40	67.70	64.30	34.20
13:51	5.955	50.00	68.00	50.00	69.10	68.00	50.00	67.50	63.50	34.20
13:52	5.924	49.60	68.00	49.60	69.10	67.90	49.60	67.50	63.60	34.20
13:53	5.886	49.40	67.70	49.40	69.00	67.90	49.40	67.70	64.00	34.50
13:54	5.891	49.00	67.80	49.00	69.00	67.90	49.20	67.60	63.80	34.30
13:55	5.867	50.30	67.70	50.30	68.70	67.80	50.30	67.60	63.40	34.20
13:56	5.849	50.10	67.60	50.10	68.60	67.70	50.10	67.60	64.40	34.50
13:57	5.885	50.00	67.40	50.00	68.50	67.60	50.00	67.50	64.10	34.50
13:58	5.835	50.10	67.40	50.10	68.50	67.50	50.10	68.00	63.40	34.20
13:59	5.816	50.30	67.20	50.30	68.30	67.40	50.30	68.10	62.80	34.50
14:00	5.814	50.10	67.10	50.10	68.10	67.20	50.10	67.60	62.80	34.30
14:01	5.785	50.00	67.20	50.00	68.00	67.20	50.30	68.20	62.40	34.30
14:02	5.867	50.10	67.20	50.10	68.10	67.10	50.10	68.00	61.90	34.50
14:03	5.849	50.30	67.20	50.30	67.90	67.00	50.60	67.70	61.40	34.70
14:04	5.885	50.30	67.20	50.30	67.80	67.10	50.30	67.50	62.40	34.50
14:05	5.702	50.00	67.60	50.00	67.80	67.20	50.00	68.40	62.30	33.80
14:06	5.651	49.60	67.90	49.60	68.00	67.30	49.60	67.80	63.70	33.90
14:07	5.659	49.40	68.00	49.40	67.90	67.30	49.40	67.50	63.10	34.20
14:08	5.667	49.00	68.00	49.00	67.90	67.30	49.00	67.40	62.40	34.30
14:09	5.663	50.30	68.10	50.30	68.10	67.40	50.30	67.10	60.40	34.20
14:10	5.651	50.10	68.40	50.10	68.50	67.50	50.10	66.90	62.40	34.60
14:11	5.647	50.30	68.40	50.30	68.50	67.70	50.30	66.60	62.70	34.40
14:12	5.651	50.00	68.70	50.00	68.60	68.00	50.00	66.40	63.20	34.40
14:13	5.638	49.60	68.80	49.60	68.70	68.10	49.60	66.30	62.60	34.10
14:14	5.648	49.40	68.80	49.40	68.70	68.10	49.40	66.10	62.20	34.20
14:15	5.626	49.00	68.80	49.00	68.50	68.10	49.20	65.40	61.80	34.20
14:16	5.623	50.30	68.70	50.30	68.40	68.00	50.30	64.60	61.40	34.10

ตารางที่ 4 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 1000 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
14:17	5.561	50.50	68.60	50.50	68.80	68.00	50.50	64.60	61.50	34.30
14:18	5.506	50.00	68.70	50.00	68.80	68.10	50.00	64.80	61.80	34.30
14:19	5.451	49.50	68.30	49.50	68.70	68.00	49.50	65.10	57.50	34.20
14:20	5.445	49.20	68.40	49.20	69.10	68.00	49.20	65.30	58.40	33.80
14:21	5.452	49.00	68.10	49.00	68.70	68.00	49.00	65.40	59.10	34.10
14:22	5.435	49.00	67.90	49.00	68.60	67.80	49.00	65.80	59.70	34.20
14:23	5.501	50.30	67.80	50.30	68.50	67.80	50.30	66.20	59.20	34.30
14:24	5.471	50.50	67.70	50.50	68.60	67.70	50.40	66.30	60.00	34.60
14:25	5.463	50.00	67.50	50.00	68.30	67.60	50.00	66.40	59.70	33.90
14:26	5.444	49.50	67.50	49.50	68.30	67.50	49.50	66.40	60.90	34.10
14:27	5.405	49.20	67.40	49.20	68.30	67.40	49.20	66.40	61.60	34.50
14:28	5.386	49.00	67.10	49.00	68.10	67.20	49.00	66.90	59.90	34.30
14:29	5.370	50.90	66.90	50.90	67.90	67.10	50.90	66.60	60.00	34.20
14:30	5.373	49.00	66.90	49.00	67.70	66.80	49.00	66.40	61.70	34.10
14:31	5.341	50.30	66.70	50.30	67.30	66.80	50.40	67.90	61.70	34.30
14:32	5.334	50.50	66.00	50.50	67.00	66.60	50.50	67.50	60.40	34.10
14:33	5.265	50.00	65.50	50.00	66.40	66.00	50.00	67.80	59.50	33.60
14:34	5.187	49.50	65.40	49.50	66.30	65.70	49.50	67.70	61.20	33.70
14:35	5.181	49.20	65.10	49.20	65.80	65.50	49.20	67.50	59.60	34.20
14:36	5.182	49.00	65.40	49.00	65.70	65.30	49.00	67.10	60.70	34.20
14:37	5.159	50.30	65.70	50.30	65.80	65.20	50.30	66.90	60.80	34.40
14:38	5.141	50.10	65.70	50.10	65.90	65.30	50.10	66.80	60.80	34.50
14:39	5.119	50.00	65.90	50.00	66.00	65.30	50.00	66.70	60.90	34.20
14:40	5.121	50.10	66.00	50.10	66.10	65.20	50.10	66.60	61.10	34.20
14:41	5.129	50.30	65.90	50.30	66.00	65.30	50.30	66.60	60.80	34.10
14:42	5.113	50.30	65.70	50.30	66.00	65.20	50.30	66.10	60.60	34.10
14:43	5.113	50.00	65.70	50.00	66.00	65.30	50.10	64.90	61.20	34.30
14:44	5.076	49.60	65.80	49.60	66.20	65.30	49.60	64.00	60.90	34.30
14:45	5.032	50.10	65.70	50.10	66.40	65.40	50.10	63.80	60.80	34.10
14:46	5.129	49.50	65.70	49.50	66.60	65.40	49.50	63.70	60.50	34.40
14:47	5.113	49.20	65.50	49.20	66.70	65.50	49.20	63.70	59.60	34.20
14:48	5.113	50.30	65.40	50.30	66.80	65.50	50.30	63.70	60.10	34.50
14:49	5.076	50.10	65.10	50.10	66.90	65.40	50.10	63.90	58.80	34.10
14:50	5.008	50.00	65.10	50.00	67.10	65.50	50.00	64.30	59.10	34.30
14:51	5.024	50.10	65.10	50.10	67.00	65.50	50.20	64.40	59.60	33.90
14:52	4.979	50.30	64.90	50.30	66.80	65.40	50.30	64.70	58.60	33.90
14:53	4.933	50.30	64.60	50.30	66.70	65.20	50.30	64.40	59.10	34.10
14:54	4.901	50.00	64.60	50.00	66.70	65.20	50.00	64.40	59.40	34.30
14:55	4.870	49.60	64.40	49.60	66.60	65.10	49.60	64.50	59.40	34.20
14:56	4.871	50.30	64.30	50.30	66.40	64.90	50.30	64.40	59.20	34.40
14:57	4.877	50.30	64.20	50.30	66.30	64.70	50.30	64.40	59.40	34.30

ตารางที่ 4.4 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 1000 (l/hr) (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
14:58	4.862	50.10	64.10	50.10	66.10	64.70	50.10	64.40	57.90	34.10
14:59	4.848	50.00	63.80	50.00	65.70	64.60	50.00	65.20	57.20	34.20
15:00	4.859	50.10	63.70	50.10	65.40	64.40	50.10	65.50	57.70	34.20
15:01	4.861	50.30	63.80	50.30	65.20	64.30	50.30	65.10	57.80	34.10
15:02	4.804	50.30	64.00	50.30	65.10	64.10	50.30	65.60	58.40	34.40
15:03	4.798	50.00	64.00	50.00	64.60	64.10	50.00	65.70	57.70	34.60
15:04	4.778	49.60	64.00	49.60	64.40	64.10	49.60	65.60	57.90	34.20
15:05	4.718	50.50	64.30	50.50	64.40	64.00	50.50	65.10	58.40	34.00
15:06	4.674	50.30	64.40	50.30	64.30	63.80	50.40	64.80	58.60	34.00
15:07	4.634	50.00	64.40	50.00	64.40	63.80	50.00	64.60	57.50	33.90
15:08	4.576	50.10	64.40	50.10	64.40	63.90	50.10	64.60	59.10	34.30
15:09	4.563	50.30	64.20	50.30	64.40	63.80	50.30	64.40	57.10	34.10
15:10	4.553	50.30	64.10	50.30	64.40	63.80	50.30	64.10	57.80	34.20
15:11	4.505	50.00	64.10	50.00	64.40	63.80	50.00	62.60	58.60	34.30
15:12	4.471	50.30	64.20	50.30	64.50	64.00	50.30	62.30	58.40	34.20
15:13	4.436	50.30	64.10	50.30	64.60	63.80	50.40	62.30	58.00	34.00
15:14	4.433	50.00	64.10	50.00	64.70	63.80	50.00	62.30	58.10	34.20
15:15	4.422	50.10	63.70	50.10	64.80	63.80	50.10	62.30	56.40	34.10
15:16	4.380	50.30	63.50	50.30	64.80	63.70	50.30	62.50	55.70	34.00
15:17	4.354	50.30	63.30	50.30	64.80	63.60	50.30	62.60	54.80	33.80
15:18	4.318	50.00	63.30	50.00	64.90	63.70	50.00	62.50	56.40	34.10
15:19	4.292	50.10	63.20	50.10	64.90	63.60	50.10	62.10	56.90	34.40
15:20	4.290	48.50	63.00	48.50	64.80	63.50	48.50	62.00	56.40	34.40
15:21	4.246	48.90	62.80	48.90	64.80	63.40	48.90	62.40	56.50	34.00
15:22	4.214	49.20	62.60	49.20	64.70	63.30	49.20	62.70	56.00	33.80
15:23	4.166	49.50	62.30	49.50	64.40	63.10	49.50	62.90	53.80	33.90
15:24	4.120	49.90	62.30	49.90	64.30	62.90	49.90	62.80	52.80	33.80
15:25	4.110	50.50	62.30	50.50	64.00	62.80	50.60	63.30	55.20	33.90
15:26	4.105	50.90	62.20	50.90	64.10	62.80	50.90	63.10	55.80	34.30
15:27	4.133	51.50	62.20	51.50	63.90	62.70	51.50	63.70	56.20	34.50
15:28	4.146	50.10	62.00	50.10	63.70	62.40	50.10	63.50	55.20	34.10
15:29	4.126	50.30	62.00	50.30	63.60	62.40	50.30	63.20	55.20	34.20
15:30	4.120	51.90	61.80	51.90	63.10	62.30	51.90	63.00	54.80	33.90
15:31	4.091	51.60	61.80	51.60	62.80	62.10	51.60	62.90	55.40	34.00
15:32	4.035	51.20	61.80	51.20	62.60	62.00	51.20	62.80	55.80	34.20
15:33	4.008	50.70	61.80	50.70	62.50	61.80	50.70	62.80	54.70	34.20
15:34	3.980	50.10	61.70	50.10	62.30	61.80	50.20	62.60	54.40	33.90
15:35	4.000	50.30	61.80	50.30	62.30	61.70	50.30	62.50	55.20	34.10
15:36	3.987	50.10	61.70	50.30	62.10	61.60	50.30	62.80	55.50	33.90
15:37	3.967	50.60	61.70	50.60	62.20	61.50	50.60	63.40	55.80	34.20
15:38	3.924	51.20	61.50	51.20	62.00	61.40	51.20	62.90	54.80	34.00

ตารางที่ 4 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 1000 (l/hr) (ต่อ)

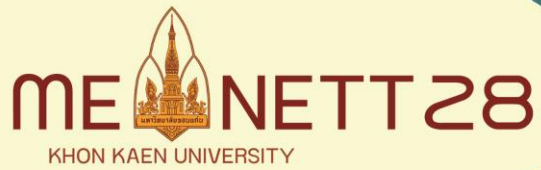
เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
15:39	3.883	50.80	61.50	50.80	61.80	61.40	50.80	62.50	54.90	33.80
15:40	3.836	51.00	61.40	51.00	61.80	61.30	51.10	61.10	54.30	33.60
15:41	3.812	50.50	61.40	50.50	61.60	61.10	50.50	60.40	54.30	33.90
15:42	3.781	49.70	61.40	49.70	61.70	61.10	49.70	60.40	55.40	34.20
15:43	3.764	51.20	61.20	51.20	61.70	61.00	51.20	60.30	54.90	33.90
15:44	3.760	50.80	61.20	50.80	62.00	61.10	50.80	60.20	55.20	33.90
15:45	3.753	50.10	61.00	50.10	62.30	61.10	50.10	60.20	55.70	34.10
15:46	3.739	50.90	60.80	50.90	62.30	61.10	50.90	60.10	55.70	34.40
15:47	3.742	51.50	60.70	51.30	62.30	61.10	51.30	60.10	55.80	34.40
15:48	3.706	50.80	60.50	50.80	62.30	60.90	50.80	60.20	54.70	34.10
15:49	3.674	50.10	60.30	50.10	62.00	60.80	50.10	60.50	55.10	34.30
15:50	3.622	50.30	60.10	50.30	62.00	60.80	50.30	60.60	54.80	34.30
15:51	3.481	51.20	59.90	51.20	61.90	60.50	51.30	60.50	55.10	34.00
15:52	3.447	49.80	59.80	49.80	61.90	60.40	49.80	60.40	54.90	34.10
15:53	3.423	50.10	59.60	50.10	61.60	60.30	50.10	60.40	55.10	33.90
15:54	3.477	50.70	59.50	50.80	61.40	60.10	50.80	60.40	54.70	34.00
15:55	3.360	51.20	59.40	51.20	61.20	60.00	51.20	60.40	53.90	33.70
15:56	3.326	50.80	59.40	50.80	61.10	59.80	50.80	60.40	54.10	34.00
15:57	3.275	49.10	59.20	49.20	60.90	59.70	49.20	60.30	54.40	34.20
15:58	3.254	50.50	59.20	50.50	60.80	59.70	50.50	60.30	53.70	34.00
15:59	3.238	51.20	59.20	51.20	60.60	59.50	51.20	60.30	53.50	33.90
16:00	3.221	50.80	59.40	50.80	60.50	59.50	50.70	60.30	52.60	33.90
ค่าเฉลี่ย	5.265	49.316	63.113	49.324	63.679	62.867	49.336	61.154	58.382	33.068



ภาคผนวก จ

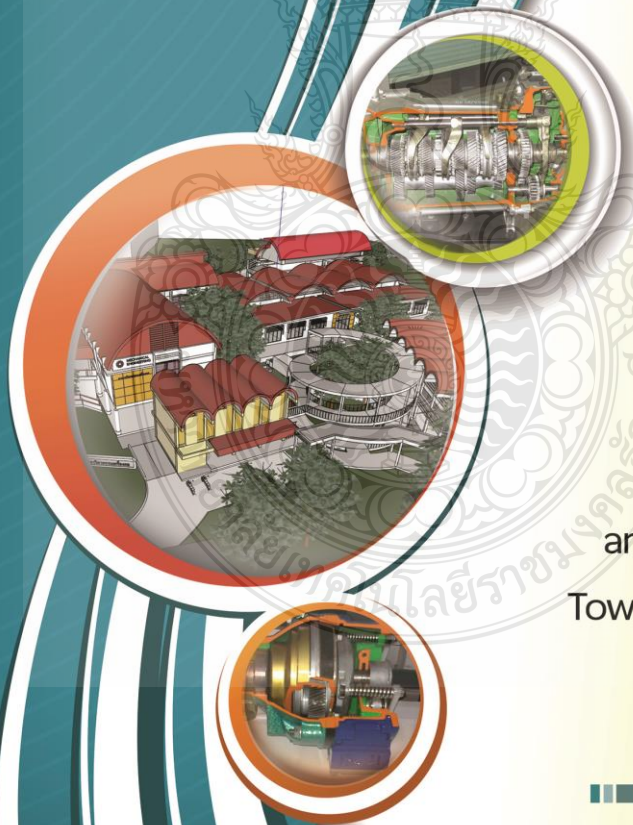
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ME NETT 28
KHON KAEN UNIVERSITY

The 28th Conference of
Mechanical Engineering Network of Thailand
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล
แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28
วันที่ 15-17 ตุลาคม 2557 จังหวัดขอนแก่น



"Driving ME
Research
Education
and Innovation
Towards Creative
Economy"





ขอขอบเกียรติบัตรนี้เพื่อแสดงว่า

พงษ์ศักดิ์ พูลศรี, มานพ แยมแพง, จักรवाल บุญหวาน และ บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว
ได้เข้าร่วมการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28

เรื่อง การศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและนำร่องพลังงานแสงอาทิตย์

ระหว่างวันที่ 15-17 ตุลาคม 2557

(รองศาสตราจารย์รศพล สิ้นดีวารกร)
ประธานจัดงานประชุมฯ

(รองศาสตราจารย์กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยขอนแก่น

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28

ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28 นี้ ได้เปิดรับบทความวิจัยในสาขาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาอื่นที่เกี่ยวข้องจำนวนรวมทั้งสิ้น 8 สาขา ซึ่งมีรายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความในแต่ละสาขาดังต่อไปนี้

บทความสาขา Alternative Energy and Combustion (AEC)

ประธานสาขา: รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ผศ.ดร.ชเนศ อรุณศรีโสภณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. ผศ.ดร.สถาพร เชื้อเพ็ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. ดร.ชรินทร์ ตรงจิตภักดี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4. รศ.ดร.อนุสรณ์ ชินสุวรรณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
5. ผศ.ดร.ชนกันันท์ สุขกำเนิด มหาวิทยาลัยขอนแก่น
6. อ.ดร.อักรพล จันทร์อ่อน มหาวิทยาลัยขอนแก่น
7. ศ.ดร.ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
8. รศ.ดร.เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
9. ศ.ดร.สำเร็จ จักรใจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
10. รศ.ดร. สมชาย จันทร์ชวาวา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
11. ผศ.ดร.พิสิฐ ยงยิ่งศักดิ์ถาวร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
12. รศ.ดร.ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
13. ผศ.ดร.ประสาน สติดยี่เรื่องศักดิ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
14. ผศ.ดร.บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
15. ผศ.ดร.กาญจนา พังสุวรรณรักษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
16. ดร.ชโลธร ธรรมแท้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
17. ผศ.ดร.วาทิต ภักดี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
18. รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพร มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
19. ผศ.ดร.จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
20. อ.ดร.รุ่ง กิตติพิชัย มหาวิทยาลัยมหิดล
21. ผศ.ดร.ธิบดินทร์ แสงสว่าง มหาวิทยาลัยศิลปากร
22. ผศ.ดร.นิติพงษ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

23. รศ.ก้าพล ประทีปชัยกูร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
24. รศ.ดร.อโนชต์ มัทธิจักร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
25. ผศ.ดร.ประชาติศักดิ์ ไตรยสุทธิ์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
26. รศ.ดร.กุลเชษฐ์ เทียรทอง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
27. ดร.ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
28. รศ.ดร.จางวุฒิ เจริญสุข สถาบันเทคโนโลยีมาซิโดเนีย
29. รศ.ดร.สุภาวดี จงใหม่อุทัยพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีมาซิโดเนีย

บทความสาขา Aerospace and Marine Engineering (AME)

ประธานสาขา: ผอ.รศ.ดร.สมชาย หาญกล้า โรงเรียนนายเรืออากาศ

1. ผศ.ดร.สภาพร เชื้อเพ็ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. รศ.ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
3. อ.ดร.กิตติ วิเศษพงษ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
4. ผศ.ดร.เบญจมาศ พนมรัตน์รักษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
5. ดร.กิตติชนน เรืองจิรภิตดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6. ดร.อรณพ เรืองวิเศษ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
7. ดร.บุญชัย วัลจะตรากุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
8. ผศ.ดร.วายุ อังเงจวิชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
9. ดร.ภักพงษ์ จันทปรามจิตต์ มหาวิทยาลัยบูรพา
10. ผศ.ดร.ชัยุต นันทกุลดี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
11. ศ. น.อ.ดร.สมชาย หาญกล้า โรงเรียนนายเรืออากาศ
12. ผศ.น.อ.ดร.พาริณ สงวนโภคัย โรงเรียนนายเรืออากาศ
13. น.ท.ดร.ณัฐพล นิยมไทย โรงเรียนนายเรืออากาศ

บทความสาขา Applied Mechanics, Material and Manufacturing (AMM)

ประธานสาขา: รศ.ดร.วราวุธ วิสุทธ์เมธางกูล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1. คุณธิดิมา มุขรส NECTEC
2. ดร.อลงกรณ์ พิมพ์พิณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ผศ.ดร.จิรพงศ์ กสิวิทย์อานวย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ผศ.ดร.วิระยุทธ ศรีจุระวาณิช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. รศ.ดร.ประเทือง อุษาภิสุทธิ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6. ผศ.ดร.ศิริรัตน์ กับสูงเนิน รัตนจันทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
7. นายชัชพล ช่างชู มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8. อ.ดร.อรุณพร วิเศษสินธุ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
9. ผศ.ดร.อัยยิกา ประมวลเจริญกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ
10. อ.ดร.วชิรุตร์ แสงประสาทนรินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
11. อ.ดร.ณัฐวิวัฒน์ พลดี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
12. อ.ดร.นภาพล มหาสนันท์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
13. นายสุจริต วันชาติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
14. ผศ.ดร.เกียรติพจน์ ตั้งจิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น
15. ผศ.ดร.อุทภาภรณ์ เบญจปิยะพร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
16. ผศ.ดร.ธนากรันท์ สุขกำเนิด มหาวิทยาลัยขอนแก่น
17. ผศ.ดร.ธนา ราษฎร์ภักดี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
18. ผศ.ดร.ปิยะรส จิระวัฒนา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
19. ผศ.ดร.ปฐมพันธ์ สุจันต์ไศกุล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
20. รศ.ดร.จำลอง ลิมตระกูล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
21. รศ.ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
22. รศ.ดร.สุรสิทธิ์ ปิยะศิลป์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
23. ผศ.ดร.สมชาย ชวนอุดม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
24. อ.ดร.เขมจิต แสนา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
25. อ.ดร.จางพุด สุริยวงกุล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
26. อ.ดร.อัญชุตี แสงชัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
27. รศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
28. อ.ดร.เวทย์นธ์ รางวี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
29. ดร.วิฑูรย์ ชูชัยแสงสุข มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
30. ผศ.ดร.สนธิพัทธ์ เอมณ์ดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
31. รศ.ดร.พงษ์ศักดิ์พันธ์ แก้วตาพิย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
32. รศ.ดร.ปกรณธ์ แก้วตระกูลพงษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
33. รศ.ดร.ภูริศ ธาระกิติเกษม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
34. รศ.ดร.วราวุธ วิสุทธ์เมธางกูล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

9. อ.ดร.วีรวัฒน์ เหล่าभागูล
10. ผศ.ดร.เกียรติทิพย์ ตั้งใจจิต
11. ผศ.ดร.อุทภรณ์ เบญจปิยะพร
12. ผศ.ดร.ชนกนันท์ สุภกานี
13. ผศ.ดร.สิริวิทย์ เตชะเจษฎารังษี
14. ผศ.ดร.สุภัทรา ปลื้มภมล
15. รศ.ดร.จำลอง ลิ่มตระกูล
16. รศ.ดร.दनยงศ์ เขษมฐิโรดักัต
17. รศ.ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์
18. รศ.ดร.สุรสิทธิ์ ปิยะศิลป์
19. รศ.ดร.อนุสรณ์ สินสุวรรณ
20. อ.ดร.จาวุฑฒ สุรวานกุล
21. ผศ.ดร.รวิน จันทรมเสนางษ์
22. รศ.ดร.สุรเชษฐ ขุติมา
23. รศ.ดร.สุรศักดิ์ สุวณัฒชัย
24. รศ.ดร.สายประสิทธิ์ เกิดนิยม
25. ผศ.ดร.ประจักษ์ สติชัยเรืองศักดิ์
26. ผศ.ดร.สมชาย ศรีพัฒนะพิพัฒน์
27. รศ.ดร.สมิทธิ เอี่ยมสะอาด
28. อ.ดร.พลเทพ เวงสูงเนิน
29. ผศ.ดร.บัณฑิต กฤตาคม
30. ดร.ชโลธร ธรรมแท้
31. ดร.เอกภรณ์ สุขจิต
32. รศ.ดร.ภักดี สุลักษณ์
33. อ.ดร.วิวัฒน์ ดลวิชัย
34. ศ.ดร.สมชาติ จันทศิริวรรณ
35. ดร.วัชรินทร์ คงป้ง
36. อ.ดร.สุชัย พาณิช
37. รศ.ดร.อนันต์เดช มัทจักรักษ์
38. พ.ต.หญิง.ดร.สุวิมล ศรีนิวงษ์ ณ อุทยาน

12

39. น.ดร.ชานาญ เพชรโต
40. ผศ. น.ดร.สุธรรม์ พันธุ์เนตร
41. ศ. น.อ.ดร.สมชาย หาญกล้า
42. รศ.ดร.จาวุฑฒ เจริญสุข
43. ผศ.ดร.เอกสรร โชติจิตต์
44. ผศ.ดร.มนตรีศักดิ์ พิงสาว

โรงเรียนนายเรืออากาศ
โรงเรียนนายเรืออากาศ
โรงเรียนนายเรืออากาศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทความสาข Dynamic system, Robotic and Control (DRC)

ประธานสาขา: ศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ผศ.ดร.นงนิตย์ อชาวาคม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ผศ.ดร.พงศ์แสน พัทธภัชวิริยะ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. รศ.ดร.ชัยโรจน์ คุณพนัสชกิก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. รศ.ดร.รัชทิน จันทน์เจริญ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ดร.กรรณเมธี รูปประเสริฐ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
6. ดร.นันทพล มหามงคลนันท์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
7. น.ดร.สุจิตต์ วิวิชาติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
8. ผศ.ดร.เกียรติทิพย์ ตั้งใจจิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น
9. ผศ.ดร.อุทภรณ์ เบญจปิยะพร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
10. ผศ.ดร.ธนา ราชภูริภักดี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
11. ผศ.ดร.ปิยะรส จิระวัฒนา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
12. ผศ.ดร.สิริวิทย์ เตชะเจษฎารังษี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
13. ผศ.ดร.สุภัทรา ปลื้มภมล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
14. รศ.ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
15. อ.ดร.ภักดี วิเศษสุขพงษ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
16. ดร.ภิญโญ พวงมะลิ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
17. ผศ.ดร.มานะ แต่ดำน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
18. รศ.ดร.ระดม พงษ์วิวัฒน์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
19. อ.ดร.สุชัย พิมพ์ใจ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
20. ผศ.ดร.เบญจมาศ พนมรัตน์รักษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
21. รศ.ดร.สุจิตชัย อิศริชัยโชติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

13

22. รศ.ดร.สุวัฒน์ กุลสมปรีดา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 23. ดร.ปรัญญา เปรมปภาณีวีรัชต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 24. ดร.มนต์ศักดิ์ จานทอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 25. ดร.ธนาเนต์ ยมจินดา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 26. ผศ.ดร.ธีระ เขียวศิริพงษ์กุล มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
 27. ดร.ปริญญานันท์ สำนพางค์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
 28. ผศ.ดร.อนันต์ชัย อุ่นแก้ว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 29. ผศ.ดร.พงษ์ศักดิ์ ผกามาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 30. อ.ศิริลักษณ์ วงษ์เกษม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 31. ผศ.ดร.อิทธิโชค จักกัโพธิ์วงศ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 32. รศ.ดร.พีรฉัตร วานสม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 33. อ.เทพพงศ์ ศรีตระกูล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 34. รศ.ดร.พศุภสิทธิ์ สมิธไฉนตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 35. น.ท.ดร.รวุฒิ ประทุมชาติ โรงเรียนนายเรืออากาศ
 36. ผศ. น.อ.ดร.ประภาพร วงษ์คำเที่ยง โรงเรียนนายเรืออากาศ
 37. ศ. น.อ.ดร.สมบัติ ศรีเกษม โรงเรียนนายเรืออากาศ
 38. ศ.ดร.มนต์ชัย สัมภักดิ์ปรีชา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 39. ผศ.ดร.มนต์ชัย ใต้ไปว่า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 40. ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมพ์สวย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- บทความสาขา Energy Technology and Management (ETM)**
ประธานสาขา: ศ.ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
1. นายพงศธร พรหมบุตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 2. ประกอบ สุรวัดดี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 3. ดร.ณัฐวิวัฒน์ พลดี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 4. ดร.อัครพล จันทร์อ่อน มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 5. ผศ.ดร.จุฬารัตน์ เบญจปิยะพร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 6. ผศ.ดร.สัตรีชัย เบญจปิยะพร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 7. ผศ.ดร.ชนกันต์ สุภักดิ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 8. รศ.ดร.สมนึก ธีระกุลพิศุทธิ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

9. รศ.ดร.สุจิตต์ บุรีรัตน์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
10. อ.ฉัตรชัย เบญจอนันตะพร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
11. ดร.สมชาย พัฒนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
12. ผศ.ดร.ภอศชญัญ นามสงวน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
13. ผศ.วงศก วังจ้อย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
14. ดร.กานันดา สุนประเสริฐ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
15. ดร.จันทนา กุญชรรัตน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
16. ผศ.ดร.กุสกาภา กุมาฮา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
17. รศ.ดร.สุวิทย์ เตีย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
18. รศ.วราวุฒิ เตีย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
19. ศ.ดร.สำเริง จักกัโพธิ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
20. อ.รุ่งโรจน์ สงฆ์ประกาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
21. นายอนาจม สุนทรวินิจนถแสง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
22. ผศ.ดร.นภาพ แชน์ไศรพัฒน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
23. ผศ.ดร.บุณย์ฤทธิ์ ประสาทแก้ว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
24. ผศ.ดร.วิรัช ไรย์จันทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
25. ผศ.วิโรจน์ ฤทธิกิจอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
26. ดร.ไคกิตา สัจจ์สุพาท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
27. ผศ.ดร.อติเรก ชูภักติยา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
28. รศ.ดร.ไชยณรงค์ จักรวราภรณ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
29. ดร.จิวิประภา กิมสุนทร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
30. ดร.นันทา ราชประดิษฐ์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
31. ผศ.ดร.สมชาย ธีระจิตต์สวัสดิ์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
32. ผศ.ดร.สมชาย มณีวรรณ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
33. รศ.सान เสนาภ มหาวิทยาลัยบึงสีติ
34. ผศ.ดร.พิชัย อัญจนกุล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
35. อ.ดร.สมมาส แก้วสุวรรณ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
36. อ.ดร.จาริณี จงเสถียรศิริ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อดงธานี
37. ผศ.ดร.นสพล เขตงนการ มหาวิทยาลัยศิลปากร
38. อ.วิชาติ ทุมตตานนท์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

39. ดร.วีระนุช อินทะกันท์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาลัยพระราชาวิทยาลัยนครราชสีมา
40. ผศ.ดร.จันทกานต์ ทวีกุล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
41. ศ.น.อ.ดร.พิชิตชัย พิชัยณรงค์ โรงเรียนนายเรืออากาศ
42. รศ.น.อ.ดร.ดระกมล กำภักสิกรรม โรงเรียนนายเรืออากาศ
43. ดร.เนรัฐพงษ์ รัตนเดช สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทความสาขา Thermal System and Fluid Mechanics (TSF)

ประธานสาขา: ศ.ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

1. รศ.ดร.ประกอบ สุวัฒน์เจริญ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. ผศ.ดร.ดลฤดี ไชยสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. ผศ.ดร.สังคัม ศรีสุมพร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4. ดร.อัครพล จันทร์อ่อน มหาวิทยาลัยขอนแก่น
5. ผศ.ดร.จันทกรณ์ เมญือมีปะพร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
6. ผศ.ดร.ชนกันต์ สุทธิกำเนิด มหาวิทยาลัยขอนแก่น
7. ผศ.ดร.ปิยะสิทธิ์ จิระวัฒนา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
8. ผศ.ดร.ปริญพันธ์ สุจันต์ดีกุล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
9. ผศ.ดร.สิริวิทย์ เตชะเดชะภูวรังษี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
10. ผศ.ดร.สุภัทรา บัณฑิตมงคล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
11. รศ.ดร.วัชรพล สันติวงกร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
12. รศ.ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
13. รศ.ดร.อนุสรณ์ ชินสุวรรณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
14. อ.ดร.กิตติ วิเศษฐพงษ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
15. อ.ดร.จตุพล สุริยวานกุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
16. ศ.ดร.ทรงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
17. ผศ.ดร.มศพงษ์ ลอนนวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
18. ดร.เพ็ญญารัตน์ จินดา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหาสารคาม
19. ผศ.ดร.สมศักดิ์ เพ็ชรกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหาสารคาม
20. รศ.ดร.สมบัติย์ เอี่ยมสะอาด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชภัฏนครราชสีมา
21. รศ.ดร.วสันต์ เขียวสุวรรณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชภัฏนครราชสีมา
22. ผศ.ดร.วิรัชย์ โยธินรินทร์

23. ผศ.ดร.วาทิต ภัคดี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
24. รศ.ดร.ไชยณรงค์ จักรวราพันธ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
25. รศ.ดร.มัทนี สงวนเสริมศรี มหาวิทยาลัยบูรพา
26. ผศ.อุทัย ประสพพิชชะเน มหาวิทยาลัยบูรพา
27. ดร.วราชนันท์ ภิรมย์ภักดี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
28. ดร.ธีรพัฒน์ ชมภูคำ มหาวิทยาลัยรังสิต
29. ดร.อาภากร วัชณะ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
30. นายภาคภูมิ ศรีมีวัน มหาวิทยาลัยศิลปากร
31. ดร.ภมา ศิริสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
32. ผศ.ดร.นิตยพงษ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
33. ผศ.ดร.ชยุต นันทกุล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
34. รศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพ็ชรทอง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
35. พ.ต.หญิง.ดร.สุวิมล เต็มวงค์ ณ อุบลราชธานี โรงเรียนนายพระจุลจอมเกล้าวิทยาลัยเชียงราย
36. ดร.สวิน ติลลียงสม
37. รศ.ดร.พงษ์ชัชพร พรหมวงค์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ETM-125

การศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
Experimental Study on the Performance of a Solar Photovoltaic-Thermal Hybrid
System

พงษ์ศักดิ์ พูลศรี, มานพ แยมแฝง, จักรวาล บุญหวาน และ บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว

ห้องปฏิบัติการการเผาไหม้และพลังงานแสงอาทิตย์ (CASE Lab.)
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
*ติดต่อ: boonrit.p@en.mutt.ac.th โทรศัพท์: 02-5493547, โทรสาร: 02-5493432

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการทดลองใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนผลึกหลายอย่างที่ทำงานร่วมกับแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรียบที่ถูกประกอบเป็นชุดเดียวกัน พื้นที่รับแสงรวม 75 ตารางเมตร และใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง โดยติดตั้งและทดสอบระบบที่ตำแหน่งละติจูด 14°2' เหนือ ลองจิจูด 100°43' ตะวันออก แผงทุกแผงมีฝาปิดกระจกและทุกแผงหันหน้าไปทางทิศใต้ ทำมุมกับระนาบ 14° ทดลองในช่วงเวลา 9.00น.-17.00น. ผลจากการทดสอบพบว่า ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำน้ำร้อนร่วมกรณีที่มีการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยน้ำจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงกว่าระบบที่ไม่มี การลดอุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าที่มีการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยน้ำจะมีประสิทธิภาพ (คิดเฉพาะประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ไม่รวมน้ำร้อน) เท่ากับ 1.43 % และระบบที่ไม่มี การลดอุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเท่ากับ 1.35 % ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบที่มีการลดอุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิทำงานของแผงมีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหลที่เหมาะสมเท่ากับ 0.03 kg/s กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 1.2 kW อุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุดเท่ากับ 77 °C
คำหลัก: เซลล์แสงอาทิตย์, ระบบผลิตน้ำร้อน, พลังงานแสงอาทิตย์.

Abstract

This research is an experimental investigation on the performance of a photovoltaic-thermal hybrid solar collector. The system used in this study comprise of 75 poly-crystalline Silicon solar photovoltaic modules (total effective area of 75 m²) equipped with built-in solar water heating system. This system was located at latitude and longitude of 14°2' N and 100°43' E, respectively. All of collectors has a single glass cover and were tilted at 14° and facing due south. The test was conducted during the period of 9.00-17.00. The experimental results show that the reduction of solar photovoltaic module temperature, by means of water cooling, can improve the system efficiency, compared to the system without water cooling. Furthermore, the hot water form this cooling process can be used as the useful hot

ETM-125

water. Therefore, the efficiency of the proposed system (calculated from the ratio of output electricity gained to the solar energy input) is also higher than the conventional solar photovoltaic system with the average values of 1.43% and 1.35%, respectively. It can be concluded that the solar photovoltaic efficiency can be improved by means of cell temperature reduction. The appropriate water flow rate for the proposed system is 0.03 kg/s. The obtained maximum power and hot water temperature were 1.2 kW and 74 °C, respectively.

Keywords: Solar cell, Solar water heating system, Photovoltaic thermal collector.

1. บทนำ

พลังงานถือว่าเป็นปัจจัยที่มีความจำเป็นมากต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ พลังงานเชื้อเพลิงถูกนำมาใช้มากกว่าพลังงานรูปแบบอื่นๆ และกำลังจะหมดไปในอีกไม่นานนี้ จึงทำให้นักวิจัยในหลายประเทศทั่วโลกได้มีการศึกษาค้นคว้าหาแหล่งพลังงานทดแทนเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของการใช้พลังงาน แหล่งพลังงานทดแทนที่กำลังได้รับความสนใจมากในปัจจุบันคือพลังงานแสงอาทิตย์เพราะเป็นแหล่งพลังงานที่ใหญ่ที่สุด สามารถใช้ได้อีกนาน และเป็นพลังงานสะอาดไม่ก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมในขณะที่ใช้งาน

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์สูง อยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 5-21 องศาเหนือและเส้นลองจิจูดที่ 97-106 องศาตะวันออก ซึ่งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยที่ได้รับในแต่ละวัน คือประมาณ 1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร เป็นเวลานาน 4-5 ชั่วโมง ดังนั้นเราจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ย 4-5 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานเท่ากับ 15 % จะได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตรจะสามารถให้กำลังไฟฟ้าออกมาได้ 150 วัตต์หรือเฉลี่ยประมาณ 600 – 750 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน หรือรายวันเฉลี่ยต่อปีในช่วง 18-20 MJ/m²-day [1]

เซลล์แสงอาทิตย์สร้างมาจากสารกึ่งตัวนำสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพ

ประมาณ 15% อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปยาวนานกว่า 20 ปี [2] และเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ไม่มีส่วนใดเคลื่อนไหวทำให้ดูแลรักษาง่าย

อุณหภูมิการทำงานมีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอุณหภูมิจะแปรผกผันกับประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ กล่าวคืออุณหภูมิสูงจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำลง [3] ดังนั้นการระบายความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ และถ้าความร้อนที่ดึงออกมานั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ก็จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบได้ ซึ่งแนวความคิดนี้เป็นที่มาของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic and Thermal Collector, PV/T)

Lalovic [4] ทำการสร้างและทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบไม่มีรูปผลึก (amorphous silicon photovoltaic cells) การทดสอบพบว่าระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าผลคูณการส่งผ่านและการดูดกลืนความร้อน (TC) มีค่าต่ำเท่ากับ 0.53 และมีค่าความชันของเส้นลักษณะเฉพาะของสมรรถนะก็มีค่าต่ำเช่นกันมีค่าเท่ากับ 3.25 W/m K นอกจากนี้ยังเสนอว่า เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์การใช้สาร indium tin oxide (ITO) ซึ่งจะยอมให้สเปกตรัมความยาวคลื่นสูงกว่า 0.5 μm ผ่านได้) นำมาเคลือบผิวด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์

ETM-125

ซึ่งจะทำให้รังสีแสงอาทิตย์บางส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืนโดยชั้นของเซลล์จะสามารถผ่านไปยังแผ่นดูดซับความร้อน (absorber plate) ซึ่งเป็นสีดำได้

Sopian et al. [5] ได้สร้างและทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าและอากาศร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์แบบสองกลีบที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้ง การวิเคราะห์อยู่บนพื้นฐานของสมการสมดุลพลังงานในแต่ละชั้นส่วนของระบบ เริ่มตั้งแต่ฝาปิดกระจก ช่องอากาศไหลช่องแรก ช่องอากาศไหลด้านหลัง ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และที่แผ่นหลังของแผง การศึกษายังได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและผลการจำลองซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกันมาก

Brogren and Karlsson [6] ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงระดับต่ำ การศึกษาพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการเพิ่มความเข้มแสง การผลิตไฟฟ้ารายปีมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดคือประมาณสองเท่า และค่าพลังงานความร้อนมีค่าสูงขึ้นประมาณ 3-4 เท่า โดยอุณหภูมิ น้ำร้อนมีค่าประมาณ 50 °C.

Tripanagnostopoulos et al. [7] ทำการศึกษาเชิงทดลองระบบระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งแบบที่มีฝาปิดกระจกและไม่มีฝาปิด ทั้งใช้อากาศและน้ำเป็นสารทำงาน ระบบที่ใช้มีการเสริมสมรรถนะด้วยแผ่นสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffused reflectors) ทำด้วยแผ่นอลูมิเนียม ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมซึ่งใช้เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกหลากหลาย (pc-Si) มีค่าสูงกว่าระบบที่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์อย่างง่ายเท่ากับ 3.2%

Coventry [8] ศึกษาเชิงทดลองระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสง ผลการศึกษาพบว่า ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าประมาณ 58% และค่าประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้ามีค่าประมาณ 11% (เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานบ้อนเข้าเดียวกันจึงได้ประสิทธิภาพรวมประมาณ 69%) นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพเชิง

ความร้อนของระบบมีค่าต่ำกว่าแผงสะสมความร้อนแบบดั้งเดิม

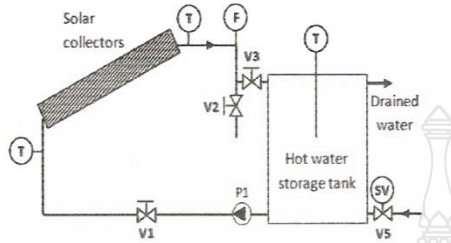
จากการทบทวนบทความวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศพบว่าการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและต้นทุนการผลิตของระบบหลายปัจจัย รวมถึงสภาวะอากาศและสิ่งแวดล้อมด้วย สำหรับประเทศไทยยังไม่มีรายงานผลการวิจัยของระบบที่มีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะใช้งานได้จริงได้ วิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงได้ และเป็นการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่ประเทศไทย โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแบบผลึกหลากหลาย (Poly-crystalline Silicon) ที่ทำงานร่วมกับแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกประกอบเป็นชุดเดียวกัน มีพื้นที่รับแสงรวม 75 ตารางเมตร และใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง นอกจากนี้ยังถูกออกแบบและสร้างให้เป็นที่จอดรถอีกด้วย ซึ่งผลการศึกษานี้เป็นผลการศึกษาเบื้องต้นที่จะนำไปใช้เป็นกรณีเบื้องต้น (base case) หลังจากมีการปรับปรุงระบบเพื่อเพิ่มสมรรถนะของระบบในการศึกษาขั้นต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

รูปที่ 1 แสดงแผนผังของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ ซึ่งประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกหลากหลายที่ทำงานร่วมกับแผงสะสมความร้อนผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรียบ (Flat Plate Hot Water Solar Collector) ที่ถูกประกอบเป็นชุดเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 มีพื้นที่รับแสงรวม 75 m² และใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง ระบบนี้มีอายุการใช้งานแล้วประมาณ 7 ปี โดยติดตั้งและทดสอบระบบที่ตำแหน่งละติจูด 14°2' เหนือ ลองจิจูด 100°43' ตะวันออก แผงทุกแผงมีฝาปิดกระจก (glass cover) และทุกแผงหันหน้าไปทางทิศใต้ (faced due south)

ETM-125

ทำมุมเอียงกับแนวนอน (tilted) 14° ทดลองในช่วง
เวลา 9.00น.-17.00น.



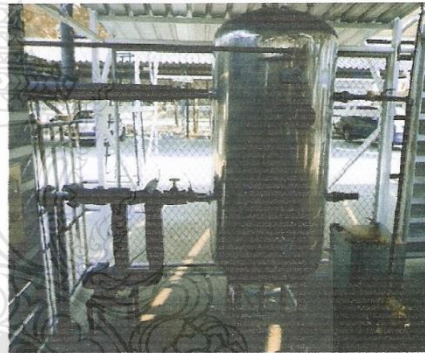
รูปที่ 1 แผนผังของระบบที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำงานร่วมกับแผงผลิต
น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรียบที่ใช้ในการศึกษา

แผงสะสมความร้อนให้คงที่ อุณหภูมิของน้ำในถังจึง
ถูกควบคุมโดยตัวควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนแบบดิจิทัล
(Digital Temperature Controller) ที่ทำงานร่วมกับไซ-
ลินอยด์วาล์ว (V5 ในรูปที่ 1) เพื่อเปิดปิดน้ำประปา
หรือน้ำก๊อก (Tap water) เข้าไปผสมกับน้ำร้อนในถัง
จนได้อุณหภูมิน้ำในถังตามต้องการ

เนื่องจากระบบที่ศึกษาเป็นระบบผลิตไฟฟ้าและ
น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นบทความนี้จะ
นำเสนอสมรรถนะการทำงานเบื้องต้น โดยการทดสอบ
จะแยกเป็นการทดสอบสมรรถนะของแผงเซลล์
แสงอาทิตย์ซึ่งผลิตไฟฟ้าและแผงผลิตน้ำร้อนซึ่งทั้ง
สองส่วนนี้เป็นพลังงานที่มีประโยชน์ที่เราต้องการโดย
มีพลังงานแสงอาทิตย์ป้อนเข้าเพียงค่าเดียวเท่านั้น



รูปที่ 3 ถังเก็บน้ำร้อนที่ใช้ในการทดลอง

ระบบการทดลองแสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย
แผงผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนรวม จำนวน 75 แผง พื้นที่
รวม 75 m² แต่เนื่องจากข้อจำกัดของภาระทางไฟฟ้า
สูงสุดที่มีอยู่ จึงทำการทดสอบระบบเพียง 75 แผง มี
การต่อแบบอนุกรมเป็นแถวแนวตั้งแถวละ 5 แผง แล้ว
ต่อทุกแถวแบบขนานด้วยร่วม (Header) ทั้งด้านบน
และด้านล่าง ระบบผลิตน้ำร้อนเป็นแบบการไหลวน
แบบบังคับ (Forced Circulation) น้ำร้อนที่ผลิตได้จะ
ถูกสะสมไว้ในถังน้ำร้อนสแตนเลสขนาด 0.4 m³ ดังรูป
ที่ 3 เพื่อจ่ายไปยังภาระของน้ำร้อน น้ำจะถูกปั๊มให้
ไหลวนอยู่ในระบบโดยออกทางออกด้านบนของถังน้ำ
ร้อนไปยังทางเข้าด้านล่างของแผงผลิตน้ำร้อน
พลังงานแสงอาทิตย์และไหลกลับเข้าสู่ด้านล่างของถัง
น้ำร้อน และเพื่อควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่จ่ายเข้าสู่

การทดสอบสมรรถนะของระบบทำตามมาตรฐาน
การทดสอบแผงสะสมความร้อนแสงอาทิตย์ของ ISO
9459-2 [9] แต่ทำการทดสอบเบื้องต้นเท่านั้น (ยัง
ไม่ได้ทดสอบหาค่า $F_R(\tau\alpha)$ และ $F_R U_L$ ของแผง)
กล่าวคือทดสอบเพื่อหาค่าอัตราความร้อนใช้ประโยชน์
(Useful Energy Gain, \dot{Q}_u) ในช่วงสภาวะคงตัว
เท่านั้น โดยคำนวณจากสมการที่ (1) และ (2) [10]
ตามลำดับ

$$\dot{Q}_u = \dot{m} c_p (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (1)$$

และ

ETM-125

$$\eta_c = \dot{Q}_u / A_c G_T \quad (2)$$

โดยที่

- \dot{Q}_u = อัตราการผลิตความร้อน [W]
- \dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำร้อน [kg/s]
- c_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำร้อน [kJ/kg.K]
- $T_{c,o}$ = อุณหภูมิที่ทางออกของแผง [°C]
- $T_{c,i}$ = อุณหภูมิที่ทางเข้าของแผง [°C]
- η_c = ประสิทธิภาพของแผง
- A_c = พื้นที่รับแสงของแผง
- G_T = ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ [W/m²]

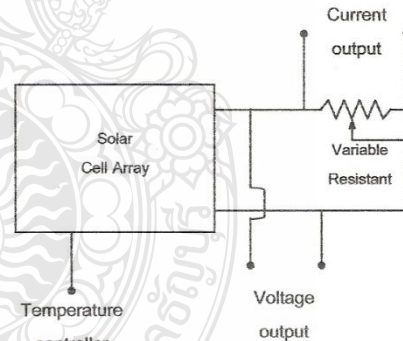


รูปที่ 4 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะของระบบผลิตน้ำร้อนมีขั้นตอนดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้

- ปรับสภาพน้ำโดยการเปิดน้ำก๊อกเข้าไปใส่น้ำในระบบก่อนเริ่มต้นการทดลองทุกครั้ง
- เปิดปั๊มน้ำเพื่อให้ น้ำหมุนเวียนในระบบก่อนเวลา 9:00 น. และทดสอบจนถึงเวลา 17:00 น.
- ตั้งอุณหภูมิที่ควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการ
- เปิดระบบบันทึกข้อมูล และบันทึกอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าและทางออกของแผงสะสมความร้อนแสงอาทิตย์โดยบันทึกทุกๆ หนึ่งนาที
- ปรับอัตราการไหลของน้ำที่วาล์วควบคุมการไหล (V1 ในรูปที่ 1) และบันทึกอัตราการไหลโดยการอ่านจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่มีการตรวจเทียบ (Calibrate) ด้วยการตวงน้ำด้วยถังในช่วงเวลาที่กำหนดแล้วนำไปชั่ง โดยจดบันทึกค่าอัตราการไหลของน้ำทุกๆ ครึ่งชั่วโมง
- บันทึกค่ารังสีแสงอาทิตย์ด้วยไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) ยี่ห้อ EKO รุ่น S11107.064 ร่วมกับอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ GRAPHTEC รุ่น GL 820 (ดังรูปที่ 4) โดยที่ติดตั้งในระนาบเดียวกับแผงสะสมความร้อน และบันทึกค่าทุกๆ 1 นาที

การทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทำการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ (Maximum Output Power) และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงสภาวะคงตัวเท่านั้น โดยต่อวงจรไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 5 และคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ



รูปที่ 5 การต่อวงจรไฟฟ้าในการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

$$P_{mp} = V_{mp} I_{mp} \quad (3)$$

ETM-125

$$\eta_{\max} = \frac{P_{mp}}{A_c G_T} \times 100 \quad (4)$$

$$\eta_{\max} = \frac{(P_{mp} + \dot{Q}_u)}{A_c G_T} \times 100 \quad (5)$$

โดยที่ V_{mp} = แรงดันไฟฟ้าเมื่อผลิตกำลังสูงสุด
 I_{mp} = กระแสไฟฟ้าเมื่อผลิตกำลังสูงสุด

การทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

- ดำเนินการทดลองในช่วงที่คาดว่าแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดของแต่ละวัน
- ปรับค่าความดันทานที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นโหลดของระบบผลิตไฟฟ้า (ชุดความดันทานปรับค่าได้ แสดงดังรูปที่ 6) โดยปรับเพิ่มขึ้นทีละขั้น ๆ พร้อมทั้งบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้
- บันทึกค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกครั้งที่มีการปรับค่าความดันทาน หรืออาจใช้ข้อมูลที่บันทึกไว้ในการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนก็ได้
- นำค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสที่วัดได้ไปพล็อตกราฟ



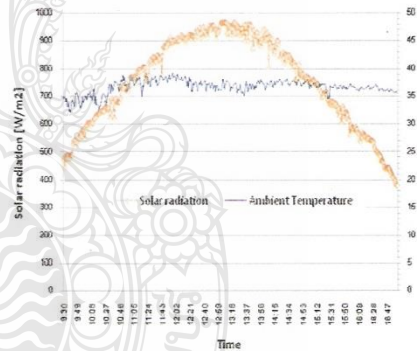
รูปที่ 6 ชุดความดันทานปรับค่าได้

ประสิทธิภาพของระบบโดยรวม (Overall System Efficiency) คำนวณได้จากสมการที่ (5)

3. ผลการทดลอง

การทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการทดสอบเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งโดยทั่วไปสามารถทำการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบโดยใช้ข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ใกล้เคียงกัน แต่เพื่อแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะรายวัน บทความนี้จะนำเสนอสมรรถนะของระบบเป็นรายวันเพียงหนึ่งวันเท่านั้น

รูปที่ 7 แสดงค่าของความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆ ตลอดทั้งวันที่ทำการทดลอง จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดมีค่าประมาณ 1,000 W/m²

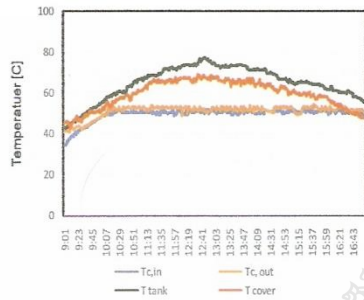


รูปที่ 7 ค่าของความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ของวันที่ทำการทดลอง

รูปที่ 8 แสดงค่าอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกของแผงสะสมความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิของถังน้ำร้อน และอุณหภูมิผิวกระจกที่วัดได้ตลอดทั้งวัน โดยมีอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.03 kg/s และอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังตั้งค่าไว้ที่ 50°C จากกราฟ

ETM-125

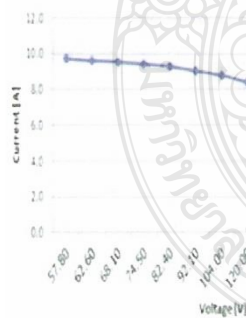
จะเห็นว่าน้ำร้อนที่ผลิตได้มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 77°C



รูปที่ 8 อุณหภูมิที่ทางเข้าและออกของแผง

จากการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตน้ำร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ โดยการคำนวณด้วยสมการที่ (2) พบว่าในช่วงที่ระบบเข้าใกล้สภาวะคงตัวระบบมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 2.47 %

รูปที่ 9 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมา โดยวัดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 75 แผง จากสมการที่ (4) จะได้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าอยู่ที่ 1.43 % และประสิทธิภาพรวมของระบบอยู่ที่ 2.95 %



รูปที่ 9 กราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4. สรุปผลการศึกษา

ระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานมาแล้วประมาณ 7 ปี ถูกนำมาติดตั้งและทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของระบบ ผลการศึกษาพบว่าระบบมีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าอยู่ที่ 1.43 % ประสิทธิภาพทางน้ำร้อนอยู่ที่ 2.47 % และประสิทธิภาพรวมของระบบอยู่ที่ 2.95 %

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคณาจารย์วิศวกรรมศาสตรมหาวิทาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยและเผยแพร่บทความครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, (2545). การสัมมนาเผยแพร่ผลการดำเนินงานแผนงานภาคความร่วมมือ: การส่งเสริมการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์และลม.
- [2] Fahebruch, A.L. and Bube, R.H. (1983). *Fundamentals of Solar Cell*. New York: ACADEMIC PRESS.
- [3] Backus, C.E. (1976). *Solar Cell*. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineer, Inc.
- [4] Lalovic, B. (1986). A hybrid amorphous silicon photovoltaic and thermal solar collector, *Solar Cells*. 19, pp. 131–138.
- [5] Sopian, K.S., Liu, H.T., Kakac, S. and Veziroglu, T.N. (2000). Performance of a double pass photovoltaic thermal solar collector suitable for solar drying systems, *Energy Conversion and Management*, 41 (4), pp. 353–365.

ETM-125

- [6] Brogren, M., Karlsson, B. (2001). Low-concentrating water-cooled PV-thermal hybrid systems for high latitudes, *17th EUPVSEC*.
- [7] Tripanagnostopoulos, Y., Nousia, Th., Souliotis, M., and Yianoulis, P. (2002). Hybrid photovoltaic/thermal solar systems, *Solar Energy*, 72 (3), pp. 217–234.
- [8] Coventry, J.S. (2005). Performance of a concentrating photovoltaic/thermal solar collector, *Solar Energy*, 78 (2), pp. 211–222.
- [9] ISO. (1995). Domestic water heating systems_Part 2, outdoor test methods for system performance characterization and yearly performance prediction of solar-only systems. *ISO 9459-2*.
- [10] Duffie, J.A. and Beckman, W.A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, second ed. John Wiley, New York.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรีพงษ์ศักดิ์ พูลศรี
วัน เดือน ปีเกิด	3 พฤษภาคม 2532
ที่อยู่	41/5 หมู่ 4 ตำบลอรัญญิก อำเภอบางบาล จังหวัดนครนายก 26120
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชา เครื่องกล วิทยาลัยเทคนิคนครนายก ปี พ.ศ. 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วศ.บ.) คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี พ.ศ. 2555
ประสบการณ์การทำงาน	ตำแหน่ง ผู้ช่วยนักวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ห้องปฏิบัติการเผาไหม้และ พลังงานแสงอาทิตย์ (CASE Lab.) พ.ศ. 2556 ถึงปัจจุบัน

