

การทดลองศึกษาลักษณะการทำงานของโซลาร์เซลล์
A STUDY OF SOLAR CELL CHARACTERISTICS

นายรัช นาคกล รหัส 48380235
นายเพิ่มศักดิ์ อุดบัววงศ์ รหัส 48380251
นายธีรวัตร อนันนิต รหัส 48380345

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 2 เม.ย. 2553
เลขทะเบียน..... 14946297
เลขเรียกหนังสือ..... ผธ.
มหาวิทยาลัยมจร 5391 ก

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมจร
ปีการศึกษา 2551



ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ	การทดลองศึกษาลักษณะการทำงานของโซลาร์เซลล์			
ผู้ดำเนินโครงการ	นายวิช	นาคกล	รหัส	48380235
	นายเพิ่มศักดิ์	อุตบัววงศ์	รหัส	48380251
	นายธีรวัตร	อนันนิต	รหัส	48380345
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อัครพันธ์ วงศ์กั้งแห			
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า			
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์			
ปีการศึกษา	2551			

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
(ดร.อัครพันธ์ วงศ์กั้งแห)

.....กรรมการ
(ดร.ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

.....กรรมการ
(ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช)

(๕)

หัวข้อโครงการ การทดลองศึกษาลักษณะการทำงานของโซลาร์เซลล์

ผู้ดำเนินโครงการ นายรัช นาคกล รหัส 48380235

นายเพิ่มศักดิ์ อุคบัววงศ์ รหัส 48380251

นายธีรวัตร อนันเนติ รหัส 48380345

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อัครพันธ์ วงศ์กั้งแห

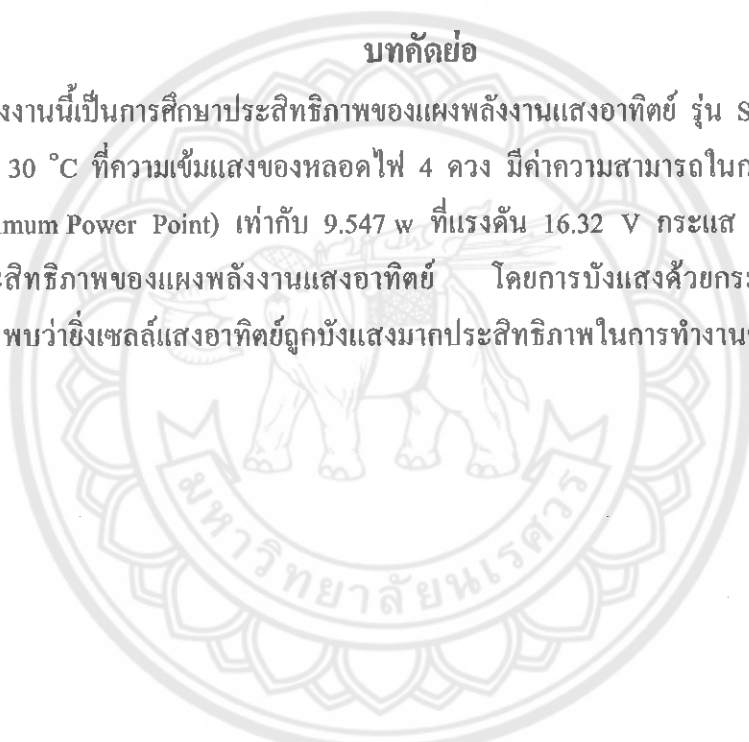
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ รุ่น Suntech – stp06 ณ อุณหภูมิ 30 °C ที่ความเข้มแสงของหลอดไฟ 4 ดวง มีค่าความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point) เท่ากับ 9.547 w ที่แรงดัน 16.32 V กระแส 0.585 A เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการบังแสงด้วยกระดาษทึบแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ พบว่ายิ่งเซลล์แสงอาทิตย์ถูกบังแสงมากประสิทธิภาพในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีค่าลดลง

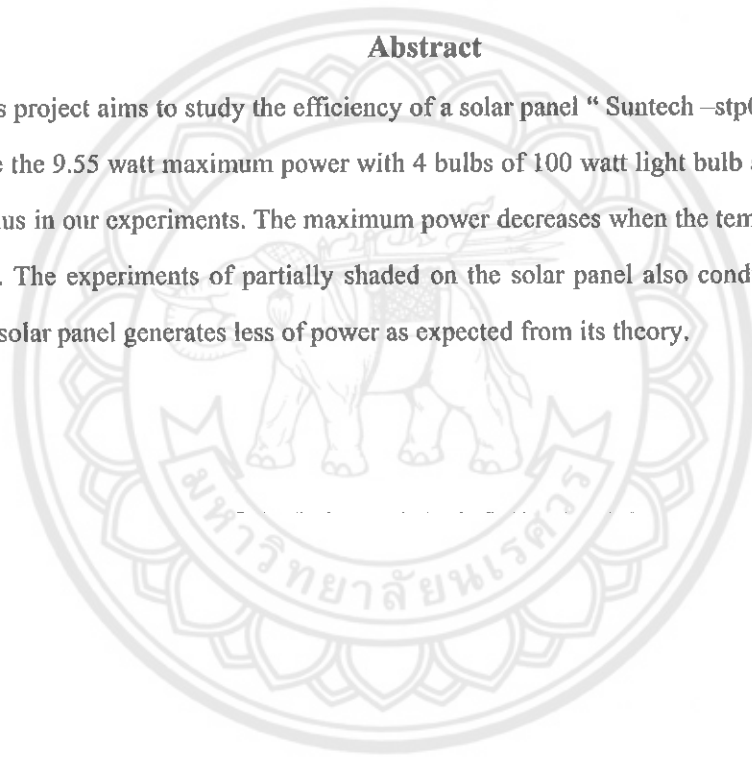


Project title	A study of solar cell characteristics		
Name	Mr. Tawat	Nakkol	ID. 48380235
	Mr. Pamsuk	Utbuawong	ID. 48380251
	Mr. Theerawat	Anannin	ID. 48380345
Project Advisor	Akaraphunt Vongkunghae , Ph.D.		
Mojo	Electrical Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic Year	2008		

.....

Abstract

This project aims to study the efficiency of a solar panel “ Suntech –stp06 ”. This solar panel can generate the 9.55 watt maximum power with 4 bulbs of 100 watt light bulb at the temperature 30 degree Celsius in our experiments. The maximum power decreases when the temperature of the panel is increased. The experiments of partially shaded on the solar panel also conducted in this project. The shaded solar panel generates less of power as expected from its theory.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือในด้านการให้คำแนะนำในการ
ทำโครงการจาก ดร.อัครพันธ์ วงศ์กัณฑ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ทางกลุ่มของข้าพเจ้าขอ
กราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องทดลอง

ขอขอบคุณ ร้าน หุมพลอิเล็กทรอนิกส์ที่จำหน่ายอุปกรณ์ต่างๆเพื่อใช้ในการทำชิ้นงาน

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ช่วยเหลือในด้านการทำโครงการและเอกสารให้เสร็จสิ้นโดยเรียบร้อย

และที่สำคัญที่สุดขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้เลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนแก่คณะผู้จัดทำจน
ทำให้คณะผู้จัดทำทุกคนมีวันนี้ได้ ซึ่งเป็นพระคุณอันหาที่เปรียบไม่ได้

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามมา ที่มีส่วน
ร่วมในการให้ข้อมูล เป็นที่ปรึกษาในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำจึง
ขอขอบพระคุณมาไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำโครงการ

นายรัช นาคกล

นายเพิ่มศักดิ์ อุตบัววงศ์

นายธีรวัตร อนันนิต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
ลำดับสัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	4
1.6 งบประมาณ	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)	5
2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	6
2.3 ขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	9
2.4 หลักการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.5 วิธีการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด	15
2.6 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	16
2.7 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	21
2.8 เครื่องกำเนิดเซลล์แสงอาทิตย์เทียม	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ	
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	24
3.2 ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น Suntech – stp06	24
3.3 กระบวนการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์	26
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่างกัน	29
4.2 ผลจากการทดสอบหาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่เซลล์ถูกบังแสงที่อุณหภูมิห้อง...39	
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการทดลอง	47
5.2 ประเมินผลและข้อเสนอแนะ	50
5.3 ปัญหาข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก	
ภาคผนวก (ก) รูปวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	53
ภาคผนวก (ข) ตารางแสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น Suntech – stp06	57
ประวัติผู้ทำโครงการ	121

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางแสดงการคำนวณโครงการ	3
2.1 การสูญเสียของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนที่ติดตั้งในชั้นบรรยากาศโลก (AMI)	17



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน	7
2.2 แสดงส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.3 รูปแบบของเซลล์แสงอาทิตย์	8
2.4 แสดงขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	10
2.5 แสดงขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม	11
2.6 การตอบสนองเชิงสเปกตรัมของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนต่อสเปกตรัมรังสี แสงอาทิตย์ในบรรยากาศโลก	12
2.7 แบบจำลองการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.8 แสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.9 แสดงการโคปป์ิงของสารกึ่งตัว	14
2.10 แสดงการถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล	15
2.11 แสดงการเกิดวงจรกระแสไฟฟ้า	15
2.12 ผลของโหลดต่อเซลล์แสงอาทิตย์	16
2.13 วงจรไฟฟ้าสมมูลอย่างง่ายของเซลล์แสงอาทิตย์	17
2.14 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	18
2.15 วงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีตัวต้านทานอนุกรมและขนั้ด	18
2.16 ลักษณะกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนขนาดพื้นที่ 80.9 ตร.ซม ที่ 28 °C	19
2.17 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้่าล้ดวงจรและแรงดัน ไฟฟ้าเปิดวงจร กับความเข้มแสงอาทิตย์	19
2.18 ลักษณะกระแสไฟฟ้า – แรงดัน ไฟฟ้า กรณีความเข้มรังสีอาทิตย์ค่าต่างๆ และอุณหภูมิคงตัว	20
2.19 ลักษณะกระแสไฟฟ้า – แรงดัน ไฟฟ้า กรณีอุณหภูมิค่าต่างๆ และความเข้มรังสี แสงอาทิตย์คงตัว	21
3.1 ส่วนประกอบในการทดสอบเซลล์และการทดสอบ	25
3.2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่เซลล์ถูกบังแสงที่อุณหภูมิห้อง	28
4.1 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า- แรงดันไฟฟ้า ที่ความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิ 30 °C	29
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Voc กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 30 °C	30
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Isc กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 30 °C	30
4.4 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า- แรงดันไฟฟ้า ที่ความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิ 35 °C	31
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Voc กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 35 °C	32
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Isc กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 35 °C	32
4.7 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า- แรงดันไฟฟ้า ที่ความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิ 40 °C	33
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Voc กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 40 °C	34
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Isc กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 40 °C	34
4.10 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า- แรงดันไฟฟ้า ที่ความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิ 45 °C	35
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Voc กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 45 °C	36
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Isc กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 45 °C	36
4.13 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า- แรงดันไฟฟ้า ที่ความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิ 50 °C	37
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Voc กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 50 °C	38
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Isc กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 50 °C	38
4.16 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า- แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์ถูกบังแสง 1 ส่วน และความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิห้อง	39
4.17 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า- แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์ถูกบังแสง 2 ส่วน และความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิห้อง	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า – แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์ถูกบังแสง 3 ส่วน และความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิห้อง	41
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า P_{max} กับ ปริมาณส่วนของเซลล์ที่ถูกบังแสง ณ อุณหภูมิห้อง ที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน	42
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง V_{oc} กับปริมาณส่วนของเซลล์ที่ถูกบังแสง	42
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง P_{max} กับอุณหภูมิ	43
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง P_{max} และ V_{oc}	43
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง P_{max} และ I_{sc}	44
4.24 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า – แรงดันไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงคงที่ที่หลอดไฟ 1 ดวง ณ อุณหภูมิต่างกัน	44
4.25 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า – แรงดันไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงคงที่ที่หลอดไฟ 2 ดวง ณ อุณหภูมิต่างกัน	45
4.26 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า – แรงดันไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงคงที่ที่หลอดไฟ 3 ดวง ณ อุณหภูมิต่างกัน	45
4.27 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า – แรงดันไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงคงที่ที่หลอดไฟ 4 ดวง ณ อุณหภูมิต่างกัน	46

ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
eV	พลังงานของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีความต่างของศักย์ไฟฟ้า -1 โวลต์
V	ความต่างศักย์ไฟฟ้า
A	ปริมาณของประจุไฟฟ้าต่อวินาที
mA	หน่วยย่อยของกระแส
mV	หน่วยย่อยของแรงดัน
°C	หน่วยวัดอุณหภูมิ
μm	หน่วยย่อยของการวัด
kW/m ²	หน่วยวัดความเข้มแสง
ms	หน่วยย่อยของเวลา
mW/cm ²	หน่วยวัดความเข้มแสง
W	กำลังงานไฟฟ้า
mW	หน่วยย่อยของกำลังงานไฟฟ้า
AM	มวลาอากาศ
Voc	แรงดันขณะเปิดวงจร
Isc	กระแสลัดวงจร
Ω	ความต้านทานไฟฟ้า

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากในขณะนี้เศรษฐกิจในบ้านเมืองของเรานี้ขาดแคลนพลังงานเลยก็ว่าได้ โดยเฉพาะในเรื่องของพลังงานเชื้อเพลิง จะเห็นได้ว่าการขึ้นราคาเชื้อเพลิงกันอยู่ตลอดเวลาเลย ดังนั้นพลังงานทดแทนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นักลงทุนได้เลือกลงทุนกันไปต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของไบโอดีเซล ก๊าซ NGV , LPG รวมทั้งพลังงานโซลาร์เซลล์ด้วย และก็ได้นักลงทุนหลายบริษัทหลายแห่งที่ได้นำผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับพลังงานทดแทน (โซลาร์เซลล์) มาผลิตเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้พลังงานทดแทนเพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด โดยเฉพาะในหลายหมู่บ้านที่ยังไม่ถ้อยเจริญ ซึ่งอาจจะเป็ผลดีเนื่องจากยังไม่มีไฟฟ้าเข้าถึงเป็นหมู่บ้านที่ไกลความเจริญอยู่ตามแถวภูเขา เป็นต้น ดังนั้นจึงเกิดการแข่งขันกันตามตลาดของนักลงทุน แต่ส่วนมากแล้วแผงโซลาร์เซลล์ที่ผลิตขึ้นมาั้นจะมีคุณสมบัติคล้ายๆกัน ไม่ค่อยมีความแตกต่างกันมากนัก ซึ่งขึ้นอยู่กับทางบริษัทว่าจะผลิตออกมาอย่างไร และกลุ่มผู้ทดลองก็ได้้นำผลิตภัณฑ์ของบริษัทหนึ่งนำมาทำการทดลองเกี่ยวกับการรับแสงสว่างมาแล้วจ่ายออกไปเป็นกระแสไฟฟ้า ที่แรงดันมากที่สุดเท่าที่ไหว ดังนั้นกลุ่มของข้าพเจ้าจึงได้จัดทำโครงการนี้ขึ้นมา เพราะพลังงานโซลาร์เซลล์นี้จะเป็นการใช้พลังงานจากธรรมชาติที่เรามี กลุ่มข้าพเจ้าจึงได้คิดหาวิธีการทดลองหาพลังงานทดแทน (โซลาร์เซลล์) ขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าที่สุด โดยทำการศึกษาลักษณะการทำงานของแผงพลังงานโซลาร์เซลล์ เพื่อทดสอบว่าแผงพลังงานโซลาร์เซลล์รุ่นนี้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เท่าไรมากที่สุดที่เท่าไร ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการกำหนดแสงสว่างของหลอดไฟขึ้นมาเองเพื่อหาว่าที่จุดไหนมีการรับพลังงานจากหลอดไฟได้มากที่สุดก็หลอดแสงสว่าง และจะได้นำไปประยุกต์เป็นการใช้ในชีวิตประจำวันแทนการใช้ไฟฟ้าจากกรไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งเราสามารถนำพลังงานทดแทนนี้ได้และยังเป็นการใช้พลังงานอย่างประหยัดได้อีกอย่างหนึ่ง

โครงการนี้มีอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ แผงพลังงาน โซลาร์เซลล์ Suntech – stp06 และอุปกรณ์วัดกระแส วัดแรงดัน แหล่งจ่ายแสงสว่าง เป็นต้น เพื่อเป็นการบอกว่าผลิตภัณฑ์รุ่นนี้มีความสามารถทำงานได้ดีที่สุดเท่าไรนั่นเอง และจะได้นำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้อีก โครงการนี้จะมุ่งเน้นไปในเรื่องของการทดสอบแผงพลังงานโซลาร์เซลล์รุ่น Suntech – stp06

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ รุ่น Suntech – stp06
2. เพื่อศึกษาว่าแสงสว่างจากหลอดไฟมีกี่หลอด ที่แผงพลังงานโซลาร์เซลล์ รุ่น Suntech – stp06 สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพมากที่สุด
3. เพื่อเป็นการศึกษาการนำไปประยุกต์ ใช้ในชีวิตประจำวัน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาว่าแสงสว่างจากหลอดไฟมีกี่หลอด ที่แผงพลังงานโซลาร์เซลล์ รุ่น Suntech – stp06 ที่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพมากที่สุด
2. สามารถนำไปใช้ในการเลือกซื้อแผงพลังงานโซลาร์เซลล์เพื่อนำมาใช้ในชีวิตประจำวัน เราได้ และยังเป็นการใช้พลังงานทดแทนที่ได้จากธรรมชาติให้คุ้มค่าที่สุดอีกด้วย
3. พัฒนาหาอุปกรณ์การทดลองแล้วนำมาวิเคราะห์ เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ที่ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ



1.4 แผนการดำเนินงาน

ใช้เวลาในการดำเนินงาน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2551 – เดือนพฤษภาคม 2552

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงการดำเนินงานโครงการ

กิจกรรม	ปี 2551						ปี 2552				
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.รวบรวมข้อมูล	←→										
2.ออกแบบอุปกรณ์วงจรและโครงสร้าง		←→									
3.จัดหาอุปกรณ์			←→								
4.ทดสอบอุปกรณ์				←→							
5.ทำการทดลอง					←→						
6.ปรับปรุงและแก้ไขปัญหา							←→				
7.สรุปผลการทดลอง								←→			
8.จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์										←→	

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1. เข้าใจถึงหลักการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ รุ่น Suntech – stp06 ว่าสามารถรับพลังงานจากหลอดไฟชนิดหนึ่ง แล้วแปลงออกมาเป็นกระแสออกได้มากที่สุดกี่แอมป์ (A)

2. เข้าใจถึงหลักการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ รุ่น Suntech – stp06 ว่าสามารถรับพลังงานจากหลอดไฟตัวหนึ่ง แล้วแปลงออกมาเป็นแรงดันส่งออกมาได้มากที่สุดกี่โวลต์ (V)

3. สามารถนำอุปกรณ์แผงโซลาร์เซลล์ รุ่น Suntech – stp06 นำไปประยุกต์ใช้ใน ชีวิตประจำวันได้อย่างมีเหตุผล

4. เพื่อเป็นการส่งเสริมให้ใช้พลังงานทดแทนตัวนี้ และให้ความสะดวกกับบุคคลที่ต้องการนำไปใช้งานจริง

1.6 งบประมาณ

1. ค่าเอกสารและค่าเช่าเล่ม โครงการฉบับสมบูรณ์	500 บาท
2. ค่าอุปกรณ์ในการทำการทดลอง โครงการ	3,500 บาท
3. ค่าหนังสือ	200 บาท
4. ค่าพิมพ์เอกสาร	300 บาท
รวมเป็นเงิน (สี่พันห้าร้อยบาทถ้วน)	<u>4,500</u> บาท
หมายเหตุ : ขออนุมัติแล้วเฉลี่ยทุกรายการ	

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) [5]

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โปรตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน หรือเราอาจเปรียบได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ คือไดโอดขนาดใหญ่ที่อยู่ในสภาพถูกแสง เมื่อมีแสงตกกระทบลงบนรอยต่อพีเอ็นของไดโอด จะมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของกระแสพาหะผ่านบริเวณรอยต่อและถ้ามีตัวนำสัมผัสอยู่ด้านนอกของสารพีและเอ็นจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลออกมาสู่ภายนอก รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงสุดในการแปลงรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎีมีค่าขึ้นไปได้ถึง 30 % (อาจมีค่ามากกว่าได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์) แต่ในสภาพความเป็นจริงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าประมาณ 10-15 % กระบวนการทางกายภาพที่เป็นตัวจำกัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย การสะท้อนของแสงจากพื้นผิวของเซลล์แสงมีค่าพลังงานน้อยหรือมากเกินไปที่จะแยกอิเล็กตรอนออกจากพันธะ มีการสูญเสียอิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุและบริเวณพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ ความต้านทานภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ การบังแสงที่เกิดจากขั้วอิเล็กโทรดของสายไฟที่ค้ำบน และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีจุดเด่นที่สำคัญ แตกต่างจากวิธีอื่นหลายประการ ดังต่อไปนี้

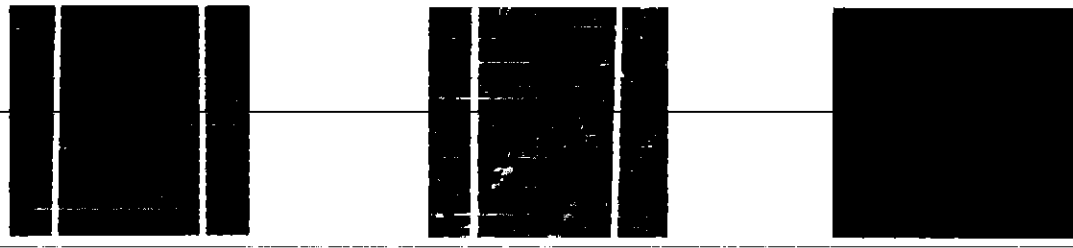
1. ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในขณะที่ใช้งาน จึงทำให้ไม่มีมลภาวะทางเสียง
2. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษจากขบวนการผลิตไฟฟ้า
3. มีการบำรุงรักษาบ่อยมากและใช้งานแบบอัตโนมัติได้ง่าย
4. ประสิทธิภาพคงที่ไม่ขึ้นกับขนาด
5. สามารถผลิตเป็นแผงขนาดต่างๆ ได้ง่าย ทำให้สามารถผลิตได้ปริมาณมาก
6. ผลิตไฟฟ้าได้แม้มีแสงแดดอ่อนหรือมีเมฆ
7. เป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้มาฟรีและมีไม่สิ้นสุด
8. ผลิตไฟฟ้าได้ทุกมุมโลกแม้บนเกาะเล็กๆ กลางทะเล บนยอดเขาสูง และในอวกาศ
9. ได้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงซึ่งเป็นพลังงานที่นำมาใช้ได้สะดวกที่สุด ดังนั้นไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นความหวังของคนทั่วโลก ในศตวรรษที่ 21 ที่จะมาถึงในอีกไม่นาน

2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ [5]

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)
2. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25 % ขึ้นไปแต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต (ปัจจุบันนำมาใช้เพียง 7 % ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด)

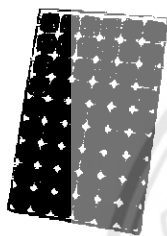
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน



แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystal)

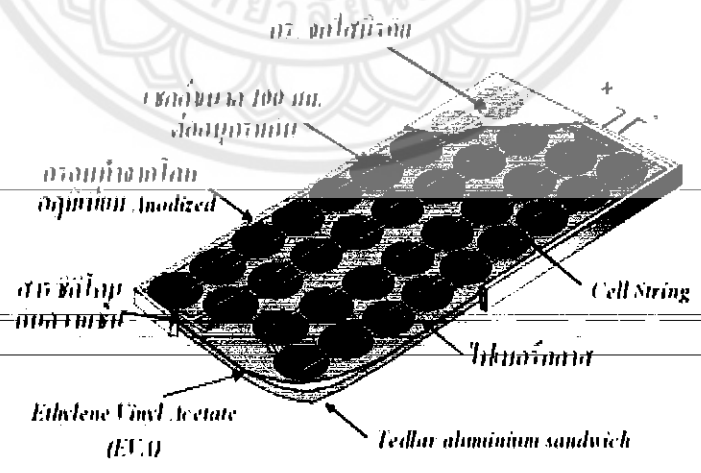
แบบผลึกรวม (Poly Crystal)

แบบอะมอร์ฟัส (Amorphous)



รูปที่ 2.1 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน [5]

2.2.1 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ [5]

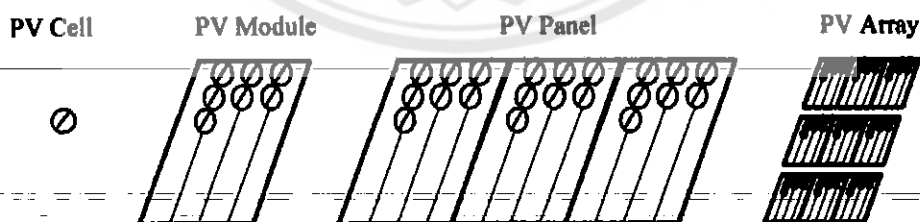


รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ [5]

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลาย ๆ เซลล์ มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module หรือ Solar Panel)

การทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผงก็เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงเซลล์ ประกอบด้วย แผ่นกระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กดำ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดีและยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย แผงเซลล์จะต้องมีการป้องกันความชื้นที่ดีมาก เพราะจะต้องอยู่กลางแจ้งกลางฝนเป็นเวลายาวนาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคน และ อีวีเอ (Ethelene Vinyl Acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์จึงต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง แต่บางครั้งก็ไม่มีเวลาจำเป็นถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอ ซึ่งก็สามารถแทนการทำกรอบได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (laminated) ซึ่งสะดวกในการติดตั้ง

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกซิลิคอนขนาด 1 ตร.ม จะมีแรงดันขณะเปิดวงจรประมาณ 0.6 - 0.7 V และกระแสลัดวงจร 20 - 40 mA ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าก็ทำได้โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่ออนุกรมกัน และถ้าต้องการเพิ่มปริมาณกระแสก็ทำได้โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อขนานกัน ซึ่งการนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์ย่อยเหล่านี้มารวมกันเป็นเซลล์แสงอาทิตย์หน่วยใหญ่ขึ้นจะเรียกว่าพีวีโมดูล หากนำพีวีโมดูลมาต่อเพื่อเพิ่มปริมาณทางไฟฟ้าก็จะเรียกว่าเป็นพีวีพาแนล และการนำพีวีพาแนลมาต่อรวมกันเป็นระบบใหญ่จะเรียกว่าพีวีอาร์เรย์ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปแบบของเซลล์แสงอาทิตย์ [2]

2.3 ขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ [4]

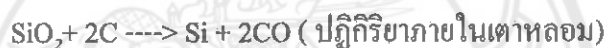
วัสดุที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์

วัสดุสำคัญที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้มากที่สุดในปัจจุบันได้แก่ สารซิลิคอน (Si) ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่ใช้ทำชิปในคอมพิวเตอร์และเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ซิลิคอนเป็นสารซึ่งไม่เป็นพิษ มีการนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีราคาถูก คงทน และเชื่อถือได้ นอกจากนี้ยังมีวัสดุชนิดอื่นที่สามารถนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เช่น แกลเลียมอาเซไนด์ CIS และ แคดเมียมเทลลูไรด์ แต่ยังมีราคาสูง และบางชนิดยังไม่มีการพิสูจน์เรื่องอายุการใช้งานว่าสามารถใช้งานได้นาน

ข้อเสียของ Si : การทำให้บริสุทธิ์และอยู่ในรูปสารที่พร้อมจะทำเซลล์ฯ มีราคาแพง และแตกหักง่ายในขบวนการผลิต

ขั้นตอนการผลิตสารซิลิคอนบริสุทธิ์

- 1) การผลิต MG-Si จากหินควอทไซต์หรือทราย



ความบริสุทธิ์ของ Si 98 - 99%

- 2) การผลิต SeG-Si จาก MG-Si

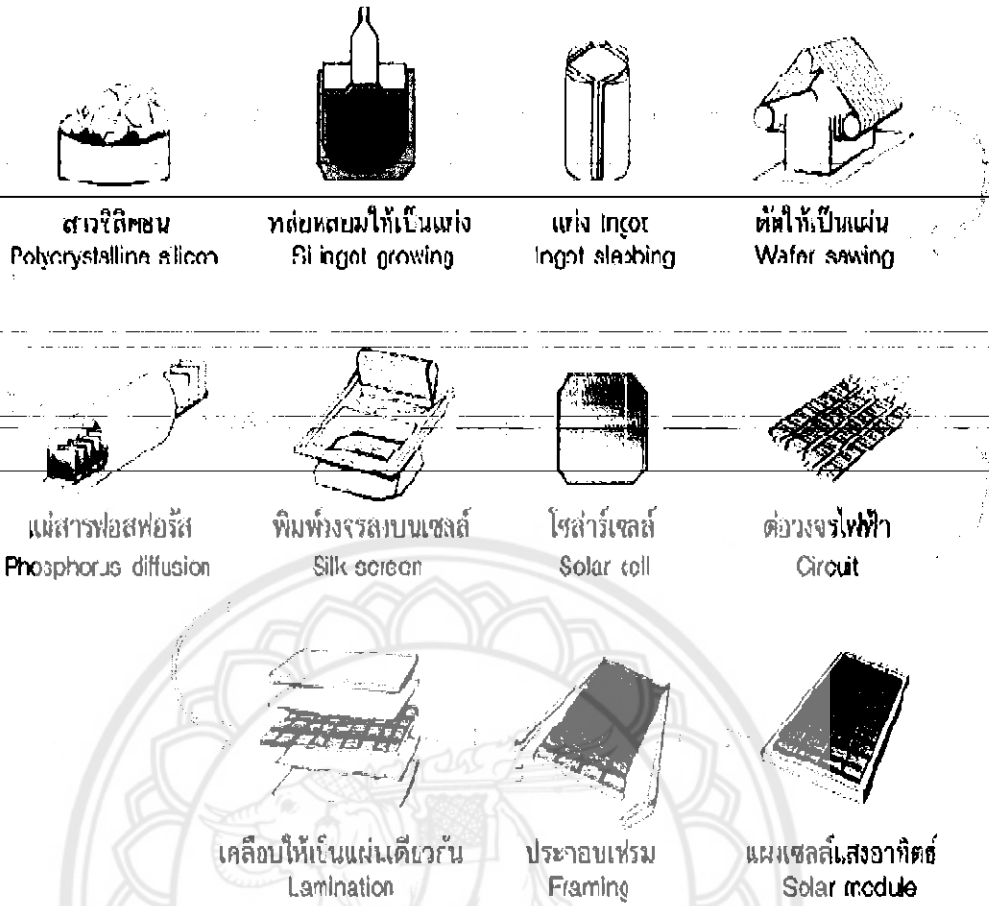
- 2.1) เปลี่ยนสถานะ Si เป็นแก๊สโดยวิธี Fractional Distillation



- 2.2) SiHCl₃ ทำปฏิกิริยากับ H₂ ได้ Si บริสุทธิ์ 99.999%



เป็นการทำ Si ให้บริสุทธิ์ขั้นตอนนี้ได้ Polycrystal



รูปที่ 2.4 แสดงขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ [5]

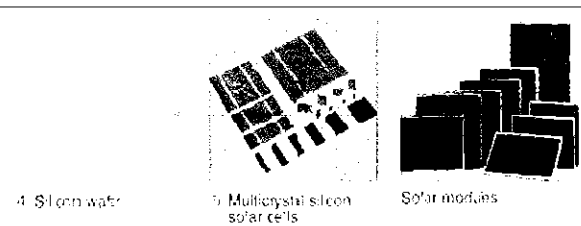
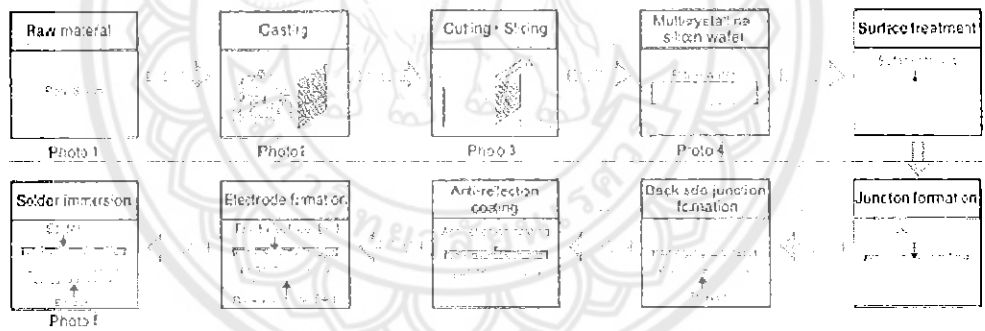
2.3.1 ขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline)

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Mono-Crystalline การเตรียมสารซิลิคอนชนิดนี้ เริ่มต้นจากนำสารซิลิคอนซึ่งผ่านการทำให้เป็นก้อนที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก (99.9%) มาหลอมละลายในเตา Induction Furnace ที่อุณหภูมิสูงถึง 1,500 °C เพื่อทำการสร้างแท่งผลึกเดี่ยวขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 - 8 นิ้ว) พร้อมกับใส่สารเจือปน Boron เพื่อทำให้เกิด P-type-แล้วทำให้เกิดการเย็นตัวจับตัวกันเป็นผลึกด้วย Seed ซึ่งจะตกผลึกมีขนาดหน้าตัดใหญ่แล้วค่อยๆดึงแท่งผลึกนี้ขึ้นจากเตาหลอม ด้วยเทคโนโลยีการดึงผลึกจะได้แท่งผลึกยาวเป็นรูปทรงกระบอก คุณภาพของผลึกเดี่ยวจะสำคัญมากต่อคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นนำแท่งผลึกมาตัดให้เป็นแผ่นบาง ๆ ด้วยลวดตัดเพชร (Wire Cut) เรียกว่า เวเฟอร์ ซึ่งจะได้แผ่นผลึกมีความหนาประมาณ 300 μm และขจัดความเรียบของผิวจากนั้นก็นำไปเจือสารที่จำเป็นในการทำให้เกิดเป็น p-n junction ขึ้นบนแผ่นเวเฟอร์ด้วยวิธีการ Diffusion ที่อุณหภูมิระดับ 1,000 °C จากนั้นนำไปทำขั้วไฟฟ้าเพื่อนำกระแสไฟออกใช้ ที่ผิวบนจะเป็นขั้วลบ ส่วนผิว

ล่างเป็นขั้วบวก ชั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการเคลือบฟิล์มผิวหน้าเพื่อป้องกันการสะท้อนแสงให้น้อยที่สุด ตอนที่จะได้เซลล์ที่พร้อมใช้งาน หลังจากนั้นก็นำไปประกอบเข้าแผงโดยใช้กระจกเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์ และใช้ซิลิโคน และอีวีเอ (Ethelele Vinyl Acetate) ช่วยป้องกันความชื้นในการใช้งานจริงเราจะนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้ได้ตามต้องการ

2.3.2 ขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกรวม (Poly-Crystalline)

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีนี้ จะมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าวิธีแรก คือ การทำแผ่นเซลล์จะใช้วิธีการหลอมสารซิลิคอนให้ละลายพร้อมกับใส่สารเจือปน Boron เพื่อทำให้เกิด P-type แล้วทาลงในแบบพิมพ์ เมื่อสารละลายซิลิคอนแข็งตัวก็จะได้เป็นแท่งซิลิคอนแบบผลึกรวม (ตกผลึกไม่พร้อมกัน) จากนั้นนำไปตัดเป็นแผ่นเช่นเดียวกับแบบผลึกเดี่ยว ความแตกต่างระหว่างแบบผลึกเดี่ยวและแบบผลึกรวมสังเกตได้จากผิวผลึก ถ้ามีโทนสีที่แตกต่างกันซึ่งเกิดจากผลึกเล็ก q หลายผลึกในแผ่นเซลล์จะเป็นแบบผลึกรวมในขณะที่แบบผลึกเดี่ยวจะเห็นเป็นผลึกเนื้อเดียว คือ มีสีเดียวตลอดทั้งแผ่น ส่วนกรรมวิธีการผลิตเซลล์ที่เหลืองจะเหมือนกัน เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Poly Crystalline) จะให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบผลึกเดี่ยวประมาณ 2-3 % อย่างไรก็ตามเซลล์ทั้ง 2 ชนิด มีข้อเสียในการผลิต คือ แดกหักง่ายเช่นกัน

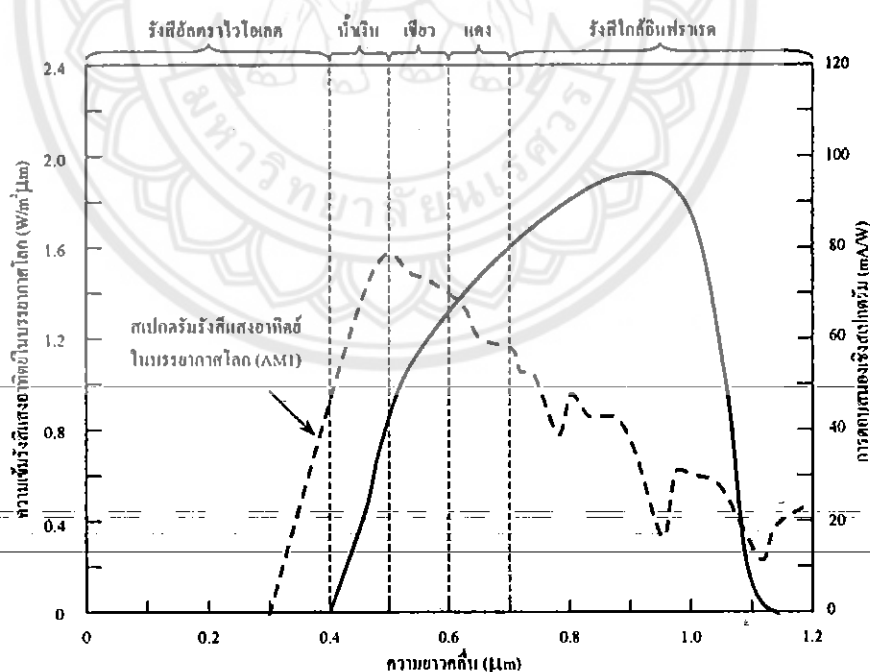


รูปที่ 2.5 แสดงขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม

2.4 หลักการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

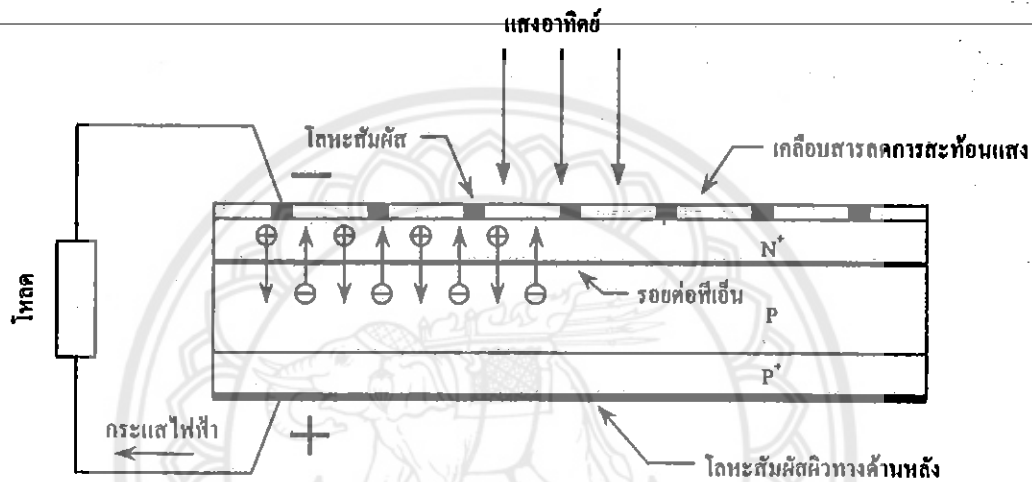
เซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนสร้างจากวิธีกำหนดปริมาณของสารเจือที่เติมลงในซิลิคอนบริสุทธิ์ ถ้าเจือสารโบรอน จะได้สารกึ่งตัวนำไฟฟ้าชนิดพีซึ่งจะมีพาหะไฟฟ้าประจุบวก และถ้าเจือด้วยฟอสฟอรัส จะได้วัสดุสารกึ่งตัวนำไฟฟ้าชนิดเอ็นซึ่งมีพาหะไฟฟ้าหลักเป็นประจุไฟฟ้าลบ การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่บริเวณผิวด้านหน้าของแผ่นซิลิคอนชนิดพีจะทำการเจือสารชนิดเอ็นลงไปด้วย กระบวนการแพร่ที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดสารกึ่งตัวนำไฟฟ้าชนิดเอ็นบางมากที่ผิวหน้าของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างสารกึ่งตัวนำไฟฟ้าชนิดพีและชนิดเอ็นจะมีรอยต่อพีเอ็น เป็นบริเวณบางมากทั้งสองด้านของรอยต่อมีประจุไฟฟ้าหลักต่างชนิดกัน ทำให้กำแพงศักย์ไฟฟ้าเงื่อนไขการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ต้องให้เหมาะสมกับรังสีแสงอาทิตย์ที่ขนาดกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์

เราอาจพิจารณาให้แสงเป็นกลุ่มของพลังงานที่มีมวลและเคลื่อนที่เร็วมากนอกจากนี้อาจพิจารณาแสงในรูปของคลื่น จะมีความยาวคลื่นจะเป็นตัวแสดงค่าพลังงานที่ประกอบอยู่ในแสง ซึ่งแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นจะมีพลังงานสูงกว่า และแสงที่มีความยาวคลื่นยาวกว่าจะมีพลังงานต่ำกว่า ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลกมีค่าประมาณ 1.36 kW/m^2 ที่ผิวโลกในวันท้องฟ้าแจ่มใสขณะที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะจะมีความเข้มแสงประมาณ 1 kW/m^2 ดังแสดงในรูปที่ 2.6



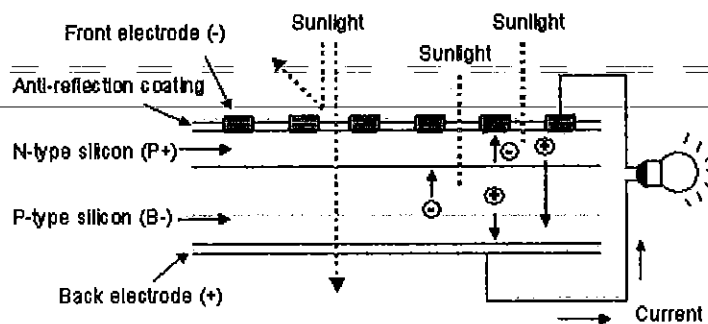
รูปที่ 2.6 การตอบสนองเชิงสเปกตรัมของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนต่อสเปกตรัมรังสีแสงอาทิตย์ในบรรยากาศโลก

เมื่อ โปตรอนที่มีพลังงานเหมาะสมตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ โปตรอนจะชนกับอะตอมของเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล กลายเป็นพาหะไฟฟ้าที่มีประจุไฟฟ้าบวกและลบ พาหะไฟฟ้าเหล่านี้จะเคลื่อนที่ภายในเซลล์ ประจุไฟฟ้าลบจะแพร่เข้าข้ามรอยต่อพีเอ็นไปยังสารชนิดเอ็น และประจุจะแพร่ไปยังสารชนิดพี ประจุไฟฟ้าทั้งสองจะป้องกันไม่ให้โฮลย้อนกลับข้ามรอยต่อพีเอ็นด้วยกำแพงศักย์ไฟฟ้า ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสุทธิและเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น ได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า ถ้าเราต่อตัวนำไฟฟ้าเข้าไปทางด้านบนและด้านล่างของเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลไปไหลมาได้ แสดงในรูปแบบที่ 2.7



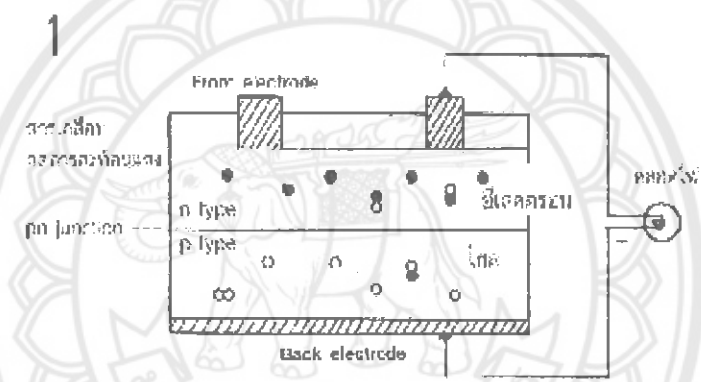
รูปที่ 2.7 แบบจำลองการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

หรืออีกอย่างหนึ่งก็คือการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำจะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำจึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ (ตามรูป)



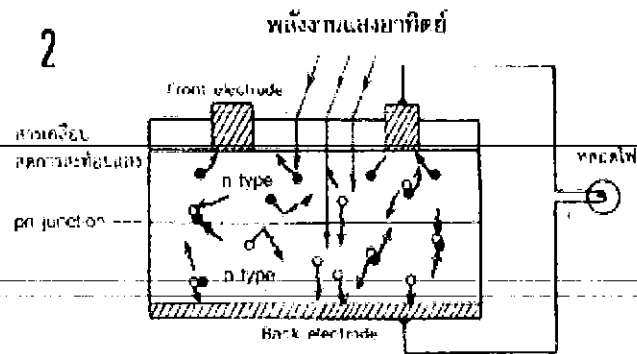
รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

1. n - type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ไ้การ โด๊ปปิ้งด้วยสาร ฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p - type ซิลิคอน คือ สารกึ่งตัวนำที่ไ้การ โด๊ปปิ้งด้วยสาร โบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็น " เซลล์แสงอาทิตย์ " ในสภาวะที่ยังไม่มี แสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้ อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อยด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อยด้านหลังของ p - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล



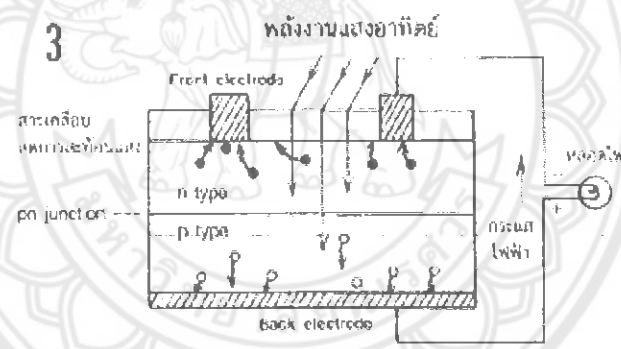
รูปที่ 2.9 แสดงการโด๊ปปิ้งของสารกึ่งตัวนำ

2. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบแสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะ วิ่ง ไปยังชั้น n - type และ โฮลจะวิ่ง ไปยังชั้น p type



รูปที่ 2.10 แสดงการถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล

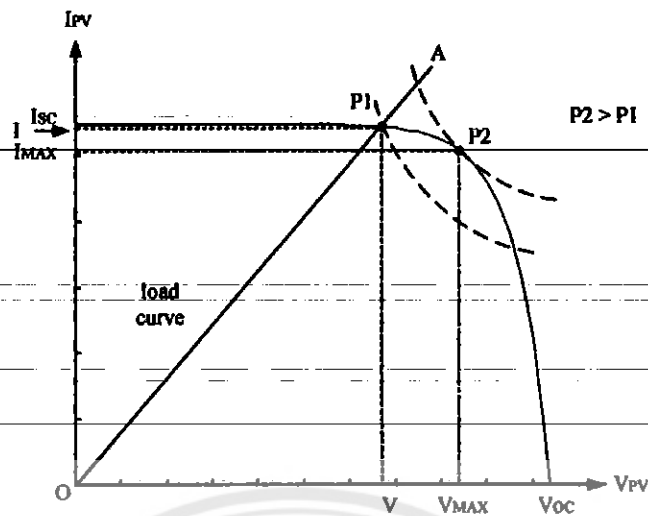
3. อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจรก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน



รูปที่ 2.11 แสดงการเกิดวงจรกระแสไฟฟ้า

2.5 วิธีการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด [3]

การจ่ายกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับโหลดพบว่าเส้นกราฟคุณลักษณะของโหลด (Load-line) จะต้องเหมาะสมกับเส้นกราฟระหว่างแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.17 พบว่าจากเส้นกราฟคุณลักษณะของโหลดที่แสดงด้วยเส้น OA เซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายกำลังเป็น P1 ซึ่งมีค่าน้อยกว่ากำลังที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายได้สูงสุด คือ P2 ดังนั้นจึงมีเทคนิคต่างๆ ในการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.12 ผลของโหลดต่อเซลล์แสงอาทิตย์

2.5.1 วิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร (A fixed percentage of the open-circuit voltage)

วิธีนี้จะตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่าแรงดันที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดจะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับแรงดันขณะเปิดวงจร โดยกำหนดให้แรงดันที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดมีค่าประมาณ 76 % ของแรงดันขณะเปิดวงจร แต่เนื่องจากแรงดันขณะเปิดวงจรไม่คงที่ในแต่ละเวลาดังนั้นการทำงานของวิธีนี้จะทำงานเป็นคาบเวลาโดยตัดโหลดออกเพื่อวัดขนาดแรงดันขณะเปิดวงจรเพื่อนำไปหาแรงดันที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด (โดยทั่วไปจะตัดโหลดออกทุกๆ 1 วินาที เป็นเวลา 10-50 ms) ซึ่งข้อเสียของวิธีนี้ก็จะทำให้การทำงานของโหลดไม่ต่อเนื่อง

2.6 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ [2]

โปรตอนของแสงที่มีพลังงานสูงกว่า 1.1 eV ได้แก่ เซลล์ที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ 1.15 μm จะถูกดูดซับด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ส่วนโปรตอนของแสงส่วนที่มีพลังงานสูงกว่า 1.1 eV จะกลายเป็นพลังงานความร้อนภายในเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนจะตอบสนองต่อสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศโลกจากผลการคำนวณจะได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานรังสีแสงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศโลกให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 22 % แต่ในความเป็นจริงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยวที่ใช้อยู่ในบรรยากาศโลกจะมีประสิทธิภาพเพียง 11 ถึง 14 % (ที่ stc) การเกิดและการสูญเสียพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังตารางที่ 2.1

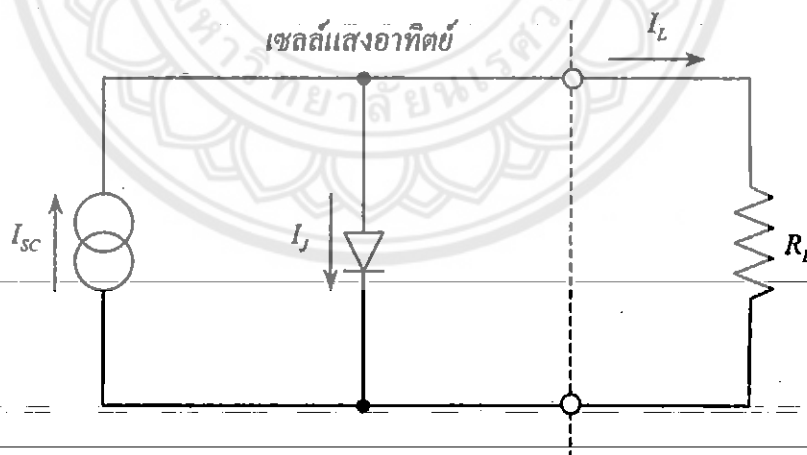
ตารางที่ 2.1 การสูญเสียของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนที่ติดตั้งในชั้นบรรยากาศโลก (AM1)

สาเหตุของความสูญเสีย	เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่สูญเสีย
- โปรตอนพลังงานต่ำไม่สามารถดูดซับได้	23
- โปรตอนพลังงานสูงใช้ประโยชน์ไม่ได้	33
- ความสูญเสียจากการทำงานภายในเซลล์	29
- การสะท้อนแสง, ความต้านทานอนุกรม, ผิวสัมผัส ต่างๆ	1.5
รวม	86.5

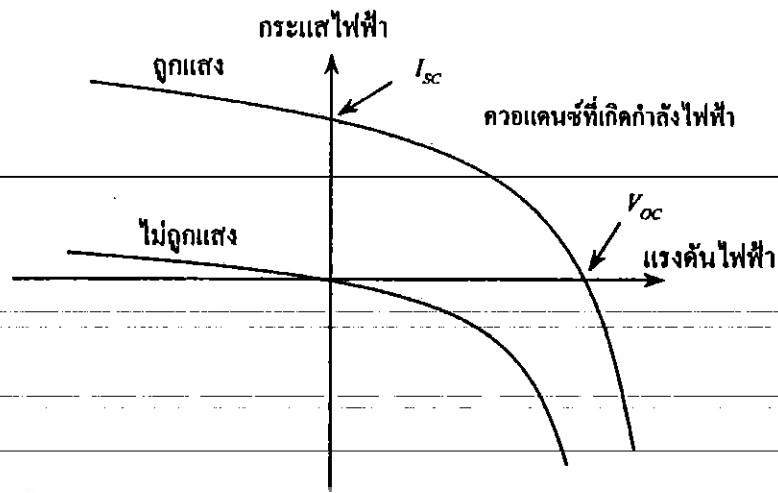
ปัจจุบันประสิทธิภาพเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนที่สภาพการใช้งานจริงจะ
สมมุติว่ามีค่าสูงประมาณ 17 %

2.6.1 คุณลักษณะกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรไฟฟ้าสมมูลอย่างง่ายของเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 2.13 วงจรไฟฟ้า
ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ไดโอด และโหลด รูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์
แรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่ถูกแสงและไม่ถูกแสง เมื่อเปิดใช้เซลล์
แสงอาทิตย์ถูกแสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตกระแสไฟฟ้าคงตัว เกิดกระแสไฟฟ้าสูญเสีย
ไหลผ่านไดโอด และเกิดกระแสไหลผ่านไปยังโหลด

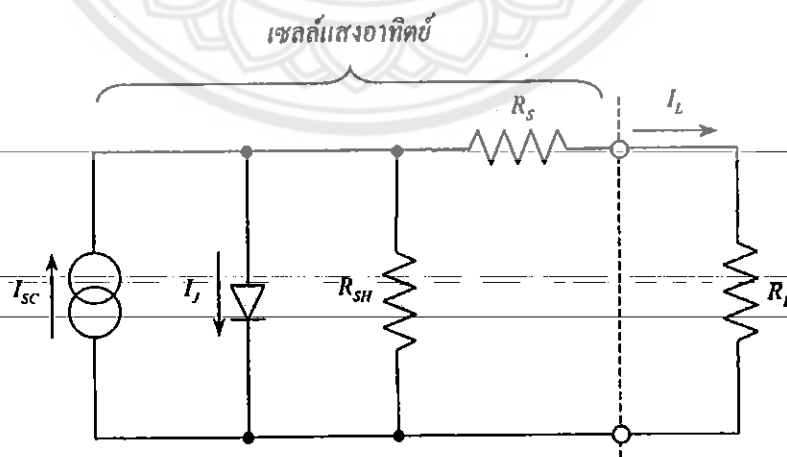


รูปที่ 2.13 วงจรไฟฟ้าสมมูลอย่างง่ายของเซลล์แสงอาทิตย์



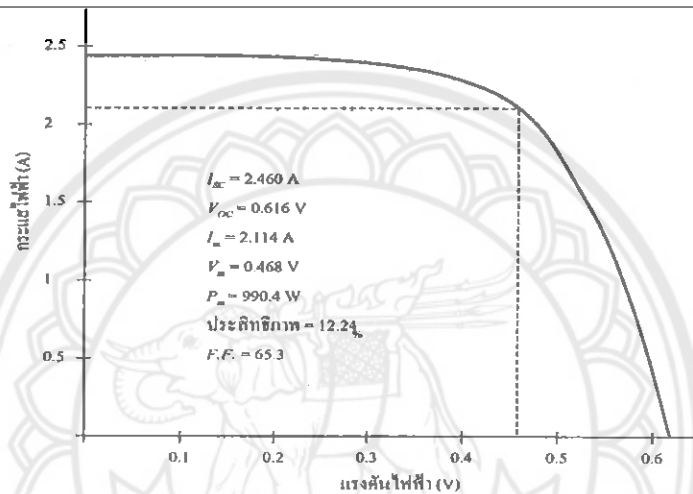
รูปที่ 2.14 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ในกรณีที่ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ต้องเพิ่มส่วนประกอบสำคัญอีกสองส่วนลงไปในเซลล์แสงอาทิตย์อุดมคติ คือ ความต้านทานไฟฟ้าขั้ว เกิดจากกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่บริเวณขอบและมุมของแผ่นเซลล์ และความต้านทานอนุกรม เกิดจากความต้านทานไฟฟ้าของเนื้อวัสดุที่ทำจากเซลล์แสงอาทิตย์ เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านชั้นบางทางด้านบนของวัสดุที่ถูกเจือด้วยสารชนิดเอ็นและสารชนิดพี และความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดจากผิวสัมผัสระหว่างวัสดุ วงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว แสดงในรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความเข้มแสง 100 mW/cm^2 อุณหภูมิเซลล์เท่ากับ 28°C

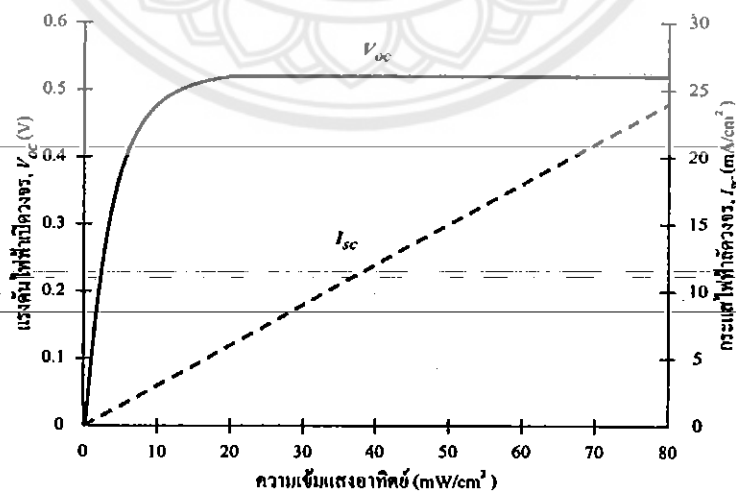


รูปที่ 2.15 วงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีตัวต้านทานอนุกรมและขั้ว

(1) ที่ค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ทำให้กระแสไฟฟ้าเท่ากับ I_L ที่ไหลผ่านรอยต่อจะมีค่าเท่ากับ ศูนย์ และ $I_L = I_{SC}$ เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ค่า I_L ยังคงมีค่าเท่ากับศูนย์ ความชันของกราฟกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความต้านทานไฟฟ้าชั้นเดียว ถ้า R_{SH} มีค่าเท่ากับ อนันต์เส้นกราฟ จะอยู่ในแนวนอน ที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.4 V รอยต่อจะเริ่มนำกระแสไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าแบบเอ็กโพเนนเชียล และค่า I_L ลดลงอย่างรวดเร็ว ที่ค่า V_{OC} จะได้ว่าค่า I_L มีค่าเท่ากับ I_{SC} และไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลด ตั้งแต่จุดเปลี่ยนโค้งของกราฟจนถึงค่า V_{OC} ความชันของกระแสกราฟไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับค่า R_S โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีค่า R_S สูง กราฟจะมีค่าความชันมาก



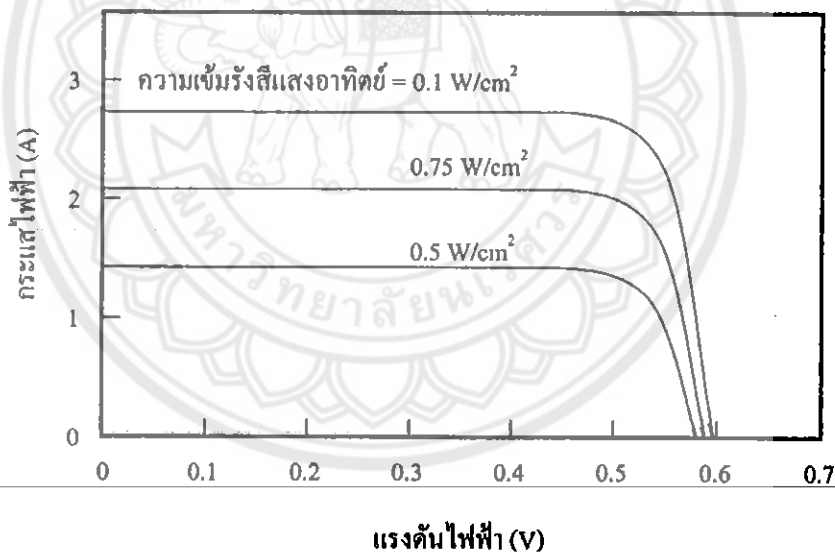
รูปที่ 2.16 ลักษณะกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนขนาดพื้นที่ 80.9 ตร.ซม ที่ 28 °C



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรกับความเข้มแสงอาทิตย์

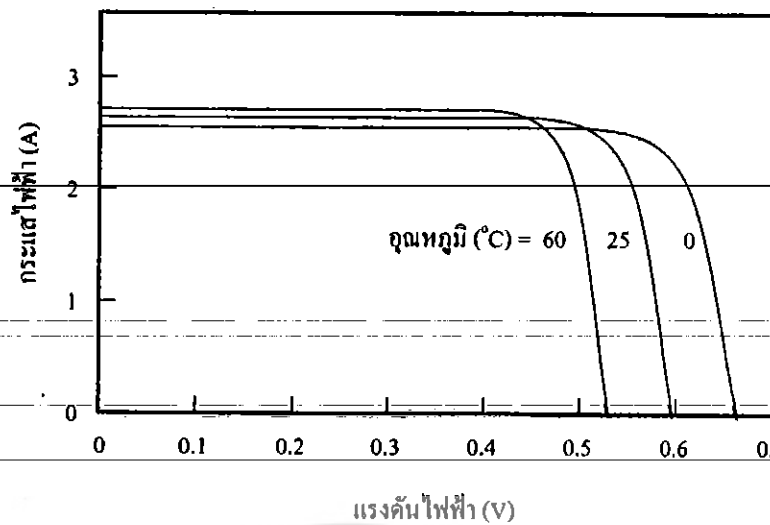
กำลังไฟฟ้าที่ส่งไปยังโหลดที่จุดใดๆบนกราฟกระแสไฟฟ้า- แรงดันไฟฟ้าคำนวณจากผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าที่จุดนั้น กำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ที่จุด V_{oc} และ I_{sc} จุดกำเนิดไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่จุดเปลี่ยนเส้นกราฟ อัตราส่วนของค่า P_{MAX} ต่อผลคูณของ V_{oc} และ I_{sc} เรียกว่า ค่าฟิลแฟกเตอร์ ซึ่งเป็นค่าที่สำคัญต่อการประเมินสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับ V_{oc} และ I_{sc} จะได้ว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะแปรผันตรงกับค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเอ็กโพเนนเชียลที่มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ค่าต่ำและมีค่าคงตัวอย่างรวดเร็วคั้งนั้นเรามักกำหนดให้ V_{oc} มีค่าคงตัว กราฟกราฟกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้ากรณีที่มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์แตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 2.23 และกรณีอุณหภูมิเซลล์แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.24 สรุปได้ว่าค่ากระแสลัดวงจรจะแปรผันตรงกับค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจร เปลี่ยนแปลงน้อยลง 0.1 เปอร์เซ็นต์ต่อองศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรจะลดลง 0.3 เปอร์เซ็นต์ต่อองศาเซลเซียส ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าประมาณ -0.3 เปอร์เซ็นต์ต่อองศาเซลเซียส



รูปที่ 2.18 ลักษณะกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้า กรณีความเข้มรังสีอาทิตย์ค่าต่างๆและอุณหภูมิคงตัว

ผลของขนาดหรือพื้นที่ต่อสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดขึ้นชัดเจน ค่าแรงดันโวลต์จะเป็นฟังก์ชันของคุณสมบัติของเซลล์อย่างเฉียวเท่านั้น โคนไม่ขึ้นอยู่กัขนาดของเซลล์ กระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นฟังก์ชันของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบและแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสงรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.19 ลักษณะกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้า กรณีอุณหภูมิค่าต่างๆ และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์คงตัว

2.7 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ [5]

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

2.7.1 ความเข้มของแสง

กระแสไฟฟ้า (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์เทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐาน คือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 W ต่อ ตร.ม. ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศา กับพื้นโลก ความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตร.ม. ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2.7.2 อุณหภูมิ

กระแสไฟฟ้า (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (Volt) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 °C ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้า

ลดลง 0.5 % และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์ คือ ณ อุณหภูมิ 25 °C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรมเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 °C ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 °C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 °C เช่น อุณหภูมิ 30 °C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% (0.5% x 5 °C) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ Voc จะลดลง 0.525 V (21 V x 2.5%) เหลือเพียง 20.475 V (21V – 0.525V) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้นก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่นแผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 W ที่ความเข้มแสง 1,200 W ต่อ ตร.ม. ณ อุณหภูมิ 20 °C ขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 W ที่ความเข้มแสง 1,000 W ต่อ ตร.ม. และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 °C แล้ว จะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 W จะให้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า จากสาเหตุดังกล่าว ผู้ที่จะใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วย

2.8 เครื่องกำเนิดเซลล์แสงอาทิตย์เทียม [4]

2.8.1 เครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมสำหรับทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมสำหรับทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่ 3 ชนิดได้แก่ หลอดซีนอนสถานะคงตัวเกิดการอาร์กแบบเร็ว หลอดซีนอนแบบพัลส์มีการอาร์กแบบขนาน หรือหลอดทังสแตนที่มีการกรองแสงแบบไดโครอิก (ELH) แหล่งกำเนิดแสงจะปรับค่าความเข้มแสงด้วยอุปกรณ์ทางแสงหรือแผ่นกรองแสงเพื่อให้ได้คุณสมบัติของแสงตรงตามความต้องการแหล่งกำเนิดแสงทั้งสามชนิดต้องมีสเปกตรัมของแสง เหมือนกับแสงอาทิตย์ในบรรยากาศโลก

เครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมมีคุณลักษณะสำคัญต่างๆ ดังนี้

1. ค่าความเข้มรังสีรวมเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมควรมีความเข้มแสงอย่างน้อย 1000 W/m² ซึ่งวัดค่าความเข้มแสงด้วยเซลล์อ้างอิงที่ทำจากวัสดุชนิดเดียวกับอาร์เรย์หรือเซลล์ที่ทำการทดสอบ
2. ความไม่สม่ำเสมอของรังสีรวม หน่วยเปอร์เซ็นต์ นิยามได้ตามสมการ คือ

$$\frac{(\text{ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุด} - \text{รังสีแสงอาทิตย์ต่ำสุด}) \times 100}{2 \times \text{ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ย}}$$

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดและต่ำสุดทำการวัดในแนวระนาบของเซลล์หรืออาร์เรย์ที่ทดสอบ อาร์เรย์ที่ใช้เป็นตัวตรวจวัดควรมีค่าน้อยกว่าหนึ่งในสี่ของพื้นที่ทั้งหมดของเซลล์ที่ทำการทดสอบหรือในกรณีของเซลล์แบบแถบยาว ขนาดมิติตัวตรวจวัดที่ใหญ่ที่สุดควรมีน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของมิติของเซลล์ทดสอบที่มีขนาดเล็กที่สุด ความไม่สม่ำเสมอของรังสีควรเกิดขึ้นบนพื้นที่น้อยกว่า 2 % ของพื้นที่ทั้งหมด

3. เสถียรภาพชั่วขณะของความเข้มแสง เสถียรภาพชั่วขณะจากความไม่สม่ำเสมอของรังสีรวม ซึ่งควรมีค่าต่ำกว่า 2 % ในช่วงที่ทำการทดสอบเซลล์ ค่านี้สามารถหาได้จากตัวตรวจวัดความเข้มแสงที่ทำจากเซลล์แสงอาทิตย์

4. มุมตกกระทบของลำแสง แหล่งกำเนิดแสงของเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมจะต้องติดตั้งในตำแหน่งที่ทำให้มุมตกกระทบของลำแสงบนเซลล์ทดสอบมีค่าน้อยกว่า 30 องศา

2.8.2 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่อธิบายรายละเอียดก่อนหน้านี้ต้องการเครื่องมือเหมือนกัน รายละเอียดและลักษณะเฉพาะของเครื่องมือต่างๆ มีดังนี้

1. เครื่องแสดงผลของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง ได้แก่ โวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอล เครื่องบันทึกค่าศักย์ไฟฟ้า หรือเครื่องมือวัดอื่นๆ ที่เหมาะสม เครื่องมือวัดเหล่านี้ต้องมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.5 % ในช่วงค่าแรงดันไฟฟ้า 0 - 100 mV ใช้สำหรับวัดเอาต์พุตของเซลล์อ้างอิง เครื่องมือควรมีส่วนขยายสัญญาณอัตโนมัติ ที่เหมาะสมกับระดับแรงดันไฟฟ้าข้อมูล ระบบควรมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.5 % จะได้ว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์มาตรฐาน

2. เครื่องตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิของเซลล์อ้างอิง ที่ใช้เซลล์อ้างอิงแต่ละเซลล์จะติดสนิทกับเทอร์โมคัปเปิลหรือเทอร์โมมิเตอร์ ตัวรับรู้ค่าอุณหภูมินี้ต้องมีความเที่ยงตรงเท่ากับ 1°C อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงควรมีค่าเท่ากับ $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

3. แท่นทดสอบ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดสอบจะยึดติดบนแท่นทดสอบที่มีลักษณะพิเศษ คือ ทำการยึดติดกับแบบสูญญากาศบนแท่นโลหะที่มีการควบคุมอุณหภูมิและขั้วไฟฟ้าสำหรับวัดค่าจำนวน 4 ขั้ว

4. เครื่องมือสำหรับทดสอบเซลล์และอาร์เรย์ เครื่องมือวัดต้องสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและกระแสไฟฟ้าลัดวงจรไฟฟ้าได้ เครื่องมือมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.5 % ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรต้องสามารถวัดที่ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 20 mV ต่อรอยต่อได้ ควรวัดค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดด้วยมิเตอร์ที่มีความต้านทานไฟฟ้าภายในอย่างน้อย $20\text{ k}\Omega/\text{V}$ เครื่องมืออื่นๆ ได้แก่ โวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอล และพล็อตเตอร์ ที่ดำเนินการปรับเทียบก่อนทำการวัดทุกครั้ง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

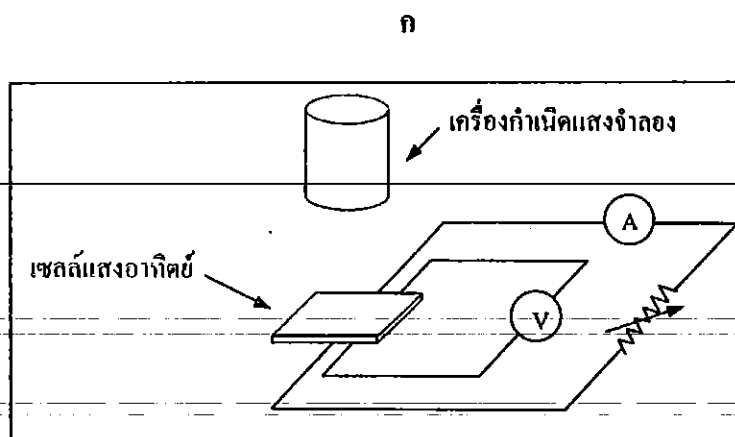
1. เซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น Suntech – stp06
2. แอมป์มิเตอร์
3. โวลต์มิเตอร์
4. เทอร์โมมิเตอร์ 100 °C
5. โคมไฟและหลอดไฟขนาด 100 W , 1380 lm , 14 lm/w (หลอดกลม)
6. โฟโตบอร์ด
7. แคมป์ชี้คแส
8. Hotplate
9. ตัวต้านทานขนาด 1 Ω - 1 M Ω (ปรับค่าได้)
10. สายไฟชนิดแกนแข็ง
11. กล่องทดลอง
12. กระจายที่บัสแสง

3.2 ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น Suntech – stp06

เซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น Suntech – stp06 โดยโมดูล นี้จะมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่ปริมาณแสง 1000 w/m² และอุณหภูมิ 25° C ดังนี้

กำลังสูงสุดที่จ่ายไฟฟ้าได้ (Pmax)	= 10 w
แรงดันที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด (Vmax)	= 17.2 V
กระแสที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด (Imax)	= 0.58 A
แรงดันขณะเปิดวงจร (V _{oc})	= 21.6 V
กระแสลัดวงจร (I _{sc})	= 0.66 A

จากข้อมูลข้างต้นนี้เป็นคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่แท้จริงของเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น Suntech – stp06 แต่ในวิจัยนี้จะเป็นการหาคุณลักษณะที่แท้จริงออกมาว่าเป็นไปตามข้อมูลข้างต้นหรือไม่เมื่อทำการทดลองหาประสิทธิภาพแล้วจะได้ค่าคุณลักษณะอย่างไรตามขั้นตอนการทดลองที่จะได้กล่าวต่อไป โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะมีทฤษฎีเป็นไปตาม Maximum Power Point ต่างๆ

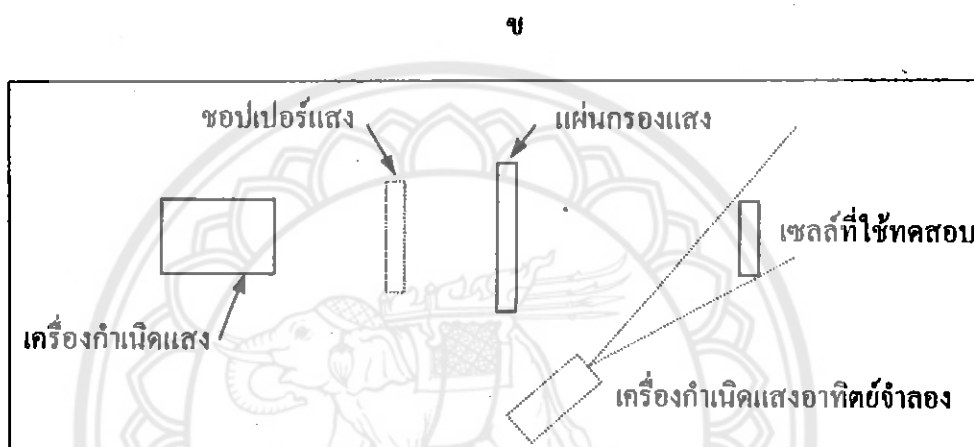


14946297

ร.ร.

ร 3910

2551



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบในการทดสอบเซลล์และการทดสอบ

(ก) ส่วนประกอบสำหรับทดสอบแผงเซลล์

(ข) การทดสอบการตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับเซลล์ที่มีการตอบสนองเชิงสเปกตรัมแบบไม่เป็นเชิงเส้น

การทดสอบเพื่อหาคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 3.1 (ก) วงจรไฟฟ้าประกอบด้วย โวลต์มิเตอร์และแอมป์ต่อเข้ากับเซลล์ โดยต่อมิเตอร์ทั้งสองแยกกันเพื่อลดความต้านทานอนุกรมที่เกิดจากสายไฟ และความต้านทานของผิวสัมผัสที่จุดต่อ เซลล์จะถูกติดตั้งอยู่บนแท่งควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าคงที่เท่ากับ 30°C ความเข้มของหลอดไฟจะถูกปรับให้มีความเข้มเหมือนค่าที่วัดด้วยเซลล์อ้างอิง จากนั้นหาคุณลักษณะของแผงเซลล์โดยปรับค่าความต้านทานของโหลดไฟฟ้า แล้ววัดคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์ที่จุดต่างๆ

การหาการตอบสนองเชิงสเปกตรัมของเซลล์ที่ทดสอบ ทำโดยนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับโดยตรงกับเอาท์พุทของเซลล์ที่มีการปรับเทียบค่าตอบสนองเชิงสเปกตรัมมาแล้ว เทคนิคที่ทำให้แสงกลายเป็นแสงสีเดียวคือ การใช้หลอดไฟที่มีแสงสีเดียว หรือใช้แผ่นกรองแสงสีขาวกรองแสง

คังแสดงในรูปที่ 3.1 (ข) โดยสรุปแล้วกระบวนการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะทำต่อไปนี้จะ
เป็นไปตามหัวข้อต่อไป

3.3 กระบวนการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

เครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย

1. เซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง สำหรับตรวจวัดและตรวจแก้ความเข้มแสงของหลอดไฟให้
เป็นไปตามข้อกำหนดของการทดสอบ

2. แหล่งกำเนิดแสงของเครื่องกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม ได้แก่ หลอดซีนอนอาร์กแบบสั้น
หรือแบบยาว หรือหลอดทั้งสแตนท์ที่มีการกรองแสงแบบโคโรนิก หรือหลอดใส (หลอดกลม)

3. ส่วนแสดงผลของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง ค่าเอาท์พุทของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงถูก
ตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดที่เป็นไปตามข้อกำหนดของการทดสอบ

4. การตรวจสอบและควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าคงตัวอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบ
และเซลล์อ้างอิงจะถูกตรวจสอบและควบคุมอุณหภูมิห้องเท่ากับ $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$

5. การยึดเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดสอบ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกทดสอบจะติดตั้งใน
กล่องทดสอบ

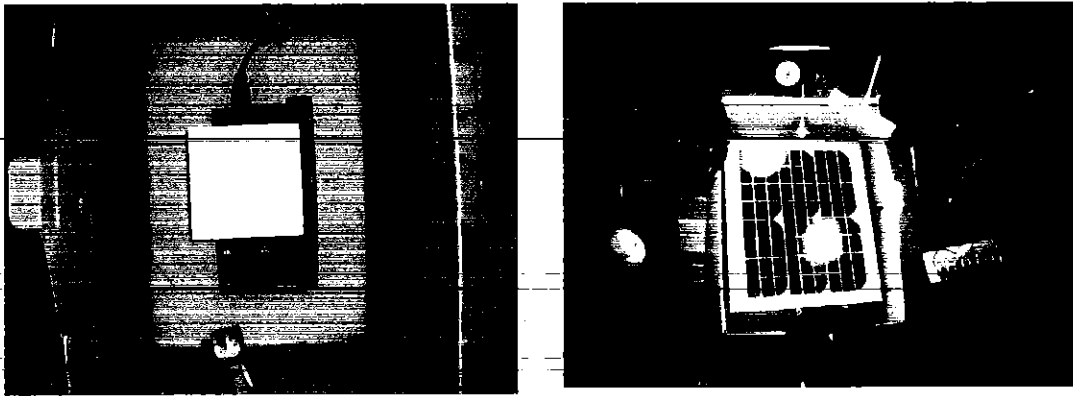
6. ทดลองวัดค่าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบ เพื่อให้หาสมรรถนะของเซลล์หรืออาเรย์
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบ

3.3.1 การทดสอบหาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่างกัน

1. เตรียมเซลล์แสงอาทิตย์โดยทำการต่อเป็นวงจรคังรูป 3.1 (ก) โดยที่มีความต้านทาน
(R) ต่ออยู่ในวงจรคังตั้งแต่ $0\ \Omega$ ถึง $1\ \text{M}\Omega$ พร้อมกับค้อยๆ ปรับค่า (R) ลดลง และควบคุม
อุณหภูมิโดยทำการนำเซลล์แสงอาทิตย์ใส่ลงไปในกล่องที่มี Hotplate เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิสา
มารควบคุมอุณหภูมิได้สูงถึง $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดย Hotplate นี้จะวางอยู่ใต้เซลล์แสงอาทิตย์ คังรูป 3.2

2. ทดสอบหาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $45\text{ }^{\circ}\text{C}$
และ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่ความเข้มแสงจากหลอดไฟ 4 ดวง, 3 ดวง, 2 ดวง และ 1 ดวง โดยที่ระยะการปิด
เปิดหลอดไฟให้กระทบกับเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าคังที่ตลอดการทดลองทุกๆ การทดลอง

3. นำผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$,
 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ หาความสัมพันธ์ของกระแสและแรงคังไฟฟ้าที่ Open circuit และ Short
circuit

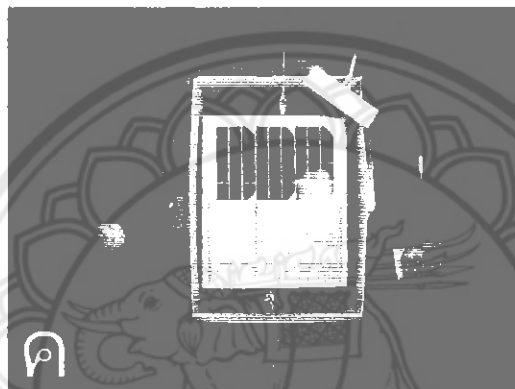
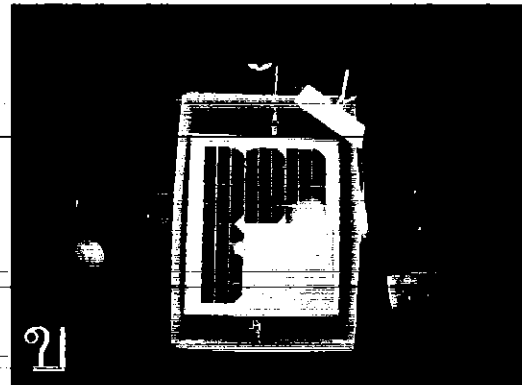
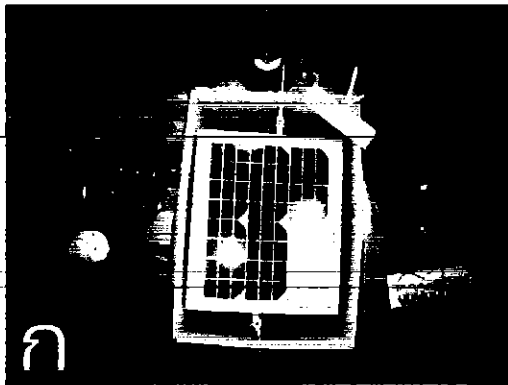


รูปที่ 3.2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

3.3.2 การทดสอบหาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่เซลล์ถูกบังแสงที่อุณหภูมิห้อง

1. เตรียมเซลล์แสงอาทิตย์โดยทำการต่อเป็นวงจรดังรูป 3.1 (ก) โดยที่มีความต้านทาน (RI) ต่ออยู่ในวงจรตั้งแต่ 0Ω ถึง $1 \text{ M}\Omega$ พร้อมกับค่อยๆ ปรับค่า (RI) ลดลง ณ อุณหภูมิ
2. ทำการบังเซลล์แสงอาทิตย์โดยการใช้กระดาษทึบแสงบังเซลล์ในแต่ละส่วนในการทดลองนี้จะแบ่งเซลล์ออกเป็น 4 ส่วน และทำการบังแสง 3 ส่วน ดังรูป 3.3
3. ควบคุมความเข้มแสงโดยการปิด - เปิด หลอดไฟ 4 ดวง , 3 ดวง , 2 ดวง และ 1 ดวง
4. นำผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่เซลล์ถูกบังแสงที่อุณหภูมิห้อง หากความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ Open circuit และ Short circuit

****หมายเหตุ :** ในการทดลองนี้จะกำหนดอุณหภูมิห้องที่ $30 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากในขณะนี้ประเทศไทยมีอากาศร้อนเกินจึงไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิห้องให้เท่ากับ $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ได้



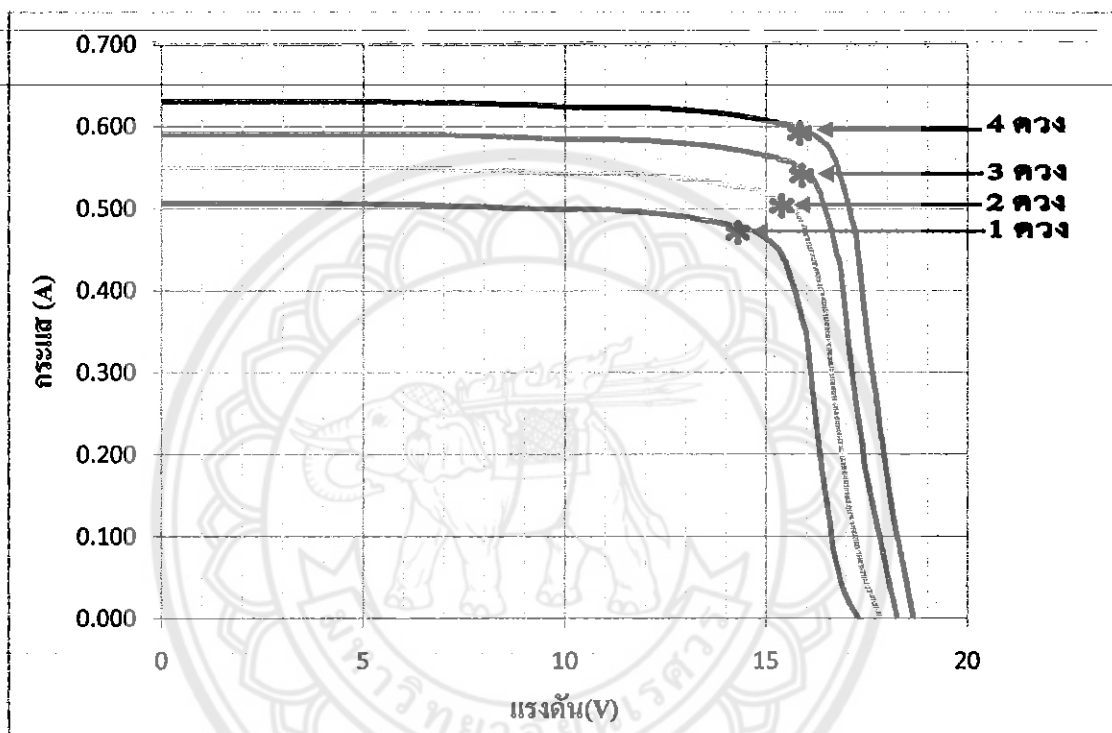
รูปที่ 3.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพเชลล์แสงอาทิตย์ที่เชลล์ถูกบังแสงที่อุณหภูมิห้อง
 (ก) เชลล์ถูกบังแสง 1 ส่วน, (ข) เชลล์ถูกบังแสง 2 ส่วน และ
 (ค) เชลล์ถูกบังแสง 3 ส่วน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่างกัน

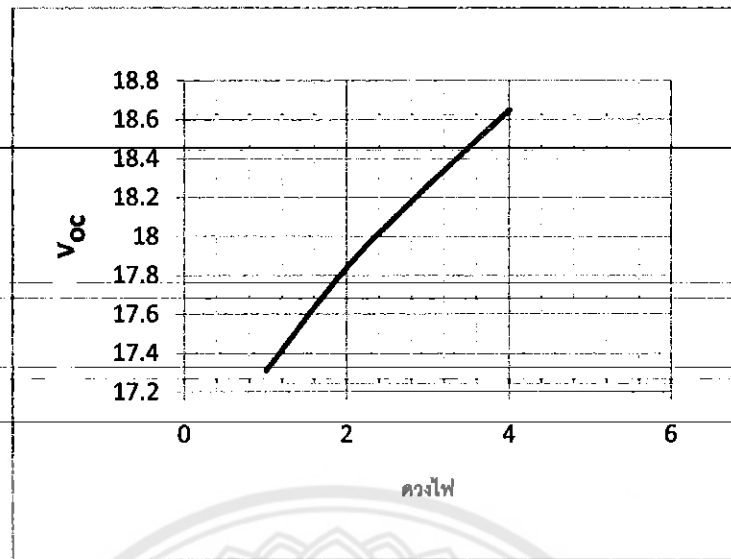
จากข้อมูลในตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ในภาคผนวก (ข)



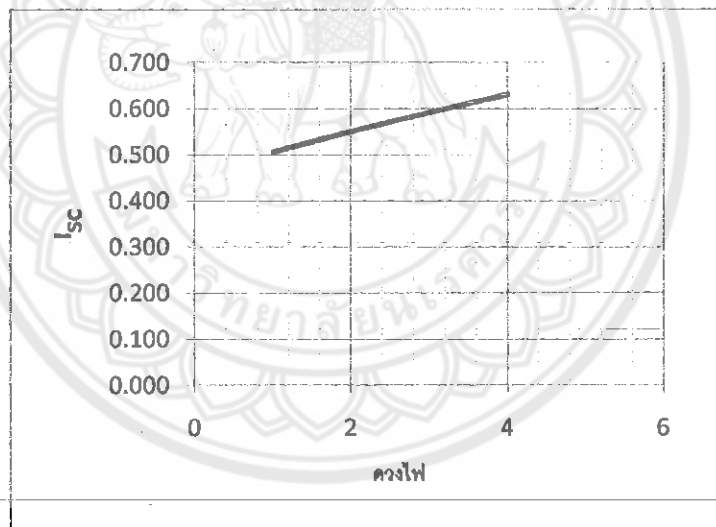
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้า ที่ความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิ 30 °C

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพ ณ อุณหภูมิ 30 °C ที่ความเข้มแสงต่างๆ มาสร้างกราฟเปรียบเทียบกัน พบว่าความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด คือมีค่า maximum power point สูงสุด และยังทำให้ค่า I_{max} , V_{max} สูงตามไปด้วย เมื่อมีการปรับความเข้มแสงลดลงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงจนถึงค่าต่ำสุดที่ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง และที่ maximum power point ของแต่ละจุดจะมีค่า V_{oc} และ I_{sc} ค่อยๆ ลดลงตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3

*หมายเหตุ * คือ ค่า Pmax ของแต่ละความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 30 °C

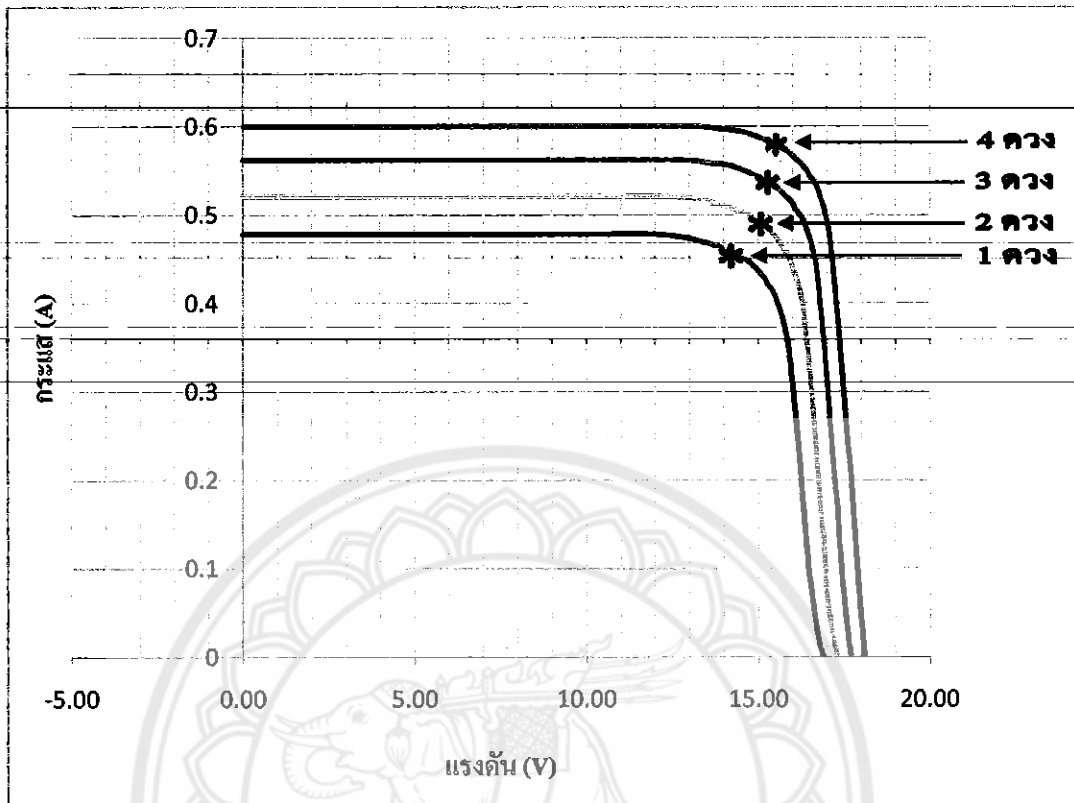


รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{oc} กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 30 °C



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_{sc} กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 30 °C

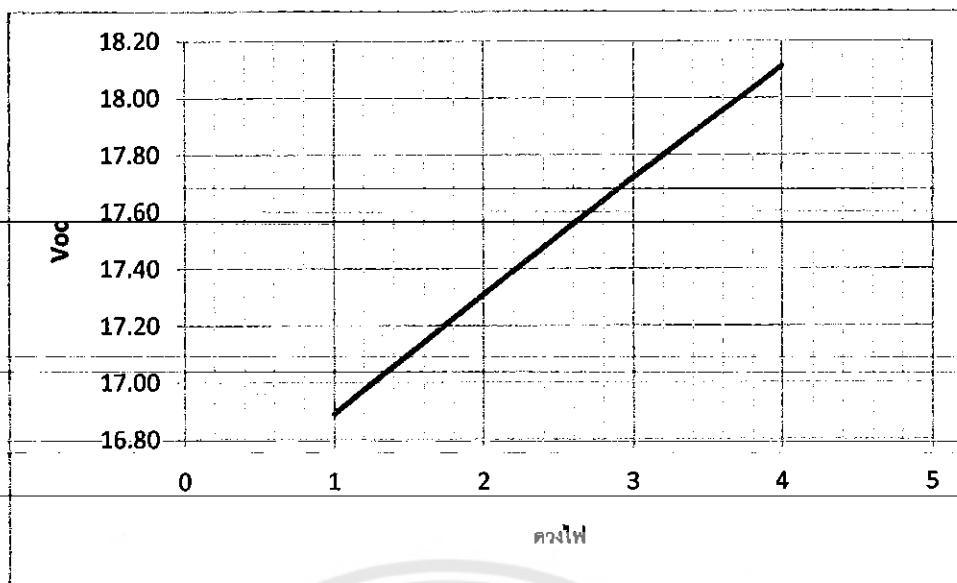
จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 , 4.6 , 4.7 และ 4.8 ในภาคผนวก (ข)



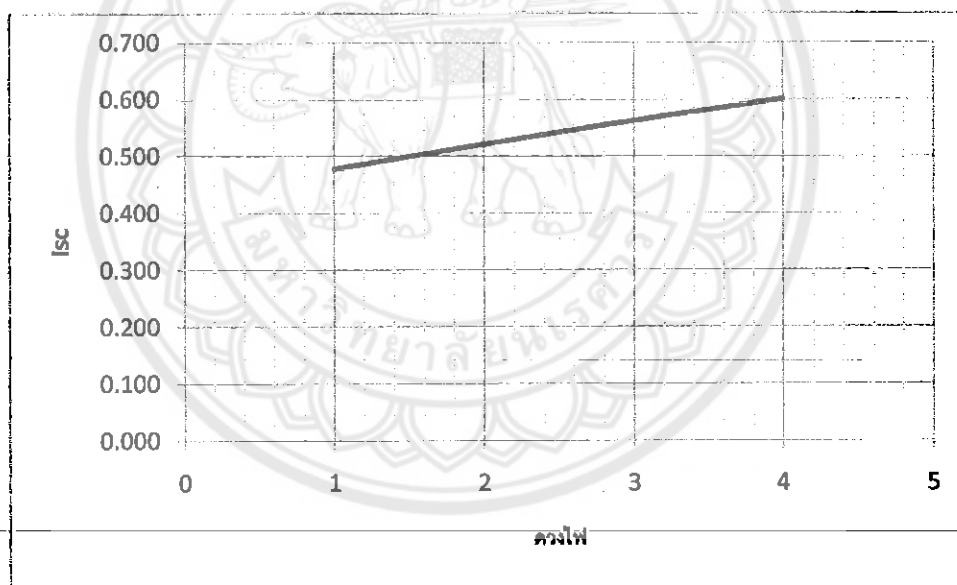
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้า ที่ความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิ 35 °C

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพ ณ อุณหภูมิ 35 °C ที่ความเข้มแสงต่างๆ มาสร้างกราฟเปรียบเทียบกัน พบว่าความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด คือมีค่า maximum power point สูงสุด และยังทำให้ค่า I_{max} , V_{max} สูงตามไปด้วย เมื่อมีการปรับความเข้มแสงลดลงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงจนถึงค่าต่ำสุดที่ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง และที่ maximum power point ของแต่ละจุดจะมีค่า V_{oc} และ I_{sc} ต่ำๆ ลดลงตามลำดับ ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

*หมายเหตุ * คือ ค่า P_{max} ของแต่ละความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 35 °C

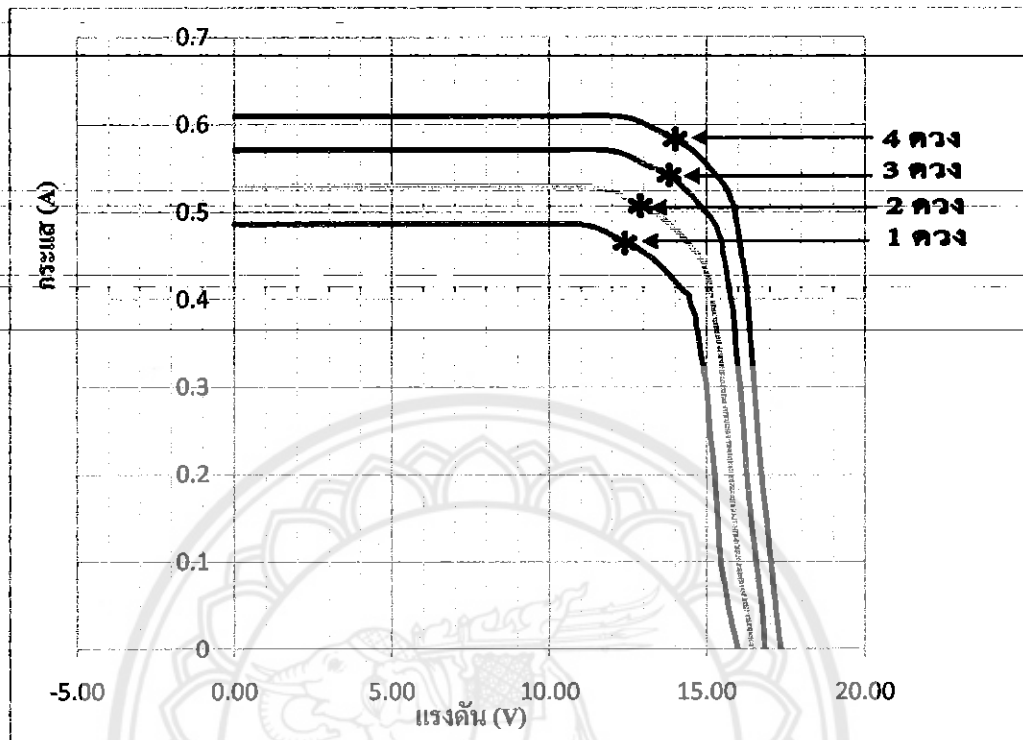


รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{oc} กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 35 °C



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_{sc} กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 35 °C

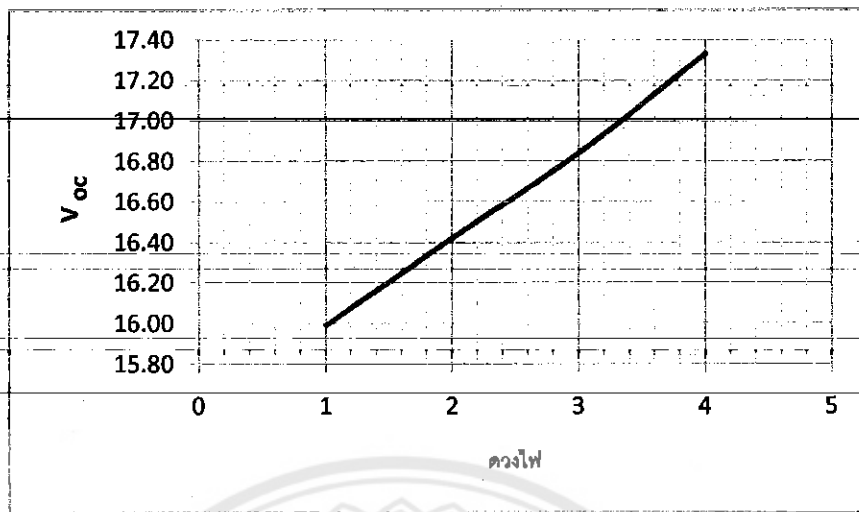
จากข้อมูลในตารางที่ 4.9, 4.10, 4.11 และ 4.12 ในภาคผนวก (ข)



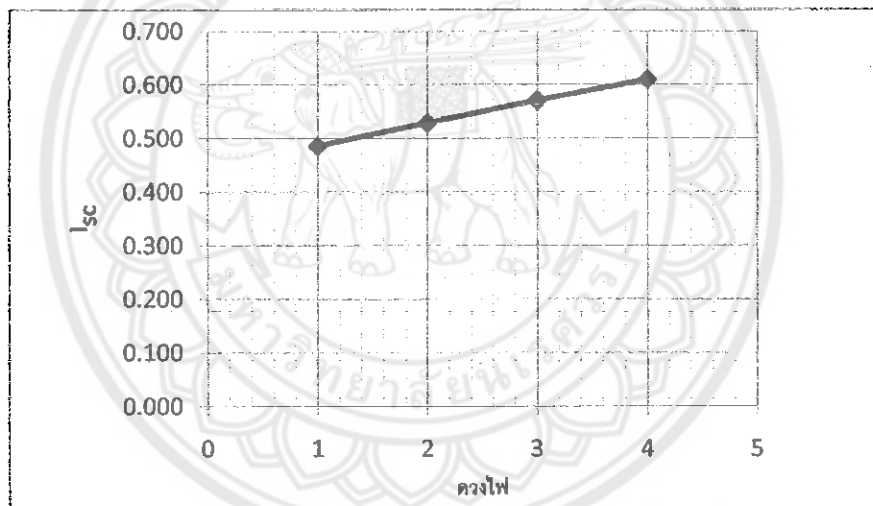
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้า ที่ความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิ 40 °C

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพ ณ อุณหภูมิ 40 °C ที่ความเข้มแสงต่างๆ มาสร้างกราฟเปรียบเทียบกัน พบว่าความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด คือมีค่า maximum power point สูงสุด และยังทำให้ค่า I_{max} , V_{max} สูงตามไปด้วย เมื่อมีการปรับความเข้มแสงลดลงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงจนถึงค่าต่ำสุดที่ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง และที่ maximum power point ของแต่ละจุดจะมีค่า V_{oc} และ I_{sc} ต่ำๆ ลดลงตามลำดับ ดังรูปที่ 4.8 และ 4.9

*หมายเหตุ * คือ ค่า P_{max} ของแต่ละความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 40 °C

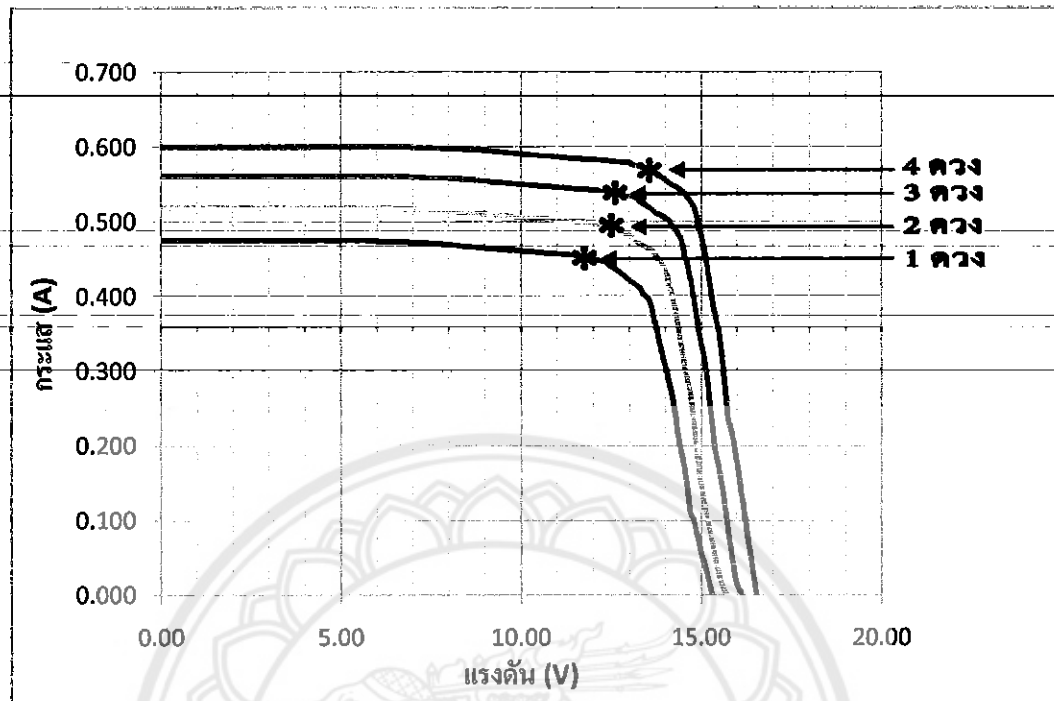


รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{oc} กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_{sc} กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$

จากข้อมูลในตารางที่ 4.13, 4.14, 4.15 และ 4.16 ในภาคผนวก (ข)

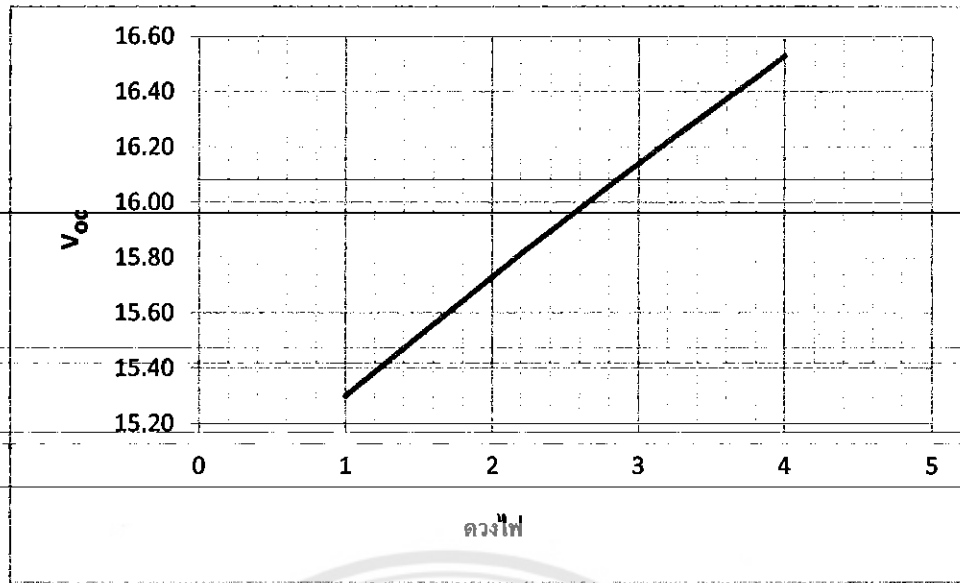


รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้า ที่ความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิ 45 °C

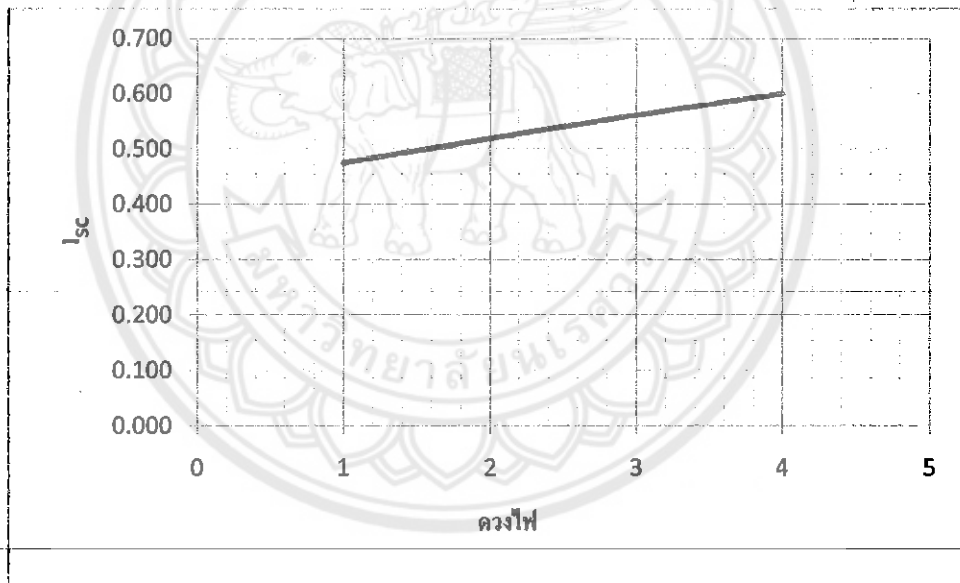
เมื่อนำค่าประสิทธิภาพ ณ อุณหภูมิ 45 °C ที่ความเข้มแสงต่างๆ มาสร้างกราฟเปรียบเทียบกัน พบว่าความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด คือมีค่า maximum power point สูงสุด และยังทำให้ค่า I_{max} , V_{max} สูงตามไปด้วย เมื่อมีการปรับความเข้มแสงลดลงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงจนถึงค่าต่ำสุดที่ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง และที่ maximum power point ของแต่ละจุดจะมีค่า V_{oc} และ

I_{sc} ต่ำๆ ลดลงตามลำดับ ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12

*หมายเหตุ * คือ ค่า P_{max} ของแต่ละความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 45 °C

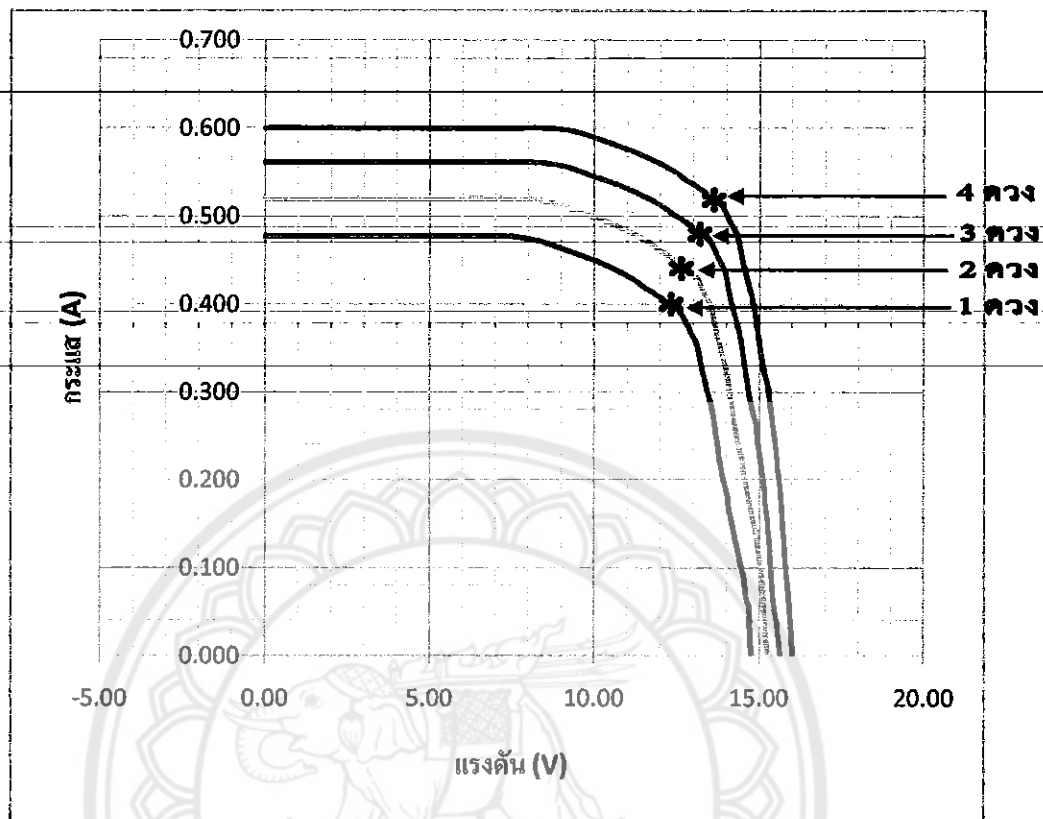


รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{oc} กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 45 °C



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_{sc} กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 45 °C

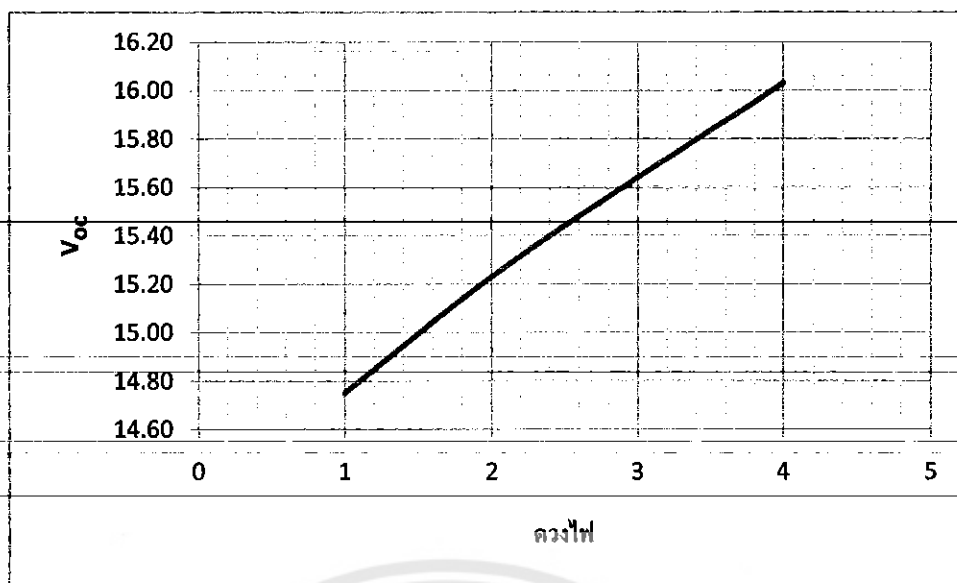
จากข้อมูลในตารางที่ 4.17, 4.18, 4.19 และ 4.20 ในภาคผนวก (ข)



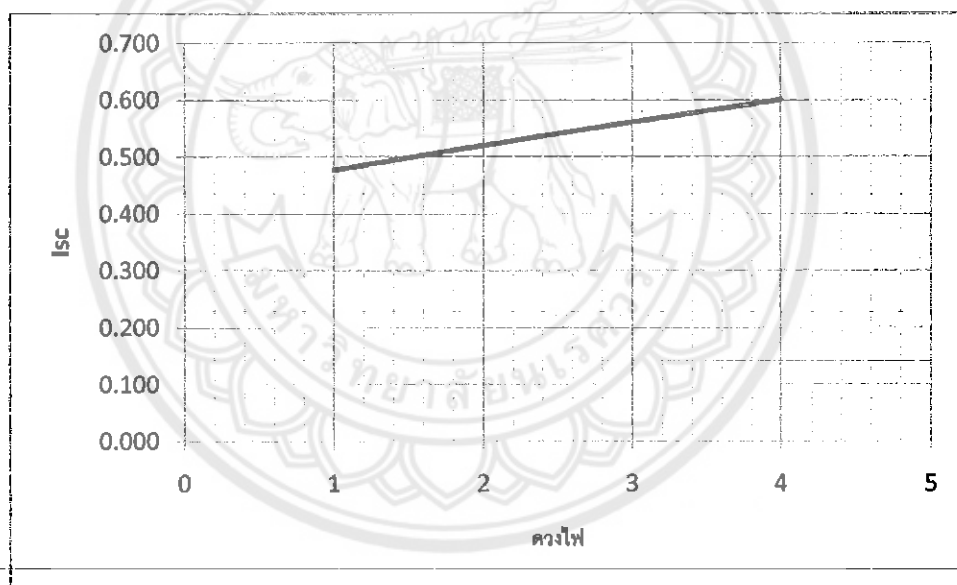
รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้า ที่ความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิ 50 °C

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพ ณ อุณหภูมิ 50 °C ที่ความเข้มแสงต่างๆ มาสร้างกราฟเปรียบเทียบกัน พบว่าความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด คือมีค่า maximum power point สูงสุด และยังทำให้ค่า I_{max} , V_{max} สูงตามไปด้วย เมื่อมีการปรับความเข้มแสงลดลงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงจนถึงค่าต่ำสุดที่ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง และที่ maximum power point ของแต่ละจุดจะมีค่า V_{oc} และ I_{sc} ค่อยๆ ลดลงตามลำดับ ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15

*หมายเหตุ * คือ ค่า P_{max} ของแต่ละความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ 50 °C



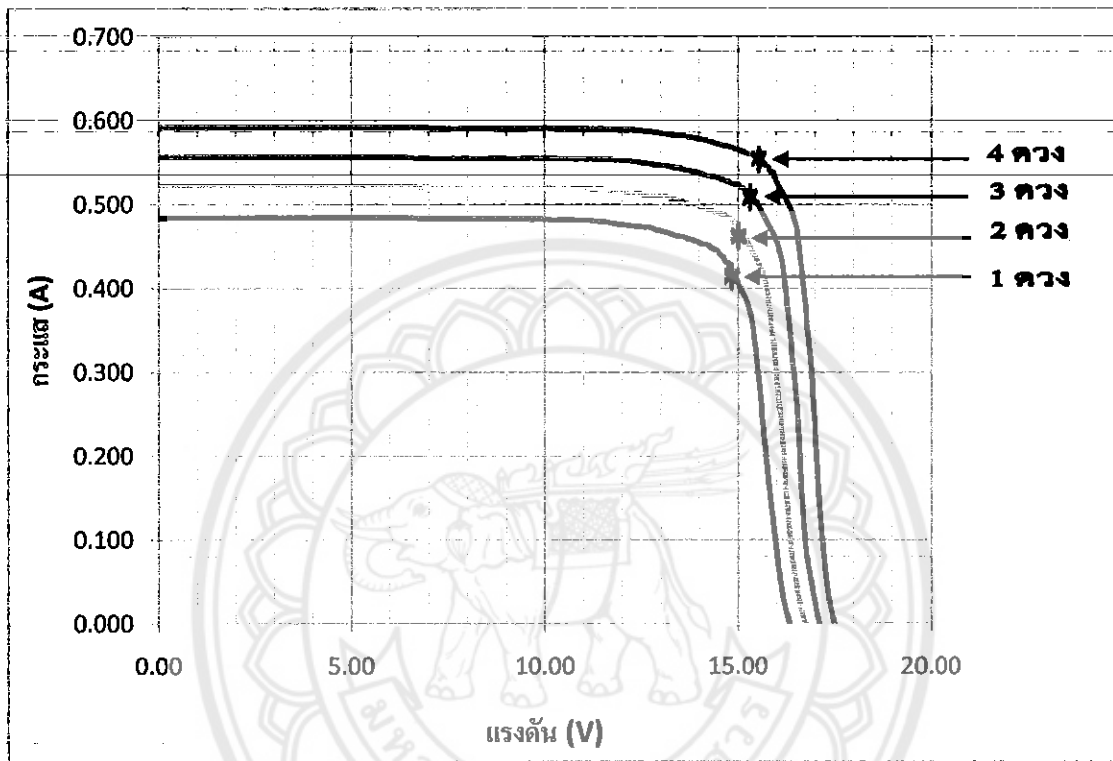
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{oc} กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_{sc} กับความเข้มแสง ที่อุณหภูมิ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$

4.2 ผลจากการทดสอบหาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่เซลล์ถูกบังแสง
ที่อุณหภูมิห้อง

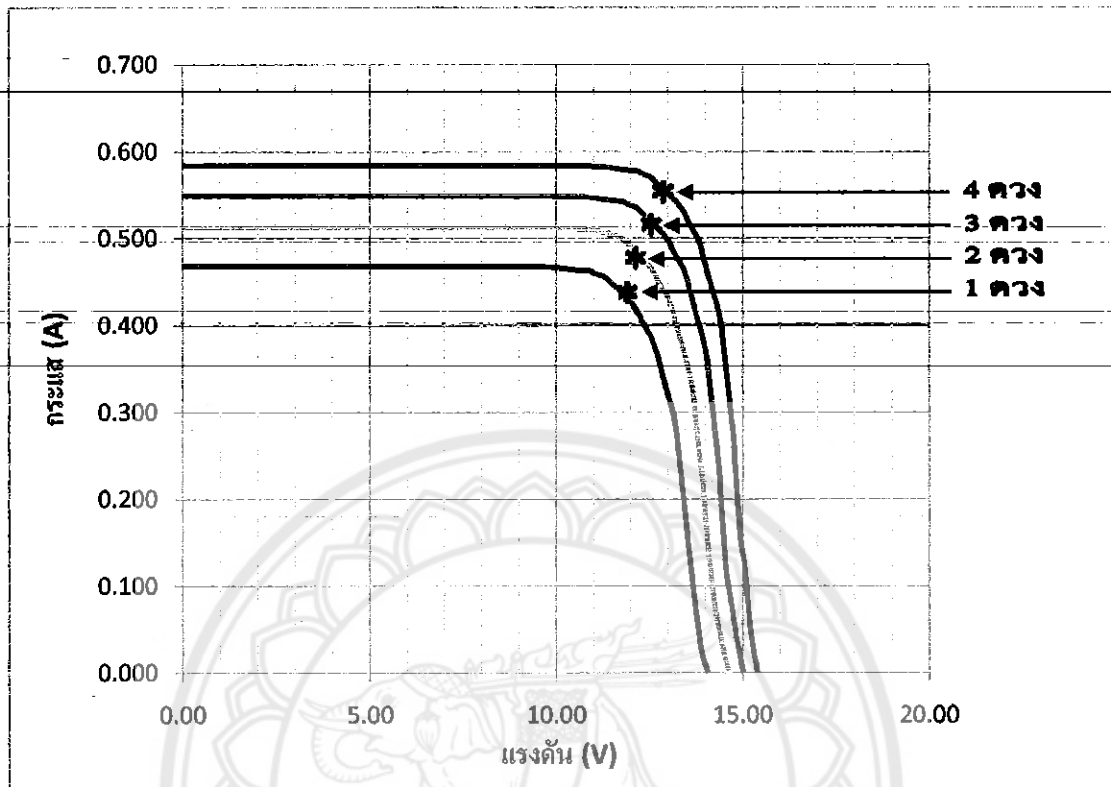
จากข้อมูลในตารางที่ 4.21, 4.22, 4.23 และ 4.24 ในภาคผนวก (ข)



รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์ถูกบังแสง 1 ส่วน
และความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิห้อง

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เซลล์ถูกบังแสง 1 ส่วน และความเข้มแสง
ต่างกัน ณ อุณหภูมิห้อง มาสร้างกราฟเปรียบเทียบ พบว่าความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ควาง เซลล์
แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดมีค่า P_{max} มากสุด และจุดนั้นทำให้ทราบว่ามีค่า
 V_{max} , I_{max} มีค่าสูงด้วยเช่นกัน และประสิทธิภาพของเซลล์จะลดลงตามค่าความเข้มของแสง
สว่าง

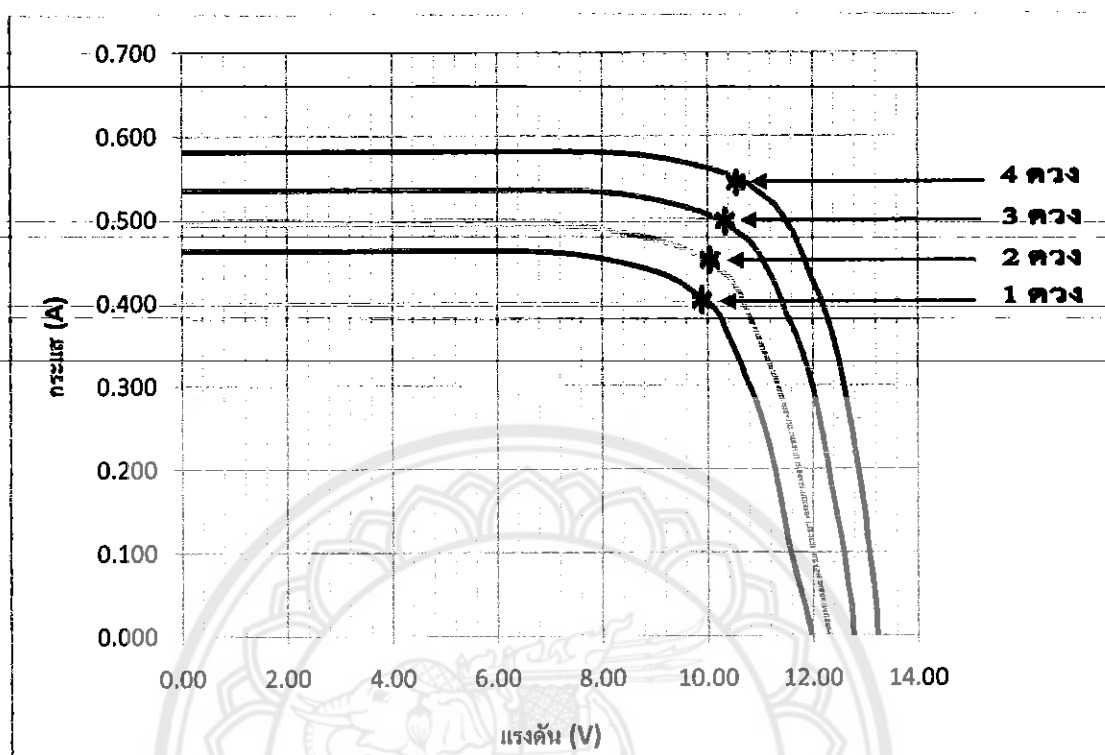
จากข้อมูลในตารางที่ 4.25 , 4.26 , 4.27 และ 4.28 ในภาคผนวก (จ)



รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์ถูกบังแสง 2 ส่วน และความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิห้อง

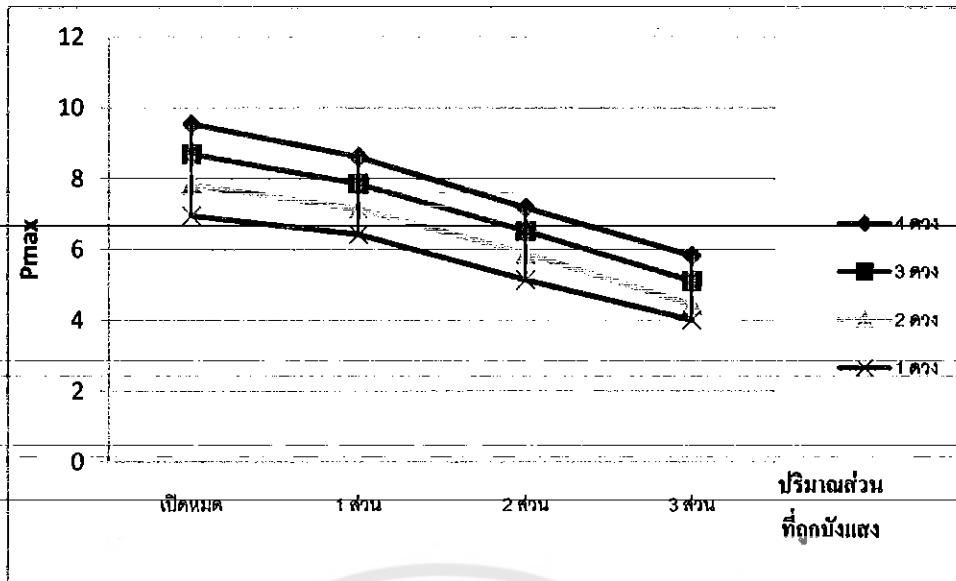
เมื่อนำค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เซลล์ถูกบังแสง 2 ส่วน และความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิห้อง มาสร้างกราฟเปรียบเทียบ พบว่าความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดมีค่า P_{max} มากสุด และจุดนั้นทำให้ทราบว่ามีค่า V_{max} , I_{max} มีค่าสูงด้วยเช่นกัน และประสิทธิภาพของเซลล์จะลดลงตามค่าความเข้มของแสงสว่าง

จากข้อมูลในตารางที่ 4.29, 4.30, 4.31 และ 4.32 ในภาคผนวก (ข)

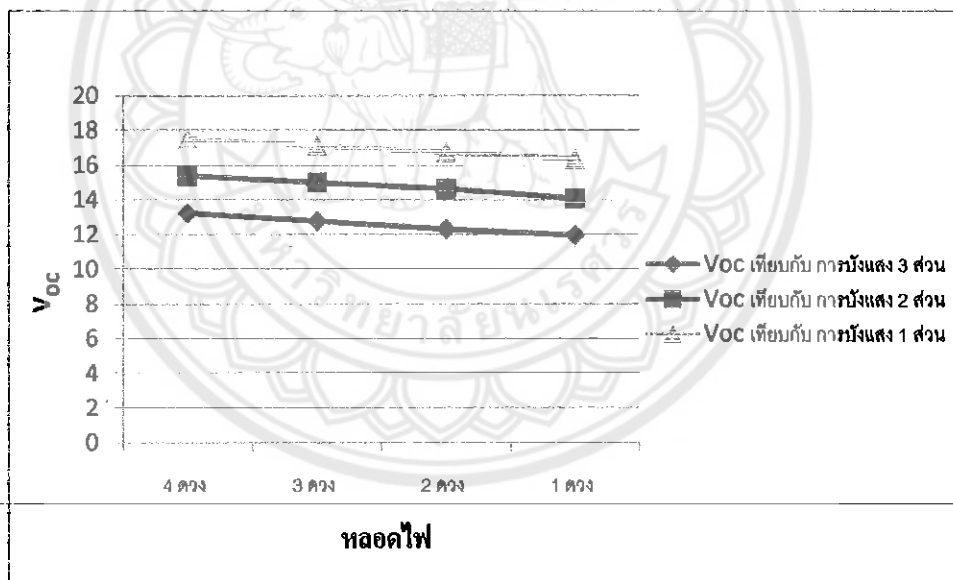


รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์ถูกบังแสง 3 ส่วน และความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิห้อง

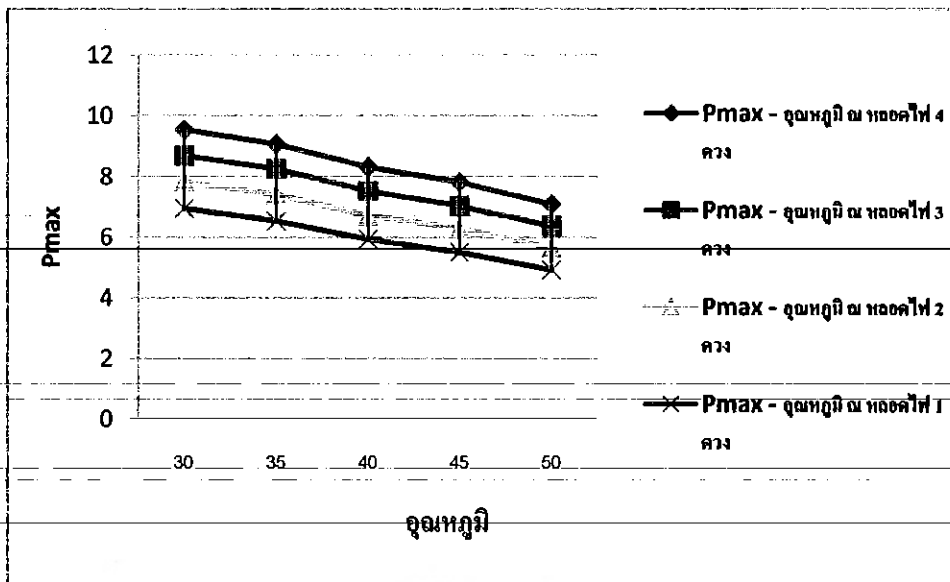
นำค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เซลล์ถูกบังแสง 3 ส่วน และความเข้มแสงต่างกัน ณ อุณหภูมิห้อง มาสร้างกราฟเปรียบเทียบ พบว่าความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการทำงานดีที่สุดในเมื่อพิจารณารูปที่ 4.19 พบว่าค่า P_{max} ที่ความเข้มแสงของแต่ละหลอดจะลดลงกันตามลำดับ เนื่องจากปริมาณของแสงที่ถูกเซลล์นั้นลดลงทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามปริมาณส่วนของเซลล์ที่ถูกบังแสง และทำให้ V_{oc} และ I_{sc} มีค่าลดลงตามความเข้มแสง



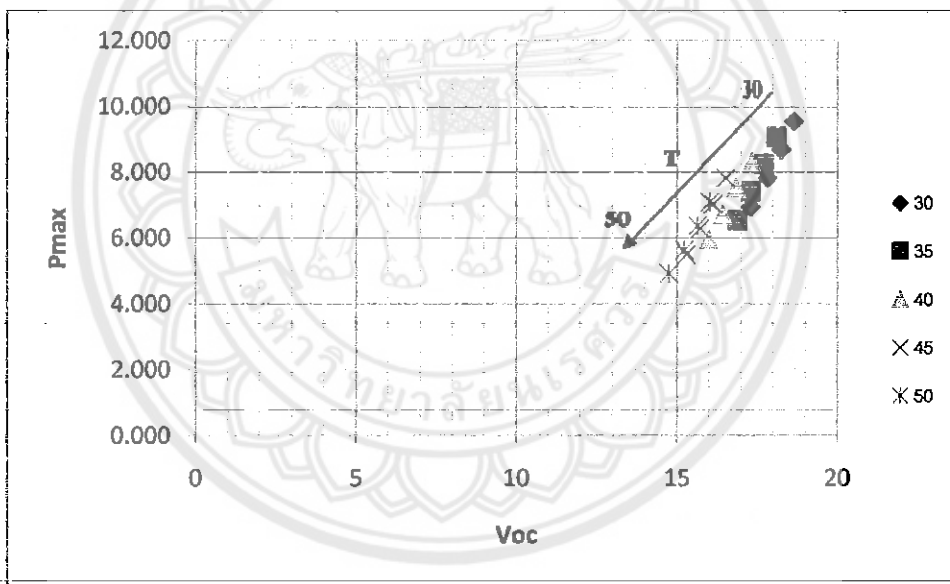
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า P_{max} กับ ปริมาณส่วนของเซลล์ที่ถูกบังแสง ณ อุณหภูมิห้อง ที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน



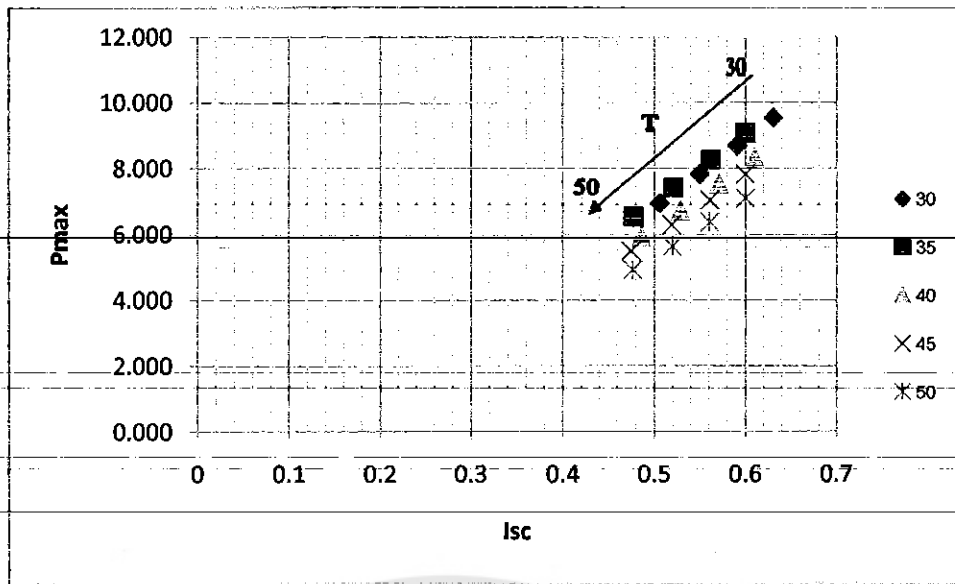
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง V_{oc} กับปริมาณส่วนของเซลล์ที่ถูกบังแสง



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง P_{max} กับอุณหภูมิ

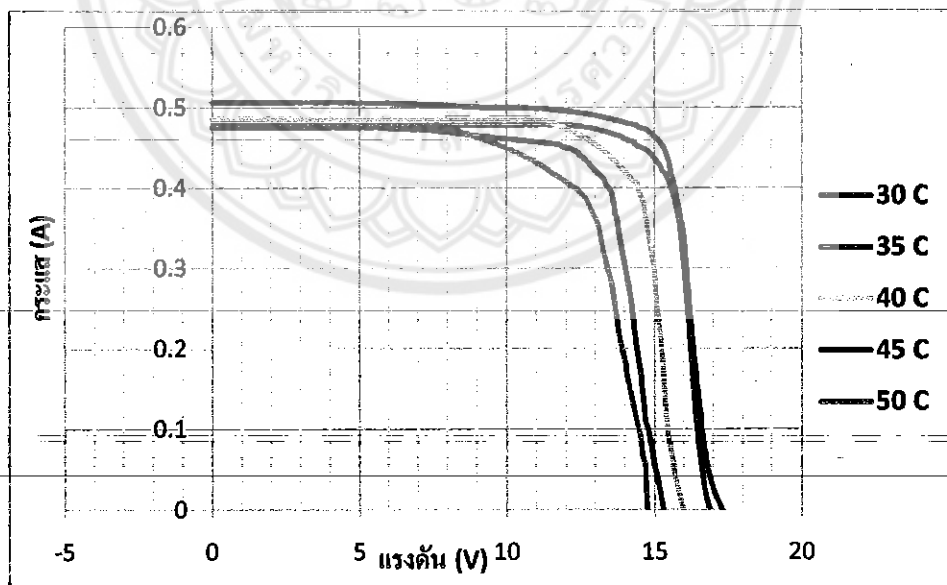


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง P_{max} และ V_{oc}

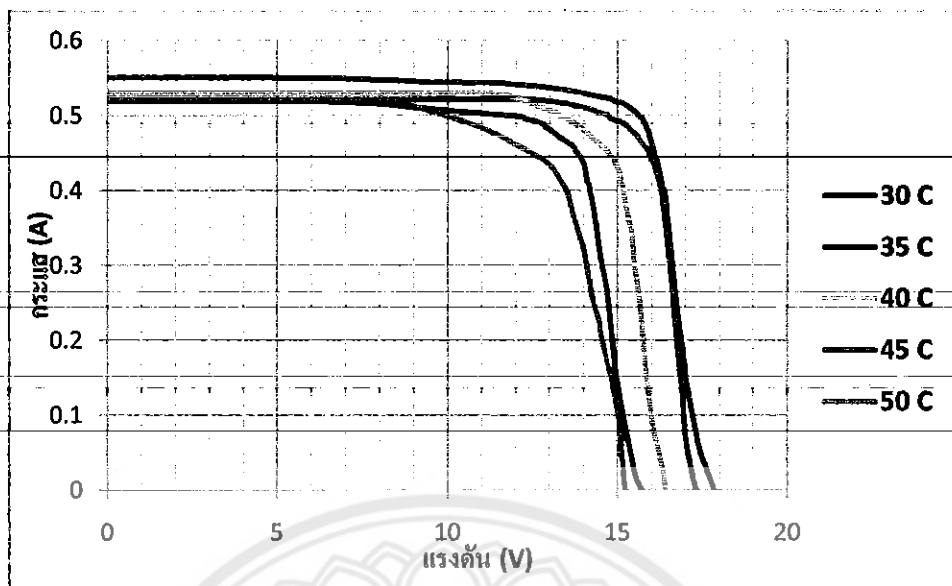


รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง P_{max} และ I_{sc}

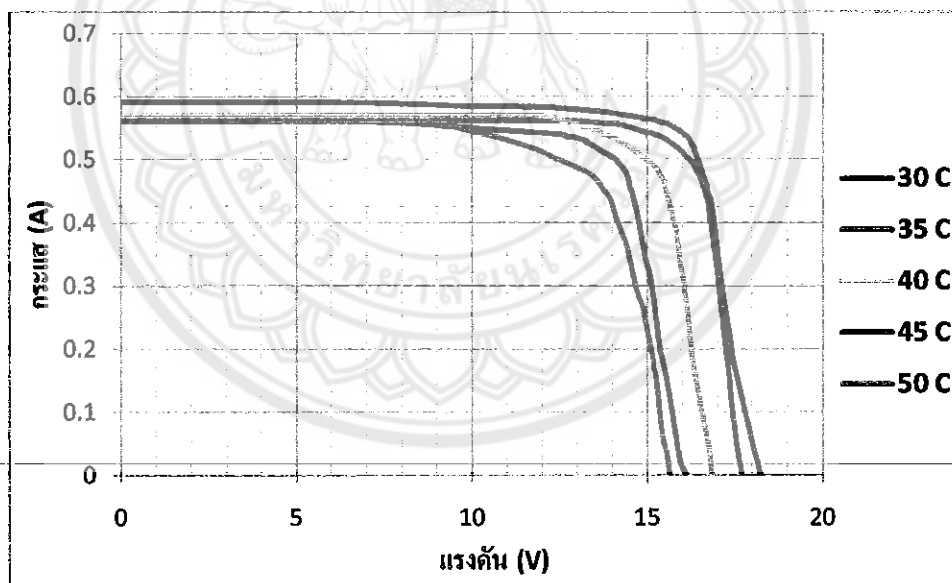
แต่เมื่อนำค่าประสิทธิภาพในการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์มาสร้างกราฟเปรียบเทียบกันที่อุณหภูมิต่างกันแต่ความเข้มแสงคงที่ พบว่าที่อุณหภูมิห้องเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพในการทำงานดีที่สุด จะมีค่า P_{max} มากที่สุดที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 30°C และจะได้ค่า V_{max} และค่า I_{max} มีค่าสูงตามเช่นกันดังรูปที่ได้แสดงต่อไปนี้



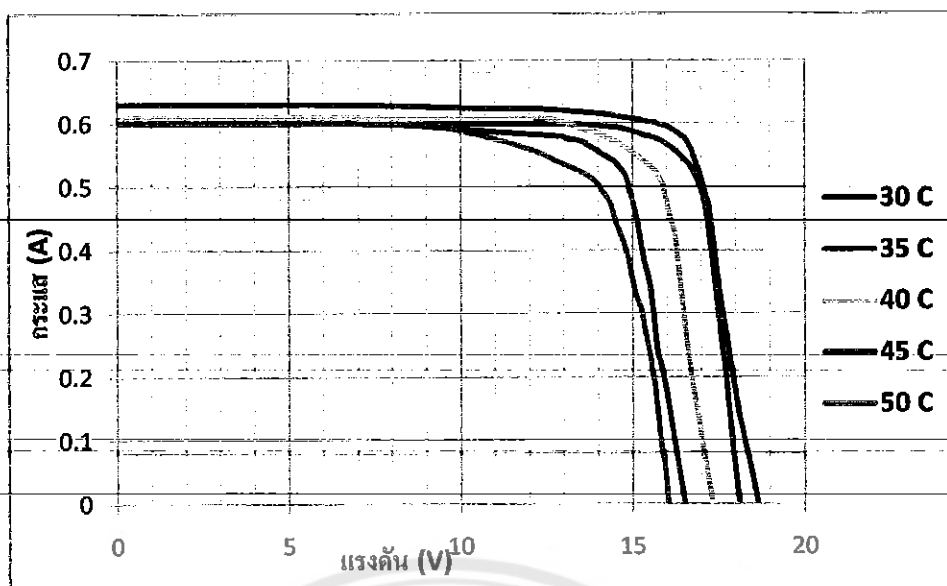
รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า - แรงดันไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงคงที่ที่หลอดไฟ 1 ดวง ณ อุณหภูมิต่างกัน



รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า – แรงดันไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงคงที่ที่หลอดไฟ 2 ดวง อุณหภูมิต่างกัน



รูปที่ 4.26 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า – แรงดันไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงคงที่ที่หลอดไฟ 3 ดวง อุณหภูมิต่างกัน



รูปที่ 4.27 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงคงที่ที่หลอดไฟ 4 ดวง ณ อุณหภูมิต่างกัน

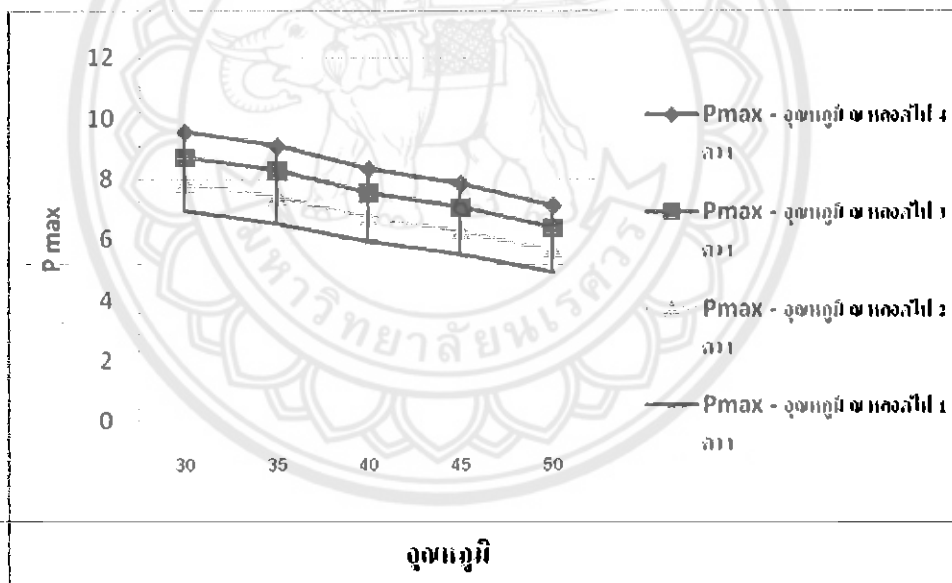


บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

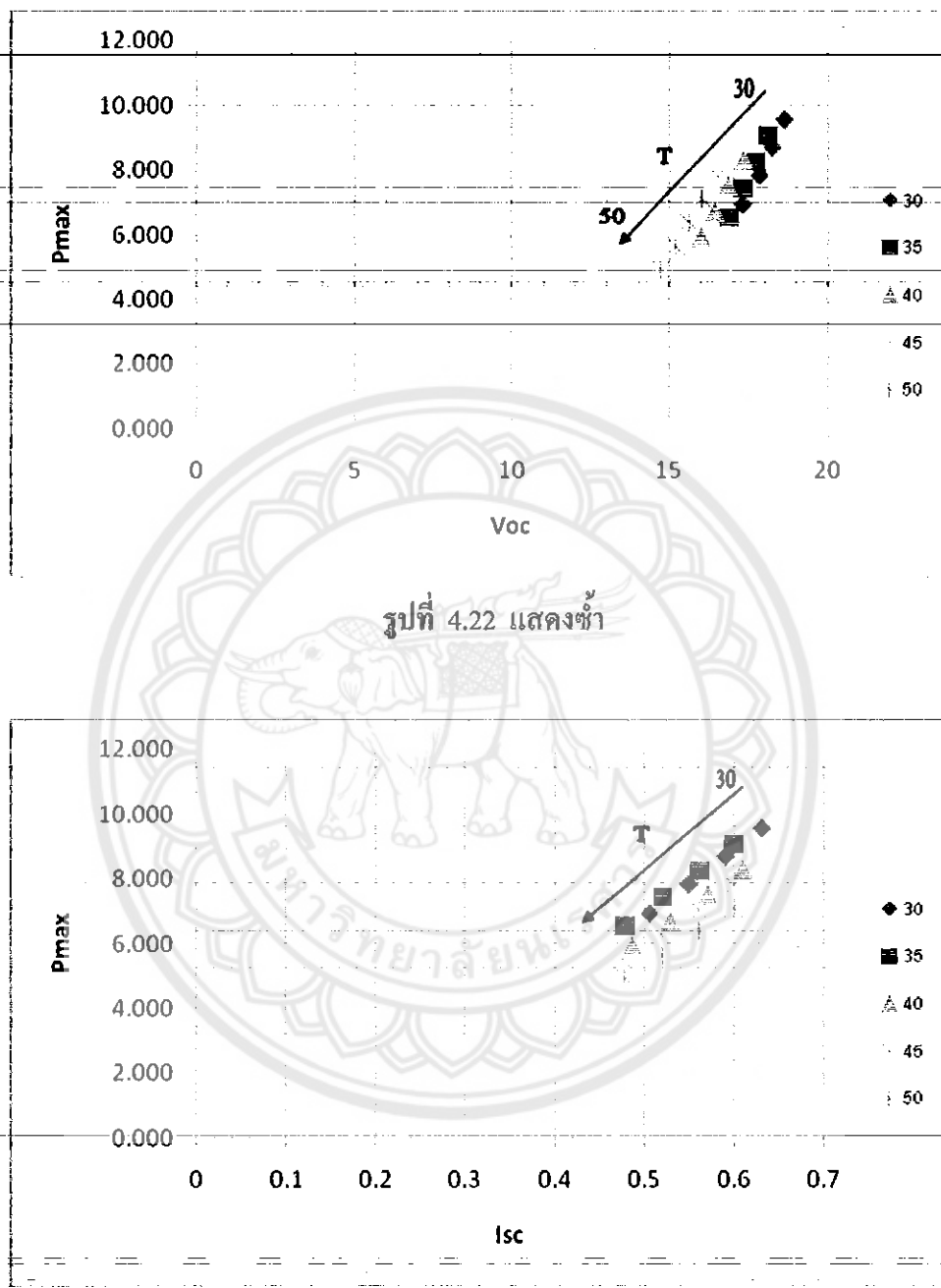
จากการทดลองหาประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์รุ่น Suntech – stp06 ซึ่งคุณลักษณะที่แท้จริงของแผงโซลาร์เซลล์นี้มีค่าอยู่ที่ 10 W , 17 V , 0.58 A (คู่มือแผงโซลาร์เซลล์) จากการทดลองทำให้เรารู้ว่ายิ่งมีการควบคุมในการทดลองให้อุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิห้อง จะได้ประสิทธิภาพของการทำงานของโซลาร์เซลล์ลดลง และในขณะที่อุณหภูมิห้อง 30 °C แผงโซลาร์เซลล์จะสามารถวัดค่าแรงดัน กระแส และค่ากำลังงานออกมาใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.21 จากกราฟที่จุด Pmax จะทำให้ทราบว่าจุดนั้นๆ ก็จะมีค่า Vmax และ Imax มีค่าสูงไปตามกัน จากสูตร $P_{(max)} = V_{(max)}I_{(max)}$ ซึ่งที่ค่า $V_{(max)}$ และ $I_{(max)}$ มีค่าลดลงค่า $P_{(max)}$ ก็ จะลดลงตามเช่นกัน



รูปที่ 4:21 แสดงซ้ำ

ในขณะที่มีการควบคุมความเข้มแสงคงที่ที่หลอดไฟ 4 ดวง และจากการทดลองยังให้ทราบว่า เมื่อแผงโซลาร์เซลล์ยิ่งได้รับความเข้มแสงหรือความสว่างของหลอดไฟก็จะทำให้แผงโซลาร์เซลล์รุ่น Suntech – stp06 สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการที่จะทำให้แผงโซลาร์เซลล์รุ่น Suntech – stp06 ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพก็ควรจะมีการเพิ่มแสงสว่างให้กับแผงได้มากที่สุด แต่แผงก็จะมีประสิทธิภาพได้มากเท่าที่ตัวแผงกำหนดค่าประสิทธิภาพที่

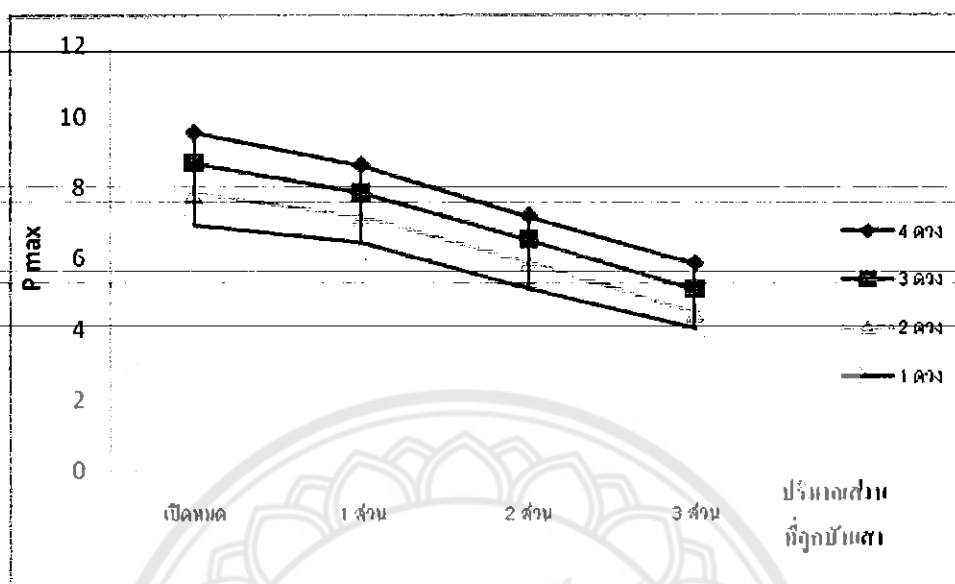
แท้จริงมาให้ ที่สำคัญจะต้องดูอุณหภูมิไปด้วยควบคู่กับการเพิ่มความเข้มแสงยังอุณหภูมิใกล้เคียงกับ 25 °C แผงก็จะทำงานได้เต็มประสิทธิภาพมาก



รูปที่ 4.23 แสดงซ้ำ

จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 ทำให้ทราบว่าเมื่อนำค่า P_{max} , V_{oc} และ I_{sc} มาเปรียบเทียบกันทำให้สามารถรู้ว่าเมื่อค่า I_{sc} และค่า V_{oc} มีค่าสูง ก็จะทำให้ค่า P_{max} มีค่าสูงด้วยเช่นกันซึ่งเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 50 °C ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าประสิทธิภาพ

ลดลงตามอุณหภูมิซึ่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าจะลดลงส่วนกระแสไฟฟ้าจะไม่ค่อยลดลงมากนักสังเกตได้จากจากเกาะกลุ่มของค่า P_{max}



รูปที่ 4.19 แสดงซ้ำ

จากรูปที่ 4.19 เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง P_{max} กับปริมาณส่วนของเซลล์ที่ถูกบังแสง ณ อุณหภูมิห้องที่ระดับความเข้มแสงต่างกันทำให้ทราบว่าที่มีการบังแสงให้เซลล์เป็นปริมาณมากขึ้น แสงโซลาร์เซลล์ก็จะทำงานได้ประสิทธิภาพน้อยลง และเมื่อไม่มีการบังแสงเลยแผงโซลาร์เซลล์จะทำงานได้ดียิ่งขึ้นในขณะที่ความเข้มแสง 4 คว แสงก็จะทำงานได้ดีเช่นกันเมื่อเทียบกับ 3 คว 2 คว และ 1 คว

ทำให้ทราบอีกว่ายิ่งมีการปรับค่าโหลด (RI) ลดลงค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นทำให้กระแสลดลง แรงดันเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อมีการปรับโหลด (RI) เพิ่มขึ้นค่าความต้านทานจะลดลงทำให้กระแสเพิ่มขึ้น แรงดันลดลง และเมื่อทำการวัดค่าประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ รุ่นนี้ออกมาค่าที่แรงดันมีค่ามากที่สุดในแต่ละอุณหภูมิ ทำให้เป็นวงจร Open circuit กระแสเป็น 0 ในทางตรงกันข้ามเมื่อเราทำการวัดค่ากระแสออกมาได้ค่ามากที่สุดหมายความว่า เป็นวงจร Short circuit แรงดันเป็น 0 และ ความต้านทาน เป็น 0 หรือโหลดไม่มีต่ออยู่กับวงจร

5.2 ประเมินผลและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองหาประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์รุ่น Suntech – stp06 เมื่อเทียบกับวัสดุประสงค์ได้ผลดังนี้

5.2.1 ทำให้ทราบว่าแผงโซลาร์เซลล์รุ่น Suntech – stp06 สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพที่อุณหภูมิ 30 °C หรืออุณหภูมิห้อง

5.2.2 แผงโซลาร์เซลล์รุ่น Suntech – stp06 สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้น หรือความสว่างของหลอดไฟเพิ่มมากขึ้น

5.2.3 สามารถนำไปประยุกต์ในการเลือกซื้ออุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ในชีวิตประจำวันได้

5.3 ปัญหาข้อเสนอนแนะและแนวทางแก้ไข

5.3.1 ปัญหาเกิดจากการการทำงานล่าช้า เนื่องจากกว่าจะควบคุมอุณหภูมิให้คงที่แต่ละอุณหภูมิต้องใช้เวลาในการควบคุมนานกว่าปกติ

5.3.2 ในการปรับค่าความต้านทานหรือการปรับเพิ่มลดค่าโหนดนั้น ความละเอียดของการใช้มือปรับตัวต้านทานไม่ละเอียดพอ

5.3.3 การควบคุมแสงสว่างนี้เมื่อมีการเปิดหลอดไฟจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีกจากการควบคุมอุณหภูมิแล้ว

5.3.4 ในการวัด ณ ตำแหน่งต่างๆ อุปกรณ์ในการยึดไม่แน่นพอค่าจึงออกมาคลาดเคลื่อน

5.3.5 ในการทดลองค่า (RI) ที่มีค่ามากเกินไปจึงทำให้วงจร Short Circuit และ Open Circuit เร็วเกินไป

5.3.6 อากาศ ณ ปัจจุบันนี้มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติทำให้ไม่สามารถวัดค่าอุณหภูมิห้องตามทฤษฎีได้

5.3.7 การปรับปรุงในอนาคตควรจะทำการทดลองที่มีการควบคุมอุณหภูมิห้องตามทฤษฎีได้

5.3.8 ตัวต้านทานควรจะใช้ที่สามารถป้อนค่าเข้าไปในวงจรได้โดยไม่ต้องคอยปรับด้วยมือ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. “เทคโนโลยีแสงอาทิตย์”. แก๊ซครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2530
- [2] สุชาติ แซ่ซื่อ, ผศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล. “แผงโซลาร์เซลล์ระบบติดตามดวงอาทิตย์”. รวมบทความวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, หน้า 1146-1151.
- [3] ธวัชชัย แนวโถ และคณะ. “แผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์”ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์. มหาวิทยาลัยนเรศวร 2545.
- [4] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ภาควิชาฟิสิกส์. เซลล์แสงอาทิตย์. [Online]. available : <http://www.rmutphysics.com/CHARUD/specialnews/6/semiconductor/index2.htm>
- [5] การไฟฟ้าแห่งประเทศไทย. เทคโนโลยีแสงอาทิตย์. [Online]. available : http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_pg4.htm

๔)

๕)

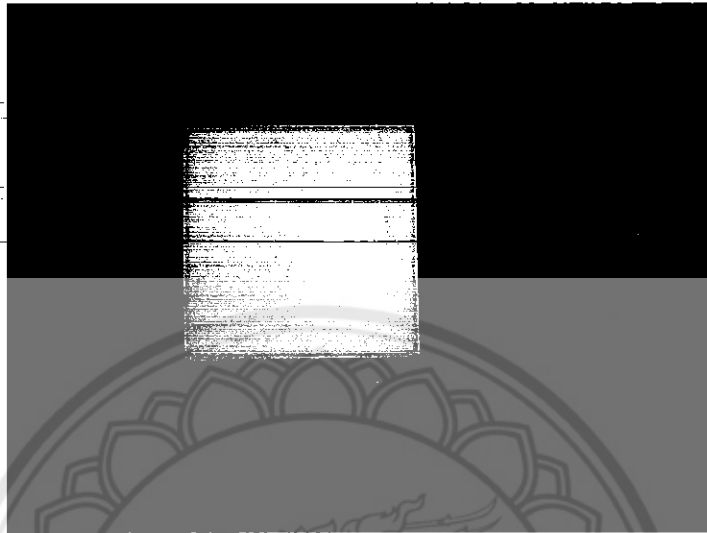
๖)

๗)

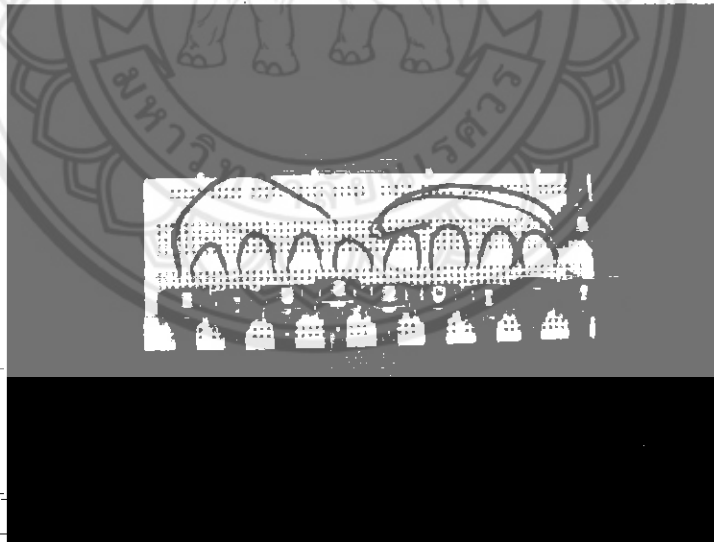


ภาคผนวก ก

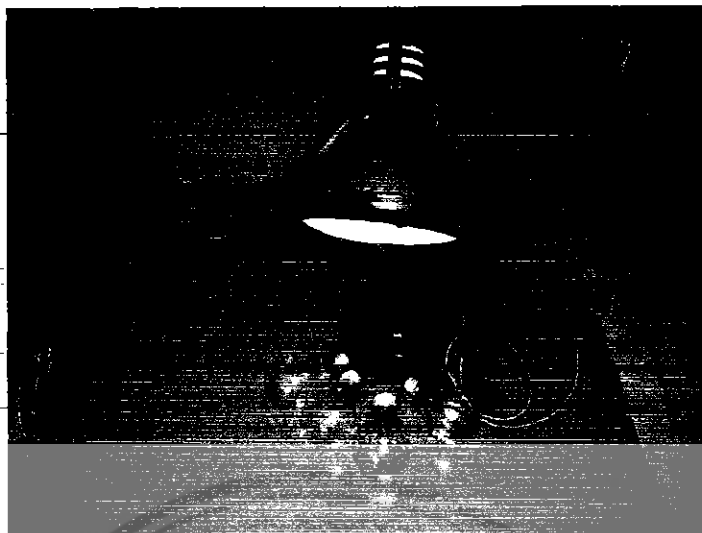
รูปวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์



รูป Hotplate ที่ใช้เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิในการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์



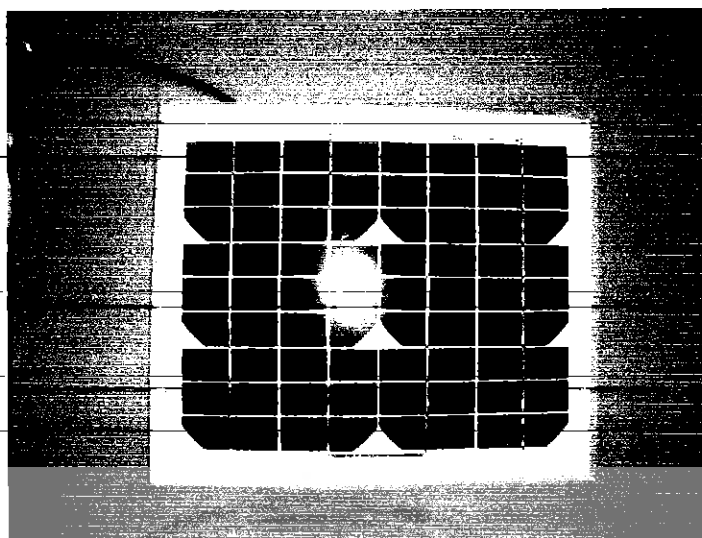
รูป ตัวต้านทานต่ออนุกรมกันที่ใช้เป็นตัวจำลองการปรับเพิ่ม-ลด โหลด



รูป โคมไฟและหลอดไฟที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง



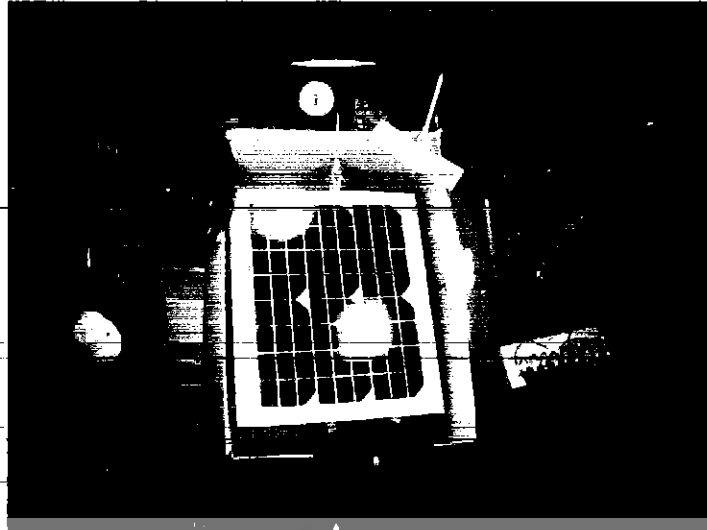
รูป โวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์แบบดิจิทัลที่ใช้เป็นตัววัดกระแส แรงดัน และความต้านทาน



รูป เซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น Suntech – stp06



รูป เทอร์โมมิเตอร์ ขนาด 100 °C ที่ใช้เป็นตัววัดอุณหภูมิในการทดลอง



รูป การทดสอบประสิทธิภาพที่อุณหภูมิต่างกันและความเข้มแสงต่างกัน



รูป การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์เมื่อเซลล์ถูกบังแสง

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น Suntech – stp06

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 30 °C

ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	18.65	0.000	0.00	0.000
2	18.42	0.060	307.51	1.103
3	18.11	0.137	132.19	2.481
4	17.89	0.212	84.39	3.793
5	17.82	0.231	77.14	4.116
6	17.78	0.252	70.56	4.481
7	17.58	0.318	55.28	5.590
8	17.44	0.374	46.63	6.523
9	17.22	0.471	36.56	8.111
10	17.13	0.485	35.32	8.308
11	17.04	0.505	33.74	8.605
12	16.89	0.531	31.81	8.969
13	16.77	0.549	30.55	9.207
14	16.72	0.559	29.91	9.346
15	16.68	0.562	29.68	9.374
16	16.56	0.574	28.85	9.505
17	16.48	0.578	28.51	9.525
18	16.41	0.581	28.24	9.534
19	16.32	0.585	27.90	9.547
20	15.97	0.596	26.80	9.518

Pmax

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 30 °C

ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	15.73	0.599	26.26	9.422
22	15.66	0.601	26.06	9.412
23	15.61	0.602	25.93	9.397
24	15.48	0.603	25.67	9.334
25	15.31	0.604	25.35	9.247
26	15.28	0.605	25.26	9.244
27	15.17	0.606	25.03	9.193
28	14.12	0.615	22.96	8.684
29	13.08	0.620	21.10	8.110
30	12.15	0.623	19.50	7.569
31	10.32	0.624	16.54	6.440
32	9.42	0.626	15.05	5.897
33	7.54	0.629	11.99	4.743
34	5.59	0.630	8.87	3.522
35	4.47	0.630	7.10	2.816
36	2.69	0.630	4.27	1.695
37	1.57	0.630	2.49	0.989
38	0.00	0.630	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.1 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 9.547 w, แรงดันเท่ากับ 16.32 V , กระแสเท่ากับ 0.585 A และความต้านทานเท่ากับ 27.90 Ω

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 30 °C

ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	18.26	0.000	0.00	0.000
2	18.03	0.049	370.99	0.876
3	17.82	0.098	181.84	1.746
4	17.50	0.173	101.16	3.028
5	17.43	0.192	90.78	3.347
6	17.39	0.213	81.64	3.704
7	17.19	0.279	61.61	4.796
8	17.05	0.335	50.90	5.712
9	16.83	0.432	38.96	7.271
10	16.74	0.446	37.53	7.466
11	16.65	0.466	35.73	7.759
12	16.50	0.492	33.54	8.118
13	16.38	0.510	32.12	8.354
14	16.33	0.520	31.40	8.492
15	16.29	0.523	31.15	8.520
16	16.17	0.535	30.22	8.651
17	16.09	0.539	29.85	8.673
18	16.02	0.542	29.56	8.683
19	15.93	0.546	29.18	8.698
20	15.58	0.557	27.97	8.678

Pmax

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	15.34	0.560	27.39	8.590
22	15.27	0.562	27.17	8.582
23	15.22	0.563	27.03	8.569
24	15.09	0.564	26.76	8.511
25	14.92	0.565	26.41	8.430
26	14.89	0.566	26.31	8.428
27	14.78	0.567	26.07	8.380
28	13.73	0.576	23.84	7.908
29	12.69	0.581	21.84	7.373
30	11.76	0.584	20.14	6.868
31	9.93	0.585	16.97	5.809
32	9.03	0.587	15.38	5.301
33	7.15	0.590	12.12	4.219
34	5.20	0.591	8.80	3.073
35	4.08	0.591	6.90	2.411
36	2.30	0.591	3.89	1.359
37	1.18	0.591	2.00	0.697
38	0.00	0.591	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.2 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 คว มีค่า Pmax เท่ากับ 8.698 w , แรงดันเท่ากับ 15.93 V , กระแสเท่ากับ 0.546 A และความต้านทานเท่ากับ 29.18 Ω

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	17.84	0.000	0.00	0.000
2	17.61	0.029	607.24	0.511
3	17.40	0.057	305.26	0.992
4	17.08	0.132	129.39	2.255
5	17.01	0.151	112.65	2.569
6	16.97	0.172	98.66	2.919
7	16.77	0.238	70.46	3.991
8	16.63	0.294	56.56	4.889
9	16.41	0.391	41.97	6.416
10	16.32	0.405	40.30	6.610
11	16.23	0.425	38.19	6.898
12	16.08	0.451	35.65	7.252
13	15.96	0.469	34.03	7.485
14	15.91	0.479	33.22	7.621
15	15.87	0.482	32.93	7.649
16	15.75	0.494	31.88	7.781
17	15.67	0.498	31.47	7.804
18	15.60	0.501	31.14	7.816
19	15.51	0.505	30.71	7.833
20	15.16	0.516	29.38	7.823

Pmax

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	14.92	0.519	28.75	7.743
22	14.85	0.521	28.50	7.737
23	14.80	0.522	28.35	7.726
24	14.67	0.523	28.05	7.672
25	14.50	0.524	27.67	7.598
26	14.47	0.525	27.56	7.597
27	14.36	0.526	27.30	7.553
28	13.31	0.535	24.88	7.121
29	12.27	0.540	22.72	6.626
30	11.34	0.543	20.88	6.158
31	9.51	0.544	17.48	5.173
32	8.61	0.546	15.77	4.701
33	6.73	0.549	12.26	3.695
34	4.78	0.550	8.69	2.629
35	3.66	0.550	6.65	2.013
36	1.88	0.550	3.42	1.034
37	0.76	0.550	1.38	0.418
38	0.00	0.550	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.3 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 คว มีค่า Pmax เท่ากับ 7.833 w , แรงดันเท่ากับ 15.51 V , กระแสเท่ากับ 0.505 A และความต้านทานเท่ากับ 30.71 Ω

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	17.31	0.000	0.00	0.000
2	17.08	0.019	898.95	0.325
3	16.87	0.043	392.33	0.725
4	16.65	0.088	189.20	1.465
5	16.58	0.117	141.71	1.940
6	16.54	0.128	129.22	2.117
7	16.34	0.194	84.23	3.170
8	16.20	0.250	64.80	4.050
9	15.98	0.347	46.05	5.545
10	15.89	0.361	44.02	5.736
11	15.80	0.381	41.47	6.020
12	15.65	0.407	38.45	6.370
13	15.53	0.425	36.54	6.600
14	15.48	0.435	35.59	6.734
15	15.44	0.438	35.25	6.763
16	15.32	0.450	34.04	6.894
17	15.24	0.454	33.57	6.919
18	15.17	0.457	33.19	6.933
19	15.08	0.461	32.71	6.952
20	14.73	0.472	31.21	6.953
21	14.49	0.475	30.51	6.883

Pmax

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
22	14.42	0.477	30.23	6.878
23	14.37	0.478	30.06	6.869
24	14.24	0.479	29.73	6.821
25	14.07	0.480	29.31	6.754
26	14.04	0.481	29.19	6.753
27	13.93	0.482	28.90	6.714
28	12.88	0.491	26.23	6.324
29	11.84	0.496	23.87	5.873
30	10.91	0.499	21.86	5.444
31	9.08	0.500	18.16	4.540
32	8.18	0.502	16.29	4.106
33	6.30	0.505	12.48	3.182
34	4.35	0.506	8.60	2.201
35	3.23	0.506	6.38	1.634
36	1.45	0.506	2.87	0.734
37	0.33	0.506	0.65	0.167
38	0.00	0.506	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.4 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 คว มีค่า Pmax เท่ากับ 6.953 w , แรงดันเท่ากับ 14.73 V , กระแสเท่ากับ 0.472 A และความต้านทานเท่ากับ 31.21 Ω

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 35 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	18.11	0.000	0.00	0.000
2	17.98	0.056	321.07	1.007
3	17.81	0.148	120.34	2.636
4	17.71	0.210	84.33	3.719
5	17.65	0.231	76.41	4.077
6	17.58	0.262	67.10	4.606
7	17.46	0.321	54.39	5.605
8	17.34	0.380	45.63	6.589
9	17.10	0.474	36.08	8.105
10	17.03	0.489	34.83	8.328
11	16.89	0.511	33.05	8.631
12	16.83	0.517	32.55	8.701
13	16.79	0.522	32.16	8.764
14	16.67	0.534	31.22	8.902
15	16.55	0.541	30.59	8.954
16	16.48	0.544	30.29	8.965
17	16.41	0.550	29.84	9.026
18	16.32	0.554	29.46	9.041
19	16.21	0.559	29.00	9.061
20	15.95	0.569	28.03	9.076

Pmax

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 35 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	15.77	0.575	27.43	9.068
22	15.59	0.578	26.97	9.011
23	15.51	0.580	26.74	8.996
24	15.38	0.581	26.47	8.936
25	15.28	0.583	26.21	8.908
26	15.06	0.587	25.66	8.840
27	14.56	0.594	24.51	8.649
28	14.12	0.596	23.69	8.416
29	13.20	0.600	22.00	7.920
30	11.15	0.600	18.58	6.690
31	9.32	0.600	15.53	5.592
32	7.42	0.600	12.37	4.452
33	6.54	0.600	10.90	3.924
34	5.55	0.600	9.25	3.330
35	4.37	0.600	7.28	2.622
36	2.29	0.600	3.82	1.374
37	1.27	0.600	2.12	0.762
38	0.00	0.600	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.5 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 35 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 คว มีค่า Pmax เท่ากับ 9.076 w , แรงดันเท่ากับ 15.95 V , กระแสเท่ากับ 0.569 A และความต้านทานเท่ากับ 28.03 Ω

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 35 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	17.72	0.000	0.00	0.000
2	17.59	0.039	451.03	0.686
3	17.42	0.110	158.36	1.916
4	17.32	0.172	100.70	2.979
5	17.26	0.193	89.43	3.331
6	17.19	0.224	76.74	3.851
7	17.07	0.283	60.32	4.831
8	16.95	0.342	49.56	5.797
9	16.71	0.436	38.33	7.286
10	16.64	0.451	36.90	7.505
11	16.50	0.473	34.88	7.805
12	16.44	0.479	34.32	7.875
13	16.40	0.484	33.88	7.938
14	16.28	0.496	32.82	8.075
15	16.16	0.503	32.13	8.128
16	16.09	0.506	31.80	8.142
17	16.02	0.512	31.29	8.202
18	15.93	0.516	30.87	8.220
19	15.82	0.521	30.36	8.242
20	15.56	0.531	29.30	8.262

Pmax

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 35 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	15.38	0.537	28.64	8.259
22	15.20	0.540	28.15	8.208
23	15.12	0.542	27.90	8.195
24	14.99	0.543	27.61	8.140
25	14.89	0.545	27.32	8.115
26	14.67	0.549	26.72	8.054
27	14.17	0.556	25.49	7.879
28	13.73	0.558	24.61	7.661
29	12.81	0.562	22.79	7.199
30	10.76	0.562	19.15	6.047
31	8.93	0.562	15.89	5.019
32	7.03	0.562	12.51	3.951
33	6.15	0.562	10.94	3.456
34	5.16	0.562	9.18	2.900
35	3.98	0.562	7.08	2.237
36	1.90	0.562	3.38	1.068
37	0.88	0.562	1.57	0.495
38	0.00	0.562	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.6 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 35 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 คว มีค่า Pmax เท่ากับ 8.262 w , แรงดันเท่ากับ 15.56 V , กระแสเท่ากับ 0.531 A และความต้านทานเท่ากับ 29.30 Ω

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 35 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	17.31	0.000	0.00	0.000
2	17.18	0.025	687.20	0.430
3	17.01	0.069	246.52	1.174
4	16.91	0.131	129.08	2.215
5	16.85	0.152	110.86	2.561
6	16.78	0.183	91.69	3.071
7	16.66	0.242	68.84	4.032
8	16.54	0.301	54.95	4.979
9	16.30	0.395	41.27	6.439
10	16.23	0.41	39.59	6.654
11	16.09	0.432	37.25	6.951
12	16.03	0.438	36.60	7.021
13	15.99	0.443	36.09	7.084
14	15.87	0.455	34.88	7.221
15	15.75	0.462	34.09	7.277
16	15.68	0.465	33.72	7.291
17	15.61	0.471	33.14	7.352
18	15.52	0.475	32.67	7.372
19	15.41	0.480	32.10	7.397
20	15.15	0.490	30.92	7.424

Pmax

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 35 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	14.79	0.496	29.82	7.336
22	14.76	0.498	29.64	7.350
23	14.71	0.501	29.36	7.370
24	14.62	0.502	29.12	7.339
25	14.41	0.504	28.59	7.263
26	14.30	0.507	28.21	7.250
27	13.76	0.513	26.82	7.059
28	13.32	0.517	25.76	6.886
29	12.40	0.521	23.80	6.460
30	10.35	0.521	19.87	5.392
31	8.52	0.521	16.35	4.439
32	6.62	0.521	12.71	3.449
33	5.74	0.521	11.02	2.991
34	4.75	0.521	9.12	2.475
35	3.57	0.521	6.85	1.860
36	1.49	0.521	2.86	0.776
37	0.47	0.521	0.90	0.245
38	0.00	0.521	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.7 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 35 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 7.424 w , แรงดันเท่ากับ 15.15 V , กระแสเท่ากับ 0.490 A และความต้านทานเท่ากับ 30.92 Ω

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 35 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	16.89	0.000	0.00	0.000
2	16.76	0.018	931.11	0.302
3	16.65	0.043	387.21	0.716
4	16.49	0.088	187.39	1.451
5	16.43	0.109	150.73	1.791
6	16.36	0.140	116.86	2.290
7	16.24	0.199	81.61	3.232
8	16.12	0.258	62.48	4.159
9	15.88	0.352	45.11	5.590
10	15.81	0.367	43.08	5.802
11	15.67	0.389	40.28	6.096
12	15.61	0.395	39.52	6.166
13	15.57	0.400	38.93	6.228
14	15.45	0.412	37.50	6.365
15	15.33	0.419	36.59	6.423
16	15.26	0.422	36.16	6.440
17	15.19	0.428	35.49	6.501
18	15.10	0.432	34.95	6.523
19	14.99	0.437	34.30	6.551
20	14.73	0.447	32.95	6.584
21	14.37	0.453	31.72	6.510
22	14.34	0.456	31.45	6.539

Pmax

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 35 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
23	14.29	0.457	31.27	6.531
24	14.20	0.458	31.00	6.504
25	13.99	0.461	30.35	6.449
26	13.88	0.464	29.91	6.440
27	13.34	0.470	28.38	6.270
28	12.90	0.474	27.22	6.115
29	11.98	0.478	25.06	5.726
30	9.93	0.478	20.77	4.747
31	8.10	0.478	16.95	3.872
32	6.20	0.478	12.97	2.964
33	5.32	0.478	11.13	2.543
34	4.33	0.478	9.06	2.070
35	3.15	0.478	6.59	1.506
36	1.07	0.478	2.24	0.511
37	0.05	0.478	0.10	0.024
38	0.00	0.478	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.8 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 35 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 6.539 w , แรงดันเท่ากับ 14.34 V , กระแสเท่ากับ 0.456 A และความต้านทานเท่ากับ 31.45 Ω

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	17.33	0	0.00	0.000
2	17.14	0.058	295.52	0.994
3	16.86	0.155	108.77	2.613
4	16.72	0.198	84.44	3.311
5	16.68	0.216	77.22	3.603
6	16.62	0.239	69.54	3.972
7	16.44	0.326	50.43	5.359
8	16.33	0.377	43.32	6.156
9	16.23	0.425	38.19	6.898
10	16.18	0.435	37.20	7.038
11	16.11	0.449	35.88	7.233
12	15.99	0.478	33.45	7.643
13	15.95	0.487	32.75	7.768
14	15.91	0.493	32.27	7.844
15	15.89	0.503	31.59	7.993
16	15.85	0.508	31.20	8.052
17	15.76	0.515	30.60	8.116
18	15.69	0.523	30.00	8.206
19	15.58	0.529	29.45	8.242
20	15.52	0.533	29.12	8.272
21	15.42	0.537	28.72	8.281
22	15.08	0.551	27.37	8.309
23	14.99	0.555	27.01	8.319

Pmax

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
24	14.53	0.571	25.45	8.297
25	14.41	0.574	25.10	8.271
26	14.21	0.579	24.54	8.228
27	14.13	0.580	24.36	8.195
28	14.03	0.584	24.02	8.194
29	13.47	0.593	22.72	7.988
30	12.36	0.609	20.30	7.527
31	10.24	0.610	16.79	6.246
32	8.48	0.610	13.90	5.173
33	6.37	0.610	10.44	3.886
34	5.73	0.610	9.39	3.495
35	4.73	0.610	7.75	2.885
36	3.46	0.610	5.67	2.111
37	2.29	0.610	3.75	1.397
38	1.35	0.610	2.21	0.824
39	0.00	0.610	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.9 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 6.539 w, แรงดันเท่ากับ 14.34 V , กระแสเท่ากับ 0.456 A และความต้านทานเท่ากับ 31.45 Ω

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	16.84	0.000	0.00	0.000
2	16.75	0.045	372.22	0.754
3	16.47	0.126	130.71	2.075
4	16.37	0.159	102.96	2.603
5	16.32	0.177	92.20	2.889
6	16.26	0.200	81.30	3.252
7	16.09	0.287	56.06	4.618
8	15.94	0.338	47.16	5.388
9	15.84	0.386	41.04	6.114
10	15.79	0.396	39.87	6.253
11	15.72	0.410	38.34	6.445
12	15.60	0.439	35.54	6.848
13	15.56	0.448	34.73	6.971
14	15.52	0.454	34.19	7.046
15	15.50	0.464	33.41	7.192
16	15.46	0.469	32.96	7.251
17	15.37	0.476	32.29	7.316
18	15.30	0.484	31.61	7.405
19	15.19	0.490	31.00	7.443
20	15.13	0.494	30.63	7.474
21	15.03	0.498	30.18	7.485
22	14.69	0.512	28.69	7.521
23	14.60	0.516	28.29	7.534
24	14.14	0.532	26.58	7.522

Pmax

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
25	14.02	0.535	26.21	7.501
26	13.82	0.540	25.59	7.463
27	13.74	0.541	25.40	7.433
28	13.64	0.545	25.03	7.434
29	13.08	0.554	23.61	7.246
30	11.97	0.570	21.00	6.823
31	9.85	0.571	17.25	5.624
32	8.09	0.571	14.17	4.619
33	5.98	0.571	10.47	3.415
34	5.34	0.571	9.35	3.049
35	4.34	0.571	7.60	2.478
36	3.07	0.571	5.38	1.753
37	1.90	0.571	3.33	1.085
38	0.96	0.571	1.68	0.548
39	0.00	0.571	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.10 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 7.534 w , แรงดันเท่ากับ 14.60 V , กระแสเท่ากับ 0.516 A และความต้านทานเท่ากับ 28.29 Ω

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	16.42	0.000	0.00	0.000
2	16.33	0.027	604.81	0.441
3	16.05	0.084	191.07	1.348
4	15.95	0.117	136.32	1.866
5	15.90	0.135	117.78	2.147
6	15.84	0.158	100.25	2.503
7	15.67	0.245	63.96	3.839
8	15.52	0.296	52.43	4.594
9	15.42	0.344	44.83	5.304
10	15.37	0.354	43.42	5.441
11	15.30	0.368	41.58	5.630
12	15.18	0.397	38.24	6.026
13	15.14	0.406	37.29	6.147
14	15.10	0.412	36.65	6.221
15	15.08	0.422	35.73	6.364
16	15.04	0.427	35.22	6.422
17	14.95	0.434	34.45	6.488
18	14.88	0.442	33.67	6.577
19	14.77	0.448	32.97	6.617
20	14.71	0.452	32.54	6.649
21	14.61	0.456	32.04	6.662
22	14.27	0.470	30.36	6.707
23	14.18	0.474	29.92	6.721
24	13.72	0.490	28.00	6.723
25	13.60	0.493	27.59	6.705

Pmax

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
26	13.40	0.498	26.91	6.673
27	13.32	0.499	26.69	6.647
28	13.22	0.503	26.28	6.650
29	12.66	0.512	24.73	6.482
30	11.55	0.528	21.88	6.098
31	9.43	0.529	17.83	4.988
32	7.67	0.529	14.50	4.057
33	5.56	0.529	10.51	2.941
34	4.92	0.529	9.30	2.603
35	3.92	0.529	7.41	2.074
36	2.65	0.529	5.01	1.402
37	1.48	0.529	2.80	0.783
38	0.54	0.529	1.02	0.286
39	0.00	0.529	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.11 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 6.723 w, แรงดันเท่ากับ 13.72 V , กระแสเท่ากับ 0.490 A และความต้านทานเท่ากับ 28.00 Ω

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	15.99	0.000	0.00	0.000
2	15.90	0.013	1223.08	0.207
3	15.72	0.041	383.41	0.645
4	15.57	0.074	210.41	1.152
5	15.47	0.092	168.15	1.423
6	15.41	0.115	134.00	1.772
7	15.24	0.202	75.45	3.078
8	15.09	0.253	59.64	3.818
9	14.99	0.301	49.80	4.512
10	14.94	0.311	48.04	4.646
11	14.87	0.325	45.75	4.833
12	14.75	0.354	41.67	5.222
13	14.71	0.363	40.52	5.340
14	14.67	0.369	39.76	5.413
15	14.65	0.379	38.65	5.552
16	14.61	0.384	38.05	5.610
17	14.52	0.391	37.14	5.677
18	14.45	0.399	36.22	5.766
19	14.43	0.405	35.63	5.844
20	14.28	0.409	34.91	5.841

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)	
21	14.18	0.413	34.33	5.856	
22	13.84	0.427	32.41	5.910	
23	13.75	0.431	31.90	5.926	
24	13.29	0.447	29.73	5.941	P max
25	13.17	0.45	29.27	5.927	
26	12.97	0.455	28.51	5.901	
27	12.89	0.456	28.27	5.878	
28	12.79	0.46	27.80	5.883	
29	12.23	0.469	26.08	5.736	
30	11.12	0.485	22.93	5.393	
31	9.00	0.486	18.52	4.374	
32	7.24	0.486	14.90	3.519	
33	5.13	0.486	10.56	2.493	
34	4.49	0.486	9.24	2.182	
35	3.49	0.486	7.18	1.696	
36	2.22	0.486	4.57	1.079	
37	1.05	0.486	2.16	0.510	
38	0.11	0.486	0.23	0.053	
39	0.00	0.486	0.00	0.000	

จากตารางที่ 4.12 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 5.941 w, แรงดันเท่ากับ 13.29 V, กระแสเท่ากับ 0.447

A และความต้านทานเท่ากับ 29.73 Ω

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 45 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	16.53	0.000	0.00	0.000
2	16.34	0.060	271.88	0.982
3	15.98	0.180	88.78	2.876
4	15.81	0.225	70.27	3.557
5	15.76	0.231	68.23	3.641
6	15.73	0.240	65.54	3.775
7	15.57	0.319	48.81	4.967
8	15.48	0.353	43.85	5.464
9	15.32	0.389	39.38	5.959
10	15.12	0.451	33.53	6.819
11	14.99	0.481	31.16	7.210
12	14.96	0.489	30.59	7.315
13	14.91	0.493	30.24	7.351
14	14.88	0.504	29.52	7.500
15	14.84	0.511	29.04	7.583
16	14.77	0.521	28.35	7.695
17	14.59	0.533	27.37	7.776
18	14.57	0.534	27.28	7.780
19	14.51	0.539	26.92	7.821
20	14.45	0.541	26.71	7.817

Pmax

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 45 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	14.21	0.549	25.88	7.801
22	14.12	0.551	25.63	7.780
23	13.97	0.557	25.08	7.781
24	13.75	0.564	24.38	7.755
25	13.66	0.566	24.13	7.732
26	13.65	0.569	23.99	7.767
27	13.34	0.574	23.24	7.657
28	13.09	0.576	22.73	7.540
29	12.98	0.579	22.42	7.515
30	10.45	0.589	17.74	6.155
31	9.32	0.594	15.69	5.536
32	8.56	0.597	14.34	5.110
33	7.35	0.599	12.27	4.403
34	6.89	0.600	11.48	4.134
35	4.88	0.600	8.13	2.928
36	3.65	0.600	6.08	2.190
37	2.45	0.600	4.08	1.470
38	1.23	0.600	2.05	0.738
39	0.00	0.600	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.13 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 45 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 7.821 w, แรงดันเท่ากับ 14.51 V, กระแสเท่ากับ 0.539

A และความต้านทานเท่ากับ 26.92 Ω

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 45 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	16.14	0.000	0.00	0.000
2	15.95	0.021	755.92	0.337
3	15.59	0.141	110.57	2.198
4	15.42	0.186	82.90	2.868
5	15.39	0.192	80.16	2.955
6	15.36	0.201	76.42	3.087
7	15.18	0.280	54.21	4.250
8	15.09	0.314	48.06	4.738
9	14.93	0.350	42.66	5.226
10	14.73	0.412	35.75	6.069
11	14.60	0.442	33.03	6.453
12	14.57	0.450	32.38	6.557
13	14.52	0.454	31.98	6.592
14	14.49	0.465	31.16	6.738
15	14.45	0.472	30.61	6.820
16	14.38	0.482	29.83	6.931
17	14.20	0.494	28.74	7.015
18	14.18	0.495	28.65	7.019
19	14.12	0.500	28.24	7.060
20	14.06	0.503	27.95	7.072

ตารางที่ 4.14 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 45 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)	
21	13.82	0.510	27.10	7.048	
22	13.73	0.512	26.82	7.030	
23	13.58	0.518	26.22	7.034	Pmax
24	13.36	0.525	25.45	7.014	
25	13.27	0.527	25.18	6.993	
26	13.26	0.530	25.02	7.028	
27	12.95	0.535	24.21	6.928	
28	12.70	0.537	23.65	6.820	
29	12.59	0.540	23.31	6.799	
30	10.06	0.550	18.29	5.533	
31	8.93	0.555	16.09	4.956	
32	8.17	0.558	14.64	4.559	
33	6.96	0.560	12.43	3.898	
34	6.50	0.561	11.59	3.647	
35	4.49	0.561	8.00	2.519	
36	3.26	0.561	5.81	1.829	
37	2.06	0.561	3.67	1.156	
38	0.84	0.561	1.50	0.471	
39	0.00	0.561	0.00	0.000	

จากตารางที่ 4.14 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 45 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 7.034 w, แรงดันเท่ากับ 13.58 V, กระแสเท่ากับ 0.518

A และความต้านทานเท่ากับ 26.22 Ω

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 45 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	15.73	0.000	0.00	0.000
2	15.54	0.019	826.60	0.292
3	15.18	0.099	153.33	1.503
4	15.01	0.144	104.24	2.161
5	14.98	0.150	99.87	2.247
6	14.95	0.159	94.03	2.377
7	14.77	0.238	62.06	3.515
8	14.68	0.272	53.97	3.993
9	14.52	0.308	47.14	4.472
10	14.32	0.370	38.70	5.298
11	14.19	0.400	35.48	5.676
12	14.16	0.408	34.71	5.777
13	14.11	0.412	34.25	5.813
14	14.08	0.423	33.29	5.956
15	14.04	0.430	32.65	6.037
16	13.97	0.440	31.75	6.147
17	13.79	0.452	30.51	6.233
18	13.77	0.453	30.40	6.238
19	13.71	0.458	29.93	6.279
20	13.65	0.461	29.61	6.293

Pmax

ตารางที่ 4.15 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 45 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	13.41	0.468	28.65	6.276
22	13.32	0.470	28.34	6.260
23	13.17	0.476	27.67	6.269
24	12.95	0.483	26.81	6.255
25	12.86	0.485	26.52	6.237
26	12.85	0.488	26.33	6.271
27	12.54	0.493	25.44	6.182
28	12.29	0.495	24.83	6.084
29	12.18	0.498	24.46	6.066
30	9.65	0.508	19.00	4.902
31	8.52	0.513	16.61	4.371
32	7.76	0.516	15.04	4.004
33	6.55	0.518	12.64	3.393
34	6.09	0.519	11.73	3.161
35	4.08	0.519	7.86	2.118
36	2.85	0.519	5.49	1.479
37	1.65	0.519	3.18	0.856
38	0.43	0.519	0.83	0.223
39	0.00	0.519	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.15 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 45 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 คว มีค่า P_{max} เท่ากับ 6.293 w, แรงดันเท่ากับ 13.65 V, กระแสเท่ากับ 0.461 A และความต้านทานเท่ากับ 29.61 Ω

ตารางที่ 4.16 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 45 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	15.30	0.000	0.00	0.000
2	15.07	0.045	334.89	0.678
3	15.02	0.050	300.40	0.751
4	14.78	0.100	147.80	1.478
5	14.72	0.106	138.87	1.560
6	14.69	0.110	133.55	1.616
7	14.52	0.170	85.41	2.468
8	14.35	0.212	67.69	3.042
9	14.19	0.264	53.75	3.746
10	13.89	0.326	42.61	4.528
11	13.76	0.356	38.65	4.899
12	13.73	0.364	37.72	4.998
13	13.68	0.368	37.17	5.034
14	13.65	0.379	36.02	5.173
15	13.61	0.386	35.26	5.253
16	13.54	0.396	34.19	5.362
17	13.36	0.405	32.99	5.411
18	13.34	0.408	32.70	5.443
19	13.28	0.412	32.23	5.471
20	13.22	0.414	31.93	5.473
21	12.98	0.422	30.76	5.478
22	12.89	0.426	30.26	5.491
23	12.74	0.432	29.49	5.504

Pmax

ตารางที่ 4.16 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 45 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
24	12.52	0.439	28.52	5.496
25	12.43	0.441	28.19	5.482
26	12.42	0.444	27.97	5.514
27	12.11	0.449	26.97	5.437
28	11.86	0.451	26.30	5.349
29	11.75	0.454	25.88	5.335
30	9.22	0.464	19.87	4.278
31	8.09	0.469	17.25	3.794
32	7.33	0.472	15.53	3.460
33	6.12	0.474	12.91	2.901
34	5.66	0.475	11.92	2.689
35	3.65	0.475	7.68	1.734
36	2.42	0.475	5.09	1.150
37	1.22	0.475	2.57	0.580
38	0.25	0.475	0.53	0.119
39	0.00	0.475	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.16 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 45 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 5.504 w, แรงดันเท่ากับ 12.74 V , กระแสเท่ากับ 0.432 A และความต้านทานเท่ากับ 29.49 Ω

ตารางที่ 4.17 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 50 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	16.03	0.000	0.00	0.000
2	15.93	0.057	279.47	0.908
3	15.81	0.104	152.02	1.644
4	15.64	0.189	82.75	2.956
5	15.56	0.212	73.40	3.299
6	15.55	0.223	69.73	3.468
7	15.31	0.289	52.98	4.425
8	15.28	0.302	50.60	4.615
9	15.07	0.336	44.85	5.064
10	14.82	0.399	37.14	5.913
11	14.67	0.422	34.76	6.191
12	14.49	0.449	32.27	6.506
13	14.37	0.472	30.44	6.783
14	14.28	0.482	29.63	6.883
15	14.12	0.493	28.64	6.961
16	14.03	0.501	28.00	7.029
17	13.88	0.511	27.16	7.093
18	13.75	0.516	26.65	7.095
19	13.58	0.522	26.02	7.089
20	13.45	0.525	25.62	7.061

Pmax

ตารางที่ 4.17 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 50 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	13.21	0.531	24.88	7.015
22	13.09	0.534	24.51	6.990
23	12.93	0.538	24.03	6.956
24	12.78	0.541	23.62	6.914
25	12.68	0.544	23.31	6.898
26	12.58	0.547	23.00	6.881
27	12.23	0.555	22.04	6.788
28	12.03	0.559	21.52	6.725
29	11.34	0.571	19.86	6.475
30	10.33	0.585	17.66	6.043
31	9.42	0.596	15.81	5.614
32	8.56	0.600	14.27	5.136
33	7.45	0.600	12.42	4.470
34	6.79	0.600	11.32	4.074
35	4.68	0.600	7.80	2.808
36	3.45	0.600	5.75	2.070
37	2.35	0.600	3.92	1.410
38	1.13	0.600	1.88	0.678
39	0.00	0.600	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.17 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 50 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 7.095 w , แรงดันเท่ากับ 13.75 V , กระแสเท่ากับ 0.516 A และความต้านทานเท่ากับ 26.65 Ω

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 50 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	15.64	0.000	0.00	0.000
2	15.54	0.037	420.00	0.575
3	15.42	0.065	237.23	1.002
4	15.25	0.150	101.67	2.288
5	15.17	0.173	87.69	2.624
6	15.16	0.184	82.39	2.789
7	14.92	0.250	59.68	3.730
8	14.89	0.263	56.62	3.916
9	14.68	0.297	49.43	4.360
10	14.43	0.360	40.08	5.195
11	14.28	0.383	37.28	5.469
12	14.10	0.410	34.39	5.781
13	13.98	0.433	32.29	6.053
14	13.89	0.443	31.35	6.153
15	13.73	0.454	30.24	6.233
16	13.64	0.462	29.52	6.302
17	13.49	0.472	28.58	6.367
18	13.36	0.477	28.01	6.373
19	13.19	0.483	27.31	6.371
20	13.06	0.486	26.87	6.347

P max

ตารางที่ 4.18 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 50 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	12.82	0.492	26.06	6.307
22	12.70	0.495	25.66	6.287
23	12.54	0.499	25.13	6.257
24	12.39	0.502	24.68	6.220
25	12.29	0.505	24.34	6.206
26	12.19	0.508	24.00	6.193
27	11.84	0.516	22.95	6.109
28	11.64	0.520	22.38	6.053
29	10.95	0.532	20.58	5.825
30	9.94	0.546	18.21	5.427
31	9.03	0.557	16.21	5.030
32	8.17	0.561	14.56	4.583
33	7.06	0.561	12.58	3.961
34	6.40	0.561	11.41	3.590
35	4.29	0.561	7.65	2.407
36	3.06	0.561	5.45	1.717
37	1.96	0.561	3.49	1.100
38	0.74	0.561	1.32	0.415
39	0.00	0.561	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.18 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 50 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 คว มีค่า Pmax เท่ากับ 6.373 w, แรงดันเท่ากับ 13.36 V , กระแสเท่ากับ 0.477 A และความต้านทานเท่ากับ 28.01 Ω

ตารางที่ 4.19 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 50 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	15.23	0.000	0.00	0.000
2	15.14	0.045	336.44	0.681
3	15.11	0.075	201.47	1.133
4	14.99	0.109	137.52	1.634
5	14.86	0.142	104.65	2.110
6	14.75	0.163	90.49	2.404
7	14.51	0.209	69.43	3.033
8	14.48	0.222	65.23	3.215
9	14.27	0.256	55.74	3.653
10	14.02	0.319	43.95	4.472
11	13.87	0.342	40.56	4.744
12	13.69	0.369	37.10	5.052
13	13.57	0.392	34.62	5.319
14	13.48	0.402	33.53	5.419
15	13.32	0.413	32.25	5.501
16	13.23	0.421	31.43	5.570
17	13.08	0.431	30.35	5.637
18	12.95	0.436	29.70	5.646
19	12.78	0.442	28.91	5.649
20	12.65	0.445	28.43	5.629

Pmax

ตารางที่ 4.19 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 50 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	12.41	0.451	27.52	5.597
22	12.29	0.454	27.07	5.580
23	12.13	0.458	26.48	5.556
24	11.98	0.461	25.99	5.523
25	11.88	0.464	25.60	5.512
26	11.78	0.467	25.22	5.501
27	11.43	0.475	24.06	5.429
28	11.23	0.479	23.44	5.379
29	10.54	0.491	21.47	5.175
30	9.53	0.505	18.87	4.813
31	8.62	0.516	16.71	4.448
32	7.76	0.520	14.92	4.035
33	6.65	0.520	12.79	3.458
34	5.99	0.520	11.52	3.115
35	3.88	0.520	7.46	2.018
36	2.65	0.520	5.10	1.378
37	1.55	0.520	2.98	0.806
38	0.33	0.520	0.63	0.172
39	0.00	0.520	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.19 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 50 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง มีค่า P_{max} เท่ากับ 5.649 w, แรงดันเท่ากับ 12.78 V , กระแสเท่ากับ 0.442 A และความต้านทานเท่ากับ 28.91 Ω

ตารางที่ 4.20 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 50 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 คว

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	14.75	0.000	0.00	0.000
2	14.70	0.036	408.33	0.529
3	14.69	0.055	267.09	0.808
4	14.60	0.066	221.21	0.964
5	14.53	0.089	163.26	1.293
6	14.42	0.106	136.04	1.529
7	14.08	0.166	84.82	2.337
8	14.05	0.179	78.49	2.515
9	13.84	0.213	64.98	2.948
10	13.59	0.276	49.24	3.751
11	13.44	0.299	44.95	4.019
12	13.26	0.326	40.67	4.323
13	13.14	0.349	37.65	4.586
14	13.05	0.359	36.35	4.685
15	12.89	0.370	34.84	4.769
16	12.80	0.378	33.86	4.838
17	12.65	0.388	32.60	4.908
18	12.52	0.393	31.86	4.920
19	12.35	0.399	30.95	4.928
20	12.22	0.402	30.40	4.912

Pmax

ตารางที่ 4.20 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 50 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง

ครั้งที่	V(Vol)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	11.98	0.408	29.36	4.888
22	11.86	0.411	28.86	4.874
23	11.70	0.415	28.19	4.856
24	11.55	0.418	27.63	4.828
25	11.45	0.421	27.20	4.820
26	11.35	0.424	26.77	4.812
27	11.00	0.432	25.46	4.752
28	10.80	0.436	24.77	4.709
29	10.11	0.448	22.57	4.529
30	9.10	0.462	19.70	4.204
31	8.19	0.473	17.32	3.874
32	7.33	0.477	15.37	3.496
33	6.22	0.477	13.04	2.967
34	5.56	0.477	11.66	2.652
35	3.45	0.477	7.23	1.646
36	2.22	0.477	4.65	1.059
37	1.12	0.477	2.35	0.534
38	0.10	0.477	0.21	0.048
39	0.00	0.477	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.20 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 50 °C ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง มีค่า P_{max} เท่ากับ 4.928 w, แรงดันเท่ากับ 12.35 V , กระแสเท่ากับ 0.399 A และความต้านทานเท่ากับ 30.95 Ω

ตารางที่ 4.21 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 1 ส่วน ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ควง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)	
1	17.51	0.000	0.00	0.000	
2	17.32	0.046	374.08	0.802	
3	17.11	0.145	118.00	2.481	
4	16.92	0.295	57.36	4.991	
5	16.79	0.354	47.43	5.944	
6	16.76	0.376	44.57	6.302	
7	16.54	0.465	35.57	7.691	
8	16.44	0.485	33.90	7.973	
9	16.32	0.499	32.71	8.144	
10	15.94	0.533	29.91	8.496	
11	15.91	0.538	29.57	8.560	
12	15.82	0.540	29.30	8.543	
13	15.79	0.545	28.97	8.606	
14	15.72	0.547	28.74	8.599	
15	15.58	0.553	28.17	8.616	
16	15.56	0.554	28.09	8.620	
17	15.49	0.556	27.86	8.612	
18	15.44	0.557	27.72	8.600	
19	15.43	0.558	27.65	8.610	
20	15.42	0.559	27.58	8.620	Pmax

ตารางที่ 4.21 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 1 ส่วน
ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	15.24	0.561	27.17	8.550
22	14.96	0.566	26.43	8.467
23	14.87	0.567	26.23	8.431
24	14.77	0.569	25.96	8.404
25	14.54	0.571	25.46	8.302
26	14.36	0.574	25.02	8.243
27	14.14	0.577	24.51	8.159
28	14.01	0.578	24.24	8.098
29	13.94	0.579	24.08	8.071
30	13.15	0.584	22.52	7.680
31	12.32	0.589	20.92	7.256
32	10.42	0.591	17.63	6.158
33	9.54	0.591	16.14	5.638
34	8.59	0.591	14.53	5.077
35	7.47	0.591	12.64	4.415
36	6.69	0.592	11.30	3.960
37	5.57	0.592	9.41	3.297
38	0.00	0.592	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.21 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถูกบังแสง 1 ส่วน ณ
อุณหภูมิห้อง ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 8.620 w , แรงดันเท่ากับ
15.42 V , กระแสเท่ากับ 0.559 A และความต้านทานเท่ากับ 27.58 Ω

ตารางที่ 4.22 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 1 ส่วน
ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	17.12	0.000	0.00	0.000
2	16.93	0.042	399.29	0.718
3	16.72	0.109	153.39	1.822
4	16.53	0.259	63.82	4.281
5	16.40	0.318	51.57	5.215
6	16.37	0.340	48.15	5.566
7	16.15	0.429	37.65	6.928
8	16.05	0.449	35.75	7.206
9	15.93	0.463	34.41	7.376
10	15.55	0.497	31.29	7.728
11	15.52	0.502	30.92	7.791
12	15.43	0.504	30.62	7.777
13	15.40	0.509	30.26	7.839
14	15.33	0.511	30.00	7.834
15	15.19	0.517	29.38	7.853
16	15.17	0.518	29.29	7.858
17	15.10	0.520	29.04	7.852
18	15.05	0.521	28.89	7.841
19	15.04	0.522	28.81	7.851
20	15.03	0.523	28.74	7.861

Pmax

ตารางที่ 4.22 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 1 ส่วน
ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	14.85	0.525	28.29	7.796
22	14.57	0.530	27.49	7.722
23	14.48	0.531	27.27	7.689
24	14.38	0.533	26.98	7.665
25	14.15	0.535	26.45	7.570
26	13.97	0.538	25.97	7.516
27	13.75	0.540	25.46	7.425
28	13.62	0.541	25.18	7.368
29	13.55	0.543	24.95	7.358
30	12.76	0.548	23.28	6.992
31	11.93	0.553	21.57	6.597
32	10.03	0.555	18.07	5.567
33	9.15	0.555	16.49	5.078
34	8.20	0.555	14.77	4.551
35	7.08	0.555	12.76	3.929
36	6.30	0.556	11.33	3.503
37	5.18	0.556	9.32	2.880
38	0.00	0.556	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.22 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถูกบังแสง 1 ส่วน ณ
อุณหภูมิห้อง ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง มีค่า P_{max} เท่ากับ 7.861 w , แรงดันเท่ากับ
15.03 V , กระแสเท่ากับ 0.523 A และความต้านทานเท่ากับ 28.74 Ω

ตารางที่ 4.23 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 1 ส่วน

ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)	
1	16.74	0.000	0.00	0.000	
2	16.55	0.039	429.87	0.637	
3	16.34	0.105	155.62	1.716	
4	16.15	0.224	72.10	3.618	
5	16.02	0.283	56.61	4.534	
6	15.99	0.305	52.43	4.877	
7	15.77	0.394	40.03	6.213	
8	15.67	0.414	37.85	6.487	
9	15.55	0.428	36.33	6.655	
10	15.17	0.462	32.84	7.009	
11	15.14	0.467	32.42	7.070	
12	15.05	0.469	32.09	7.058	
13	15.02	0.474	31.69	7.119	
14	14.95	0.476	31.41	7.116	
15	14.85	0.482	30.81	7.158	
16	14.79	0.483	30.62	7.144	
17	14.72	0.485	30.35	7.139	
18	14.67	0.486	30.19	7.130	
19	14.66	0.487	30.10	7.139	
20	14.65	0.488	30.02	7.149	Pmax

ตารางที่ 4.23 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 1 ส่วน
ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	14.47	0.490	29.53	7.090
22	14.19	0.495	28.67	7.024
23	14.10	0.496	28.43	6.994
24	14.00	0.498	28.11	6.972
25	13.77	0.500	27.54	6.885
26	13.59	0.503	27.02	6.836
27	13.37	0.506	26.42	6.765
28	13.24	0.507	26.11	6.713
29	13.17	0.509	25.87	6.704
30	12.38	0.513	24.13	6.351
31	11.55	0.518	22.30	5.983
32	9.65	0.520	18.56	5.018
33	8.77	0.520	16.87	4.560
34	7.82	0.520	15.04	4.066
35	6.70	0.521	12.86	3.491
36	5.92	0.521	11.36	3.084
37	4.80	0.521	9.21	2.501
38	0.00	0.521	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.23 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถูกบังแสง 1 ส่วน ณ
อุณหภูมิห้อง ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 7.149 w, แรงดันเท่ากับ
14.65 V, กระแสเท่ากับ 0.488 A และความต้านทานเท่ากับ 30.02 Ω

ตารางที่ 4.24 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 1 ส่วน

ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	16.35	0.000	0.00	0.000
2	16.16	0.035	467.05	0.559
3	15.95	0.108	147.69	1.723
4	15.76	0.187	84.28	2.947
5	15.63	0.246	63.54	3.845
6	15.60	0.268	58.21	4.181
7	15.38	0.357	43.08	5.491
8	15.28	0.377	40.53	5.761
9	15.16	0.391	38.77	5.928
10	14.78	0.425	34.78	6.282
11	14.75	0.430	34.30	6.343
12	14.66	0.432	33.94	6.333
13	14.63	0.437	33.48	6.393
14	14.56	0.439	33.17	6.392
15	14.46	0.445	32.49	6.435
16	14.40	0.446	32.29	6.422
17	14.33	0.448	31.99	6.420
18	14.28	0.449	31.80	6.412
19	14.27	0.450	31.71	6.422
20	14.26	0.451	31.62	6.431

Pmax

ตารางที่ 4.24 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 1 ส่วน
ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	14.08	0.453	31.08	6.378
22	13.80	0.458	30.13	6.320
23	13.71	0.459	29.87	6.293
24	13.61	0.461	29.52	6.274
25	13.38	0.463	28.90	6.195
26	13.20	0.466	28.33	6.151
27	12.98	0.469	27.68	6.088
28	12.85	0.470	27.34	6.040
29	12.78	0.472	27.08	6.032
30	11.99	0.476	25.19	5.707
31	11.16	0.481	23.20	5.368
32	9.26	0.483	19.17	4.473
33	8.38	0.483	17.35	4.048
34	7.43	0.483	15.38	3.589
35	6.31	0.484	13.04	3.054
36	5.53	0.484	11.43	2.677
37	4.41	0.484	9.11	2.134
38	0.00	0.484	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.24 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถูกบังแสง 1 ส่วน ณ
อุณหภูมิห้อง ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง มีค่า P_{max} เท่ากับ 6.431 w , แรงดันเท่ากับ
14.26 V , กระแสเท่ากับ 0.451A และความต้านทานเท่ากับ 31.62 Ω

ตารางที่ 4.25 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 2 ส่วน

ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	15.40	0.000	0.00	0.000
2	15.22	0.046	333.77	0.694
3	15.05	0.124	121.37	1.866
4	14.94	0.156	95.77	2.331
5	14.79	0.245	60.37	3.624
6	14.76	0.268	55.07	3.956
7	14.54	0.356	40.84	5.176
8	14.41	0.405	35.58	5.836
9	14.19	0.442	32.10	6.272
10	14.10	0.456	30.92	6.430
11	13.94	0.481	28.98	6.705
12	13.90	0.489	28.43	6.797
13	13.79	0.502	27.47	6.923
14	13.68	0.510	26.82	6.977
15	13.51	0.523	25.83	7.066
16	13.49	0.525	25.70	7.082
17	13.47	0.528	25.51	7.112
18	13.41	0.532	25.21	7.134
19	13.39	0.534	25.07	7.150
20	13.30	0.538	24.72	7.155

ตารางที่ 4.25 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 2 ส่วน
ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	13.29	0.540	24.61	7.177
22	12.99	0.553	23.49	7.183
23	12.92	0.556	23.24	7.184
24	12.77	0.562	22.72	7.177
25	12.54	0.571	21.96	7.160
26	12.36	0.574	21.53	7.095
27	12.19	0.578	21.09	7.046
28	12.15	0.578	21.02	7.023
29	11.94	0.579	20.62	6.913
30	11.15	0.583	19.13	6.500
31	10.32	0.584	17.67	6.027
32	9.42	0.584	16.13	5.501
33	7.54	0.584	12.91	4.403
34	5.59	0.584	9.57	3.265
35	4.47	0.584	7.65	2.610
36	2.69	0.584	4.61	1.571
37	1.57	0.584	2.69	0.917
38	0.00	0.584	0.00	0.000

Pmax

จากตารางที่ 4.25 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถูกบังแสง 2 ส่วน ณ
อุณหภูมิห้อง ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 67.184 w , แรงดันเท่ากับ
12.92 V , กระแสเท่ากับ 0.556 A และความต้านทานเท่ากับ 23.24 Ω

ตารางที่ 4.26 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 2 ส่วน
ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	15.01	0.000	0.00	0.000
2	14.83	0.042	355.64	0.618
3	14.66	0.089	164.72	1.305
4	14.55	0.121	120.25	1.761
5	14.40	0.210	68.57	3.024
6	14.37	0.233	61.67	3.348
7	14.15	0.321	44.08	4.542
8	14.02	0.370	37.89	5.187
9	13.80	0.407	33.91	5.617
10	13.71	0.421	32.57	5.772
11	13.55	0.447	30.31	6.057
12	13.51	0.454	29.76	6.134
13	13.40	0.467	28.69	6.258
14	13.29	0.475	27.98	6.313
15	13.12	0.488	26.89	6.403
16	13.10	0.490	26.73	6.419
17	13.08	0.493	26.53	6.448
18	13.02	0.497	26.20	6.471
19	13.00	0.499	26.05	6.487
20	12.91	0.503	25.67	6.494

ตารางที่ 4.26 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูkBงแสง 2 ส่วน
ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	12.90	0.505	25.54	6.515
22	12.60	0.518	24.32	6.527
23	12.53	0.521	24.05	6.528
24	12.38	0.527	23.49	6.524
25	12.15	0.536	22.67	6.512
26	11.97	0.539	22.21	6.452
27	11.80	0.543	21.73	6.407
28	11.76	0.543	21.66	6.386
29	11.55	0.544	21.23	6.283
30	10.76	0.548	19.64	5.896
31	9.93	0.549	18.09	5.452
32	9.03	0.549	16.45	4.957
33	7.15	0.549	13.02	3.925
34	5.20	0.549	9.47	2.855
35	4.08	0.549	7.43	2.240
36	2.30	0.549	4.19	1.263
37	1.18	0.549	2.15	0.648
38	0.00	0.549	0.00	0.000

Pmax

จากตารางที่ 4.26 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถูกบงแสง 2 ส่วน ณ
อุณหภูมิห้อง ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 6.528 w , แรงดันเท่ากับ
12.53 V , กระแสเท่ากับ 0.521 A และความต้านทานเท่ากับ 24.05 Ω

ตารางที่ 4.27 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 2 ส่วน

ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	14.63	0.000	0.00	0.000
2	14.45	0.033	441.90	0.473
3	14.28	0.073	195.62	1.042
4	14.17	0.109	130.00	1.545
5	14.02	0.174	80.57	2.439
6	13.99	0.197	71.02	2.756
7	13.77	0.285	48.32	3.924
8	13.64	0.334	40.84	4.556
9	13.42	0.371	36.17	4.979
10	13.33	0.385	34.62	5.132
11	13.17	0.411	32.04	5.413
12	13.13	0.418	31.41	5.488
13	13.02	0.431	30.21	5.612
14	12.91	0.439	29.41	5.667
15	12.74	0.452	28.19	5.758
16	12.72	0.454	28.02	5.775
17	12.70	0.457	27.79	5.804
18	12.64	0.461	27.42	5.827
19	12.62	0.463	27.26	5.843
20	12.53	0.467	26.83	5.852

ตารางที่ 4.27 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบั้งแสง 2 ส่วน

ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	12.52	0.469	26.70	5.872
22	12.22	0.482	25.35	5.890
23	12.15	0.485	25.05	5.893
24	12.00	0.491	24.44	5.892
25	11.77	0.500	23.54	5.885
26	11.59	0.503	23.04	5.830
27	11.24	0.507	22.17	5.699
28	11.38	0.507	22.45	5.770
29	11.17	0.508	21.99	5.674
30	10.38	0.512	20.27	5.315
31	9.55	0.513	18.62	4.899
32	8.65	0.513	16.86	4.437
33	6.77	0.513	13.20	3.473
34	4.82	0.513	9.40	2.473
35	3.70	0.513	7.21	1.898
36	1.92	0.513	3.74	0.985
37	0.80	0.513	1.56	0.410
38	0.00	0.513	0.00	0.000

Pmax

จากตารางที่ 4.27 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถูกบั้งแสง 2 ส่วน ณ อุณหภูมิห้อง ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 5.893 w, แรงดันเท่ากับ 12.15 V, กระแสเท่ากับ 0.485 A และความต้านทานเท่ากับ 25.05 Ω

ตารางที่ 4.28 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 2 ส่วน

ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	14.08	0.000	0.00	0.000
2	13.92	0.021	662.86	0.292
3	13.83	0.048	288.13	0.664
4	13.72	0.084	163.33	1.152
5	13.57	0.140	96.93	1.900
6	13.54	0.152	89.08	2.058
7	13.32	0.240	55.50	3.197
8	13.19	0.289	45.64	3.812
9	12.97	0.326	39.79	4.228
10	12.88	0.340	37.88	4.379
11	12.72	0.368	34.57	4.681
12	12.68	0.372	34.09	4.717
13	12.57	0.386	32.56	4.852
14	12.46	0.394	31.62	4.909
15	12.29	0.407	30.20	5.002
16	12.27	0.409	30.00	5.018
17	12.25	0.412	29.73	5.047
18	12.17	0.416	29.25	5.063
19	12.17	0.418	29.11	5.087
20	12.08	0.422	28.63	5.098

ตารางที่ 4.28 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 2 ส่วน

ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	12.08	0.424	28.49	5.122
22	11.77	0.437	26.93	5.143
23	11.70	0.440	26.59	5.148
24	11.55	0.446	25.90	5.151
25	11.32	0.455	24.88	5.151
26	11.14	0.458	24.32	5.102
27	10.93	0.462	23.66	5.050
28	10.93	0.463	23.61	5.061
29	10.72	0.463	23.15	4.963
30	9.93	0.467	21.26	4.637
31	9.10	0.468	19.44	4.259
32	8.20	0.468	17.52	3.838
33	6.32	0.468	13.50	2.958
34	4.37	0.468	9.34	2.045
35	3.25	0.468	6.94	1.521
36	1.47	0.468	3.14	0.688
37	0.35	0.468	0.75	0.164
38	0.00	0.468	0.00	0.000

Pmax

จากตารางที่ 4.28 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถูกบังแสง 2 ส่วน ณ อุณหภูมิห้อง ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 5.151 w , แรงดันเท่ากับ 11.55 V ; กระแสเท่ากับ 0.446 A และความต้านทานเท่ากับ 25.90 Ω

ตารางที่ 4.29 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 3 ส่วน

ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	13.23	0.000	0	0.000
2	13.19	0.044	299.77	0.580
3	13.05	0.113	115.49	1.475
4	12.99	0.152	85.46	1.974
5	12.79	0.232	55.13	2.967
6	12.76	0.245	52.08	3.126
7	12.51	0.328	38.14	4.103
8	12.31	0.375	32.83	4.616
9	12.15	0.405	30.00	4.921
10	12.11	0.411	29.46	4.977
11	11.98	0.429	27.93	5.139
12	11.94	0.435	27.45	5.194
13	11.88	0.446	26.64	5.298
14	11.68	0.477	24.49	5.571
15	11.62	0.486	23.91	5.647
16	11.57	0.489	23.66	5.658
17	11.51	0.496	23.21	5.709
18	11.43	0.505	22.63	5.772
19	11.39	0.508	22.42	5.786
20	11.31	0.515	21.96	5.825

ตารางที่ 4.29 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 3 ส่วน
ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	11.29	0.517	21.84	5.837
22	10.96	0.533	20.56	5.842
23	10.87	0.537	20.24	5.837
24	10.77	0.542	19.87	5.837
25	10.54	0.549	19.20	5.786
26	10.36	0.554	18.70	5.739
27	10.19	0.557	18.29	5.676
28	10.15	0.558	18.19	5.664
29	9.94	0.562	17.69	5.586
30	9.15	0.573	15.97	5.243
31	8.32	0.579	14.37	4.817
32	7.42	0.581	12.77	4.311
33	6.54	0.581	11.26	3.800
34	5.43	0.581	9.35	3.155
35	4.35	0.581	7.49	2.527
36	2.56	0.581	4.41	1.487
37	1.45	0.581	2.50	0.842
38	0.00	0.581	0.00	0.000

จากตารางที่ 4.29 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถูกบังแสง 3 ส่วน ณ
อุณหภูมิห้อง ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 4 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 5.837 w , แรงดันเท่ากับ
11.29-V , กระแสเท่ากับ 0.517 A=และความต้านทานเท่ากับ 21.84 Ω

ตารางที่ 4.30 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 3 ส่วน

ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	12.78	0.000	0.00	0.000
2	12.74	0.036	354.87	0.457
3	12.66	0.067	188.96	0.848
4	12.58	0.106	118.68	1.333
5	12.34	0.186	66.34	2.295
6	12.31	0.199	61.86	2.450
7	12.06	0.282	42.77	3.401
8	11.86	0.329	36.05	3.902
9	11.70	0.359	32.59	4.200
10	11.66	0.365	31.95	4.256
11	11.53	0.383	30.10	4.416
12	11.49	0.389	29.54	4.470
13	11.43	0.400	28.58	4.572
14	11.23	0.431	26.06	4.840
15	11.19	0.434	25.78	4.856
16	11.12	0.443	25.10	4.926
17	11.06	0.450	24.58	4.977
18	10.98	0.459	23.92	5.040
19	10.94	0.462	23.68	5.054
20	10.86	0.469	23.16	5.093

ตารางที่ 4.30 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 3 ส่วน
ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)	
21	10.84	0.471	23.01	5.106	Pmax
22	10.51	0.487	21.58	5.118	
23	10.42	0.491	21.22	5.116	
24	10.32	0.496	20.81	5.119	
25	10.09	0.503	20.06	5.075	
26	9.91	0.508	19.51	5.034	
27	9.74	0.511	19.06	4.977	
28	9.70	0.512	18.95	4.966	
29	9.49	0.516	18.39	4.897	
30	8.70	0.527	16.51	4.585	
31	7.87	0.533	14.77	4.195	
32	6.97	0.535	13.03	3.729	
33	6.09	0.535	11.38	3.258	
34	4.98	0.535	9.31	2.664	
35	3.90	0.535	7.29	2.087	
36	2.11	0.535	3.94	1.129	
37	1.00	0.535	1.87	0.535	
38	0.00	0.535	0.00	0.000	

จากตารางที่ 4.30 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถูกบังแสง 3 ส่วน ณ
อุณหภูมิห้อง ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 3 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 5.118 w ,แรงดันเท่ากับ
10.51 V , กระแสเท่ากับ 0.487 A และความต้านทานเท่ากับ 21.58 Ω

ตารางที่ 4.31 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 3 ส่วน
ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	12.32	0.000	0.00	0.000
2	12.22	0.032	387.94	0.385
3	12.18	0.046	264.78	0.560
4	12.12	0.065	186.46	0.788
5	11.88	0.145	81.93	1.723
6	11.85	0.158	75.00	1.872
7	11.60	0.241	48.13	2.796
8	11.40	0.288	39.58	3.283
9	11.24	0.318	35.35	3.574
10	11.20	0.324	34.57	3.629
11	11.07	0.342	32.37	3.786
12	11.03	0.348	31.70	3.838
13	10.97	0.359	30.56	3.938
14	10.77	0.387	27.83	4.168
15	10.73	0.393	27.30	4.217
16	10.66	0.402	26.52	4.285
17	10.61	0.411	25.82	4.361
18	10.52	0.419	25.11	4.408
19	10.48	0.424	24.72	4.444
20	10.40	0.430	24.19	4.472

ตารางที่ 4.31 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 3 ส่วน
ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
21	10.38	0.431	24.08	4.474
22	10.05	0.446	22.53	4.482
23	9.96	0.450	22.13	4.482
24	9.86	0.455	21.67	4.486
25	9.63	0.462	20.84	4.449
26	9.45	0.467	20.24	4.413
27	9.28	0.470	19.74	4.362
28	9.24	0.471	19.62	4.352
29	9.03	0.475	19.01	4.289
30	8.24	0.486	16.95	4.005
31	7.41	0.492	15.06	3.646
32	6.51	0.494	13.18	3.216
33	5.63	0.494	11.40	2.781
34	4.52	0.494	9.15	2.233
35	3.44	0.494	6.96	1.699
36	1.65	0.494	3.34	0.815
37	0.54	0.494	1.09	0.267
38	0.00	0.494	0.00	0.000

Pmax

จากตารางที่ 4.31 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถูกบังแสง 3 ส่วน ณ
อุณหภูมิห้อง ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 2 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 4.449 w , แรงดันเท่ากับ 9.63
V, กระแสเท่ากับ 0.462 A และความต้านทานเท่ากับ 20.84 Ω

ตารางที่ 4.32 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบึงแสง 3 ส่วน

ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)
1	11.97	0.000	0.00	0.000
2	11.87	0.029	409.31	0.344
3	11.83	0.039	303.33	0.461
4	11.77	0.052	226.35	0.612
5	11.53	0.113	102.04	1.303
6	11.50	0.126	91.27	1.449
7	11.25	0.209	53.83	2.351
8	11.05	0.256	43.16	2.829
9	10.89	0.286	38.08	3.115
10	10.85	0.292	37.16	3.168
11	10.72	0.310	34.58	3.323
12	10.68	0.316	33.80	3.375
13	10.62	0.327	32.48	3.473
14	10.42	0.355	29.35	3.699
15	10.38	0.361	28.75	3.747
16	10.31	0.370	27.86	3.815
17	10.26	0.380	27.00	3.899
18	10.17	0.389	26.14	3.956
19	10.13	0.392	25.84	3.971
20	10.05	0.398	25.25	4.000

ตารางที่ 4.32 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังแสง 3 ส่วน

ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง ณ อุณหภูมิห้อง

ครั้งที่	V(Volt)	I(A)	R(Ω)	P(w)	
21	10.03	0.399	25.14	4.002	
22	9.70	0.414	23.43	4.016	
23	9.61	0.418	22.99	4.017	
24	9.51	0.423	22.48	4.023	Pmax
25	9.28	0.430	21.58	3.990	
26	9.10	0.435	20.92	3.959	
27	8.93	0.438	20.39	3.911	
28	8.89	0.439	20.25	3.903	
29	8.68	0.443	19.59	3.845	
30	7.89	0.454	17.38	3.582	
31	7.06	0.460	15.35	3.248	
32	6.16	0.462	13.33	2.846	
33	5.28	0.462	11.43	2.439	
34	4.17	0.462	9.03	1.927	
35	3.09	0.462	6.69	1.428	
36	1.30	0.462	2.81	0.601	
37	0.19	0.462	0.41	0.088	
38	0.00	0.462	0.00	0.000	

จากตารางที่ 4.32 พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถูกบังแสง 3 ส่วน ณ อุณหภูมิห้อง ความเข้มแสงที่หลอดไฟ 1 ดวง มีค่า Pmax เท่ากับ 4.023 w, แรงดันเท่ากับ 9.51 V, กระแสเท่ากับ 0.423 A และความต้านทานเท่ากับ 22.48 Ω

ประวัติผู้ทำโครงการ

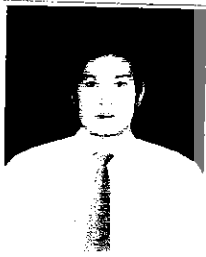


ชื่อ นายชวช นาคกล
ภูมิลำเนา 91/1 หมู่ที่ 4 ตำบลบ้านไร่ อำเภอศรีสำโรง
จังหวัดสุโขทัย 64120

ประวัติการศึกษา

- จบมัธยมศึกษา จากโรงเรียนบ้านไร่พิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : Basbook@hotmail.com



ชื่อ นายเพิ่มศักดิ์ อุตบัววงศ์
ภูมิลำเนา 122 หมู่ที่ 2 ตำบลเขาแก้วศรีสมบูรณ์
อำเภอทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย 64230

ประวัติการศึกษา

- จบมัธยมศึกษา จากโรงเรียนชัยมงคลพิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : bangkok357@hotmail.com



ชื่อ นายธีรวัตร อนันนิล
ภูมิลำเนา 347/1 หมู่ที่ 10 ตำบลวังทอง อำเภอวังทอง
จังหวัดพิษณุโลก 65130

ประวัติการศึกษา

- จบมัธยมศึกษา จากวิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลกปวช.3
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : managashot@hotmail.com