

เครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

SOLAR CELL TESTER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOLAR CELL TESTER

SAHAKOON


PANYAI

PORNPHITCHA

CHOOSINTHONG

SUPADAKHORN

JANDANG



**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEER IN ELECTRONICS ENGINEER
FACULTY OF ENGINEER
KING MONGKUT'S OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

SOLAR CELL TESTER

โดย

นายสหคุณ	แผนใหญ่	รหัสประจำตัว	50011654
นางสาวพรพิชชา	ชูศิลป์ทอง	รหัสประจำตัว	50011737
นายสุภดากรณ์	จันทร์แดง	รหัสประจำตัว	50011742

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. พลผดุง ผดุงกุด

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตรอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์
(SOLAR CELL TESTER)

ผู้จัดทำ

นายสหคุณ	แผนใหญ่	รหัสประจำตัว	50011654
นางสาวพรพิชชา	ชุติลปัทอง	รหัสประจำตัว	50011737
นายสุกดากรณ์	จันทร์แดง	รหัสประจำตัว	50011742



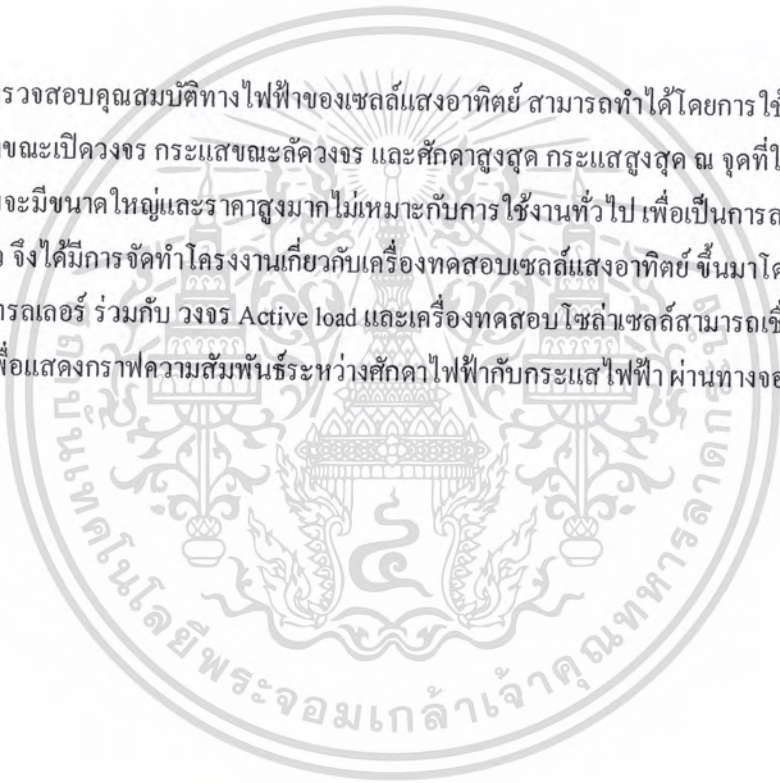
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

นายสหคุณ	แผนใหญ่	50011654
นางสาวพรพิชชา	ชูศิลป์ทอง	50011737
นายสุกดากรณ์	จันทร์แดง	50011742
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พลผดุง ผดุงกุล		
ปีการศึกษา 2553		

บทคัดย่อ

การตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถทำได้โดยการใช้เครื่องทดสอบวัดค่าศักดาไฟฟ้าขณะเปิดวงจร กระแสขณะลัดวงจร และศักดาสูงสุด กระแสสูงสุด ณ จุดที่ให้กำลังงานสูงสุด เครื่องทดสอบจะมีขนาดใหญ่และราคาสูงมากไม่เหมาะกับการใช้งานทั่วไป เพื่อเป็นการลดปัญหาความยุ่งยากดังกล่าว จึงได้มีการจัดทำโครงการเกี่ยวกับเครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ขึ้นมาโดยมีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ร่วมกับ วงจร Active load และเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ผ่านทางจอมอนิเตอร์ได้



SOLAR CELL TESTER

Mr.Sahakoon Panyai 50011654

Miss.Pompitcha Choosinthong 50011737

Mr.Supadakhorn Jandang 50011742

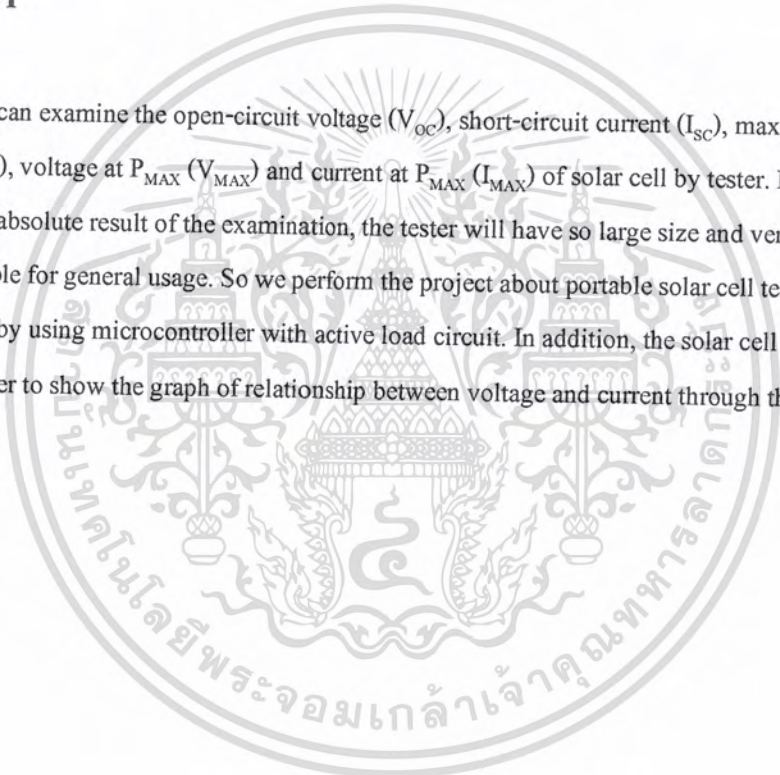
Assist.Prof. Polphadung Phadungkul

Advisor

Educational Year 2010

ABSTRACT

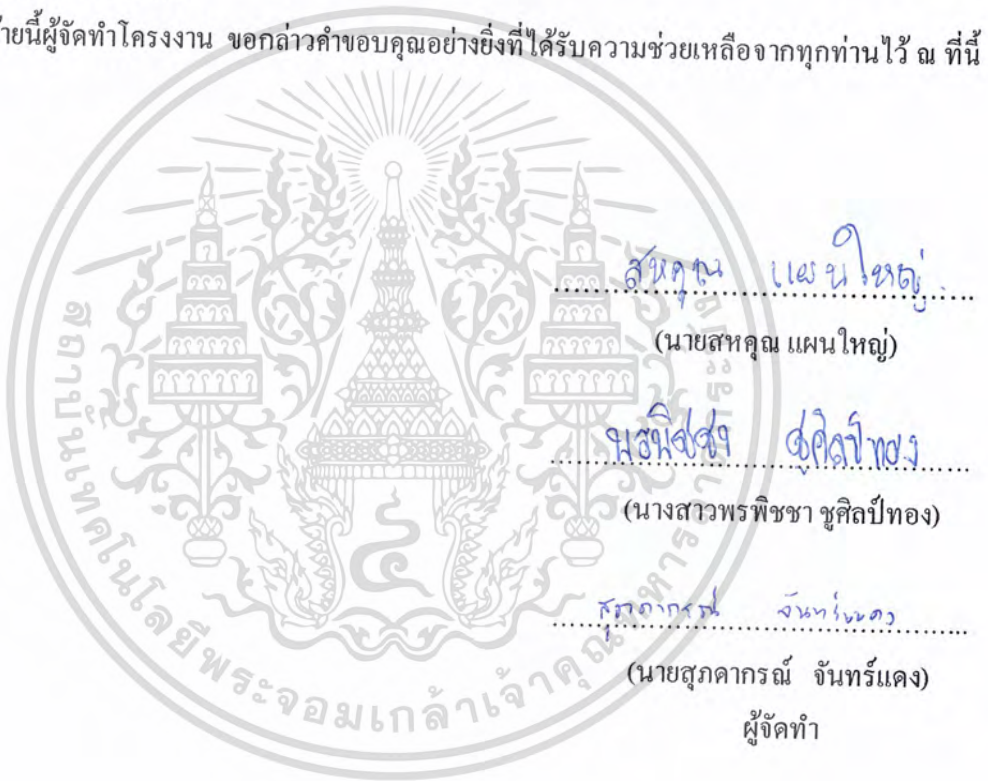
We can examine the open-circuit voltage (V_{OC}), short-circuit current (I_{SC}), maximum power of the cell (P_{MAX}), voltage at P_{MAX} (V_{MAX}) and current at P_{MAX} (I_{MAX}) of solar cell by tester. However, to get the clear and absolute result of the examination, the tester will have so large size and very high price that it is not suitable for general usage. So we perform the project about portable solar cell tester to minimize the problems by using microcontroller with active load circuit. In addition, the solar cell tester can connect to the computer to show the graph of relationship between voltage and current through the monitor.



กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการครั้งนี้ ได้รับแนวความคิดในการดำเนินโครงการก้าวหน้าไปได้ตลอดจนความคิดเห็นหรือแม้กระทั่งข้อมูลต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินโครงการดังนั้นแล้วผู้จัดทำโครงการจึงขอขอบ พระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ โดยมี ผศ. พลผดุง ผดุงกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำโครงการ , รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง , ผศ.ดร.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ , รศ.ดร.สุริชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์ , นายเรืองฤทธิ์ หนีแหนะ และเจ้าหน้าที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ตลอดจนท่านที่แต่งตำราหนังสือทุกท่านที่ผู้จัดทำโครงการได้นำข้อมูลที่ท่านได้เรียบเรียงมา เพื่อให้ความรู้กับผู้อ่านมาอ้างอิงในโครงการนี้ และท้ายสุดต้องขอขอบพระคุณคุณแม่และครอบครัวของผู้จัดทำ ที่คอยสนับสนุนทั้งกำลังใจและกำลังทรัพย์อย่างเต็มที่ตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการ ขอกล่าวคำขอบคุณอย่างยิ่งที่ได้รับความช่วยเหลือจากทุกท่านไว้ ณ ที่นี้ ด้วย



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 รายละเอียดของเนื้อหาในรายงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์	3
2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้อย่างไร	4
2.1.2 เศรษฐศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.1.3 แนวโน้มในอนาคต	9
2.1.4 กลไกการพัฒนาที่สอดคล้องกับพลังงานแสงอาทิตย์	10
2.2 ความรู้เกี่ยวกับรังสีอาทิตย์	13
2.2.1 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์	17
2.3 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์	19
2.3.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	22
2.3.2 ลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	25
2.3.3 ปัจจัยที่ลดทอนประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	27
2.4 ลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	29
2.4.1 สมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน	35
2.5.1 ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ และความเข้มของแสง	35
2.5.2 อุณหภูมิ	35
2.5.3 ประสิทธิภาพของระบบ (Electrical conversion efficiency)	35
2.6 ข้อมูลสำคัญสำหรับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ –สถานที่และลักษณะที่ควรติดตั้ง	36
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	37
2.8 PIC (Programmable Integrated Circuit)	38
2.9 ไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232	39
2.10 การแปลงสัญญาณ A/D และ D/A	40
2.10.1 การแปลงสัญญาณ Analog to Digital	40
2.10.2 การแปลงสัญญาณ Analog to Digital ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC	40
2.10.3 การแปลงสัญญาณ Digital to Analog	41
2.10.4 การแปลงสัญญาณ Digital to Analog ใน IC PCF8591	48
2.11 หลักการทำงานของ Current sensor (ACS712)	42
2.12 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)	43
2.13 มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET)	43
2.14 อุปกรณ์วัดพลังงานรังสีอาทิตย์ ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer)	45
บทที่ 3 การออกแบบ	
3.1 แนวความคิดพื้นฐาน	46
3.2 การทำงานของระบบ	46
3.3 การออกแบบด้าน Hardware	47
3.3.1 Active Load	47
3.3.2 Current Sensor	48
3.3.3 บอร์ดทดลอง Microcontroller PIC	49
3.3.4 วงจร Relay	50
3.4 การออกแบบด้าน Software	50

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	53
4.1 การทดลอง	53
4.2 การวัดแรงแม่เหล็ก โซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 1	57
4.3 การวัดแรงแม่เหล็ก โซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 2	58
4.4 การวัดแรงแม่เหล็ก โซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 3	59
4.5 การวัดแรงแม่เหล็ก โซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 4	60
4.6 การวัดแรงแม่เหล็ก โซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 5	61
4.7 การเปรียบเทียบวัตต์จากมิเตอร์มาตรฐานและเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์ ครั้งที่ 1	62
4.8 การเปรียบเทียบวัตต์จากมิเตอร์มาตรฐานและเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์ ครั้งที่ 2	63
4.9 การเปรียบเทียบวัตต์จากมิเตอร์มาตรฐานและเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์ ครั้งที่ 3	64
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	65
5.1 สรุปผลการทดลอง	65

ภาคผนวก



สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
รูปที่ 2.1 ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในแบบต่างๆ	3
รูปที่ 2.2 การเกิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	5
รูปที่ 2.3 การใช้ประโยชน์ระบบเซลล์แสงอาทิตย์	6
รูปที่ 2.4 ความเป็นมาและแนวโน้มเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์	7
รูปที่ 2.5 ผลประโยชน์ต่อต้นทุนของระบบแสงอาทิตย์ต่อเชื่อมระบบจำหน่าย	8
รูปที่ 2.6 ผลกระทบการขยายตลาดต่อราคาเซลล์แสงอาทิตย์ ช่วงปี ค.ศ. 1980 – 2020	9
รูปที่ 2.7 แนวโน้มอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคต	10
รูปที่ 2.8 อุณหภูมิผิวโลกที่แตกต่างไปจากปกติในช่วงปี ค.ศ. 1916 – 1990	11
รูปที่ 2.9 อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกที่แตกต่างไปจากปกติในช่วงปี ค.ศ. 1995 – 2004	11
รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และฝุ่นละอองจากการ เจาะสำรวจแกนน้ำแข็ง Vostok บริเวณแอนตาร์กติก ขั้วโลกใต้	13
รูปที่ 2.11 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก	14
รูปที่ 2.12 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย	16
รูปที่ 2.13 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผลึกซิลิกอนกับการตอบสนองต่อสเปกตรัม	18
รูปที่ 2.14 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ	18
รูปที่ 2.15 โครงสร้างรอยต่อพี-เอ็นของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน	20
รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและ โฮลของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน	21
รูปที่ 2.17 ไดอะแกรมการแบ่งกลุ่มเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	22
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells)	23
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างเซลล์และ ไดอะแกรมองค์ประกอบภายในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง	23
รูปที่ 2.20 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์และ โครงสร้างภายในเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ	24
รูปที่ 2.21 การต่อวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์	26
รูปที่ 2.22 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	27
รูปที่ 2.23 ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร	28
รูปที่ 2.24 ผลของความต้านทานอนุกรมต่อลักษณะกระแสและแรงดัน	28
รูปที่ 2.25 ผลของความต้านทาน Shunt ต่อลักษณะกระแสและแรงดัน	29
รูปที่ 2.26 ลักษณะทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกนำมาประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์	30
รูปที่ 2.27 การต่อเซลล์แบบต่างๆ	31

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.28 กราฟกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)	32
รูปที่ 2.29 ไดอะแกรมการทดสอบวัดคุณลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้า	33
รูปที่ 2.30 แบบจำลองคุณลักษณะทางสถิติของเซลล์แสงอาทิตย์	34
รูปที่ 2.31 กราฟกระแสและแรงดันที่อุณหภูมิและความเข้มแสงค่าต่างๆ	34
รูปที่ 2.32 แสดงส่วนประกอบของ Microcontroller	38
รูปที่ 2.33 ตำแหน่งขาสัญญาณและวงจรภายในไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232	39
รูปที่ 2.34 แสดงการแปลงสัญญาณ Analog to Digital	41
รูปที่ 2.35 เป็นการแสดงวิธีการคำนวณค่าการแปลงสัญญาณ Digital to Analog	42
รูปที่ 2.36 การต่อวงจร Current sensor	42
รูปที่ 2.37 วงจรขยายแบบกลับเฟส	43
รูปที่ 2.38 แสดงการทำงานของ MOSFET ในย่านต่างๆ	44
รูปที่ 2.39 การต่อขานานของ MOSFET	44
รูปที่ 2.40 รูปแสดงไพราโนมิเตอร์	45
บทที่ 3 การออกแบบ	
รูปที่ 3.1 วงจรพื้นฐานของการวัดโซลาร์เซลล์	46
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ	46
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมการวัดกระแสและศักดาของโซลาร์เซลล์	47
รูปที่ 3.4 แสดงวงจร Active Load	48
รูปที่ 3.5 แสดงวงจร Current Sensor ACS712	48
รูปที่ 3.6 บอร์ดทดลอง Microcontroller PIC	49
รูปที่ 3.7 วงจร Relay	50
รูปที่ 3.8 แสดง flow chart โปรแกรม	51
รูปที่ 3.9 แสดง flow chart โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2008	52
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
รูปที่ 4.1 แสดง flow chart การทดลองใช้เครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์	53
รูปที่ 4.2 เครื่องมือวัดโซลาร์เซลล์ที่จัดทำขึ้นมา	54
รูปที่ 4.3 เครื่องมือวัดโซลาร์เซลล์พร้อมกับโปรแกรมทดสอบโซลาร์เซลล์	54

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.4 โซล่าเซลล์แผ่นเล็กที่ใช้ทำการทดสอบ	55
รูปที่ 4.5 โซล่าเซลล์แผ่นใหญ่ที่ใช้ทำการทดสอบ	55
รูปที่ 4.6 หน้าโปรแกรมที่ไว้อ่านค่า รังสีของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ณ ขณะที่วัด	56
รูปที่ 4.7 หน้าโปรแกรมที่ไว้ทดสอบกับเครื่องทดสอบ โซล่าเซลล์	56
รูปที่ 4.8 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (v) กับกระแส (I) ของผลการทดลองครั้งที่ 1	57
รูปที่ 4.8 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกราฟ I-V กับ กราฟ P-V ของผลการทดลองครั้งที่ 1	57
รูปที่ 4.9 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (v) กับกระแส (I) ของผลการทดลองครั้งที่ 2	58
รูปที่ 4.9 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกราฟ I-V กับ กราฟ P-V ของผลการทดลองครั้งที่ 2	58
รูปที่ 4.10 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (v) กับกระแส (I) ของผลการทดลองครั้งที่ 3	59
รูปที่ 4.10 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกราฟ I-V กับ กราฟ P-V ของผลการทดลองครั้งที่ 3	59
รูปที่ 4.11 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (v) กับกระแส (I) ของผลการทดลองครั้งที่ 4	60
รูปที่ 4.11 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกราฟ I-V กับ กราฟ P-V ของผลการทดลองครั้งที่ 4	60
รูปที่ 4.12 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (v) กับกระแส (I) ของผลการทดลองครั้งที่ 5	61
รูปที่ 4.12 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกราฟ I-V กับ กราฟ P-V ของผลการทดลองครั้งที่ 5	61
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกราฟ I-V ของผลจากมิเตอร์กับกราฟ I-V ของผลจากเครื่องทดสอบ โซล่าเซลล์ครั้งที่ 1	62
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกราฟ I-V ของผลจากมิเตอร์กับกราฟ I-V ของผลจากเครื่องทดสอบ โซล่าเซลล์ครั้งที่ 2	63

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

เรื่อง

หน้า

รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกราฟ I-V ของผลจากมิเตอร์กับกราฟ I-V ของผลจากเครื่องทดสอบโซล่าเซลล์ครั้งที่ 3

64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของโซลาร์เซลล์และคุณสมบัติ (ต่อเซลล์)	15
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
ตารางที่ 4.1 (ก) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 1	57
ตารางที่ 4.1 (ข) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 1	57
ตารางที่ 4.2 (ก) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 2	58
ตารางที่ 4.2 (ข) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 2	58
ตารางที่ 4.3 (ก) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 3	59
ตารางที่ 4.3 (ข) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 3	59
ตารางที่ 4.4 (ก) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 4	60
ตารางที่ 4.4 (ข) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 4	60
ตารางที่ 4.5 (ก) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 5	61
ตารางที่ 4.5 (ข) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 5	61
ตารางที่ 4.6(ก) ผลการทดลองจากมิเตอร์ ครั้งที่ 1	62
ตารางที่ 4.6(ข) ผลการทดลองจากเครื่องทดสอบ โซลาร์เซลล์ ครั้งที่ 1	62
ตารางที่ 4.7(ก) ผลการทดลองจากมิเตอร์ ครั้งที่ 2	63
ตารางที่ 4.7(ข) ผลการทดลองจากเครื่องทดสอบ โซลาร์เซลล์ ครั้งที่ 2	63
ตารางที่ 4.8(ก) ผลการทดลองจากมิเตอร์ ครั้งที่ 3	64
ตารางที่ 4.8(ข) ผลการทดลองจากเครื่องทดสอบ โซลาร์เซลล์ ครั้งที่ 3	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนให้มากขึ้น ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล และการแปรรูปจากขยะมูลฝอย ด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาสู่ปัจจุบันกระบวนการแปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า นับเป็นกระบวนการที่สะอาดและไร้มลภาวะ และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งในด้านการลงทุน เพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงาน โดยรวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยแล้ว จะเห็นได้ว่าต้นทุนพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ มีราคาถูกกว่า แหล่งพลังงานประเภทอื่น และประการสำคัญก็คือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นหนึ่งในพลังงานที่มีความยั่งยืน ไม่มีที่สิ้นสุด

ประเทศไทยได้มีการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานหลายประเภทและมีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงขณะรับแสงและจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงออกมา ส่วนมากสร้างจากสารกึ่งตัวนำ ซิลิคอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและหาได้ง่าย เมื่อนำเซลล์แสงอาทิตย์มาเป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้า เราจึงต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ ในการนำเอาแต่ละเซลล์มาต่อเป็นแผงใหญ่ เซลล์แต่ละเซลล์ที่นำมาต่อกันต้องมีคุณสมบัติใกล้เคียงหรือแตกต่างกันอย่างไร เพื่อที่จะเกิดการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด จึงต้องจัดทำเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการทำงานและการวัดประสิทธิภาพของ Solar cell
2. เพื่อให้เข้าใจและสามารถเขียน โปรแกรมลงบน Microcontroller ได้
3. เพื่อฝึกการทำงานอย่างมีระบบแบบแผน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

จัดทำเครื่องทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ทำได้ โดยการใช้เครื่องทดสอบวัดค่าศักดาไฟฟ้าขณะเปิดวงจร กระแสขณะลัดวงจร และศักดาสูงสุด กระแสสูงสุด ณ จุดที่ให้กำลังงานสูงสุด สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ผ่านทางจอมอนิเตอร์ได้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้เกี่ยวกับการทำงานของ Current Sensor และ Active Load
2. ฝึกทักษะการเขียนโปรแกรม

1.5 รายละเอียดของเนื้อหาในรายงาน

ในรายงานฉบับนี้ แสดงถึงรายละเอียดของโครงการที่ได้จัดทำขึ้นมา ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อต่างๆ รวมทั้งหมด 5 บท แต่ละบทกล่าวถึงดังต่อไปนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำของรายงาน ได้กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของโครงการ วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตของโครงการ ผลที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดของโครงการโดยย่อ

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎี และแนวความคิดที่ได้ศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำโครงการ

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบวงจร

บทที่ 4 แสดงการทดลอง

บทที่ 5 สรุปผล วิเคราะห์ผลการทดลอง อุปสรรค ปัญหา และข้อเสนอแนะ



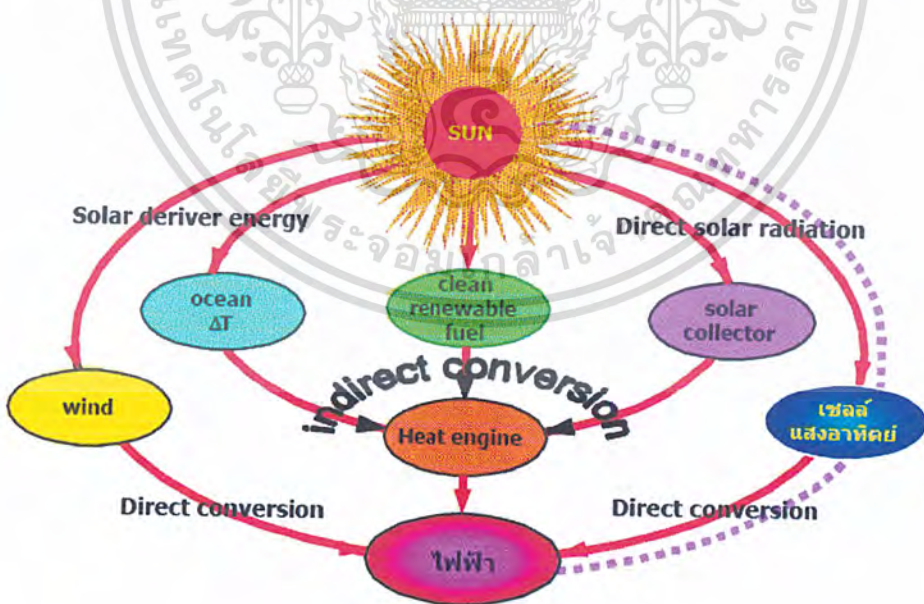
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

ไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการเปลี่ยนแสงจากดวงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรงขั้นตอนเดียว โดยไม่มีส่วนเคลื่อนไหวใดๆ ไฟฟ้าดังกล่าวก็จะทำงานใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับไฟฟ้าจากแหล่งผลิตอื่นๆ หากใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงก็ใช้ได้โดยตรงเช่นระบบ โซลาร์เซลล์ที่ใช้ในรถยนต์ หรือหากจะใช้กับเครื่องใช้กระแสสลับก็ผ่านเครื่องใช้กระแสสลับก็ผ่านเครื่องแปลงเป็นกระแสสลับที่เรียกว่า อินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอื่นๆ อาทิ ความร้อนพลังงานลม และพลังงานคลื่นในมหาสมุทรทั้งหมดมีแสงจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานต้นทางดังแสดงในรูปที่ 2.1

เนื่องจากแสงอาทิตย์มีแต่ตอนกลางวัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเก็บไฟฟ้าไว้โดยแบตเตอรี่ เพื่อใช้ในเวลากลางคืน ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าโดยแสงอาทิตย์ นอกจากจะขึ้นตรงต่อความเข้มของแสงอาทิตย์แล้ว อุณหภูมิซึ่งสูงขึ้นจากการตากแดดจะทำให้ประสิทธิภาพลดต่ำลง ดังนั้นในการติดตั้งใช้งานควรอยู่กลางแจ้งหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์และเว้นช่องว่างเพื่อช่วยระบายความร้อนด้านหลัง (หากอยู่ในซีกโลกเหนือเช่นประเทศไทย ก็เอียงไปทางทิศใต้) จะได้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยมากที่สุดหนึ่งเพื่อให้สามารถรับแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันมากที่สุดคือคอยดูแลความสะอาดของแผงเซลล์คอยตัดกิ่งไม้ใกล้เคียงที่อาจทอดเงามาบังแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.1 ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในแบบต่างๆ

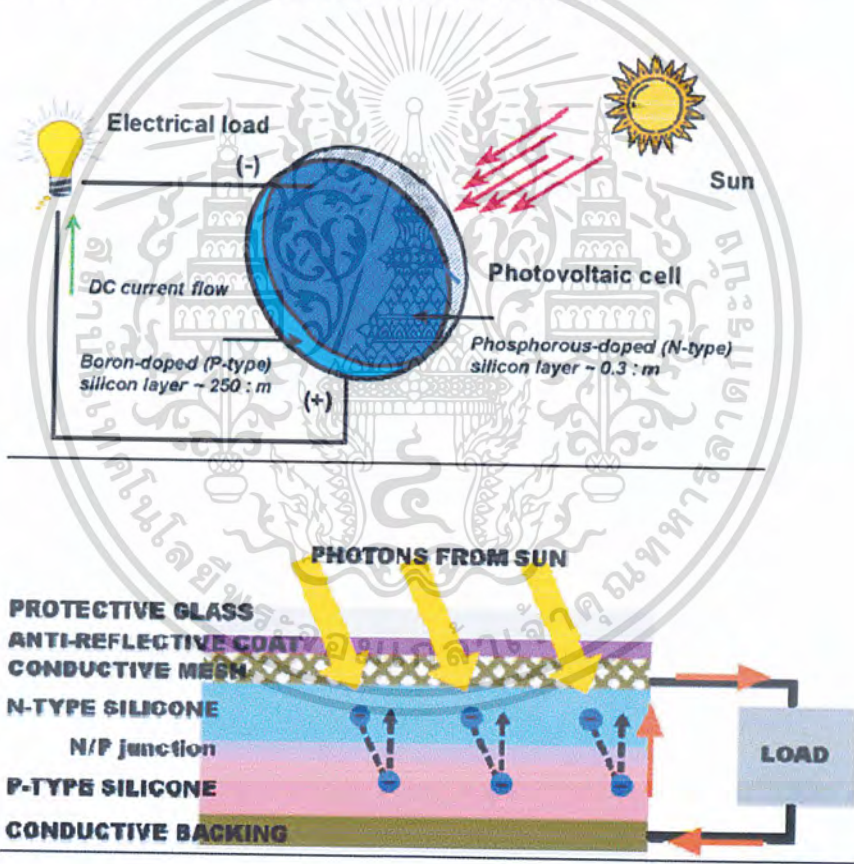
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไประบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์จะประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และชุดควบคุมการทำงานเพื่อให้สามารถใช้แบตเตอรี่ได้นานๆ ตามคำแนะนำของผู้ผลิตแบตเตอรี่ เราจำเป็นต้องทราบปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อฤดูกาล ปริมาณการใช้งานต่อวัน เฉลี่ยทั้งปี เพื่อใช้ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ทางปฏิบัติจะออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาดใหญ่กว่าความต้องการประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์เป็นอย่างน้อย เพื่อชดเชยแดดน้อยในฤดูฝน และการสูญเสียเนื่องจากประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สายไฟฟ้า และชุดควบคุม เป็นต้น จากนั้นนำไปประเมินค่าใช้จ่าย หากระบบมีราคาสูงกว่างบประมาณที่มีอยู่ ก็ค่อยๆ ปรับแต่ง โดยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีข้อดีคือสามารถเริ่มจากระบบเล็กซึ่งลงทุนน้อย แล้วค่อยๆ ขยายระบบให้ใหญ่ขึ้น เมื่อมีความสามารถทางการเงินสูงขึ้น

2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้อย่างไร

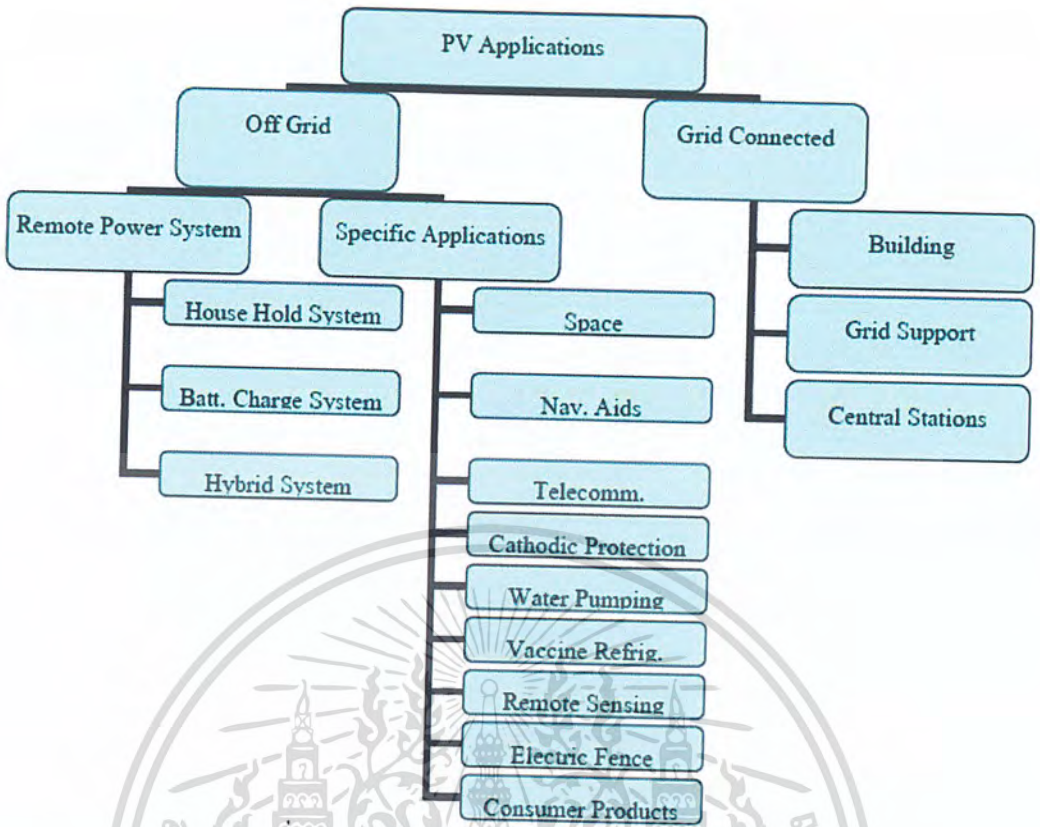
เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและความต่างศักย์ที่ผิวทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นเมื่อมีการเชื่อมต่อระหว่างผิวทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวอย่างเช่น หลอดไฟก็จะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนเพื่อให้เกิดสมดุลระหว่างผิวทั้งสองด้านของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งการไหลของอิเล็กตรอนทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้า และตรงเท่าที่แสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะเกิดอิเล็กตรอนอิสระพร้อมที่จะให้พลังงานไฟฟ้า กระแสตรง จะเห็นได้ว่าเป็นวิธีเปลี่ยนรูปพลังงานแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรงที่สุด ง่ายที่สุด ไม่มีการเคลื่อนที่ไหลของชิ้นส่วนใดๆ ไม่มีกรรลีหรือใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ดังนั้นคราบเท่าที่เซลล์แสงอาทิตย์ยังคงสภาพสารกึ่งตัวนำและมีแสงอาทิตย์ตกกระทบผิวเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะผลิตไฟฟ้าออกมาให้ตลอดไป (ในทางปฏิบัติผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์รับประกันอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์กว่ายี่สิบปีขึ้นไป) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ตัวอย่างเช่น หากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ 100 วัตต์ เมื่อมีความเข้มแสง 1,000 วัตต์/ตารางเมตร ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 500 วัตต์/ตารางเมตร ก็จะผลิตไฟฟ้าได้ 50 วัตต์ เป็นต้น ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่างร้อยละ 7-19 ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของเซลล์แบบต่างๆ ทั้งนี้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกระแสตรงเช่นเดียวกับ ไฟฟ้าในรถยนต์ หากต้องการเปลี่ยนเป็นกระแสสลับ เพื่อให้สามารถใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไปในปัจจุบัน ก็ต้องแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยอุปกรณ์ที่เรียกว่าอินเวอร์เตอร์เสียก่อน เนื่องจากแสงอาทิตย์มีแต่ในตอนกลางวัน และมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ และเวลา ดังนั้น จึงต้องมีแบตเตอรี่เพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้ในเวลาที่ไม่มีแดดคือตอนกลางคืน หรือ แดดน้อย เช่น ตอนเช้าค่ำ ตอนหัวค่ำและตอนกลางวันที่ท้องฟ้ามีครึ้มอันเนื่องมาจากฝนตก เมฆหนา เป็นต้นแต่ในกรณีซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า นครหลวง หรือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ก็ไม่จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่เพราะสามารถขายไฟฟ้าให้กับระบบ

จำหน่ายโดยมิเตอร์จะหมุนกลับเสมือนกับที่เราเอาไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์นี้ไปฝากไว้ในระบบจำหน่ายแล้วถอนกลับมาใช้ในตอนกลางคืน วิธีนี้มีข้อดีกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพราะจะไปช่วยเสริมความมั่นคงของระบบ ในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้ามากตามสำนักงาน โรงงาน ฯลฯ ในตอนกลางวัน ประเทศไทยเริ่มนำระบบผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์กว่าสามสิบปีมาแล้ว จนถึงปัจจุบันรวมได้มากกว่า 30 เมกะวัตต์ โดยกว่าร้อยละ 90 ใช้ในชนบทห่างไกลซึ่งยังไม่มีบริการของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย เพราะเป็นทางเลือกค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด สำหรับในอนาคตอันไม่ไกลนัก จะเริ่มมีการนำมาใช้ในเขตที่มีการบริการแล้ว ในลักษณะต่อเชื่อมเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีแนวโน้มที่ราคาของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ลดต่ำลงมากใกล้กับราคาไฟฟ้าที่ผลิตจากเชื้อเพลิงเผาไหม้เข้าไปทุกที ในขณะที่ราคาเชื้อเพลิงเผาไหม้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และสังคมเริ่มมีความกังวลเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับผลกระทบเรื่องคุณภาพของอากาศ น้ำ สภาพแวดล้อมเป็นพิษจากการเผาไหม้ ถ่านหิน ก๊าซ น้ำมัน ฯลฯ ในรูปที่ 2.3 แสดงการใช้ประโยชน์เซลล์แสงอาทิตย์และองค์ประกอบระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์



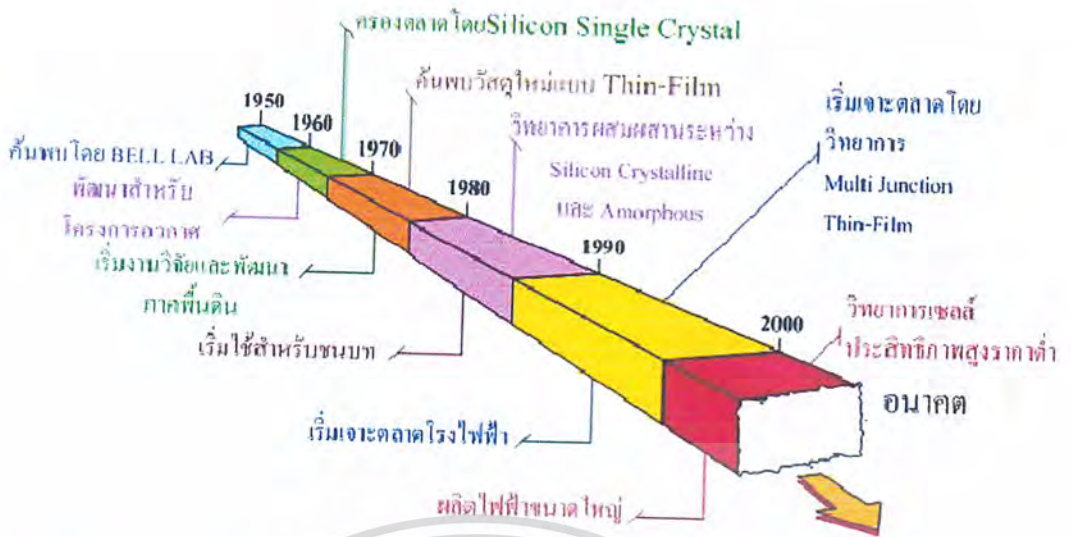
รูปที่ 2.2 การเกิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การใช้ประโยชน์ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์มีกำเนิดในช่วงปี ค.ศ.1950 ที่ Bell Telephone Laboratory ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยมี วิศวกรประดิษฐ์เบื้องต้น เพื่อผลิต ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ สำหรับใช้ใน โครงการอวกาศ ต่อจากนั้นจึงได้เริ่มมีการ นำมาใช้อย่างกว้างขวาง และขยายผลสู่ระดับอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ของโลกเมื่อประมาณปลาย ทศวรรษที่ 50 เป็นต้นมา ในรูปที่ 2.4 แสดงความเป็นมาและแนวโน้มเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใน ระยะเวลาแรกเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีราคาแพงมาก จึงจำกัดการใช้งานอยู่เฉพาะในงานวิทยุสื่อสาร และ ไฟฟ้าแสง สว่างขนาดเล็กในพื้นที่ห่างไกลเท่านั้นในช่วงปี ค.ศ. 1970 ภาครัฐในประเทศสหรัฐอเมริกา เยอรมัน และ ญี่ปุ่น ได้ส่งเสริมการผลิตไฟฟ้า จากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างจริงจังและต่อเนื่อง เป็นผลให้ราคาของเซลล์ แสงอาทิตย์ลดลงเป็นลำดับจากประมาณ 4 ล้านบาทต่อกิโลวัตต์ ในปัจจุบันคงเหลือประมาณ 1.6 แสนบาท ต่อกิโลวัตต์ ซึ่งนับว่าราคาของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ลดลงมามากแล้ว แต่ก็ยังเป็นราคาที่แพงกว่าการผลิต ไฟฟ้าโดยวิธีอื่นๆ



ที่มา : US. DOE

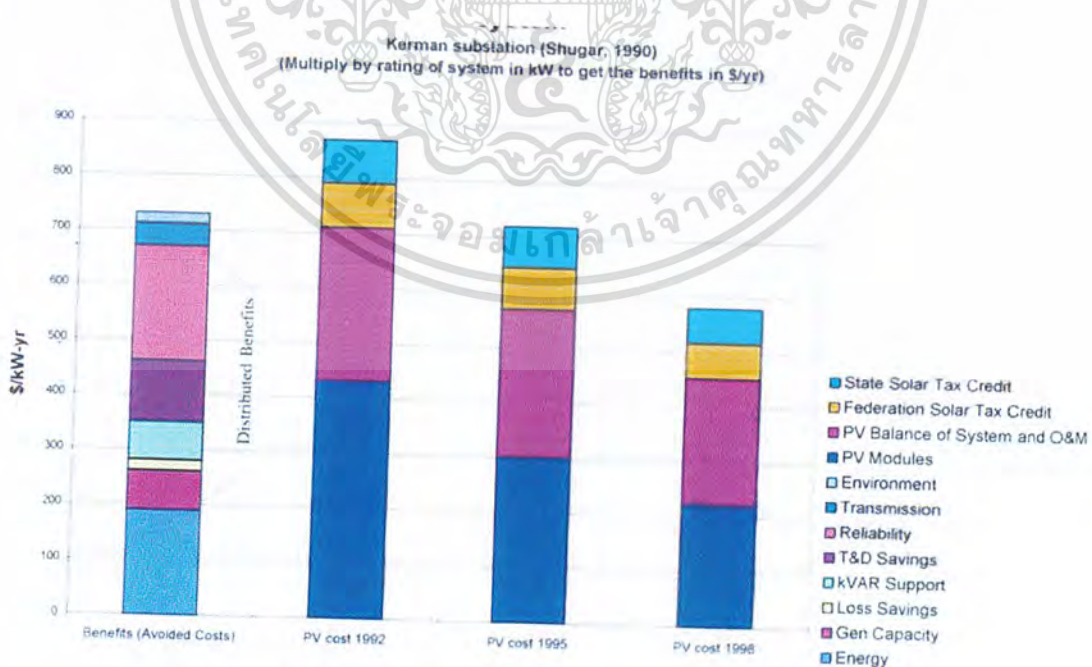
รูปที่ 2.4 ความเป็นมาและแนวโน้มเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.2 เศรษฐศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

ในกรณีพื้นที่ห่างไกลซึ่งระบบจำหน่ายของการไฟฟ้ายังไม่ถึงไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ก็เป็นทางเลือกเหมาะจะมีราคาต่ำกว่าตัวเลือกอื่นๆ เช่น เครื่องยนต์เบนซิน ดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานด้านโทรคมนาคม ไฟสัญญาณ การช่วยเดินเรือ เดินใฝ่ยาม แต่เนื่องจากเงินลงทุนสูงมากกว่าระบบผลิตไฟฟ้าแบบอื่นๆ มาก การหาแหล่งเงินทุน ดอกเบี้ยต่ำ ปลอดดอกเบี้ย นาน ฯลฯ ถ้าเป็นอุปสรรคสำคัญ ดังนั้นจึงต้องการความช่วยเหลือจากภาครัฐ ในระยะแรกๆเป็นหลัก ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือโครงการไฟฟ้าแสงอาทิตย์ สำหรับหมู่บ้านห่างไกลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งรวมกำลังการติดตั้งสูงถึงกว่า 2 เมกะวัตต์ ก็ใช้เงินงบประมาณแผ่นดินทั้งสิ้น แต่เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีค่าเชื้อเพลิง สะอาดและมีให้อย่างไม่จบสิ้น ดังนั้น นักวางแผนพลังงานที่มีวิสัยทัศน์กว้างไกลก็จะต้องหาหนทางสนับสนุนเช่น เงินกู้ปลอดดอกเบี้ยต่ำ ผ่อนนาน รับซื้อไฟฟ้าราคาสูงใจ เพื่อให้เกิดการผลิตในเชิงปริมาณเพื่อลดราคา สร้างงาน ฯลฯ ตัวอย่างของความสำเร็จที่เห็นได้ชัดเจนเป็นรูปธรรมก็คือญี่ปุ่น และเยอรมัน ในกรณีของญี่ปุ่นหลังจากการ Deregulate เพื่อให้มีการซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตช่วยได้ (จากเดิมขายอย่างเดียว) ภายใต้โครงการ Sunshine Project ซึ่งเริ่มเมื่อปี ค.ศ. 1994 สามารถดึงราคาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายจาก 2 ล้านเยนต่อกิโลวัตต์ ลงมาเหลือ 6 แสนเยนต่อกิโลวัตต์ในระยะเวลา 12 ปี โดยให้การสนับสนุนแบบช่วยออกค่าใช้จ่ายครึ่งหนึ่งในปี แรกค่อยๆ ลดลงมาจนเหลือไม่เกินร้อยละสิบในปี หลังๆ ผลที่เกิดขึ้นคือมีบ้านแบบ “Grid Connected” ตอนจบ โครงการเกือบ 3 แสนหลังและมีอุตสาหกรรมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวข้องกับขยายตัวอย่างมากมาย จนกลายเป็นผู้ส่งออกอันดับที่ 1 ของโลกในปัจจุบัน สำหรับประเทศเยอรมัน สิ่งที่สูงใจก็คือรับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานทดแทน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในราคาสูงมาก ก็มีผู้เข้าร่วมโครงการจำนวนมากจนปัจจุบันเป็นตลาดใหญ่สุดในโลก ถ้ามองว่าเองประมาณมาจากไหนซึ่งก็เอามาจากเศษเสี้ยวของค่าไฟฟ้าของบริษัทไฟฟ้าที่ขายได้ค่อยๆ ทำมาหลายปี ก็เกิดปรากฏการณ์คล้ายของญี่ปุ่นในกรณีผู้สนใจเข้าร่วมโครงการมีทุนไม่พอ ก็หาเงินส่วนหนึ่งจากกำไรของการขายไฟฟ้าดังกล่าวมาให้กู้ในอัตราดอกเบี้ยที่ต่ำกว่าธนาคาร ปัจจุบันอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนของเยอรมัน แข็งแกร่งการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ส่งออกเป็นอันดับสองรองจากญี่ปุ่น และสร้างงานได้อย่างมหาศาลหลายประเทศในยุโรปก็ใช้วิธีการของเยอรมัน โดยมีเงื่อนไขของใจที่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อย สเปนซึ่งเป็นประเทศที่มีแดดดี ภูมิอากาศก็ก้าวขึ้นมาเป็นตลาดลำดับ 3 ของโลก ส่วนทางด้านอเมริกาซึ่งเป็นผู้กำเนิดเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงปี ใช้วิธีของใจทั้งสองแบบบวกกับมาตรการด้านลดหย่อนภาษีเพิ่มเติมเข้าด้วย ทำให้เป้าหมายของการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ของอเมริกาจะสูงกว่า 3 หมื่นเมกะวัตต์ในปี ค.ศ. 2020 รูปที่ 2.5 แสดงผลประโยชน์/ต้นทุน ของระบบแสงอาทิตย์ต่อเชื่อมระบบจำหน่ายในระหว่างปี ค.ศ. 1992 - 1998 โดยต้นทุนของระบบ ได้แก่ ราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์คิดเป็นประมาณครึ่งหนึ่งของค่าใช้จ่ายและส่วนที่เหลืออีกครึ่งหนึ่งเป็นค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ประกอบระบบคิดเป็นสามในห้าของส่วน นอกจากนี้ต้นทุนของระบบ ลดลงจากปี ค.ศ. 1992 ถึง 1998 คิดเป็นประมาณ 30เปอร์เซ็นต์ ผลประโยชน์ที่ได้รับจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์นอกจากในแง่ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แล้ว ด้านอื่นๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายของคุณภาพและเสถียรภาพของไฟฟ้า ความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ประหยัดค่าใช้จ่ายการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้าใหม่ และระบบสายส่งแรงสูงรวมถึงระบบจำหน่ายไฟฟ้า เป็นต้น

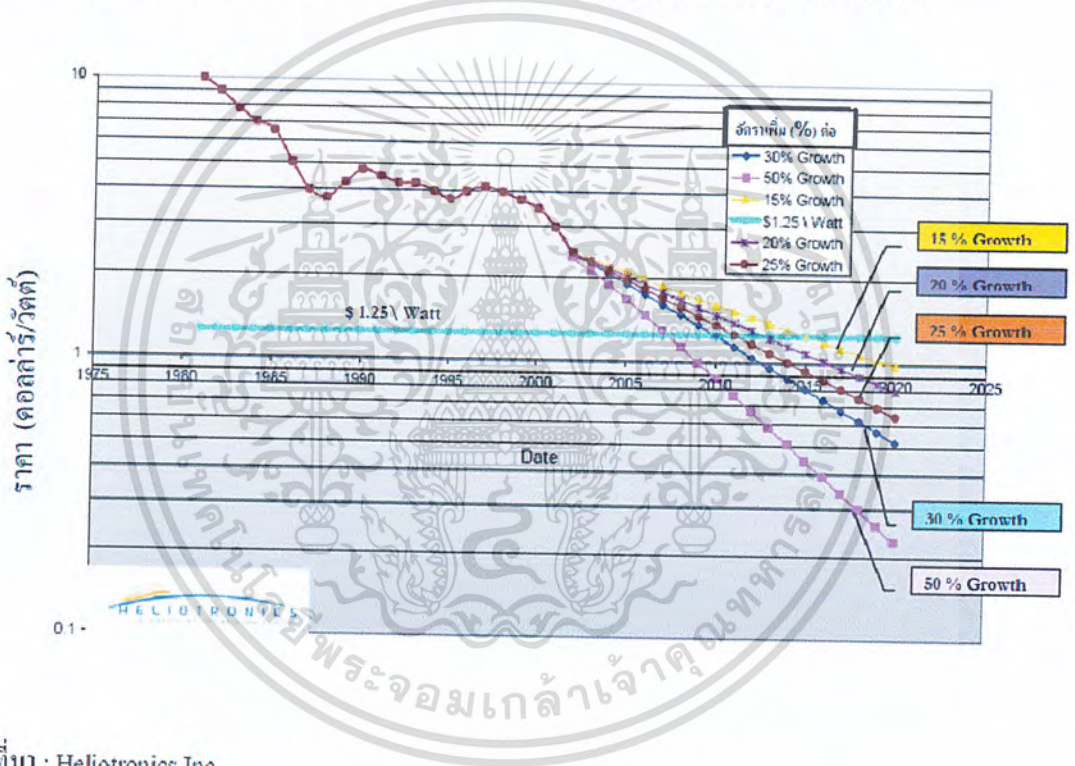


รูปที่ 2.5 ผลประโยชน์ต่อต้นทุนของระบบแสงอาทิตย์ต่อเชื่อมระบบจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

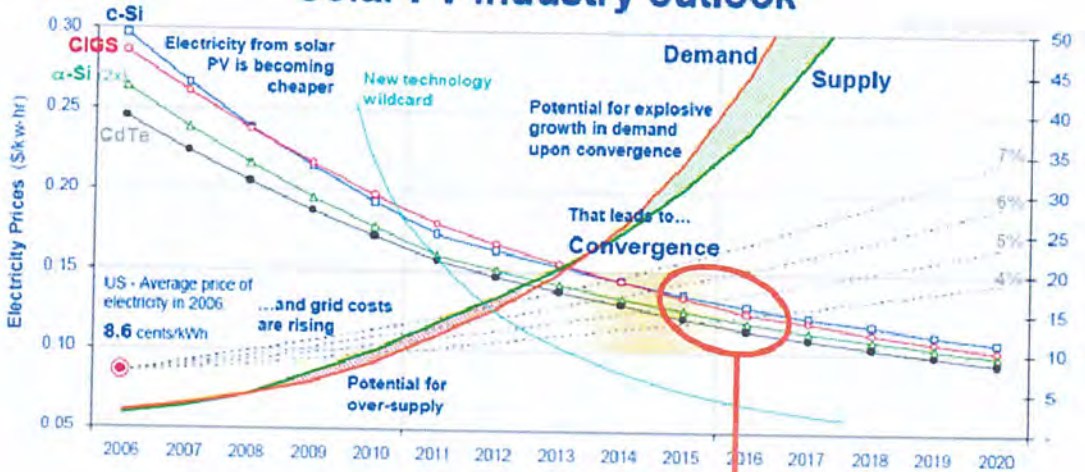
2.1.3 แนวโน้มในอนาคต

อันเนื่องมาจากความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่องของเทคโนโลยีต่างๆ ทั้งแบบผลึกซิลิกอน และแบบฟิล์มบาง จึงมีการคาดคะเนว่าภายในไม่เกินสิบปี จากนี้ ราคาไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงจนใกล้เคียงกับราคาไฟฟ้าที่จำหน่ายโดยการไฟฟ้าและอาจจะเร็วยิ่งขึ้นกว่านั้น หากมีการเพิ่มราคาถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ ประกอบกับความกดดันจากปัญหาภาวะต่างๆ รูปที่ 2.6 แสดงราคาของไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงมาก เมื่อมีการขยายตัวของตลาดเพิ่มมากขึ้น และรูปที่ 2.7 แสดงราคาของไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ ในเชิงพาณิชย์ได้ลดลง โดยในช่วงแรกอาจมีความแตกต่างกันมากของราคาแต่ในช่วงปี ปลายๆ จะมีราคาแตกต่างกันน้อยลง ดังนั้นประเทศไทยของเรามีความแตกต่างไม่ถึงร้อยละ 20 ที่ประเทศก็ควรมีนโยบายและแนวทางสนับสนุนที่เป็นรูปธรรม ตามที่หลายประเทศทำได้สำเร็จกำลังก้าวไปข้างหน้ายิ่งขึ้น ซึ่งมีปริมาณแสงแดดในระดับดี (1000-1400 กิโลวัตต์-ชั่วโมง / กิโลวัตต์ / ปี)



รูปที่ 2.6 ผลกระทบการขยายตลาดต่อราคาเซลล์แสงอาทิตย์ ช่วงปี ค.ศ. 1980 – 2020

Solar PV industry outlook



With present growth trend
“parity to grid” may be
possible around 2015-2016

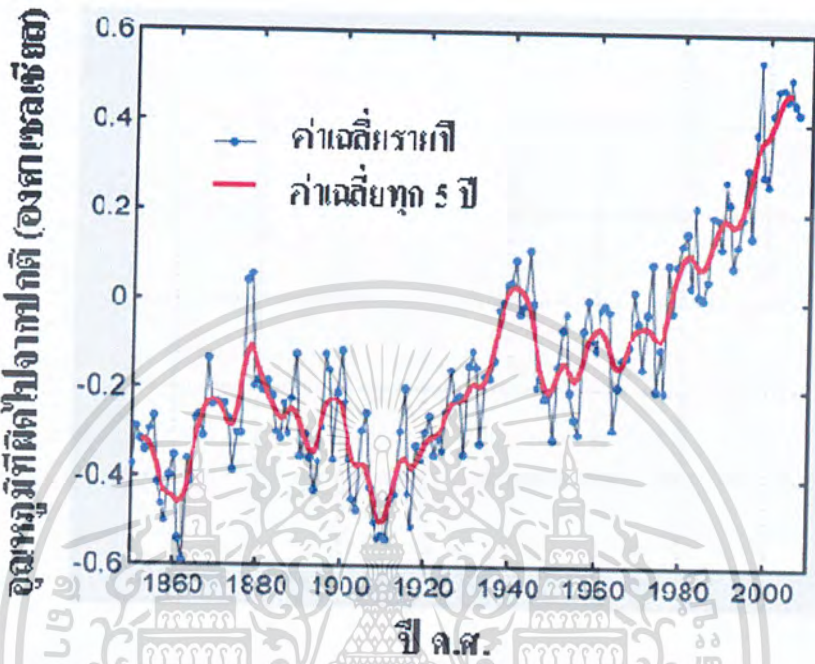
รูปที่ 2.7 แนวโน้มอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคต

2.1.4 กลไกการพัฒนาที่สอดคล้องกับพลังงานแสงอาทิตย์

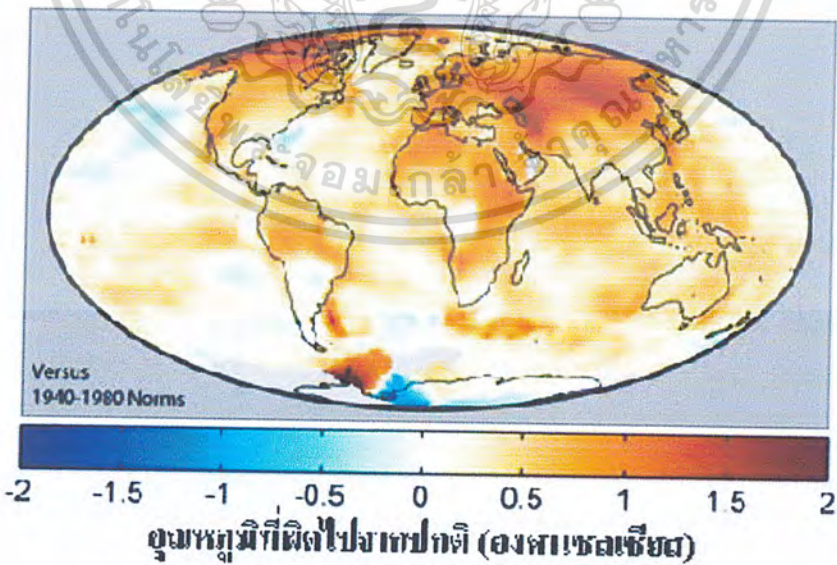
การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในส่วนต่างๆ ในโลกเกิดขึ้นตลอดเวลาและเป็นไปตามกลไกของธรรมชาติ อาทิ ปริมาณโอโซนลดลงในชั้นบรรยากาศ อุณหภูมิน้ำในมหาสมุทรเพิ่มขึ้นการละลายเพิ่มขึ้นของน้ำแข็งบริเวณขั้วโลกเหนือและใต้ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่วนหนึ่งมาจากปัจจัยภายนอก อันได้แก่การแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์และโลกโคจรรอบด้วยอาทิตย์ซึ่งเชื่อมโยงกับอาศัยกลไกการดูดกลืน การสะท้อนและการกระจายของพลังงานที่ได้รับจากรังสีอาทิตย์ ทั้งนี้ความสนใจอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในโลกเริ่มขึ้นในช่วงกลางศตวรรษที่ 20 ปรากฏการณ์การเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิอากาศและพื้นน้ำบริเวณใกล้ผิวโลกหายย้อนหลังจากปี ค.ศ. 2005 ประมาณหนึ่งร้อยปีที่ผ่านมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิพื้นผิวโลกเท่ากับ 0.74 ± 0.18 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการจัดประชุมคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยภาวะการณเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) ได้สรุปสาเหตุการเพิ่มของอุณหภูมิเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ในชั้นบรรยากาศโลก ขณะที่รังสีอาทิตย์และภูเขาไฟระเบิดทำให้โลกเพียงอบอุ่นขึ้น ในรูปที่ 2.8 และรูปที่ 2.9 แสดงอุณหภูมิผิวโลกที่แตกต่างไปจากปกติในช่วงปี ค.ศ. 1916 – 1990 และอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกที่แตกต่างไปจากปกติในช่วงปี ค.ศ. 1995 - 2004 ตามลำดับ โดยในรูปที่ 2.9 คิดเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยของปี ค.ศ. 1940 - 1980 จะเห็นว่าช่วงศตวรรษที่ 20 การเพิ่มอุณหภูมิผิวโลกเท่ากับ 1.1 ถึง 6.4 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจพบความแตกต่างของผลการคำนวณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการคาดการณ์ปริมาณก๊าซเรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจกในอนาคตและแบบจำลองสภาวะอากาศ อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์ที่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น อาทิ ความถี่ของการเกิดพายุบ่อยขึ้นโดยในประเทศไทยมีแนวโน้มเกิดดีเปรชันน้อยลงแต่พายุไต้ฝุ่นจะเกิดเพิ่มบ่อยขึ้น ปรากฏการณ์เอลนีโญซึ่งทำให้ปริมาณฝนลดลงพร้อมกับเกิดความแห้งแล้ง และปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว เป็นต้น



รูปที่ 2.8 อุณหภูมิผิวโลกที่แตกต่างไปจากปกติในช่วงปี ค.ศ. 1916–1990



รูปที่ 2.9 อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกที่แตกต่างไปจากปกติในช่วงปี ค.ศ. 1995 – 2004

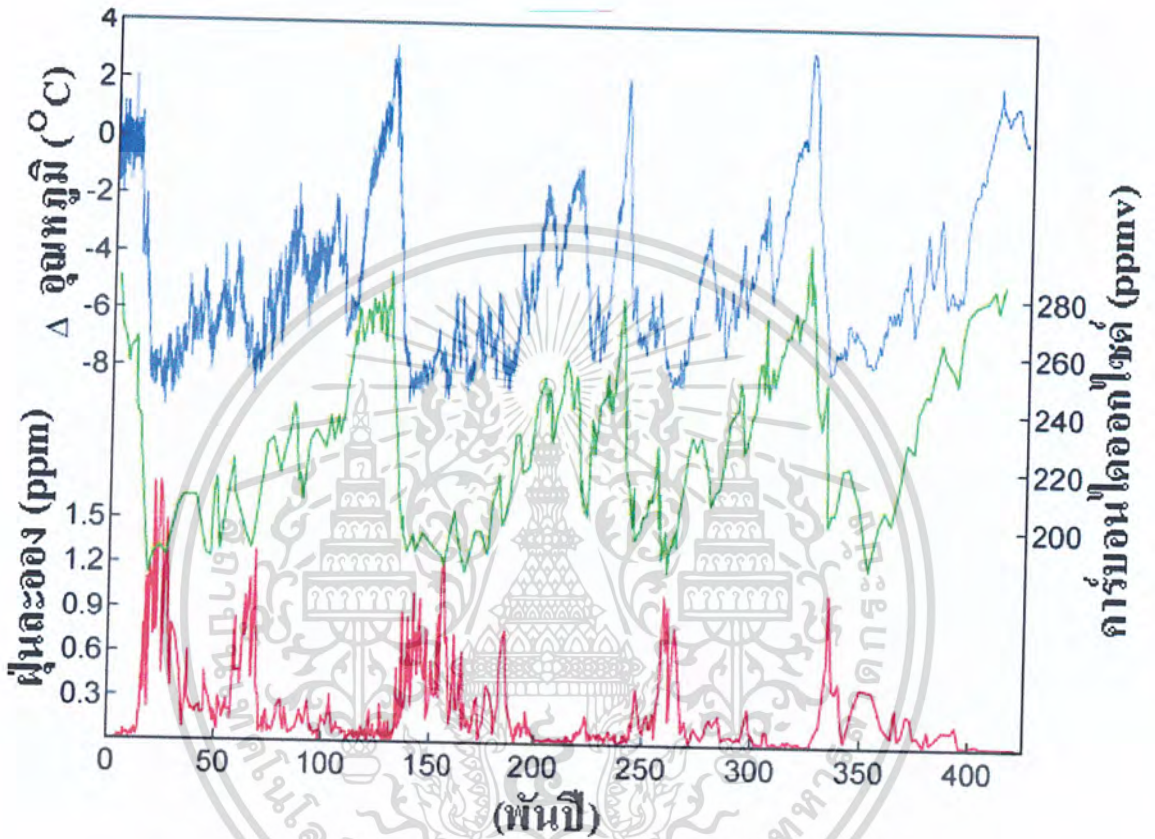
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาศัยแนวความคิดเรือนกระจกถูกนำมาใช้เพื่อให้เกิดความเข้าใจปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน โดยปกติโลกจะได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านชั้นบรรยากาศของโลกลงมาอย่างสม่ำเสมอ เมื่อรังสีอาทิตย์ส่งมายังผิวโลก รังสีบางส่วนจะสะท้อนกลับออกสู่ภายนอกโลก ส่วนที่เหลือจะถูกดูดกลืนไว้ทั้งในบรรยากาศและบริเวณพื้นผิวโลกในพื้นดินและพื้นน้ำ เมื่อพื้นโลกส่วนที่รับแสงอุ่นขึ้นและสะท้อนความร้อนให้กับบรรยากาศของโลกเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง 3 ประการ ได้แก่ อากาศที่ติดกับผิวโลกร้อนขึ้น น้ำหรือความชื้นที่ผิวโลกกลายเป็นไอรเหย และรังสีอินฟราเรดสะท้อนสู่บรรยากาศ ทั้งนี้การสะท้อนของรังสีอินฟราเรดไปบรรยากาศและสะท้อนกลับมายังพื้นผิวโลกอีกครั้งทำให้อากาศเหนือผิวโลกร้อนเพิ่มขึ้นในขณะที่บรรยากาศโดยรอบในโลกมีสารต่างๆปะปนเพิ่มมากขึ้น อาทิ คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งสามารถรับและเก็บความร้อนได้ดี อันส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศที่ผิวโลกมีความร้อนเพิ่มขึ้น เป็นต้น

การปฏิวัติอุตสาหกรรมและรูปแบบการเกษตรกรรมรวมถึงการพัฒนาอุตสาหกรรมที่เปลี่ยนแปลงในช่วงกว่าร้อยปี ที่ผ่านมา ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 25 ขณะที่ก๊าซอื่นๆ ได้เพิ่มขึ้นพร้อมกับการเพิ่มจำนวนประชากร รวมถึงการเพิ่มปริมาณการใช้พลังงานและอาหาร อาทิ มีเทน คลอโรฟลูออโรคาร์บอน ในครัวเรือน ไซค์ หรือเป็นที่รู้จักกันคือ ก๊าซเรือนกระจก นอกจากนี้การตรวจวัดอุณหภูมิของบรรยากาศโลกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1985และการวิเคราะห์โพรงอากาศบริเวณขั้วโลกใต้ รายงานผลเป็นที่เชื่อได้ว่าผลจากการสะสมความร้อนของรังสีอินฟราเรดในบรรยากาศ เมื่อมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นโลกเพิ่มขึ้นและโลกร้อนขึ้น

สาเหตุที่ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นในขณะเดียวกันการตัดไม้ทำลายป่าและการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ของโลก เป็นผลให้ขาดความสมดุลระหว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดเพิ่มขึ้นกับการลดปริมาณก๊าซตามวิธีแห่งธรรมชาติ ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ถูกใช้ประโยชน์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชสีเขียวและต้นไม้รวมทั้งให้ผลผลิตอย่างหนึ่งที่สำคัญได้แก่ ออกซิเจน สิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อมนุษย์และสัตว์ รายงานผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเทียบกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และฝุ่นละอองในบรรยากาศดังแสดงในรูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนไดออกไซด์และฝุ่นละอองจากการเจาะสำรวจแกนน้ำแข็งอายุประมาณ 450,000 ปีบริเวณแอนตาร์คิกที่ขั้วโลกใต้ แสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแปรตามกับการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้าดับต่อมาก๊าซมีเทนเป็นผลผลิตจากการปลูกข้าวและการเลี้ยงสัตว์ซึ่งจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณการผลิตเพื่อเป็นอาหารให้แก่ประชากรของโลกที่เพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 นอกจากนี้ก๊าซมีเทนยังเพิ่มขึ้นจากกองขยะ จอมปลวก เหมือนถ่านหินการขุดเจาะน้ำมันและเขม่าควันจากการเผาป่า ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง คือ คลอโรฟลูออโรคาร์บอนเป็นสารทำความเย็นเริ่มใช้งานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1930 ซึ่งใช้งานในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเช่น ตู้เย็น

สเปรย์ และพลาสติก เป็นต้น สุดท้ายที่จะกล่าวถึง คือ ไนตรัสออกไซด์ เกิดเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน การเผาไหม้ซากพืช การเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์และการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ทั้งนี้การเพิ่มปริมาณแทบไม่มีผลกระทบต่อเพียงก๊าซเรือนกระจกดังกล่าวมีวงจรกิจติที่สั้น แต่ในความเป็นจริงอายุคงอยู่ในชั้นบรรยากาศของก๊าซเรือนกระจกได้แก่คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และ ไนตรัสออกไซด์ เท่ากับ 200-450, 11 และ 120 ปีตามลำดับ



รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และฝุ่นละอองจากการเจาะสำรวจแกนน้ำแข็ง Vostok บริเวณแอนตาร์กติก ขั้วโลกใต้

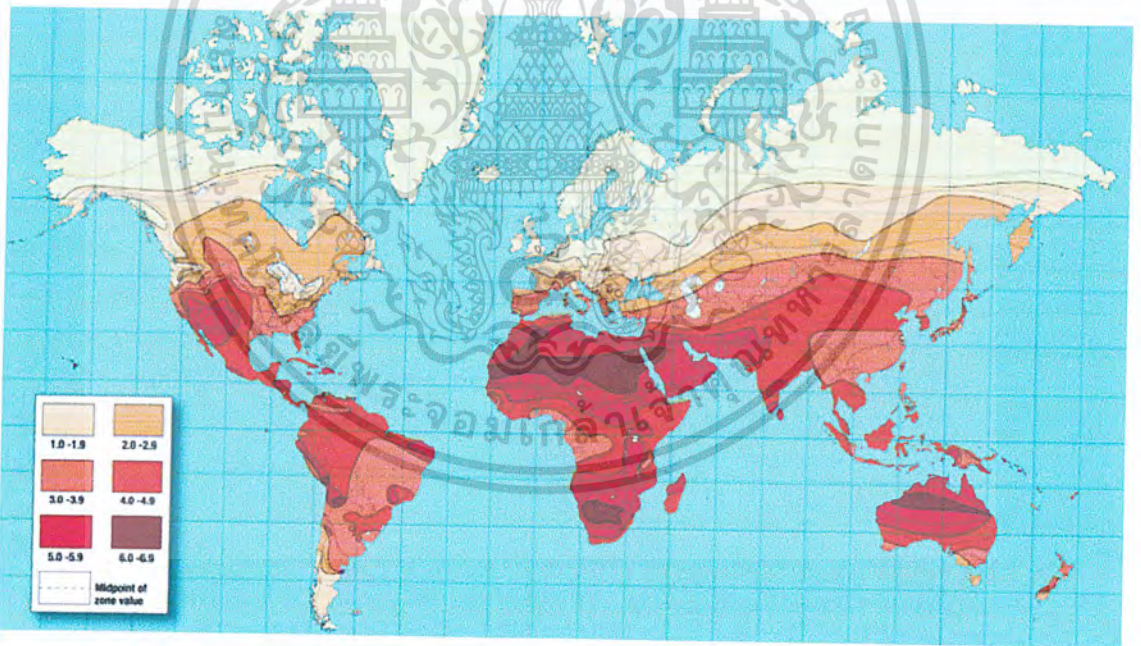
2.2 ความรู้เกี่ยวกับรังสีอาทิตย์

รังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ถูกนำไปประโยชน์เพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยเซลล์แสงอาทิตย์ ปริมาณของรังสีอาทิตย์สามารถทราบในรูปของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยขึ้นกับวันที่และเวลารวมถึงตำแหน่งบนพื้นโลก รังสีอาทิตย์มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/M^2) และพลังงานแสงอาทิตย์มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน รังสีอาทิตย์ประกอบด้วยสเปกตรัม ซึ่งหากพิจารณาการใช้งานเพื่อผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นั้น เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดจะตอบสนองต่อสเปกตรัมได้ไม่เท่ากันทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าแตกต่างกัน นอกจากนี้การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงการใช้งานและการบำรุงรักษาระบบจำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในพื้นที่ และลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้รวมถึงผลกระทบจากรังสีอาทิตย์ด้วย

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) สามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่สิ้นสุด เป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และปกติมนุษย์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติในชีวิตประจำวัน โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์มากก็จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง สำหรับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้อุปกรณ์รวมแสงเราจำเป็นต้องทราบสัดส่วนของรังสีรวมต่อรังสีกระจายด้วย ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นโลก การศึกษาเพื่อทราบปริมาณรังสีอาทิตย์บนพื้นโลกซึ่งจะใช้เป็นแนวทางการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์จะถูกนำเสนอเป็นแผนที่พลังงานแสงอาทิตย์ในหน่วยของกิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน($kWh/M^2/day$) และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.11 แสดงแผนที่พลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นผิวโลก และในรูปที่ 2.12 แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย



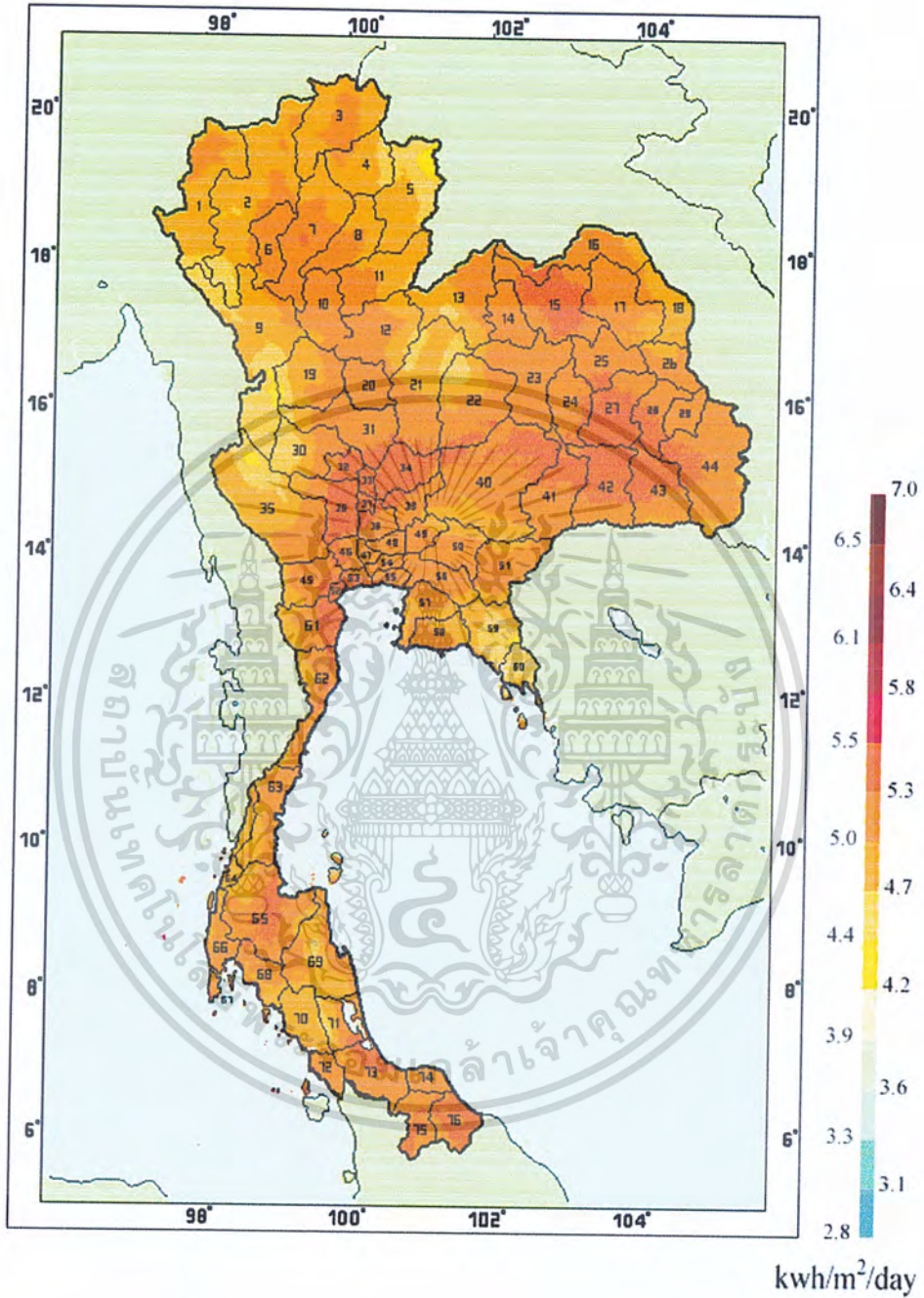
รูปที่ 2.11 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน) และคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร ในแต่ละเดือนนั้น การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ของประเทศได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 - 24 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี

พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของ จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อยุรยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19-20 เมกะจูลต่อตารางเมตร -วัน พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ





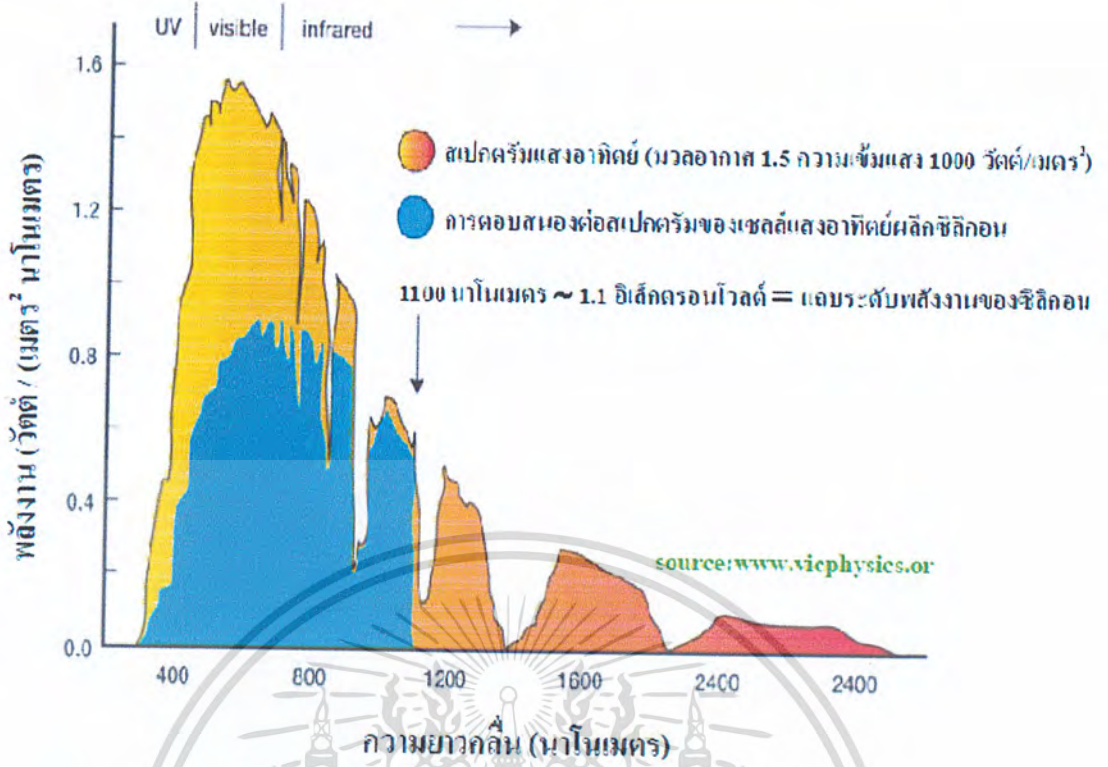
รูปที่ 2.12 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย
(หน่วย: กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

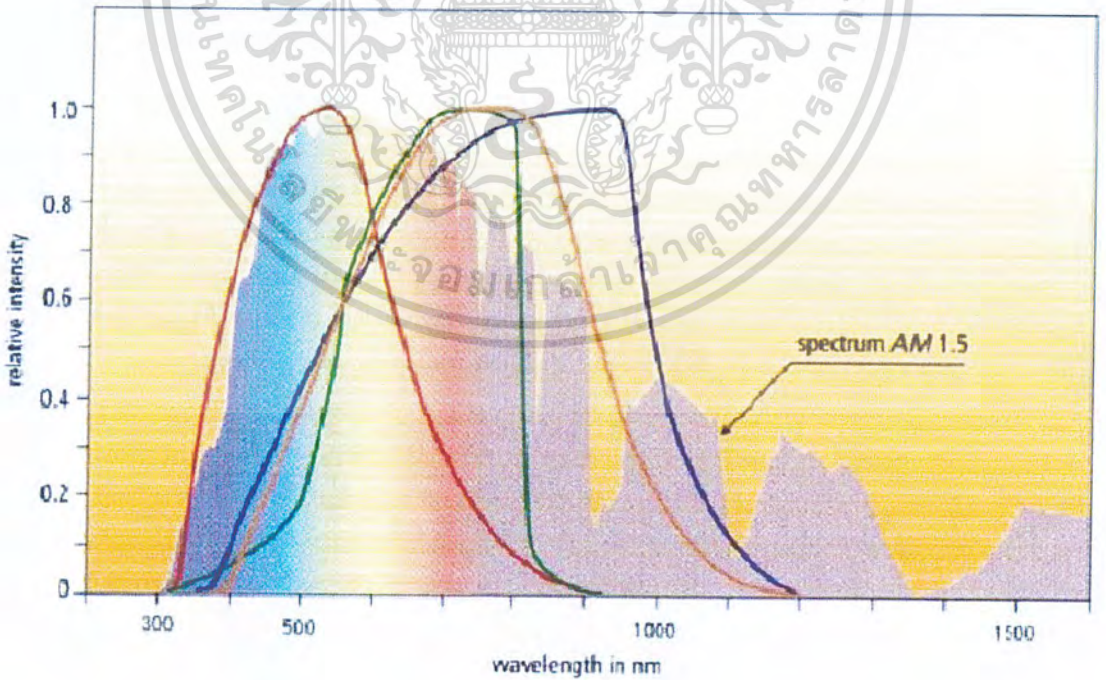
นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีมีค่าเท่ากับ 18-19 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงาน แสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

2.2.1 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานโดยผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงซึ่งทั้งการ ใช้งานรวมถึงการ ออกแบบระบบจึงจำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมแสงอาทิตย์กับเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละ ชนิดจะช่วยให้ความเข้าใจในความแตกต่างของประสิทธิภาพของระบบ และสามารถนำไปใช้ประกอบการ เลือกรูปแบบระบบและการบำรุงรักษาระบบได้ ทั้งนี้การอธิบายโดยใช้รูปภาพประกอบทำให้เข้าใจในเรื่อง นี้ได้ง่ายขึ้น จากรูปที่ 2.13 แสดงสเปกตรัมของรังสีอาทิตย์ที่มวลอากาศ 1.5 และรูปที่ 2.14 แสดงการ ตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผลึกซิลิกอน อะมัลฟัสซิลิกอน CdTe และ CIS หรือ CIGS เป็นที่ทราบกันว่า รังสีอาทิตย์ประกอบด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และแสงอินฟราเรด หากพิจารณาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ต้องคำนึงถึงสเปกตรัมแสงและการ ตอบสนองต่อสเปกตรัมประกอบกัน ในรูปที่ 2.13 บริเวณพื้นที่ซึ่งกราฟซ้อนทับกันจะแสดงถึง ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิกอนจะสามารถทำงานได้ในช่วง แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าและอินฟราเรดคลื่นสั้น ถึงแม้ว่า สเปกตรัมของรังสีอาทิตย์ช่วงค่อนข้างกว้าง ตั้งแต่ 380-1100 นาโนเมตร แต่ด้วยข้อจำกัดของการตอบสนองต่อสเปกตรัมของเซลล์แสงอาทิตย์ผลึก ซิลิกอนส่วนใหญ่เป็นแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าและแสงอินฟราเรด ดังนั้นช่วงเซลล์แสงอาทิตย์ผลึก ซิลิกอนจึงทำงานจริงในช่วงความยาวคลื่นที่แคบลงและในรูปที่ 2.14 แสดงเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ ต่างกันของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ กล่าวคือเซลล์แสงอาทิตย์อะมัลฟัสซิลิกอนมีประสิทธิภาพ น้อยกว่าผลึกซิลิกอนเนื่องจากมีช่วงการตอบสนองต่อ



รูปที่ 2.13 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผลึกซิลิกอนกับการตอบสนองต่อสเปกตรัม



รูปที่ 2.14 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

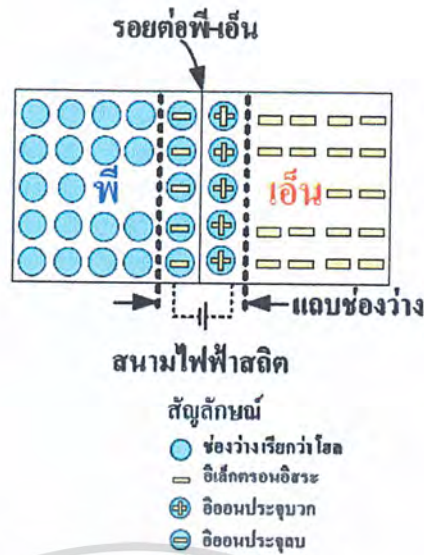
สเปกตรัมที่ความยาวคลื่นเพียงช่วงต้นของแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าประมาณ 350-650 นาโนเมตร การพัฒนากระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเดิม อาทิ CdTe และ CIS หรือ CIGS จะมีช่วงการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าได้มากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิกอน ช่วงสูงสุดของกราฟเป็นแถบที่กว้างขึ้นและทิศทางการพัฒนาสำหรับการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เป้าหมายเพื่อให้ได้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีช่วงการตอบสนองต่อแสงได้ตลอดช่วงสเปกตรัมแสงอาทิตย์

2.3 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงอาศัยกระบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic Effect) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำ เมื่อได้รับแสงที่มีพลังงานมากพอทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระตกกระทบบนสารกึ่งตัวนำ โครงสร้างที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเหมือนกับไดโอดทั่วไป ประกอบด้วยรอยต่อระหว่างวัสดุสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันสองชั้น ได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิดพีเป็นขั้วบวก และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเป็นขั้วลบ สารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้งานในลักษณะดังกล่าวส่วนมากเป็นซิลิกอน และเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย ดังนั้นโดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้การอธิบายสารกึ่งตัวนำที่ทำจากซิลิกอน แม้ว่าปัจจุบันจะมีสารกึ่งตัวนำที่ทำจากวัสดุชนิดอื่นก็ตาม

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานในปัจจุบันส่วนมากผลิตขึ้นมาจากซิลิกอน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนนี้ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่ผลิตขึ้นจากผลึกของซิลิกอนผ่านการเติมสารเจือปนด้วยฟอสฟอรัส เพื่อทำให้เกิดอิเล็กตรอนส่วนเกิน ซิลิกอนที่ผ่านการเติมสารเจือปนด้วยกระบวนการนี้ทำหน้าที่เป็นขั้วลบ และส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดพี ได้ผลิตขึ้นจากผลึกของซิลิกอนแต่ใช้สารเจือปนต่างชนิดกับชนิดแรก โดยใช้โบรอนทำให้เป็นวัสดุขาดอิเล็กตรอนอิสระ ทั้งนี้การขาดอิเล็กตรอนทำให้เกิดช่องว่างเรียกว่า โฮล (Hole) และการขาดอิเล็กตรอนที่เป็นประจุลบ ทำให้ส่วนนี้เทียบได้กับอนุภาคประจุบวก ดังแสดงในรูปที่ 2.15

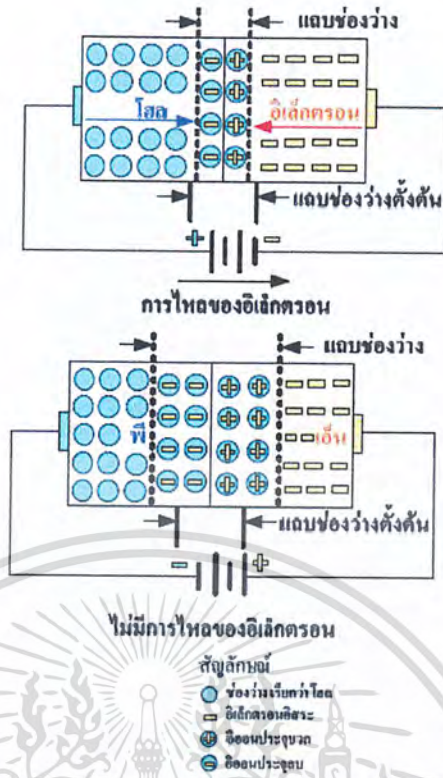
รอยต่อพี-เอ็นเกิดการเชื่อมต่อกันของสารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติต่างกันจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า (Electrical field) ในบริเวณรอยต่อ โดยสนามไฟฟ้างดังกล่าวมีลักษณะเหมือนกับสนามไฟฟ้าสถิตย์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จากปรากฏการณ์ง่ายๆ ตัวอย่างเช่น การใช้หวีแปรงกับเส้นขนสัตว์ เป็นต้น อันจะทำให้เกิดอนุภาคของประจุลบเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และอนุภาคของประจุบวกที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตรงข้าม



รูปที่ 2.15 โครงสร้างรอยต่อพี-เอ็นของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน

แสงประกอบด้วยการไหลต่อเนื่องของอนุภาคเล็กๆ ของพลังงานเรียกว่า โฟตอน ซึ่งโฟตอนจากลำแสงที่มีความยาวคลื่นเหมาะสมตกกระทบลงบนรอยต่อพี-เอ็น จะทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานไปยังอิเล็กตรอนบางตัวในวัสดุ ซึ่งเป็นการกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานไปยังระดับที่สูงกว่า และอิเล็กตรอนดังกล่าวจะทำให้เกิดโหลในวัสดุในเวลาเดียวกันอิเล็กตรอนที่เปลี่ยนเป็นอิเล็กตรอนอิสระจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนตลอดวัสดุ

พลังงานจากแสงจะเข้าไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังแถบนำพลังงาน เรียกว่า แถบช่องว่าง อิเล็กตรอนที่ได้รับการกระตุ้นจะเคลื่อนที่ไปยังชั้นของซิลิกอนชั้นเอ็น (N) เกิดเป็นช่องว่างเรียกว่าโหลในชั้นพี (P) การเคลื่อนที่ไปยังที่รวมกระแสที่ผิวหน้าของเซลล์ หรือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังบริเวณผลึกชนิดเอ็นสามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ดังในรูปที่ 2.16 เมื่อต่อเข้ากับวงจรภายนอกจะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านตลอดวงจร การเคลื่อนที่ไปยังวงจรรภายนอกของอิเล็กตรอนในกรณีของสารกึ่งตัวนำโดยผ่านวัสดุตัวนำที่ติดอยู่กับผิวด้านหน้าของเซลล์ในเวลาเดียวกันโหลจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้ามผ่านเนื้อเซลล์ลงไปถึงวัสดุตัวนำอีกส่วนหนึ่งที่ติดติดอยู่กับด้านล่างของเซลล์ ทำให้ครบวงจรโดยร่วมกับอิเล็กตรอนที่อยู่อีกด้านหนึ่งของวงจรรภายนอก แต่ในทางตรงข้าม การไหลของอิเล็กตรอนไม่เกิดขึ้นหากไม่สามารถทำให้ครบวงจร



รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและ โพลของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน

โพตอนที่มีพลังงานมากกว่าความกว้างของแถบช่องว่างปะทะกับอะตอมของซิลิกอนจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นคู่ของอิเล็กตรอนและ โพล และพลังงานที่เหลือจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ในทางกลับกัน โพตอนที่มีระดับพลังงานน้อยกว่าความกว้างของแถบช่องว่างจะเคลื่อนที่ผ่านเซลล์ไป ซึ่งไม่ทำให้เกิดพลังงานตลอดระยะเวลาที่เคลื่อนที่ผ่าน อย่างไรก็ตามมีโพตอนบางส่วนสะท้อนที่ผิวด้านหน้าของเซลล์ที่ราบเรียบเมื่อผิวหน้าเคลือบด้วยสารป้องกันการสะท้อน แม้กระนั้นก็มีโพตอนบางส่วนสูญเสียไปเนื่องจากไม่สามารถปะทะกับผลึกได้เนื่องจากถูกปิดบังด้วยอุปกรณ์รวมกระแสที่ด้านหน้าของเซลล์

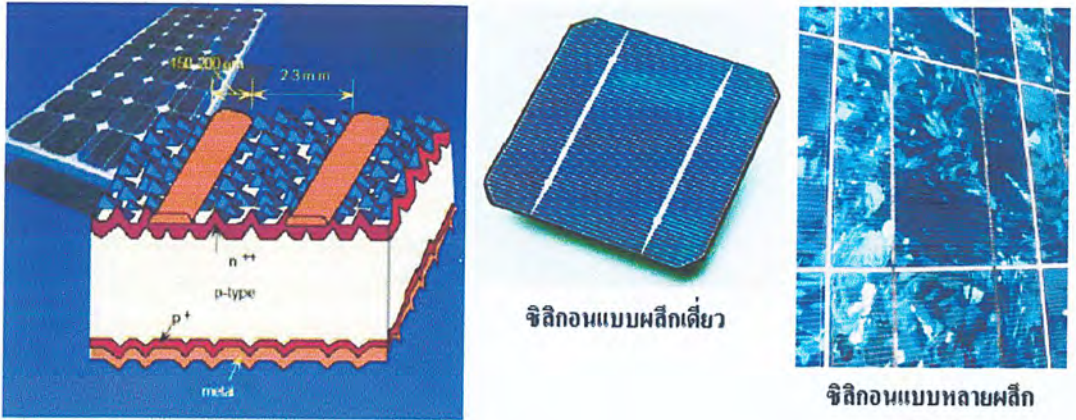
การเกิดขึ้นของกำลังไฟฟ้าต้องอาศัยทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้า ในกรณีการผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์การผลิตแรงดันไฟฟ้าให้เกิดขึ้นนั้น กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นจากการไหลของอิเล็กตรอนและแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากสนามไฟฟ้าภายในบริเวณรอยต่อพี-เอ็น สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตขึ้นจากซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยวโดยทั่วไปจะออกแบบให้ผลิตแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 โวลต์ที่กระแสไฟฟ้าประมาณ 2.5 แอมแปร์ ดังนั้นจะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ประมาณ 1.25 วัตต์ (ขึ้นอยู่กับรายละเอียดในการออกแบบ ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์แบบอื่นๆ อาจผลิตแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าได้สูงหรือต่ำกว่านี้ก็ได้)

2.3.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

การพัฒนาของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดต้นทุนด้านวัสดุในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำให้ราคาเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงแต่ต้องเพิ่มให้มีประสิทธิภาพสูง การแบ่งประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ตามเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม โคอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 2.17 ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin film Solar cells) และกลุ่มที่พัฒนาขึ้นมา

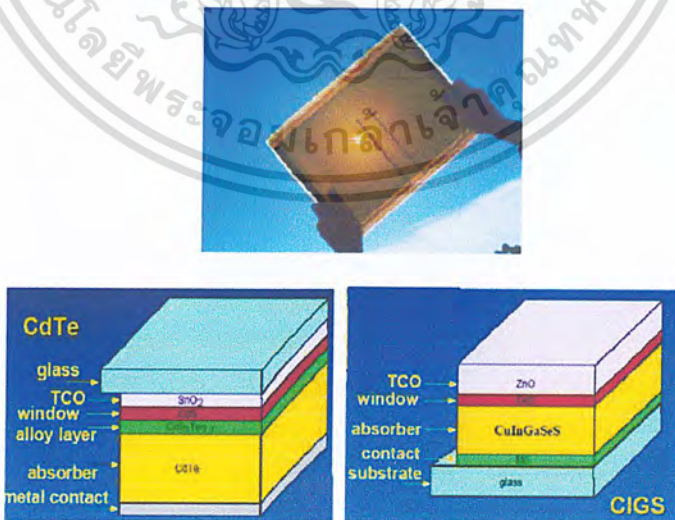


เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells) ในกลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกมีความแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุสารกึ่งตัวนำดั้งเดิม (Semiconductor Material) เช่น ซิลิกอน (Si) และแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) เป็นต้น ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์จากผลึกซิลิกอนมีกรรมวิธีในการผลิตอยู่หลายวิธีจึงมีให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม ได้แก่ ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว (Monocrystalline silicon cells) ซิลิกอนแบบแผ่นฟิล์มบาง (Silicon ribbon cells) ซิลิกอนแบบหลายผลึก (Polycrystalline silicon cells) ซิลิกอนแบบแผ่นบางหลายผลึก (Polycrystalline thin film silicon cells) เป็นต้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของราคาและวัสดุประสงค์การใช้งาน มีการพัฒนาเป็นลำดับ ซึ่งได้รับการยอมรับในเชิงพาณิชย์และมีประสิทธิภาพ 10-15 เปอร์เซ็นต์ แต่ยังคงมีต้นทุนของวัสดุค่อนข้างสูงในรูปที่ 2.18 แสดงตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกในเชิงพาณิชย์



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells)

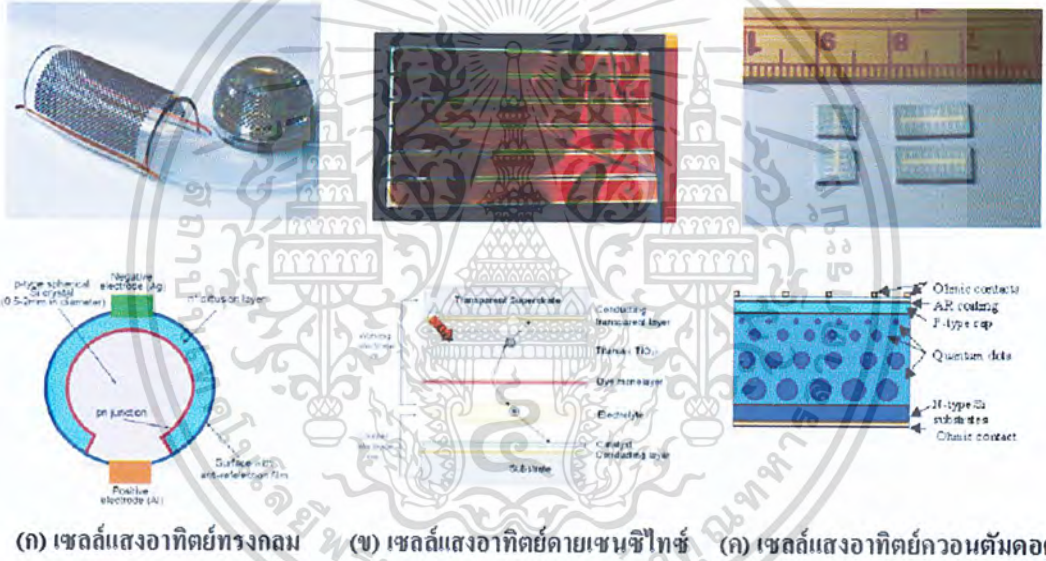
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin film Solar cells) ในกลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางสามารถแบ่งออกตามเทคโนโลยีการผลิต ได้แก่ เซลล์ที่ผลิตจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน เซลล์ที่ผลิตจากแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) และ เซลล์ที่ผลิตจากคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลเนียม (CIGS) การศึกษาวิจัยและพัฒนาให้ประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 6 - 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้รับการยอมรับและผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางสำหรับใช้ในเชิงพาณิชย์ ตัวอย่างเซลล์และไดอะแกรมองค์ประกอบภายในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแสดงในรูปที่ 2.19 ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของเซลล์แบบนี้จะน้อยกว่าเซลล์ชนิดผลึกซึ่งมี ข้อดีคือช่วยแก้ปัญหาทางด้านราคาได้ แต่ยังคงมีข้อสงสัยด้านการติดตั้งใช้งานในสภาวะจริงอายุการใช้งานและการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์ในระยะยาว



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างเซลล์และไดอะแกรมองค์ประกอบภายในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มสุดท้ายเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องจากชนิดผลึก และชนิดฟิล์มบางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ช่วยลดการสร้างมลพิษและเพิ่มอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ หากแบ่งตามการพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ประเภททรงกลม (Spherical Micro Solar Cells) เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทคายเซนซิไทซ์ (Dye-sensitized Solar Cells) และเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทควอนตัมดอต (Quantum Dot Solar Cells) ดังแสดงในรูปที่ 2.20 นั่นคือ เซลล์แสงอาทิตย์ประเภททรงกลมแบบทรงกลมจะสามารถรับแสงได้สามมิติ จึงมีเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแสงเพิ่มขึ้นและยังมีข้อดีในเรื่องของน้ำหนักเบาว่าแบบแผ่นราบเมื่อนำไปประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากปริมาณของซิลิกอนตั้งคั้งน้อยกว่ามากทำให้ลดต้นทุนลงได้ เซลล์แสงอาทิตย์แบบทรงกลมดังกล่าวปัจจุบันมีการผลิตเชิงพาณิชย์แล้ว แต่ยังไม่เป็นการแพร่หลายนักเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคายเซนซิไทซ์มีจุดเด่นในความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยมีหลักการออกแบบเซลล์จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งมีการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นคาร์โบไฮเดรต



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์และ โครงสร้างภายในเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ

และก๊าซออกซิเจนจากแนวความคิดดังกล่าวจึงใช้การเคลือบผิววัสดุกึ่งตัวนำด้วยไทเทเนียมออกไซด์ให้คล้ายกับคลอโรฟิลล์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ได้มีการผลิตขายในเชิงพาณิชย์บ้าง และมีประสิทธิภาพ 3-5 เปอร์เซ็นต์ เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทควอนตัมดอต (Quantum Dot Solar Cells: QD) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนผลทางเทอร์โมไดนามิกส์ของโฟตอนให้มีค่ามากที่สุด นับเป็นการพัฒนาจากข้อจำกัดของเซลล์ชนิดผลึก โดยเพิ่มประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์เป็น 66 เปอร์เซ็นต์ (จากเดิมของวัสดุสารกึ่งตัวนำทั่วไปอยู่ที่ 31-33 เปอร์เซ็นต์) ยังไม่มีการผลิต

เชิงพาณิชย์แต่ก็ประกอบด้วยหลายหน่วยงานทั้งในและต่างประเทศที่ให้ความสนในและดำเนินการศึกษาในเรื่องดังกล่าวซึ่งในประเทศไทยโดย Semiconductor Device Research Laboratory จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการวิจัยพัฒนา Multi-Stacked High Density InAs Quantum Dot Molecule Solar Cells

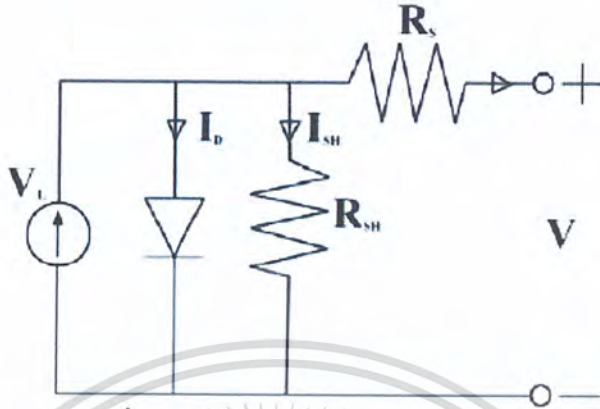
ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของโซล่าเซลล์และคุณสมบัติ (ต่อเซลล์)

Classification	Effic(%)	Voc(V)	Jsc(mA/cm)	FF(%)
Si (crystalline)	24.0	0.709	40.9	82.74
Si (moderate area)	23.7	0.704	41.5	81.00
Si (multicrystalline)	17.8	0.628	36.2	78.50
Si (large multicrystalline)	17.2	0.610	36.4	77.70
Si (thin crystalline)	21.5	0.600	37.9	81.10
Si (supported film)	14.9	0.608	31.4	79.20
Si (large thin film)	14.2	1.022	30.0	78.10
GaAs (crystalline cell)	25.1	1.011	28.2	87.10
GaAs (thin film cell)	23.3	4.040	27.6	79.70
GaAs (submodule)	21.0	0.944	6.6	80.00
GaAs (multicrystalline cell)	18.2	0.878	23.0	79.70
InP (crystalline cell)	21.9	0.843	29.3	85.40
CdTe (cell)	15.8	9.406	25.1	74.50
CdTe (multicrystalline cell)	10.5	9.406	1.7	64.90
CIGS (cell)	16.4	0.678	32.0	75.80
CIGS (submodule)	14.2	6.808	3.1	68.30

2.3.2 ลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าเมื่อได้รับแสงที่มีระดับความเข้มเหมาะสมต่อช่วงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์นั้น การใช้งานต้องทราบสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นที่วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงรูปที่ 2.21 เป็นการต่อขนานระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและไดโอด (รอยต่อพี-เอ็น) นอกจากนี้ต่อขนานกับความต้านทาน shunt และต่ออนุกรมกับความต้านทานอนุกรม ตามลำดับ จากการต่อวงจรสมมูลในรูปที่ 2.21 สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.1 นั่นคือผลลัพธ์ของกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เกิดมาจากกระแสที่ได้จากแหล่งพลังงานแสงหักลบด้วยกระแสที่ไหลผ่านไดโอดและ

กระแสที่ไหลผ่านความต้านทาน shunt ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแต่ละส่วนต่างๆ ก็ทำให้เกิดค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละจุดขึ้น



รูปที่ 2.21 การต่อวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

ดังสมการที่ 2.2 นั่นคือ แรงดันไฟฟ้า ณ จุดใดๆ เท่ากับ แรงดันไฟฟ้าที่ขาออกบวกด้วยผลคูณระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานอนุกรม

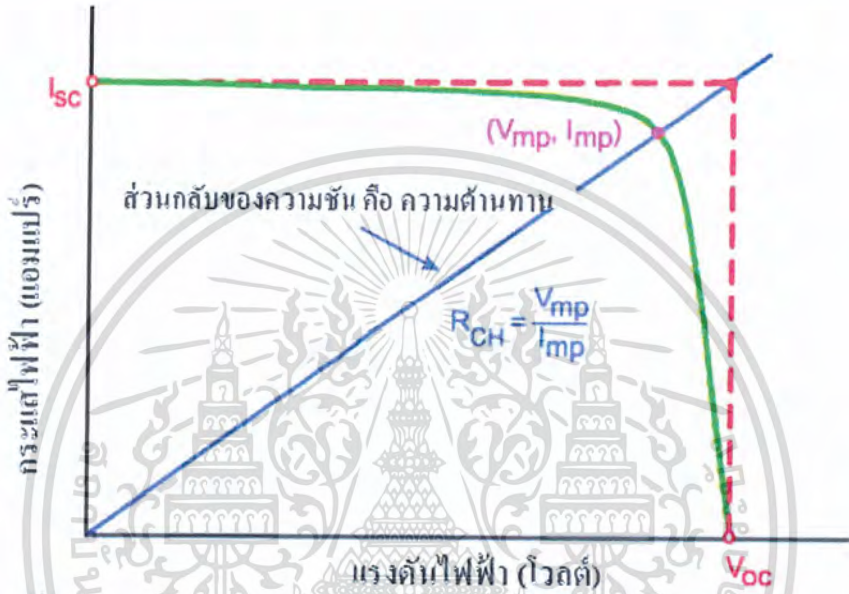
$$I = I_L - I_D - I_{SH} \quad (2.1)$$

$$V_L = V + IR_S \quad (2.2)$$

โดยที่	I	กระแสไฟฟ้าขาออก มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	I_L	กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งพลังงานแสง มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	I_D	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	I_{SH}	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทาน Shunt มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	V	แรงดันไฟฟ้าขาออก มีหน่วยเป็นโวลต์
	I	กระแสไฟฟ้าขาออก มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	R_S	ความต้านทานอนุกรม มีหน่วยเป็นโอห์ม

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการบ่งบอกประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยกระแสลัดวงจร (I_{SC}) แรงดันวงจรเปิด (V_{OC}) และฟิสิกส์แฟกเตอร์ (FF) ในรูปที่ 2.22 แสดงกระแสลัดวงจรและแรงดันวงจรเปิดซึ่งจะทราบได้จากลักษณะกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า (I - V characteristic) นั่นคือกระแสไฟฟ้าขณะที่แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและแรงดันไฟฟ้าขณะที่

ไม่มีกระแสเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ พารามิเตอร์ต่อไปคือฟิลต์แฟกเตอร์เป็นสัดส่วนระหว่างผลคูณแรงดันกับกระแสที่จุดทำงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และผลคูณของกระแสลัดวงจรกับแรงดันวงจรเปิดซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง นอกจากนี้ อาจมีการพารามิเตอร์เกี่ยวกับความต้านทานในเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นประโยชน์ต่อการติดตามพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์และการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ โดยคิดจากสัดส่วนระหว่างค่าแรงดันที่จุดสูงสุดต่อกระแสที่จุดทำงานสูงสุดหรืออาจใช้สัดส่วนระหว่างค่าแรงดันวงจรเปิดต่อกระแสลัดวงจร



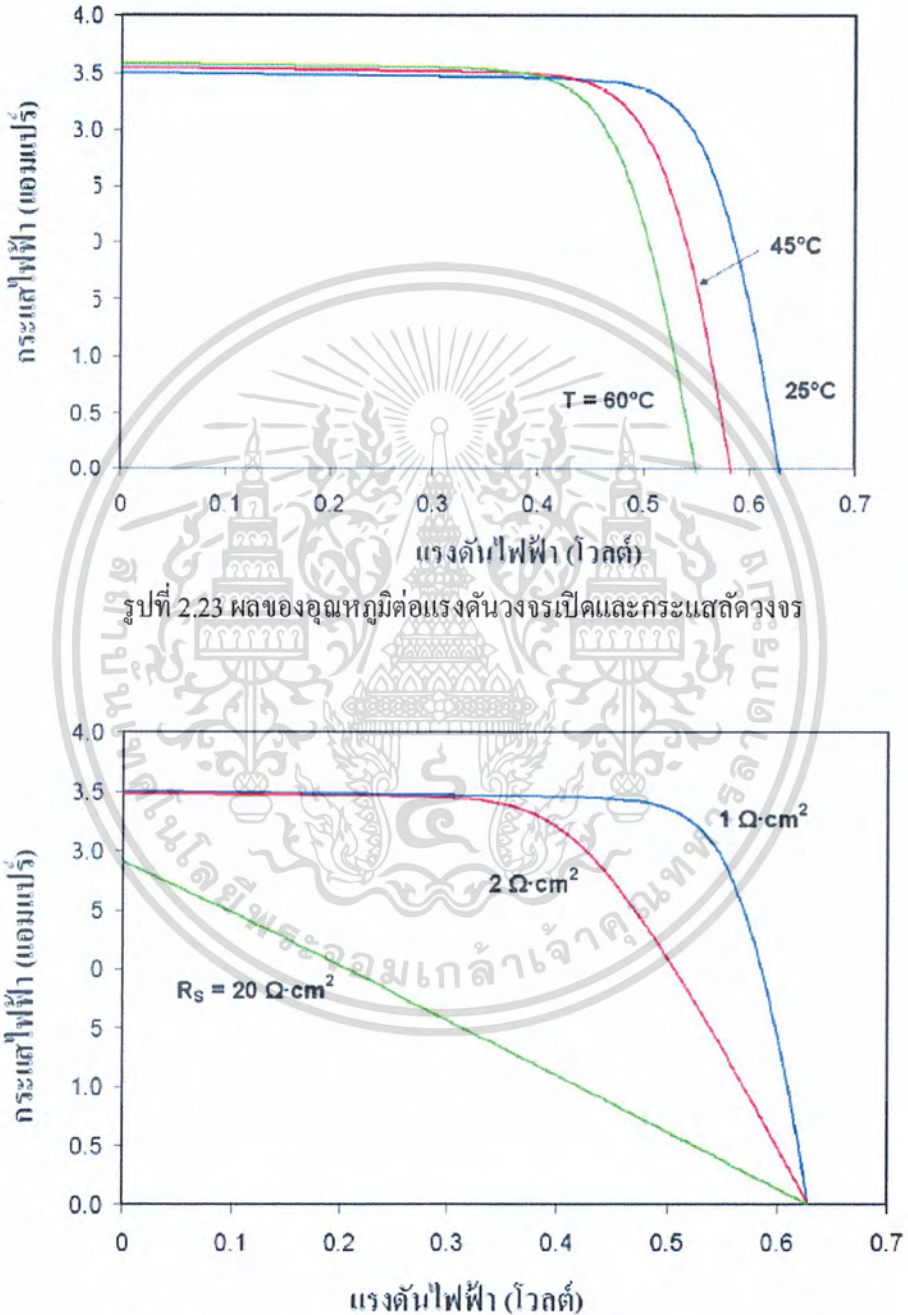
รูปที่ 2.22 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

2.3.3 ปัจจัยที่ลดทอนประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นกับทั้งปัจจัยภายนอกและสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มแสงอาทิตย์ ความต้านทาน Shunt และความต้านทานอนุกรมเป็นต้น เซลล์แสงอาทิตย์มีสมบัติเหมือนกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ซึ่งจะมีประสิทธิภาพการทำงานลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นั่นคือ ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงระยะห่างของแถบพลังงานจะลดลงเป็นผลให้แรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยลงแต่ไม่ทำให้กระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงนักดังรูปที่ 2.23 ทั้งนี้ กระแสลัดวงจรหรือกระแสสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าน้อย อาจเนื่องจากเช่นในวันที่ท้องฟ้ามีครึ้ม มีเมฆบดบัง การบังเงาเนื่องจากเงาต้นไม้ เป็นต้น

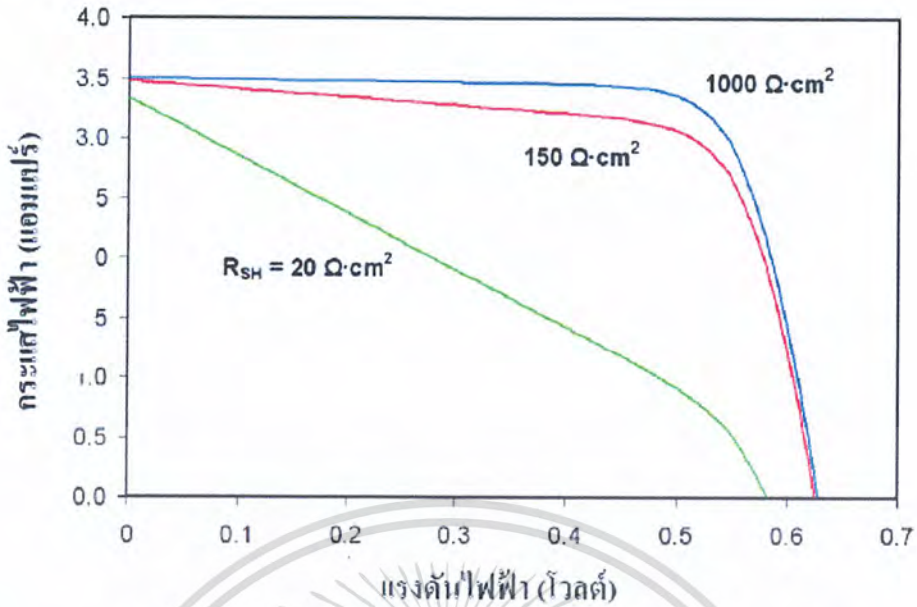
นอกจากนี้ ค่าความต้านทานอนุกรมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันขาออกมีค่าลดลงแต่จะไม่มีผลทำให้ค่าแรงดันวงจรเปิดลดลง หรือกล่าวได้ว่า ความต้านทานอนุกรมทำให้ค่าฟิลต์แฟกเตอร์ลดลง และหากค่า

ความต้านทานนี้มีมาก ๆ จะทำให้กระแสลัดวงจรลดลงถึงขณะกระแสและแรงดันจะเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.24 ส่วนความต้านทาน Shunt หากมีค่าน้อยลงเล็กน้อยจะไม่มีผลต่อแรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร แต่หากค่าความต้านทาน Shunt มีค่าลดลงมากจะเป็นผลทำให้แรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจรมีค่าลดลงดังรูปที่ 2.25 และจะมีผลต่อค่าพีคไฟลด์แพกเคอร์ลดลงเช่นเดียวกับกรณีของความต้านทานอนุกรม



รูปที่ 2.24 ผลของความต้านทานอนุกรมต่อลักษณะกระแสและแรงดัน

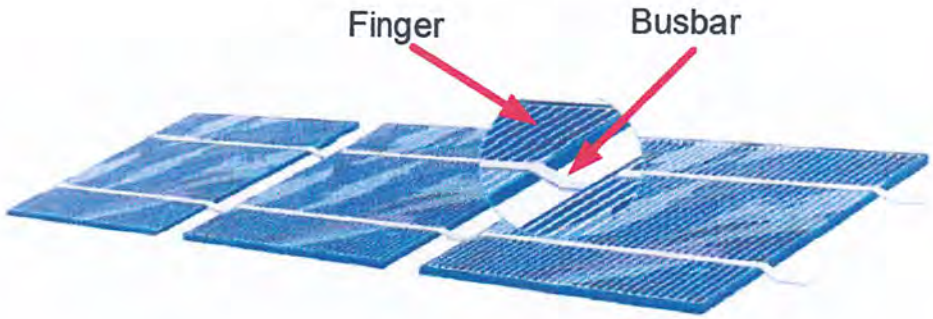
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 ผลของความต้านทาน Shunt ต่อลักษณะกระแสและแรงดัน

2.4 ลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานนั้นโดยปกติจะถูกประกอบให้อยู่ในรูปของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Module) ก่อน และหากต้องการเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นก็สามารถนำแผงเซลล์มาเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าได้ ทั้งในรูปแบบของสตริง (string) หรืออะเรย์ (Array) ได้ รูปที่ 2.26 แสดงให้เห็นลักษณะทั่วไปของการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ชนิดผลึก จากรูปกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นจะถูกดึงไปที่ตัวนำไฟฟ้าที่ด้านหน้าและหลังของเซลล์ โดยที่ด้านหน้าของเซลล์จะมีตัวนำซึ่งถูกเรียกว่าฟิงเกอร์ (fingers) สัมผัสอยู่โดยทำหน้าที่นำกระแสส่งต่อไปยังบัสบาร์ (bus bar) และไหลผ่านไปยังเซลล์อื่นที่เชื่อมถึงกันต่อไป สำหรับฟิงเกอร์และบัสบาร์จะต้องถูกออกแบบให้บังเซลล์น้อยที่สุดและสามารถรับกระแสไฟฟ้าได้สูงเช่นกันเพื่อให้เซลล์สามารถรับแสงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด และด้านรับแสงของเซลล์จะต้องถูกเคลือบด้วยวัสดุไดอิเล็กทริกเป็นชั้นบางที่เรียกว่า ARC (the antireflection coating) เพื่อลดการสะท้อนแสงของผิวหน้าของเซลล์ให้ต่ำที่สุด ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ด้านหลังของเซลล์เป็นลักษณะสัมผัสเต็มแผ่นเซลล์เนื่องจากด้านหลังของเซลล์ไม่ต้องการรับแสง



รูปที่ 2.26 ลักษณะทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกนำมาประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทผลึกจะมีความแตกต่างกับประเภทฟิล์มบางนอกจากนี้ได้มีการจัดแบ่งประเภทของแผงเซลล์ได้หลายรูปแบบ เช่น แบ่งตามชนิดเซลล์ หรือแบ่งตามการประกอบ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์แผงเซลล์ไม่ว่าเป็นผลึกหรือฟิล์มบางก็มีทั้งที่เป็นแบบมาตรฐานและแบบทำตามสั่ง ซึ่งแบบที่ทำตามสั่งนั้นส่วนใหญ่จะเป็นระบบที่ต้องถูกติดตั้งเข้ากับอาคาร โดยเน้นรูปลักษณะให้ออกมาในรูปแบบที่เป็นสถาปัตยกรรม อย่างไรก็ตามทั้งรูปแบบมาตรฐานและรูปแบบตามสั่งก็จะต้องมีอุปกรณ์ประกอบแผงเช่นเดียวกัน เช่น ก่อต่อสายไฟ และบายพาสไดโอดเป็นต้น เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างแผงเซลล์ และป้องกันการเกิดโหนดที่ตัวเซลล์ ส่วนลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงตามแสงแดดและอุณหภูมิซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับของตัวเซลล์แตกต่างกันตรงที่ขนาดของแรงดันและกระแสไฟฟ้า และกรณีระหว่างแผงประเภทผลึกกับฟิล์มบางก็มีคุณลักษณะที่ต่างกันแต่ก็จะมีปัจจัยที่มีส่งผลให้ลดทอนกำลังไฟฟ้าเช่นเดียวกัน

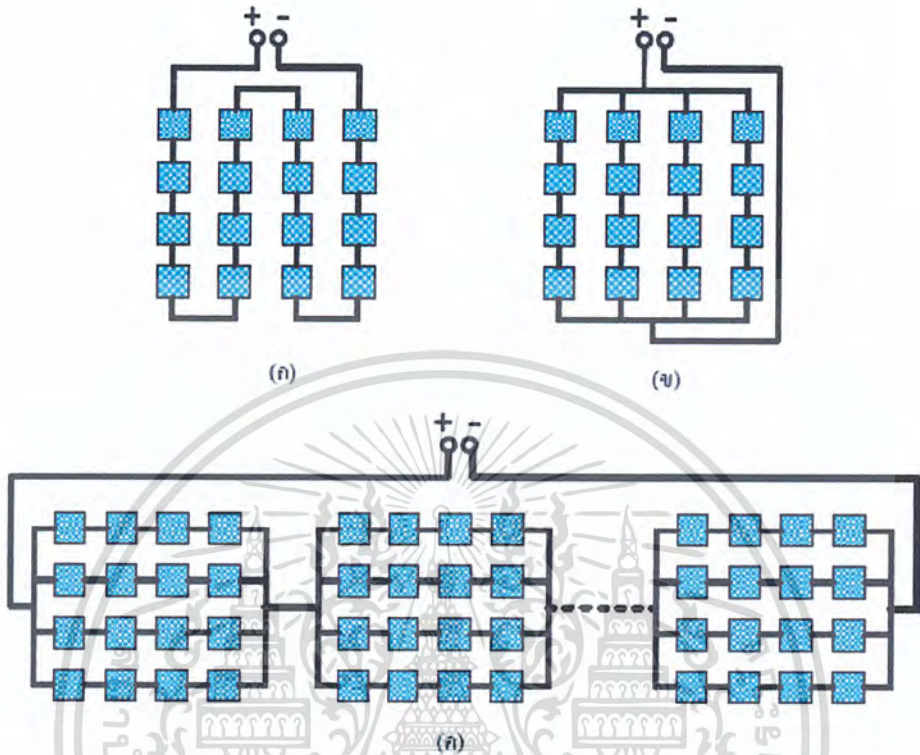
การต่อเซลล์ รูปแบบการเชื่อมต่อแต่ละเซลล์เพื่อทำให้เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่ 3 แบบ คือ

1) แบบอนุกรม คือนำแต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกันเป็น 1 แถว หรือเรียกว่า 1 สตริง (string) เท่านั้น ใน 1 แผง มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มขนาดแรงดันไฟฟ้าของแผงให้สูงขึ้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.27 (ก) มีเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรมกันทั้งสิ้น 16 เซลล์ และหากแต่ละเซลล์มีแรงดันวงจรเปิด (open circuit voltage, V_{oc}) อยู่ที่ประมาณ 0.6 โวลต์เท่ากันทุกเซลล์และกระแสเท่ากัน ก็จะทำให้แผงเซลล์นี้มีแรงดัน V_{oc} เท่ากับจำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรมคูณกับแรงดัน V_{oc} ของเซลล์ ซึ่งในกรณีนี้ก็จะเท่ากับ 9.6 โวลต์ ส่วนกระแสที่ไหลผ่านจะไหลเท่ากับกระแสของหนึ่งเซลล์เท่านั้น

2) แบบอนุกรม-ขนาน คือการนำแต่ละสตริงที่เซลล์ต่ออนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นแล้วนำมาต่อขนานกันเพื่อเพิ่มกระแสให้สูงขึ้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.27 (ข) จะเห็นได้ว่าแต่ละสตริงมีเซลล์ต่ออนุกรมกัน 4 เซลล์ ซึ่งทำให้มีแรงดันที่แต่ละสตริงเท่ากับ 2.4 โวลต์ และหากสมมติให้กระแสแต่ละสตริงเท่ากับ 5 แอมป์ ก็จะทำให้กระแสเอาต์พุตของแผงนี้มีค่าเท่ากับผลรวมค่ากระแสของทุกสตริงที่ต่อขนานกัน ซึ่งในที่นี้เท่ากับ 20 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม คือการนำแต่ละกลุ่มที่เชื่อมต่อกันแบบที่ 2 มาต่ออนุกรมกันตามรูปที่ 2.27 (ค) เพื่อเพิ่มทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.27 การต่อเซลล์แบบต่างๆ

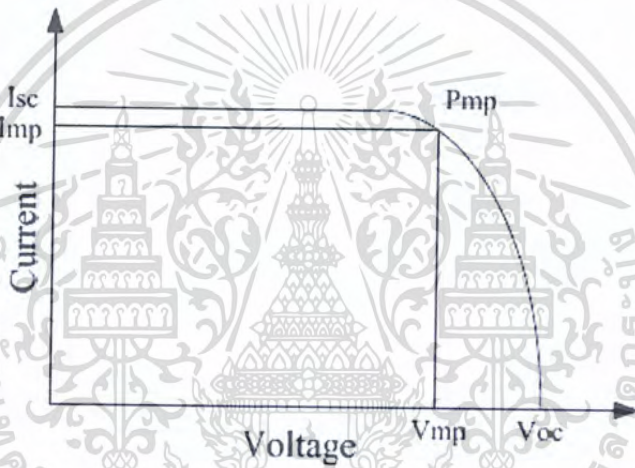
(ก) แบบอนุกรม (ข) แบบอนุกรม-ขนาน และ (ค) แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม

2.4.1 สมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- ลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงปริมาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ รูปที่ 2.28 แสดงกราฟกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์เมื่อเทียบกับโหลดที่แปรค่าตั้งแต่สภาวะวงจรถัด (Short circuit) ถึงสภาวะวงจรถัดเปิด (Open circuit) โดยตัดแกนที่แรงดันเป็นศูนย์ จะได้ค่ากระแสที่สภาวะวงจรถัด (Short circuit current: I_{SC}) ส่วนจุดตัดแกนที่กระแสเท่ากับศูนย์จะได้ค่าแรงดันขณะวงจรถัดเปิด (Open circuit voltage: V_{OC}) เมื่อนำค่ากระแสคูณกับแรงดันก็จะได้กำลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในกราฟต้องมีจุดเดียวที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเราเรียกว่า กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด (Power at maximum point: P_{MP}) ส่วนกระแสกับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดคือ กระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Current at maximum power point: I_{MP}) กับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

(Voltage at maximum power point: V_{MP}) ตามลำดับ ค่าสมรรถนะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์ถูกระบุภายใต้เป็นผลที่ได้จากการทดสอบวัดคุณลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V curve) โดยต่อภาระทางไฟฟ้าที่สามารถแปรค่าได้ตั้งแต่สภาวะวงจรเปิดไปจนถึงสภาวะวงจรลัดเข้ากับแผงแล้วฉายแสงให้กับแผงเซลล์ตามรูปที่ 2.28 โดยมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมที่สภาวะการทดสอบมาตรฐาน (Standard Test Condition, STC) คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยมีสเปกตรัมของแสงที่ Air Mass (AM) 1.5 และอุณหภูมิด้านหลังแผงเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส และนอกจากนั้นแผงบางยี่ห้อที่มีการแสดงเครื่องหมายรับรองคุณภาพแผงเซลล์ซึ่งได้รับการรับรองจากหน่วยงานต่างๆ มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นตัวหลักสำหรับใช้ในการรับรองคุณภาพของแผงเซลล์คือ IEC 61215 สำหรับแผงเซลล์ชนิดผลึก, IEC 61646 สำหรับชนิดฟิล์มบาง และนอกจากนี้ก็ยังมีความมาตรฐานทางด้านความปลอดภัย เช่น IEC 61730 สำหรับแผงทั้งสองชนิด TÜV Safety Class II และ UL 1703 เป็นต้น



รูปที่ 2.28 กราฟกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)

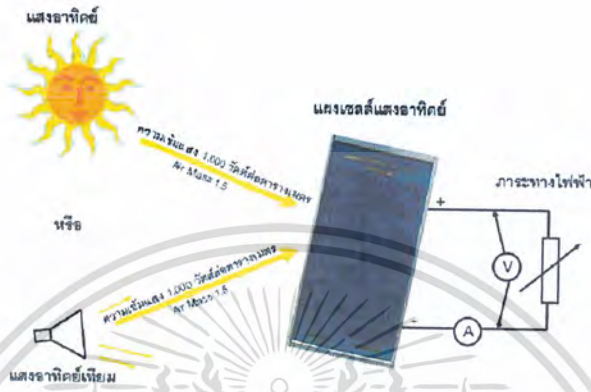
พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้อธิบายลักษณะเอาต์พุต (Output characteristics) ของเซลล์แสงอาทิตย์มีดังนี้

1. ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (Energy conversion efficiency) คือ อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดต่อพลังงานของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์และใช้สัญลักษณ์ว่า η เขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$\eta = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{P_{in}} \times 100 \quad \text{โดย } P_{in} = 1000 \text{ W/M}^2$$

2. ฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill Factor) ฟิลล์แฟกเตอร์เขียนย่อว่า FF คืออัตราส่วนของพื้นที่ของ $V_{mp} \times I_{mp}$ ต่อพื้นที่ของ $V_{oc} \times I_{sc}$ และเขียนสูตรได้ว่า

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

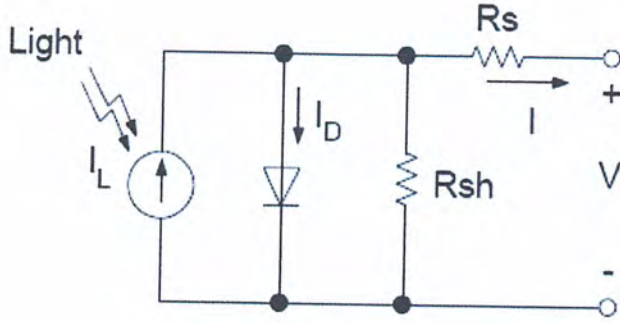


รูปที่ 2.29 โดอะแกรมการทดสอบวัดคุณลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้า

- วงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การทำความเข้าใจในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสงอาทิตย์ เราจึงแทนเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวงจรสมมูล (Equivalent circuit) ดังรูปที่ 2.30 ซึ่งประกอบด้วย แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อขนานกับ ไดโอด (รอยต่อพี-เอ็น) โดยกำหนดให้แหล่งจ่ายกระแสเป็นแบบกระแสคงที่ซึ่งเป็นแปรผันตามความเข้มแสงที่ตกกระทบบนเซลล์ ความต้านทานอนุกรม (Series resistance: R_S) เป็นค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจากจุดเชื่อมต่อ (wiring contact) ระหว่างตัวนำไฟฟ้ากับเซลล์ ส่วนความต้านทานขนาน (Shunt resistance) เกิดขึ้นเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าในลักษณะไบอัสย้อนกลับให้กับไดโอดซึ่งทางอุดมคติจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ แต่ในความเป็นจริงนั้นก็มีกระแสไหลย้อนกลับในระดับต่ำ นั่นแสดงให้เห็นว่ามีเส้นทางที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้ ดังนั้นเราจึงแทนด้วยความต้านทานขนานซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับความต้านทานอนุกรมซึ่งมีค่าต่ำมาก จากแบบจำลองทางสถิติในรูปที่ 2.30 จะได้สมการทางสถิติของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีโซลิดสเตทฟิสิกส์ (Solid-state physic theory) ดังสมการที่ 2.3

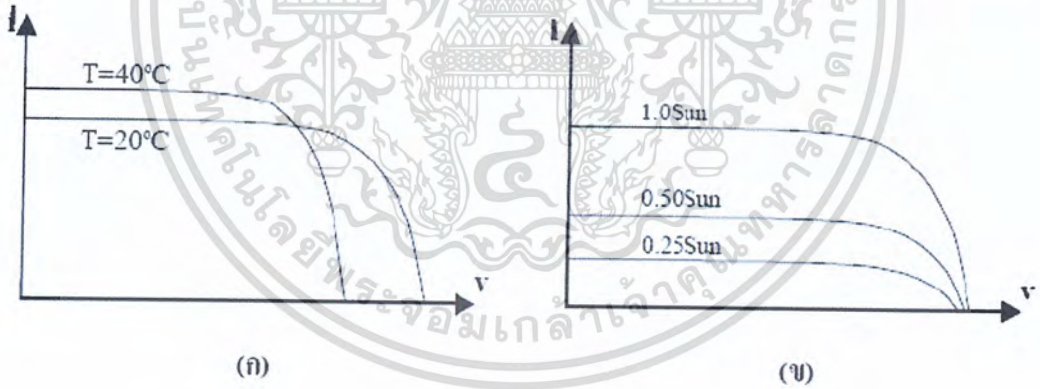
$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{e(V - IR_S)}{kT} \right] - 1 \right\} - \frac{V}{R_{SH}} \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.30 แบบจำลองคุณลักษณะทางสถิติของเซลล์แสงอาทิตย์

- ผลกระทบจากความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ

เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่สภาวะแวดล้อมต่างๆ จะทำให้ได้ I-V Curve ที่ระดับต่างๆ ดังรูปที่ 2.31 (ก) ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิแวดล้อมค่าเดียวกันแต่ความเข้มแสงมีค่าที่ระดับต่างๆ ส่วนกรณีที่ค่าความเข้มแสงเท่ากันแต่อุณหภูมิแวดล้อมมีค่าที่ระดับต่างๆ จะได้ I-V Curve ดังรูปที่ 2.31 (ข) จากรูปที่ 2.31 (ก) เป็นกรณีที่ความเข้มแสงอาทิตย์คงที่แต่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีผลทำให้แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง แต่กระแสไฟฟ้าที่เซลล์กลับมีค่าสูงขึ้น อีกกรณีจากรูปที่ 2.31 (ข) เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงจะทำให้กระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.31 กราฟกระแสและแรงดันที่อุณหภูมิและความเข้มแสงค่าต่างๆ

2.5 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน

2.5.1 ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ และความเข้มของแสง

ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรอบปี (Annual insolation) จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่มุมเอียงของแผงและทิศทางที่เบี่ยงเบนจากทิศใต้ โดยกระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลใน สภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ $1,000 \text{ W}$ ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศา กับพื้นโลก ความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2.5.2 อุณหภูมิ

สภาพอากาศเย็นจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า และทำงานได้ดีกว่าในสภาวะที่อุณหภูมิสูงหรืออากาศร้อน สาเหตุคือ เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ กลไกการทำงานบางอย่าง ไม่เอื้ออำนวยต่อการทำงานในสภาวะอากาศที่อุณหภูมิสูง สำหรับในฤดูหนาวซึ่งสภาพอากาศเย็น แต่เซลล์แสงอาทิตย์กลับสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยกว่าในฤดูร้อน ทั้งนี้เพราะช่วงเวลากลางวันสั้นกว่า ดวงอาทิตย์ทำมุมต่ำกว่า และมีเมฆปกคลุมบังแสงอาทิตย์มากกว่าฤดูร้อน โดยทั่วไปประสิทธิภาพของเซลล์จะลดลง 0.5% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศา กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่า แผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่าแรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5$ องศาเซลเซียส) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ Voc จะลดลง 0.525 V ($21 \text{ V} \times 2.5\%$) เหลือเพียง 20.475 V ($21\text{V} - 0.525\text{V}$) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

2.5.3 ประสิทธิภาพของระบบ (Electrical conversion efficiency)

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์อุปกรณ์ต่อเชื่อมและเครื่องแปลงกระแส ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของอุปกรณ์ดังกล่าว พลังงานที่ผลิตได้ใน 1 ปี (Annual specific yield) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการเปรียบเทียบ และวัดสมรรถนะของระบบซึ่งคำนวณได้จากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด (Total electric output)หารด้วยกำลังผลิตสูงสุดชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (peak power of array)

2.6 ข้อมูลสำคัญสำหรับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ –สถานที่และลักษณะที่ควรติดตั้ง

1. ติดตั้งในที่โล่ง ไม่มีเงามาบังเซลล์แสงอาทิตย์

2. ไม่อยู่ใกล้แหล่งที่มีฝุ่น (ควรติดตั้งบนหลังคาหรือที่สูงจากพื้นดิน) เนื่องจากการที่มีสิ่งสกปรกตกค้างบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ว่าจะเป็น ฝุ่น มูลนก ใบไม้ หรือละอองของเขม่า เป็นต้น สิ่งสกปรกเหล่านี้จะบดบังแสงที่มากกระทบบนผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ลดลง ดังนั้น ถ้าพบว่ามีสิ่งสกปรกตกค้างอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้ใช้น้ำสะอาดล้างทำความสะอาด ห้ามใช้น้ำยาอื่น ๆ ล้างหรือใช้กระดาษทรายขัดผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เด็ดขาด ซึ่งการทำความสะอาดเช่นนี้ควรทำเป็นระยะๆ หรือเมื่อสังเกตเห็นว่ามีสิ่งสกปรกตกค้างบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3. การเลือกมุมความลาดเอียงและทิศทางของแผงที่เหมาะสมนั้น จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสถานที่ว่าตั้งอยู่เส้นรุ้งเท่าไร สำหรับประเทศไทยดีที่สุดคือ 15 องศา เพราะแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังประเทศไทยทำมุมที่ 10-15 องศา ดังนั้น ถ้าคิดที่มุมขนานกับแสงที่ส่องจากดวงอาทิตย์ จะสามารถรับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุด โดยมีทิศทางหันหน้าไปทางทิศใต้เนื่องจากว่า ประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ทางซีกโลกเหนือ ทำให้แสงแดดจะส่อง โคนหลังคาทางด้านทิศใต้ตลอดทั้งปี และก่อให้เกิดพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีสูงสุด แม้ว่าทิศตะวันตกและทิศตะวันออกของอาคารจะรับรังสีมากกว่าในบางช่วงเวลา แต่อย่างไรก็ตามถ้ามีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้งบนหลังคาบ้านมุมเอียงของแผงโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 15-45 องศา หรือขึ้นกับความลาดเอียงของหลังคาบ้านเป็นสำคัญ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ถึงแม้ว่าจำนวนชั่วโมงที่พระอาทิตย์ส่องสว่างมายังพื้นโลกจะสามารถหาได้โดยใช้ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาแต่ข้อมูลนี้ไม่สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะว่ามีปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับอัตราการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ทั้งที่เป็นรังสีตรงและรังสีกระจาย (global irradiance) ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง (Insolation) โดยมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ - ชั่วโมงต่อตารางเมตร (kWh / m²)

2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เอาไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเอาไว้ในตัวถังเดียวกัน

โครงสร้างทั่วไป

โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมากได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

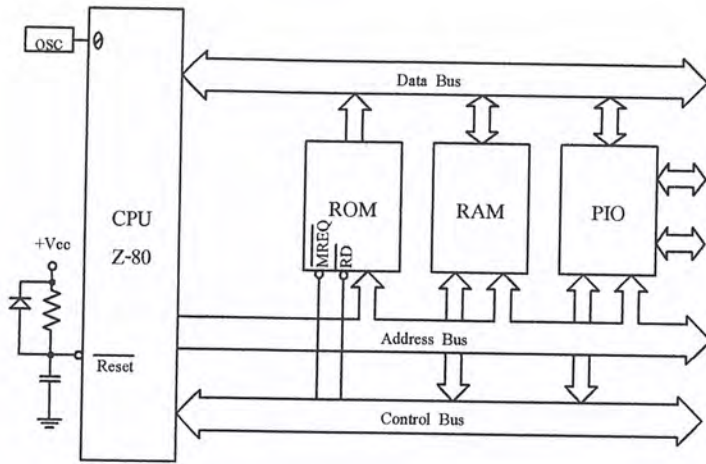
1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)

2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดานชดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำ (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) , บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับกำหนัดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย



รูปที่ 2.32 แสดงส่วนประกอบของ Microcontroller

2.8 PIC (Programmable Integrated Circuit)

PIC คือ Microcontroller อีกตระกูลหนึ่ง ซึ่ง concept ของ Microcontroller ตระกูลนี้ก็คือ พยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมันไม่ว่าจะเป็น Program memory, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, SPI, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้มันเหมือนกับ CPU ตัวหนึ่งนั่นเอง

PIC ชนิดต่างๆ

MCU (Microcontroller unit) ในตระกูล PIC ถ้าแบ่งออกตามชนิดของ Program memory จะสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

1. **OTP (one time programmable)** เป็น chip ที่มีราคาถูกที่สุดใน 3 ประเภท สาเหตุเนื่องมาจาก chip แบบ OTP จะสามารถทำการ โปรแกรมได้แค่ครั้งเดียวเท่านั้น หลังจาก chip ได้ถูกโปรแกรมไปแล้วจะไม่สามารถโปรแกรมเข้าไปใหม่ได้อีก ดังนั้น chip ประเภทนี้ จะนิยมใช้หลังจากได้พัฒนาโปรแกรมจนกระทั่งจุดบกพร่องต่าง ๆ ในโปรแกรมไม่มีอีกแล้ว เพราะจะมีต้นทุนต่ำ เมื่อเทียบกับตัว memory ประเภทอื่น จะมีตัวอักษร C แสดงบนตัว chip เช่น 16C84, 16C74

2. **EPROM (erasable programmable ROM)** เป็น chip ที่มี Program memory ที่เมื่อเขียน โปรแกรมเข้าไปแล้วสามารถโปรแกรมใหม่ด้วยการลบโปรแกรมเดิมโดยให้แสง UV (ultra violet) ส่องผ่านเข้าไปยัง chip ประมาณ 5-10 นาที ดังนั้น ที่ด้านบนของ chip จะมีกรอบกระจกเพื่อให้แสง UV สามารถส่องผ่านเข้าไปในตัว chip ได้ แต่ก็มีจำนวนครั้งในการลบโปรแกรมเช่นกันเมื่อลบโปรแกรมด้วย UV มากๆ ก็จะเกิด

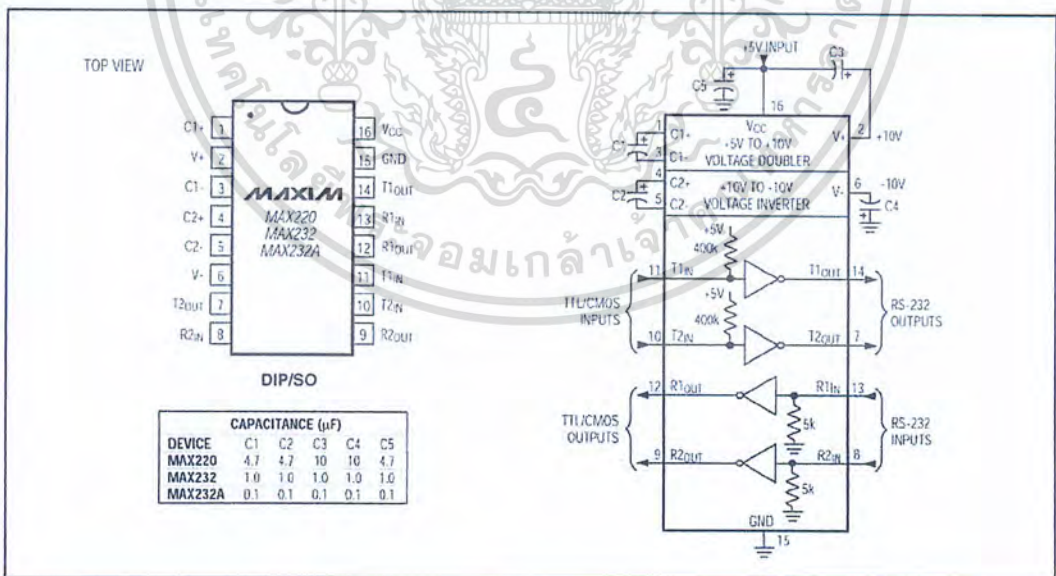
อาคารด้าน คือ โปรแกรมไม่เข้านั้นเอง จะมีตัวอักษร JW หรือว่าดูเอาว่ามีกรอบกระจอกอยู่บน chip หรือไม่

3. EEPROM / Flash (electronically erasable programmable ROM) เป็น chip ที่ออกมาไม่กี่ปีนี้เอง ส่วนของ Program memory สามารถอ่านหรือเขียนด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า ใช้เวลาในการลบข้อมูลไม่ถี่วินาที่ และสามารถลบ และเขียนใหม่ได้หลายพันครั้ง ทำให้เป็นที่นิยมที่สุดใน 3 ประเภท มีตัวอักษร F เป็นตัวบอก เช่น 16F84, 16F877

2.9 ไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232

ไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232 เป็นไอซี 16 ขาที่ใช้ทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (serial) ระหว่างอุปกรณ์ TTL/CMOS กับพอร์ท RS-232 โดยไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232 มีช่องทางในการรับข้อมูลแบบอนุกรม (serial) 2 ช่องทางและมีช่องทางในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม (serial) 2 ช่องทาง โครงสร้างภายในของไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232 ยังมีวงจรทวีแรงดัน (voltage doubler) และวงจรอินเวอร์ตแรงดัน (voltage inverter) วงจรทวีแรงดันเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ยกกระตบแรงดันจาก 5 โวลต์เป็น 10 โวลต์ และวงจรอินเวอร์ตแรงดันเป็นวงจรที่ทำหน้าที่กลับสัญญาณจาก +10 โวลต์เป็น -10 โวลต์ วงจรทั้งสองทำหน้าที่หลักก็คือขยายสัญญาณก่อนที่จะส่งออกไปยังพอร์ท RS-232 รูปตำแหน่งขาสัญญาณและวงจรเทียบการทำงานของ MAX 232 ดังแสดงในรูปที่ 2.34

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers



รูปที่ 2.33 ตำแหน่งขาสัญญาณและวงจรภายใน ไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232

1. เมื่อส่งข้อมูลออก โดยไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232 จะรับข้อมูลจากอุปกรณ์ TTL/CMOS เข้ามาที่ขา TX IN จากนั้นไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232 จะทำการยกระดับแรงดันของข้อมูลให้เป็น +10 โวลต์หรือ -10 โวลต์ และส่งออกมาที่ขา TX OUT ผ่านพอร์ท RS-232 เพื่อส่งข้อมูลต่อไปยังอุปกรณ์ภายนอก

2. เมื่อรับข้อมูลเข้า โดยไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232 จะรับข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ท RS-232 มายังขา RX IN ของไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232 จากนั้นไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232 จะทำการแปลงระดับแรงดันของข้อมูลให้เป็น 0 โวลต์หรือ 5 โวลต์ และส่งออกที่ขา RX OUT เพื่อทำการส่งข้อมูลต่อไปที่อุปกรณ์ TTL/CMOS

2.10 การแปลงสัญญาณ A/D และ D/A

2.10.1 การแปลงสัญญาณ Analog to Digital

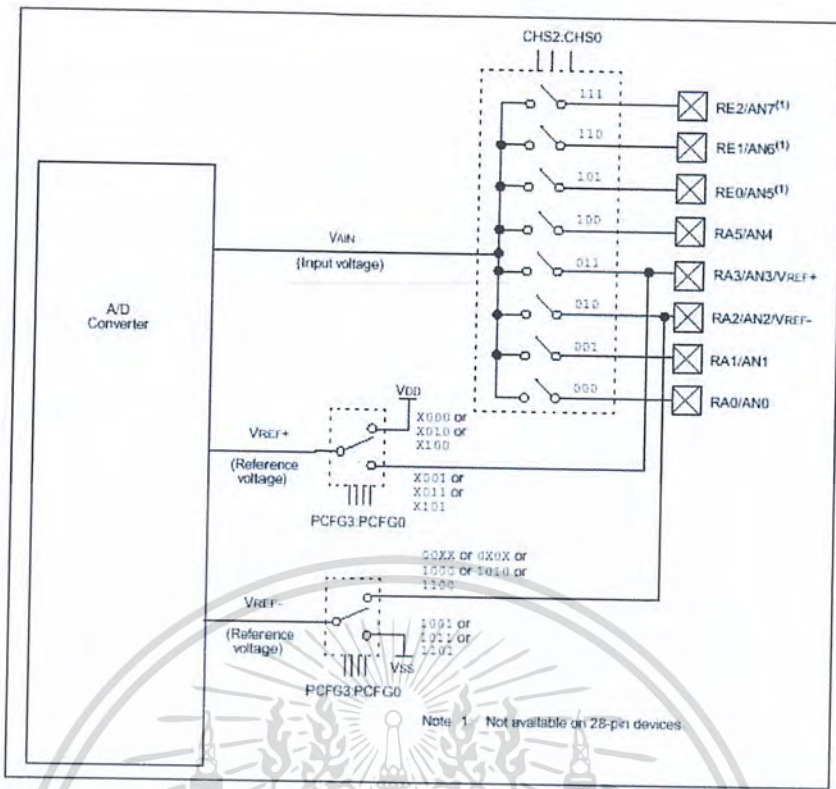
Analog to Digital Converter (A/D) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลที่ มนุษย์รับรู้ สัมผัสได้ เป็นข้อมูลทางไฟฟ้า เพื่อป้อนเข้าสู่การประมวลผล จึงเป็นขบวนการหนึ่งของการรับข้อมูล (Input Unit) เป็นกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์ ที่สัญญาณแปรผันต่อเนื่อง (Analog) ได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยไม่มีการลบข้อมูลสำคัญผลลัพธ์ของ ADC มีลักษณะตรงข้าม คือ กำหนดระดับหรือสถานะ ตัวเลขของสถานะมักจะเป็นการยกกำลังของ 2 คือ 2, 4, 8, 16 เป็นต้น สัญญาณดิจิทัลพื้นฐานมี 2 สถานะและเรียกว่า binary ตัวเลขทั้งหมดสามารถแสดงในรูปของไบนารี ในฐานะข้อความของหนึ่งและศูนย์

วงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลมีมากมายหลายชนิด โดยทั่วไปแล้ววงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (A/D converters) มีใช้งานอยู่ประมาณ 7 ชนิดคือ

1. Parallel Comparator, Simultaneous, หรือ Flash A/D converter
2. Single – Ramp หรือ Single – Slope A/D converter
3. Dual – Slope A/D converter
4. Charge balance A/D converter
5. A/D converters using Counters and D/A converters
6. Tracking A/D converters
7. Successive – Approximation A/D converters

2.10.2 การแปลงสัญญาณ Analog to Digital ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC มี Module สำหรับการแปลงสัญญาณ Analog to Digital ซึ่งมีขนาดความละเอียดขึ้นอยู่กับรุ่นของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ภายใน module มีลักษณะดังรูป



รูปที่ 2.34 แสดงการแปลงสัญญาณ Analog to Digital

จากรูปไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC จะมีขาไว้สำหรับรับสัญญาณอินพุตที่เป็น Analog จากภายนอก และสามารถกำหนดแรงดันอ้างอิงให้กับการแปลงสัญญาณได้ด้วย

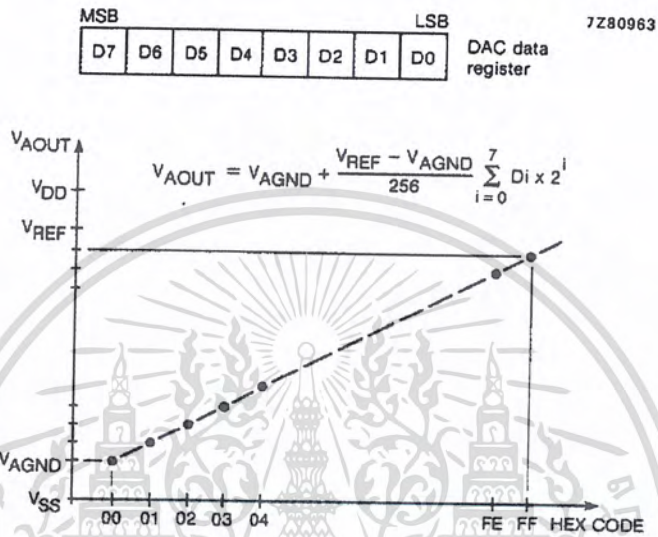
2.10.3 การแปลงสัญญาณ Digital to Analog

Digital to Analog Converter (D/A) ทำหน้าที่แปลงข้อมูลผลลัพธ์จากการประมวลผลเป็นสัญญาณไฟฟ้า ให้เป็นสัญญาณที่มนุษย์รับรู้ได้ สัมผัสได้ เป็นการแสดงผลข้อมูล (Output Unit) digital-to-analog conversion เป็นกระบวนการซึ่งสัญญาณมีการกำหนดระดับ หรือสถานะจำนวนหนึ่ง (ปกติ คือ 2 สถานะ) หรือสัญญาณดิจิทัล ให้เป็นสัญญาณที่ไม่จำกัดจำนวนของสถานะ หรือสัญญาณอนาล็อก ตัวอย่างกระบวนการของโมเด็มในการแปลงข้อมูลคอมพิวเตอร์ เป็นความถี่เสียง ให้สามารถส่งผ่านสายโทรศัพท์ twisted pair ในวงจรที่ทำงานให้กับฟังก์ชันนี้ เรียกว่า digital-to-analog converter (DAC) โดยพื้นฐาน digital-to-analog conversion ตรงข้ามกับ analog-to-analog conversion ถ้า analog-to-analog converter (ADC) วางอยู่ในวงจรการสื่อสารต่อจาก DAC สัญญาณดิจิทัลส่งออก จะตรงกับสัญญาณดิจิทัลนำเข้า ในกรณีที่ DAC วางอยู่ในวงจรต่อจาก ADC สัญญาณอนาล็อกส่งออกจะเป็นตรงกับสัญญาณอนาล็อกนำเข้า สัญญาณดิจิทัล แบบ binary จะปรากฏเป็นข้อความขนาดยาว ของ 1 และ 0 ซึ่งจะไม่มีมีความหมายต่อการ

อ่าน แต่เมื่อ DAC ใช้ถอดรหัสสัญญาณดิจิตอลแบบ binary จึงปรากฏผลลัพธ์ที่มีความหมาย ซึ่งอาจจะเป็น เสียง ภาพ เสียงดนตรี และกลไกการเคลื่อน

2.10.4 การแปลงสัญญาณ Digital to Analog ใน IC PCF8591

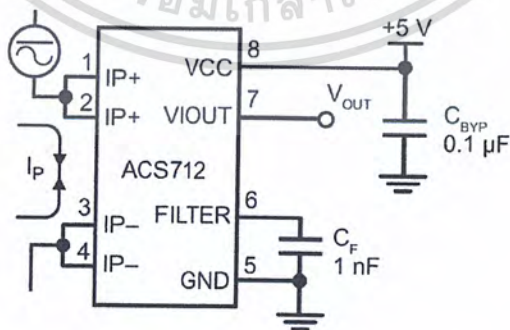
IC PCF8591 สามารถรับค่า digital จาก Port I²C แล้วทำการแปลงค่า Digital to Analog ออกมาซึ่งสามารถพิจารณาการแปลงได้ดังรูป



รูปที่ 2.35 เป็นการแสดงวิธีการคำนวณค่าการแปลงสัญญาณ Digital to Analog

2.11 หลักการทำงานของ Current sensor (ACS712)

หลักการของ Current sensor อาศัยปรากฏการณ์ของ Hall Effect แปลงกระแสเป็นแรงดัน



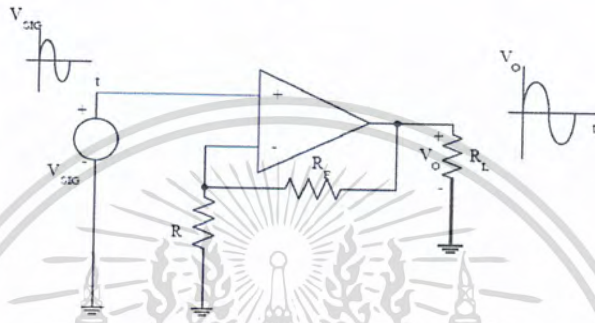
รูปที่ 2.36 การต่อวงจร Current sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรคือ นำวงจรไปต่ออนุกรมกับ Active load เพื่อทำการวัดค่ากระแส (I) และได้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นโวลต์ (V) ค่าโวลต์ที่ได้จะต้องไปเทียบกับค่า Sensitivity ที่มีหน่วยเป็น V/A ซึ่งที่กระแส = 0 A จะได้เอาต์พุตเป็นโวลต์ = 2.5 V การเปลี่ยนแปลงของกระแสในวงจรมีค่าน้อยมากถึงระดับมิลลิแอมป์ จึงต้องมีการต่อวงจรขยายที่เอาต์พุตของ Current sensor

2.12 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)

วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส จะมีเฟสเดียวกันกับอินพุตที่เข้ามา โดยที่ขาอินพุตจะถูกป้อนเข้าทางอินพุตบวกแต่ R_F ก็ยังคงต่อเข้าทางอินพุตลบ ดังรูป



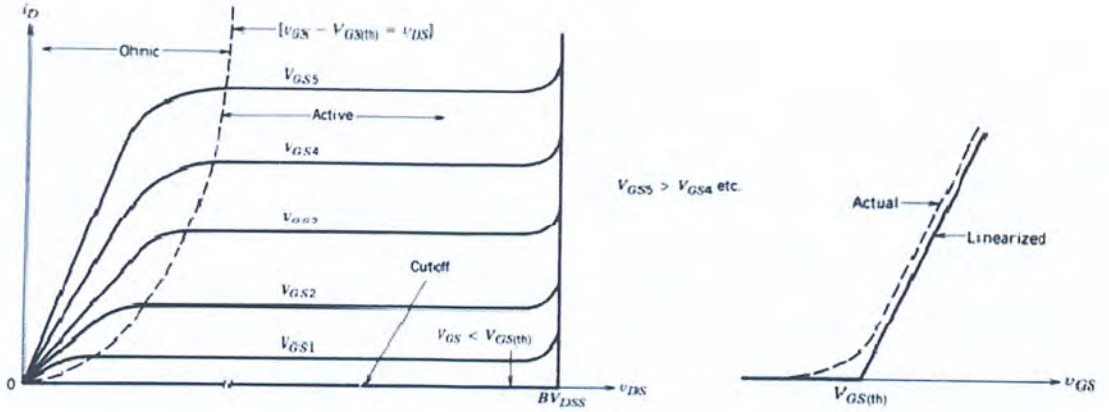
รูปที่ 2.37 วงจรขยายแบบกลับเฟส

อัตราขยายแบบวงจร ไม่กลับเฟส

$$A_v = \frac{V_o}{V_{sig}} = 1 + \frac{R_F}{R}$$

2.13 มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET)

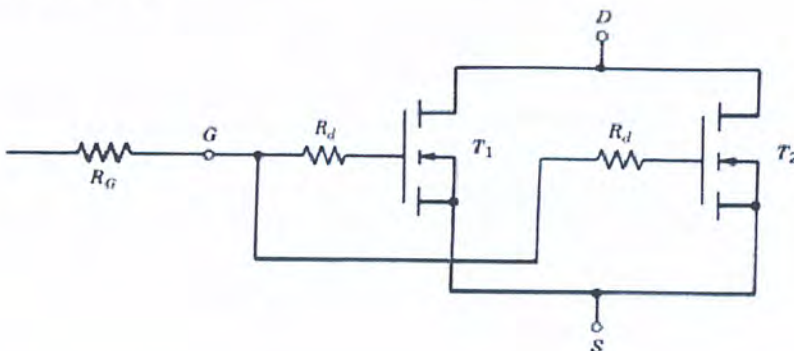
มอสเฟส (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor: MOSFET) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่มีขา 3 ขั้ว คือขั้วซอร์ส (Source: S), ขั้วเดรน (Drain: D) และเกต (Gate) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ มอสเฟสแบบดีพลีชัน (Depletion MOSFET) เรียกสั้นๆ ว่า ดิมอสเฟต และมอสเฟสแบบเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement MOSFET) หรือเรียกว่า อิมอสเฟต แต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แชนแนล n (n - Channel) และพีแชนแนล p (p- channel)



รูปที่ 2.38 แสดงการทำงานของ MOSFET ในย่านต่างๆ

โดยเมื่อต้องการให้มอสเฟตกำลังนำกระแสอย่างต่อเนื่อง จะต้องมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเกตกับขาซอส (V_{GS}) อย่างต่อเนื่อง ซึ่งความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอส $R_{DS(on)}$ จะขึ้นอยู่กับพิกัดแรงดันไฟฟ้า หากทนแรงดันไฟฟ้าได้สูงก็ยิ่งทำให้ค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอสมีค่ามากขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อกำลังสูญเสีย เช่นมอสเฟตกำลังที่พิกัดแรงดันไฟฟ้า 1000 โวลท์ จะมีค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอสมากกว่ามอสเฟตกำลังที่พิกัดแรงดัน 200 โวลท์ ดังนั้นการสูญเสียจากการนำกระแสของมอสเฟตพิกัดแรงดัน 1000 โวลท์ย่อมมากกว่ามอสเฟตพิกัดแรงดัน 200 โวลท์ โดยค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอสของมอสเฟตกำลัง จะมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นบวก คือเมื่ออุณหภูมิมากขึ้นค่าความต้านทานจะมากขึ้น มอสเฟตกำลังสามารถนำไปต่อขนานกันได้ง่ายหากต้องการใช้งานที่มีความต้องการกระแสสูงขึ้น ทั้งนี้มอสเฟตที่จะต่อขนานกันจะต้องมีคุณสมบัติต่างๆเหมือนกันมากที่สุด จึงจะสามารถนำมาต่อขนานกันได้ ปัจจุบันมอสเฟตกำลังมีพิกัดแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 1000 โวลท์แต่มีพิกัดกระแสไม่เกิน 100 แอมป์ แต่จุดเด่นของมอสเฟตกำลังคือมีความถี่ของการสวิตช์มากหลายร้อยกิโลเฮิรตซ์ โดยช่วงเวลาของการสวิตช์ของมอสเฟตกำลังจะมีค่าอยู่ระหว่างหลักสิบของนาโนวินาที ถึง หลักร้อยของนาโนวินาที ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดและพิกัดของมอสเฟตกำลัง

การต่อขนานมอสเฟต



รูปที่ 2.39 การต่อขนานของ MOSFET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติ R_{DS} (on) ของมอสเฟตกำลังจะไม่เท่ากัน เมื่อ ID ไหลทำให้อุณหภูมิของแต่ละมอสเฟสไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงควรลด I_D โดยอนุกรม R_D ทำให้ Thermal stabilization ดีขึ้นสำหรับมอสเฟตกำลังที่มีสูงชัน gat input มีค่า capacitance สูง ประกอบกับมี stay inductance ของลายวงจรหรือสายต่อ จะทำให้เกิด high frequency oscillation ได้ ดังนั้นจึงต้องใส่ R_D ค่าต่ำๆ

2.14 อุปกรณ์วัดพลังงานรังสีอาทิตย์

ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) เป็นเครื่องมือวัดรังสีรวมที่ประกอบด้วยเทอร์โมไพล์ (Thermopile) หลายชุดต่ออนุกรมกัน ตัวรับรังสีบรรจุอยู่ในโคมแก้ว ครึ่งทรงกลม ใช้วัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีหน่วยเป็น W/M^2



รูปที่ 2.40 รูปแสดงไพรานอมิเตอร์

ในการที่จะวัดรังสีกระจายในแนวราบสามารถทำได้โดยใช้ไพรานอมิเตอร์ชนิดเดียวกับที่ใช้วัดรังสีรวม แต่จะต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้บังรังสีตรงไม่ให้รังสีตรงตกลงบนตัวรับรังสี อุปกรณ์บังรังสีตรงที่สำคัญมี 2 ชนิดคือ

1. จานเงา (Shading Disc)
2. แหวนเงา (Shading Ring)

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 แนวความคิดพื้นฐาน

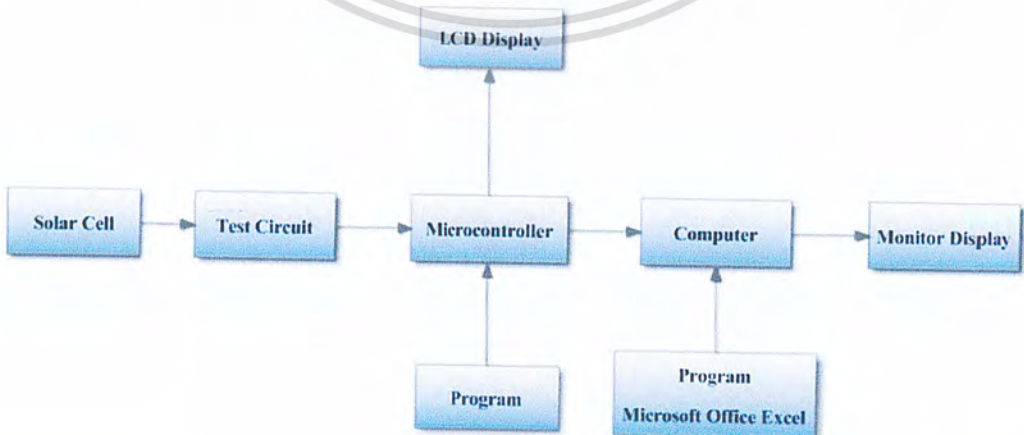
ฮาร์ดแวร์ที่เป็นพื้นฐานการทำโครงงานชิ้นนี้ เป็นการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ โดยการปรับค่าความต้านทานของ Active Load และในการปรับค่าความต้านทานแต่ละครั้ง จะมีการวัดและบันทึกค่าศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมโซลาร์เซลล์ และค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร ดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรพื้นฐานของการวัดโซลาร์เซลล์

3.2 การทำงานของระบบ

จากวงจรพื้นฐาน ได้มีการพัฒนาระบบการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ดังกล่าวด้วยบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.2 โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลคุณสมบัติต่างๆของโซลาร์เซลล์แล้วแสดงผลทางแอลซีดี และสามารถนำค่าศักดาและกระแสที่วัดได้ไปพล็อตกราฟแล้วแสดงผลผ่านจอมอนิเตอร์

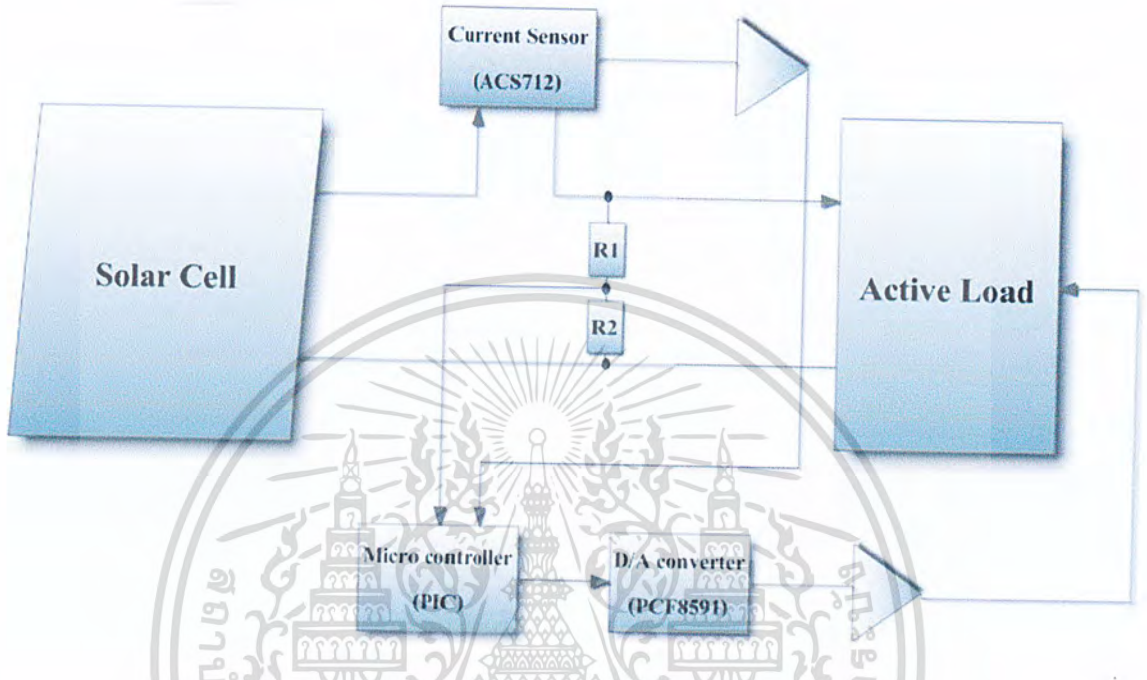


รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบด้าน Hardware

ในการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ โซลาร์เซลล์จะพิจารณาจากค่ากระแสและศักดา ซึ่งสามารถวัดค่าต่างๆ ได้ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมการวัดกระแสและศักดาของ โซลาร์เซลล์

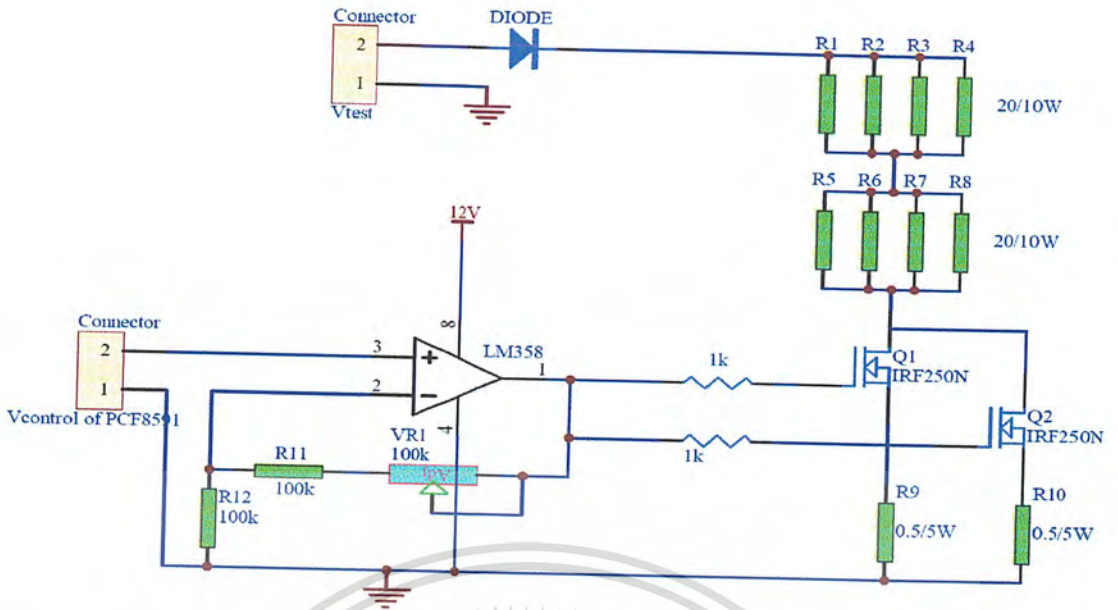
การทำงาน

ใช้ Active Load ที่มีคุณสมบัติ สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในตัวได้เป็นโหลดให้กับ โซลาร์เซลล์แล้ววัดค่ากระแสและแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไป โดยในการ วัดและบันทึกค่าดังกล่าวจะใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจากจากบล็อกไดอะแกรมสามารถแบ่งการทำงานของระบบได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. วัดกระแสของโซลาร์เซลล์
2. วัดแรงดันของโซลาร์เซลล์

3.3.1 Active Load

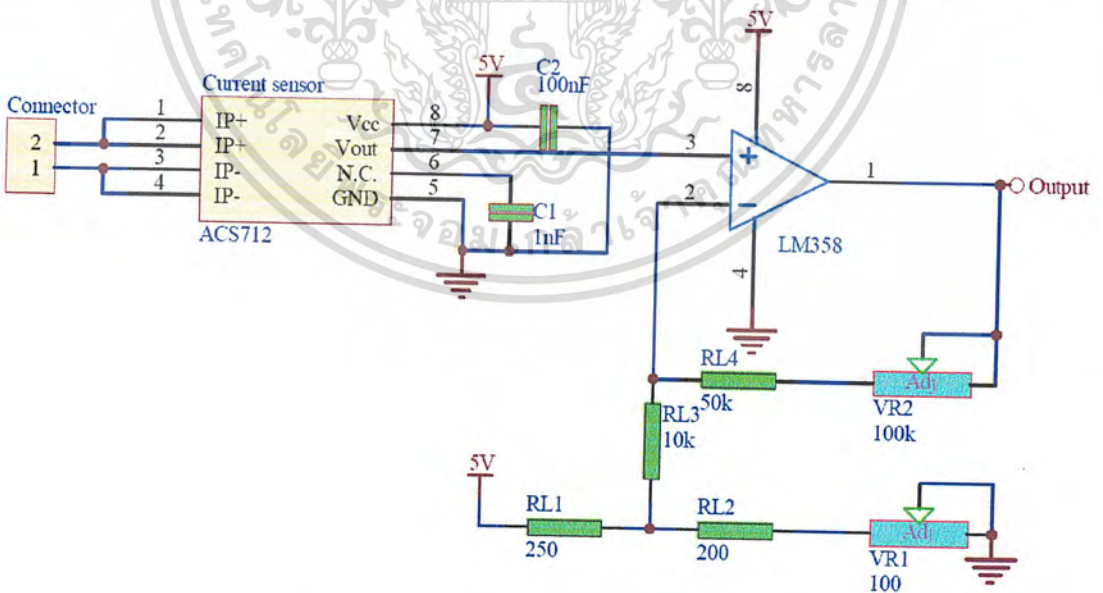
Active Load เป็นวงจรที่สามารถปรับค่าความต้านทานภายในได้ซึ่งเปรียบเทียบกับตัวต้านทานปรับค่าได้ แต่ Active Load จะปรับค่าความต้านทานจากการไบอัสขากเขต ของมอสเฟทกำลัง และมีอัตราการ หนความร้อนที่สูงกว่าตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยอัตราการทนกระแสและแรงดันสูงสุดของวงจร Active Load ดังรูปที่ 3.4 คือ $I_{MAX} = 3 \text{ A}$, $V_{MAX} = 30 \text{ V}$



รูปที่ 3.4 แสดงวงจร Active Load

3.3.2 Current Sensor

เป็นส่วนที่วัดกระแสของระบบหรือของโซล่าเซลล์ ในโครงงานนี้ใช้ Current Sensor ACS712 ที่อาศัยหลักการของ Hall Effect แปลงกระแสเป็นแรงดัน เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลสัญญาณได้ การใช้งานสามารถนำมาต่ออนุกรมกับระบบได้โดยตรงซึ่งวงจร Current Sensor มีลักษณะดังรูปที่ 3.5

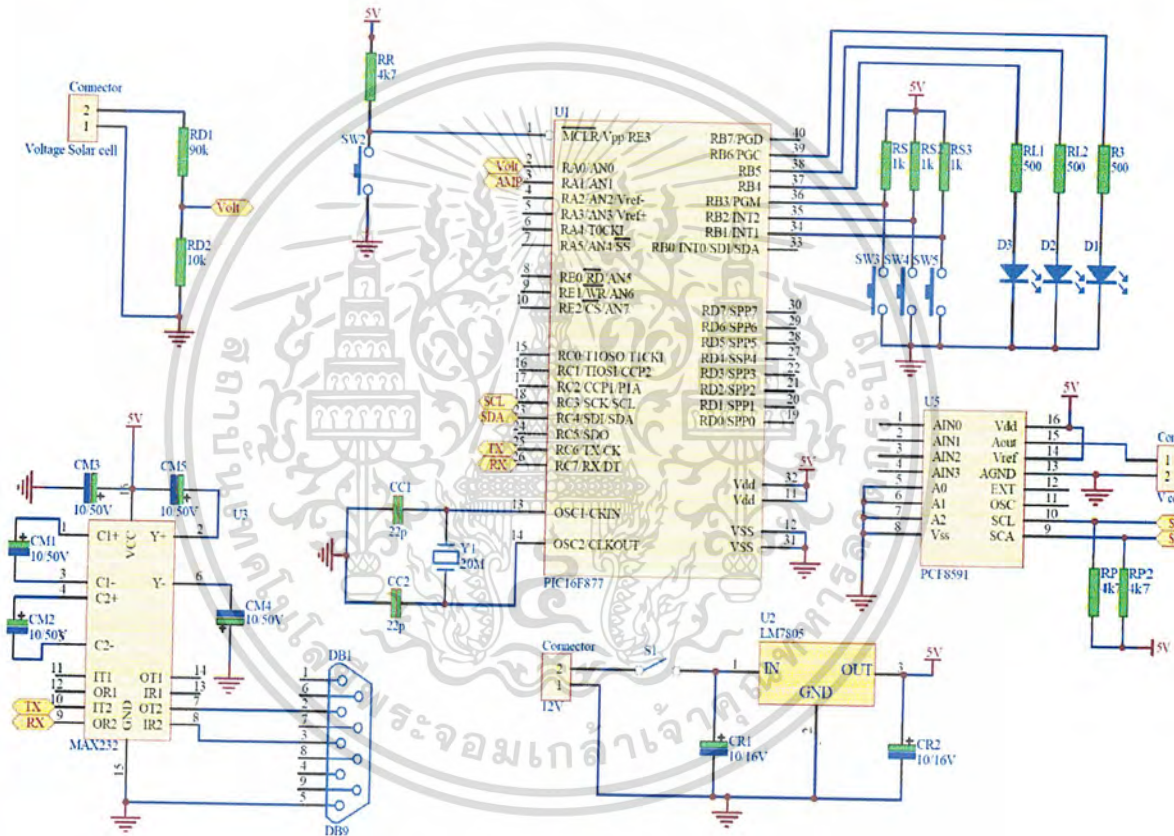


รูปที่ 3.5 แสดงวงจร Current Sensor ACS712

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 บอร์ดทดลอง Microcontroller PIC

Microcontroller PIC เป็นส่วนประมวลผลสัญญาณทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ โดยประมวลผลสัญญาณกระแสที่รับมาจาก Current Sensor ACS712 และค่าศักดาที่รับมาจากการแบ่งแรงดันของ R1 และ R2 สาเหตุที่ต้องมีการแบ่งแรงดันเนื่องจากป้องกันศักดาที่ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เกินอัตราที่ทนได้คือ 5 V โดยการประมวลผลสัญญาณจะใช้ไมโครการแปลงสัญญาณ Analog to Digital ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งบอร์ดทดลอง Microcontroller PIC มีลักษณะดังรูปที่ 3.6 โดยในบอร์ดจะมีส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งคือ IC PCF8591 ที่มีคุณสมบัติในการแปลงสัญญาณ Digital to Analog ซึ่งไว้สำหรับปรับค่าศักดาที่ป้อนให้กับขาของ Active Load

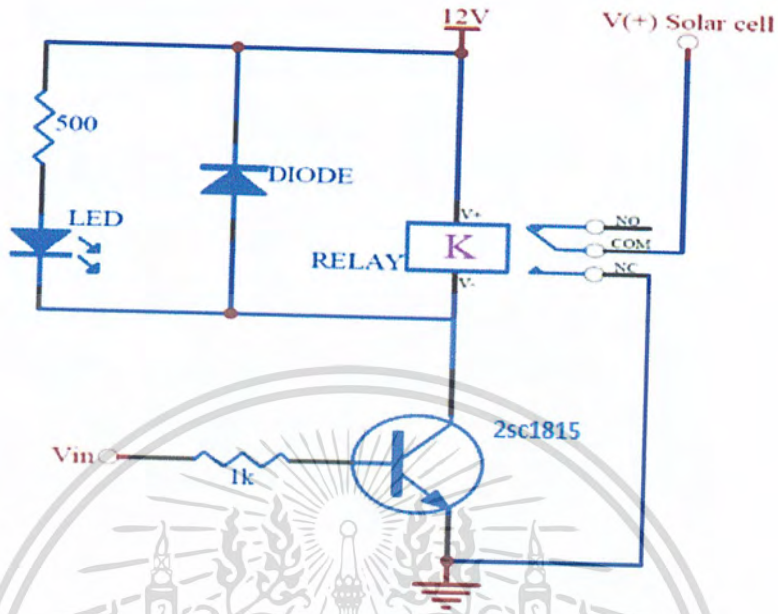


รูปที่ 3.6 บอร์ดทดลอง Microcontroller PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 วงจร Relay

ไว้สำหรับชื้อตวงจรเพื่อวัด I_{sc} ของโซลาร์เซลล์ มีลักษณะวงจรดังรูปที่ 3.7

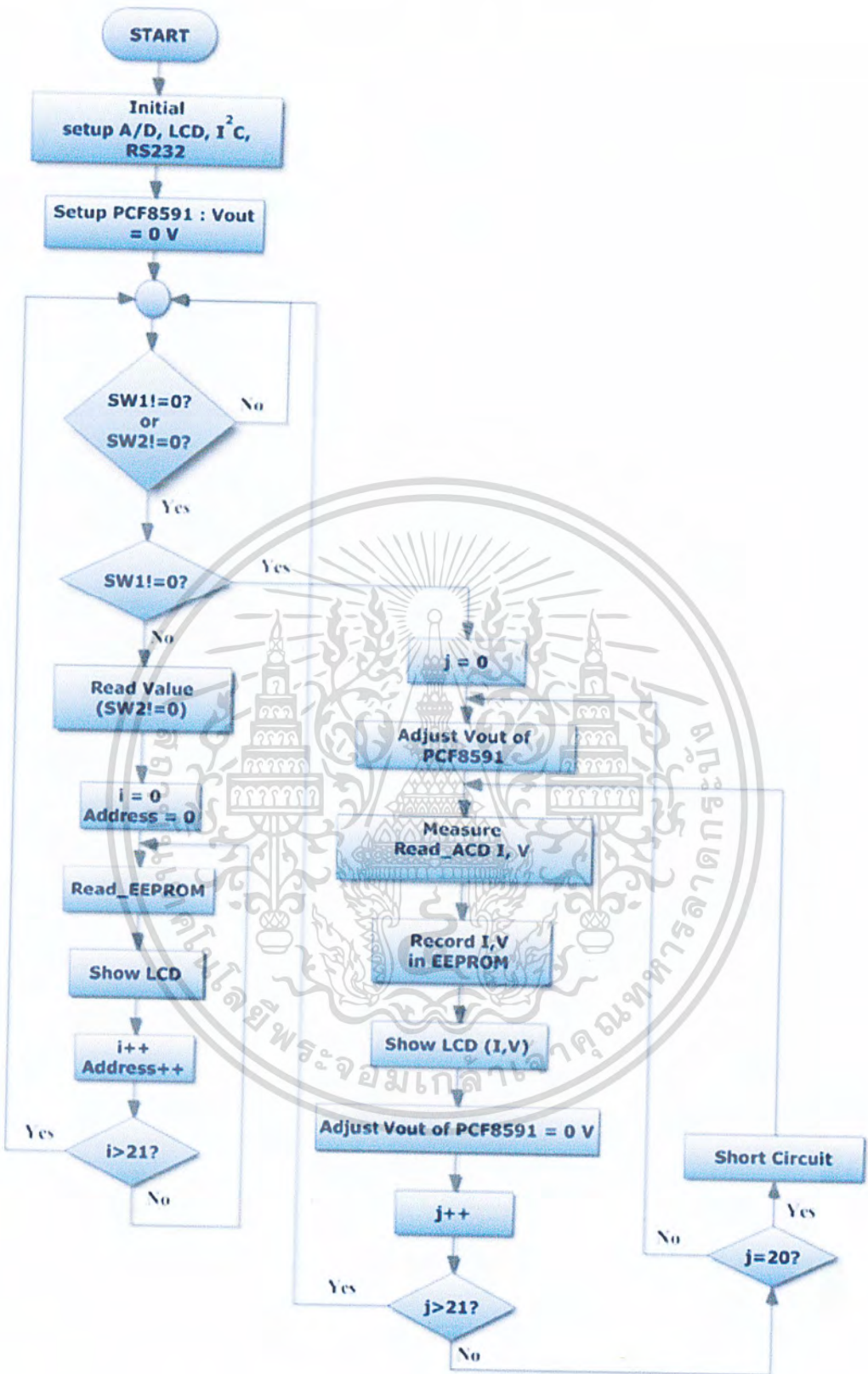


รูปที่ 3.7 วงจร Relay

3.4 การออกแบบด้าน Software

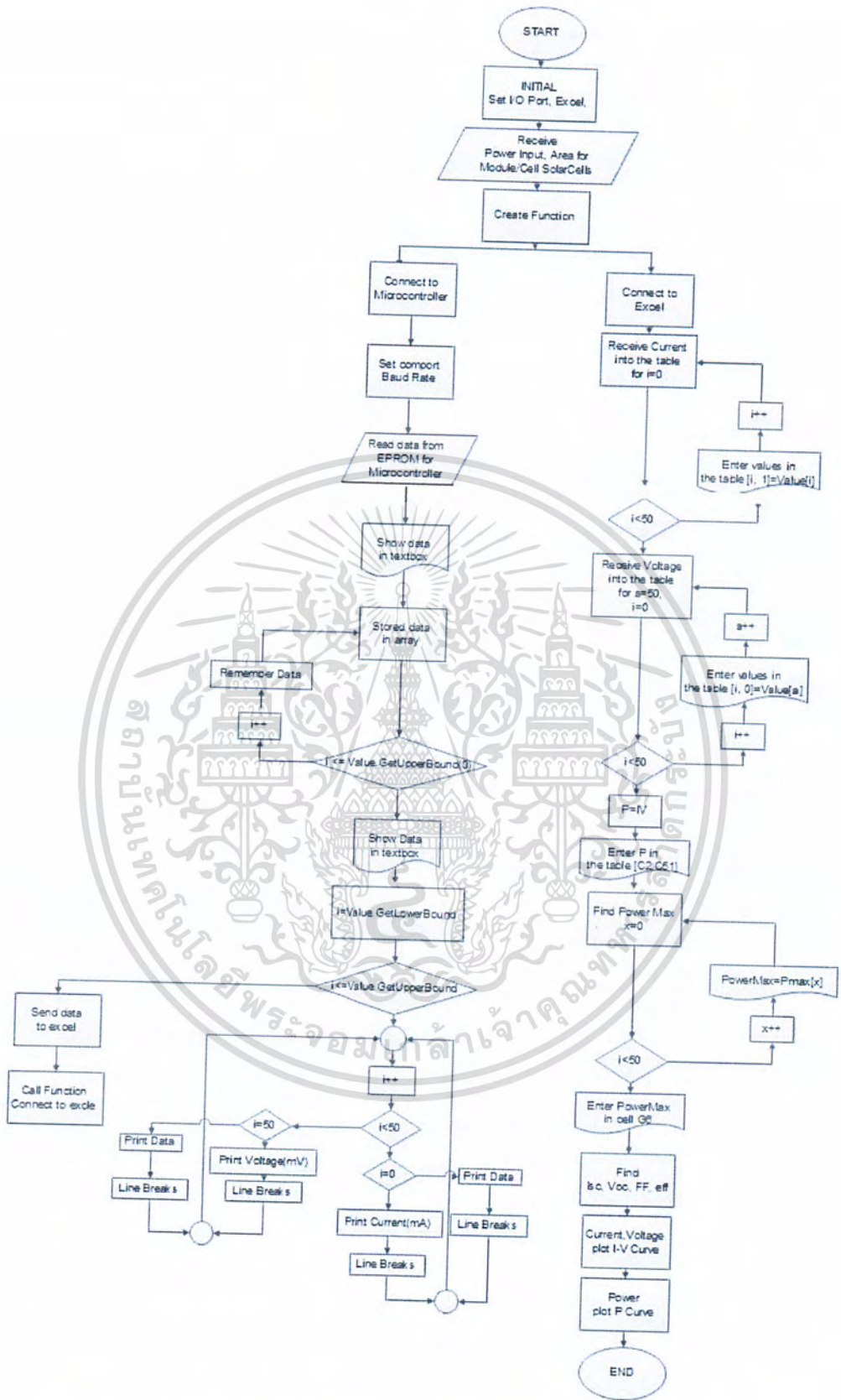
การออกแบบในโครงการนี้ใช้ภาษา C ในการ โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ และภาษา C# ในโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2008 โดยการทำงานของโปรแกรมมีลักษณะดัง flow chart ในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดง flow chart โปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดง flow chart โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

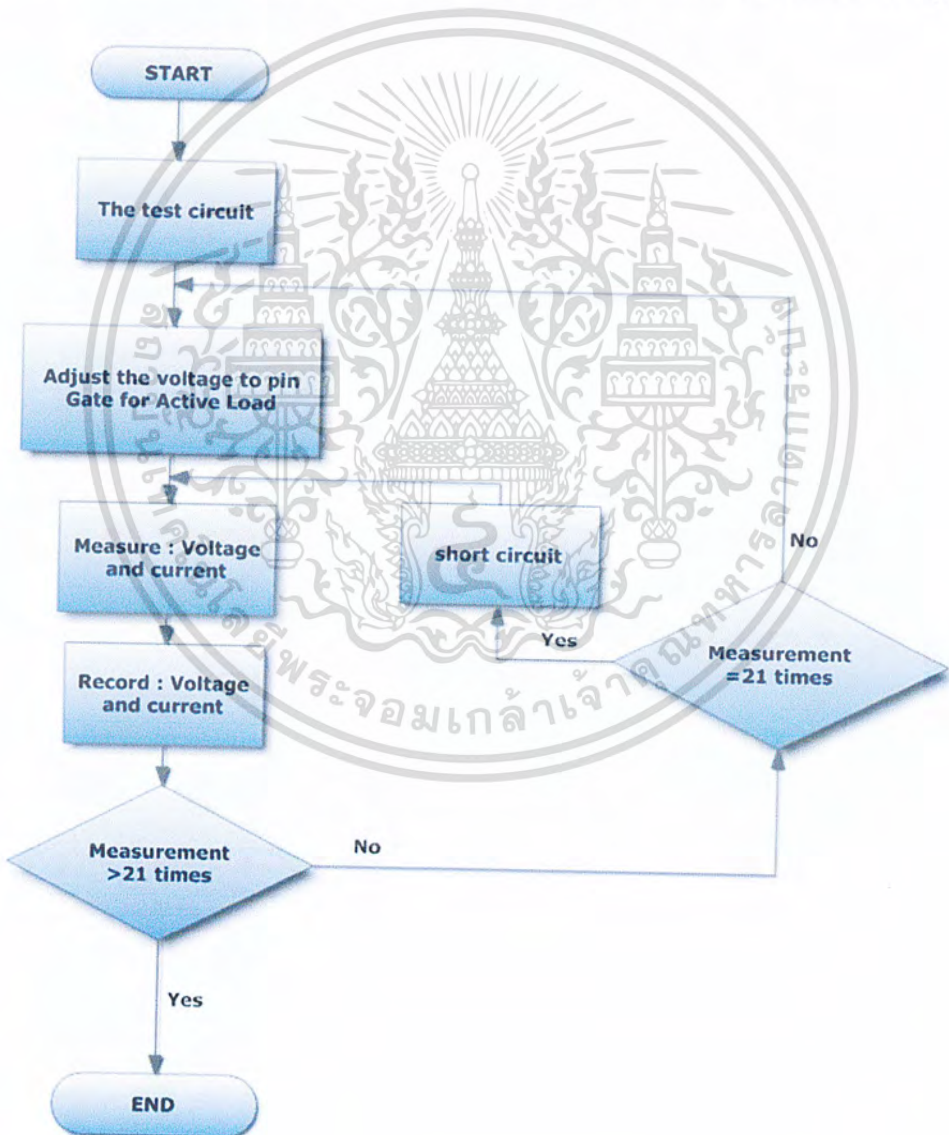
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

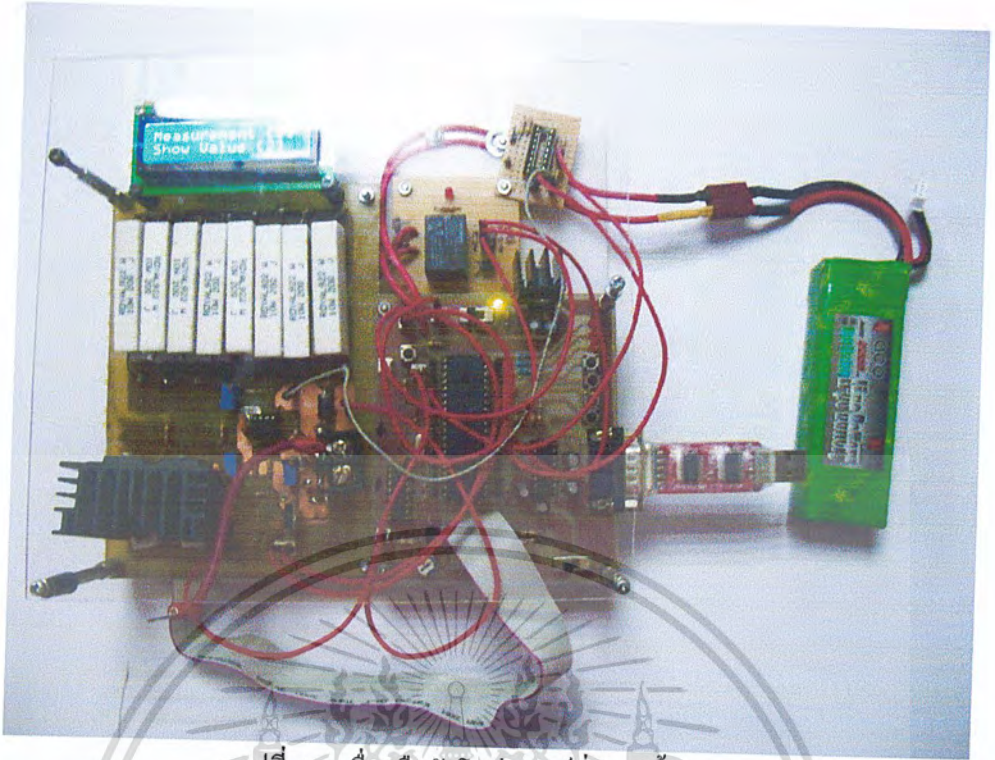
ในการทดลองเป็นการเปรียบเทียบการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ โดยใช้มิเตอร์มาตรฐานกับเครื่องทดสอบ โซลาร์เซลล์ในโครงการนี้ เพื่อแสดงให้เห็นว่าเครื่องทดสอบ โซลาร์เซลล์ในโครงการนี้ สามารถใช้งานได้จริงมากน้อยเพียงใด

ในการทดลองใช้เครื่องทดสอบ โซลาร์เซลล์ของโครงการนี้มีการทำงานดัง flow chart ในรูปที่ 4.1

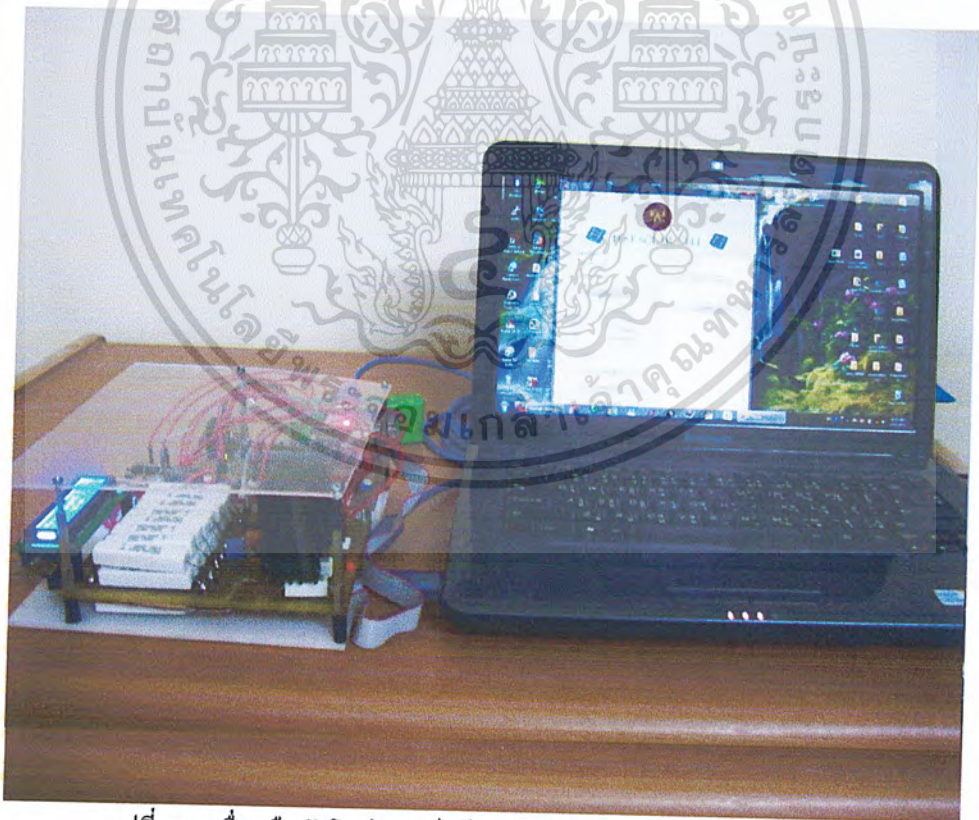


รูปที่ 4.1 แสดง flow chart การทดลองใช้เครื่องทดสอบ โซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

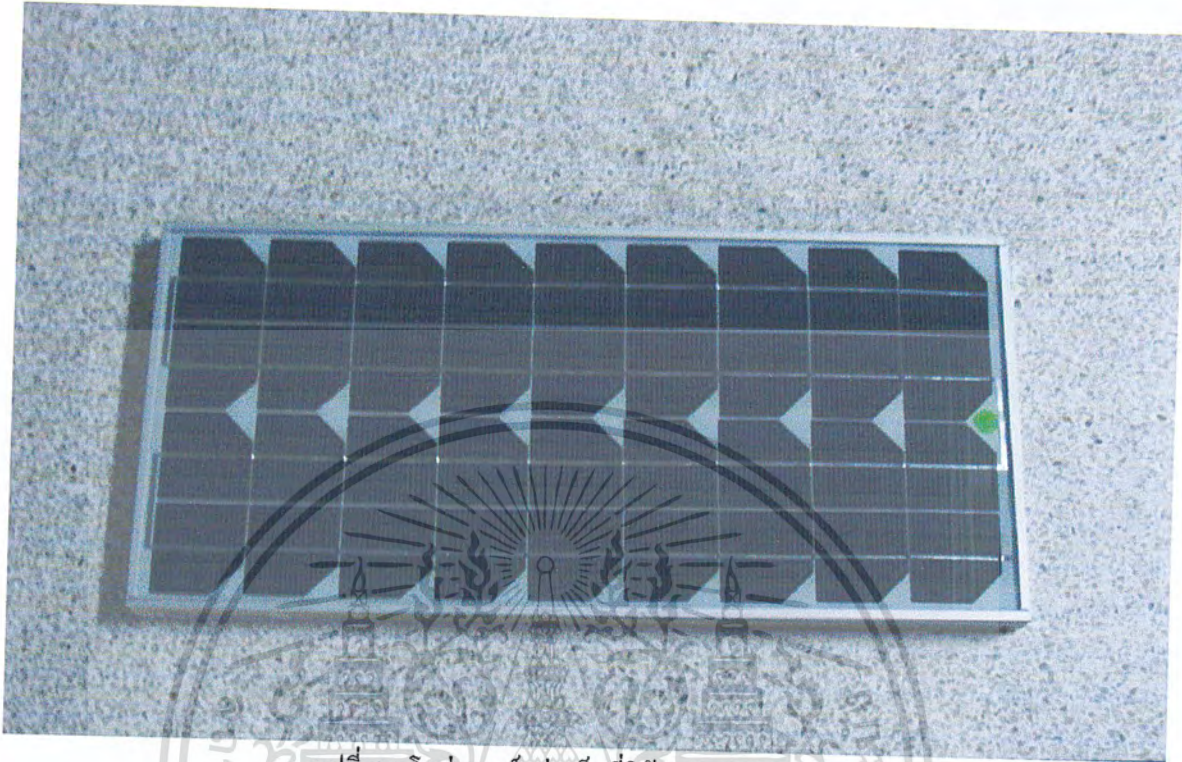


รูปที่ 4.2 เครื่องมือวัดโซลาร์เซลล์ที่จัดทำขึ้นมา



รูปที่ 4.3 เครื่องมือวัดโซลาร์เซลล์พร้อมกับการทดสอบโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

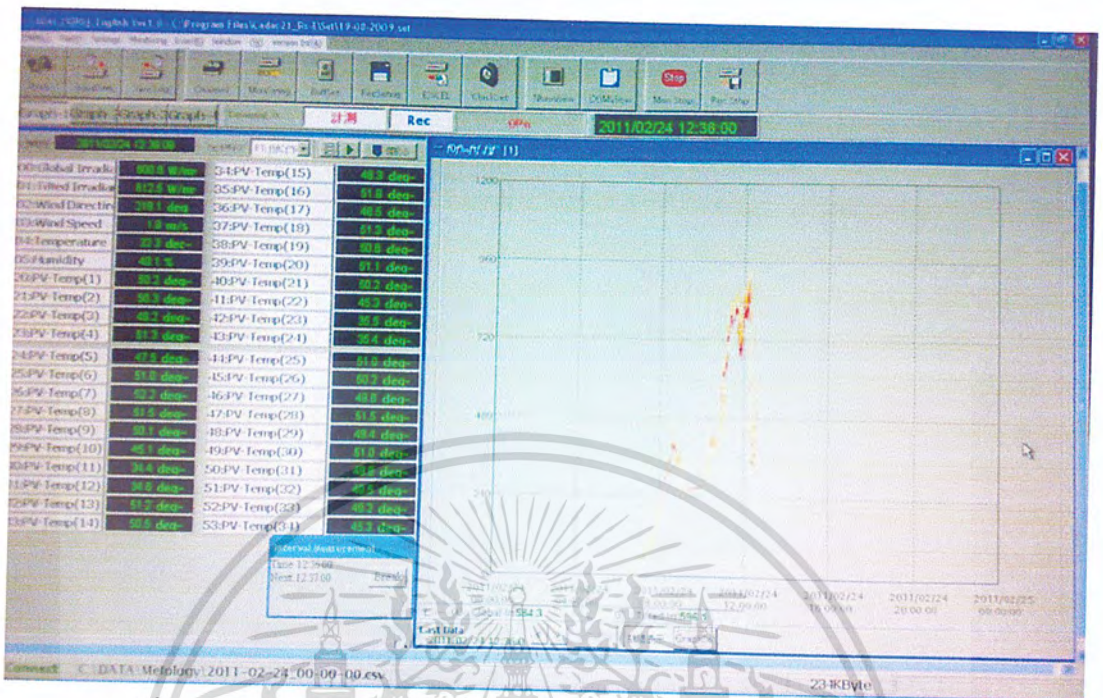


รูปที่ 4.4 โซลาร์เซลล์แผ่นเล็กที่ใช้ทำการทดสอบ



รูปที่ 4.5 โซลาร์เซลล์แผ่นใหญ่ที่ใช้ทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 หน้าโปรแกรมที่ไว้อ่านค่ารังสีของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ณ ขณะที่วัด



รูปที่ 4.7 หน้าโปรแกรมที่ไว้ทดสอบกับเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

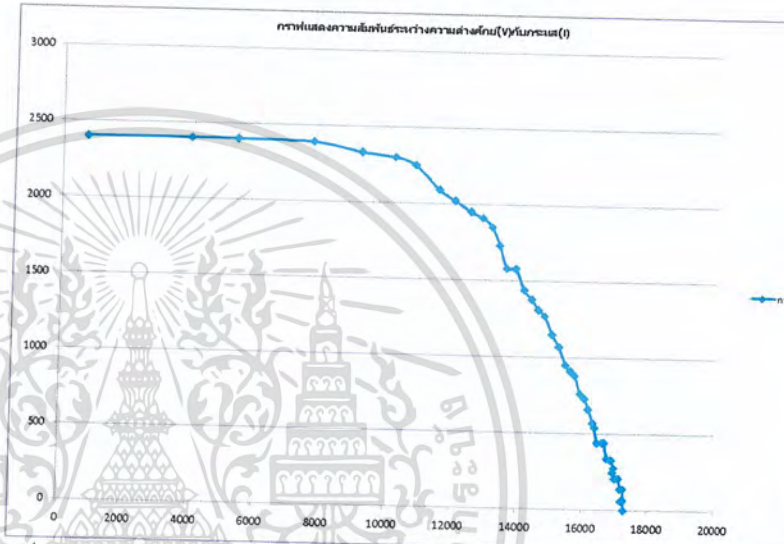
4.3 การวัดแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 1

ตารางที่ 4.1 (ก) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/s47 ครั้งที่ 1

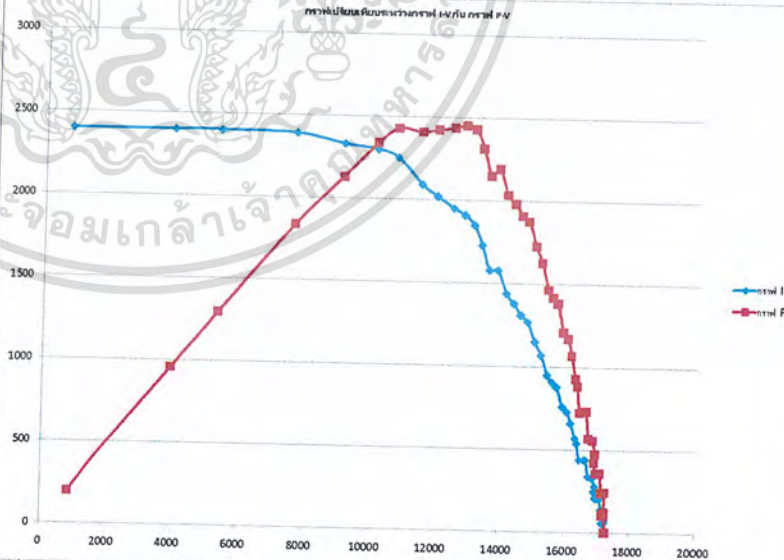
Number	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (x10 mW)
1	17268	0	0
2	17238	60	103.428
3	17214	60	103.284
4	17214	60	103.284
5	17214	60	103.284
6	17184	60	103.104
7	17214	60	103.284
8	17238	70	120.666
9	17238	140	241.332
10	17154	140	240.156
11	17154	140	240.156
12	17094	210	358.974
13	17034	210	357.714
14	16974	210	356.454
15	16920	250	423
16	16950	280	474.6
17	16860	330	556.38
18	16740	340	569.16
19	16656	440	732.864
20	16596	440	730.224
21	16446	440	723.624
22	16362	540	883.548
23	16302	570	929.214
24	16158	660	1066.428
25	16038	730	1170.774
26	15894	760	1207.944
27	15714	880	1382.832
28	15570	910	1416.87
29	15420	950	1464.9
30	15216	1070	1628.112
31	15012	1150	1726.38
32	14778	1270	1876.806
33	14574	1310	1909.194
34	14364	1380	1982.232
35	14130	1440	2034.72
36	13866	1580	2190.828
37	13602	1580	2149.116
38	13368	1730	2312.664
39	13134	1850	2429.79
40	12840	1910	2452.44
41	12492	1950	2435.94
42	11994	2020	2422.788
43	11520	2090	2407.68
44	10788	2250	2427.3
45	10170	2300	2339.1
46	9144	2330	2130.552
47	7680	2390	1835.52
48	5394	2400	1294.56
49	3984	2400	956.16
50	816	2400	195.84

ตารางที่ 4.1 (ข) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/s47 ครั้งที่ 1

Area Of Module	0.377599984
Area Of Cell	0.330000013
Power Input(W/m2)	766.6
Current Short Circuit(mA)	2400
Voltage Open Circuit(mV)	17268
Power Max(mW)	2452.4
Voltage Max(mV)	12840
Current Max(mA)	1910
FF	0.591759324
eff of module(%)	8.47227485
eff of cell(%)	9.69



รูปที่ 4.8 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับกระแส (I) ของผลการทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ 4.8 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกราฟ I-V กับ กราฟ P-V ของผลการทดลองครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

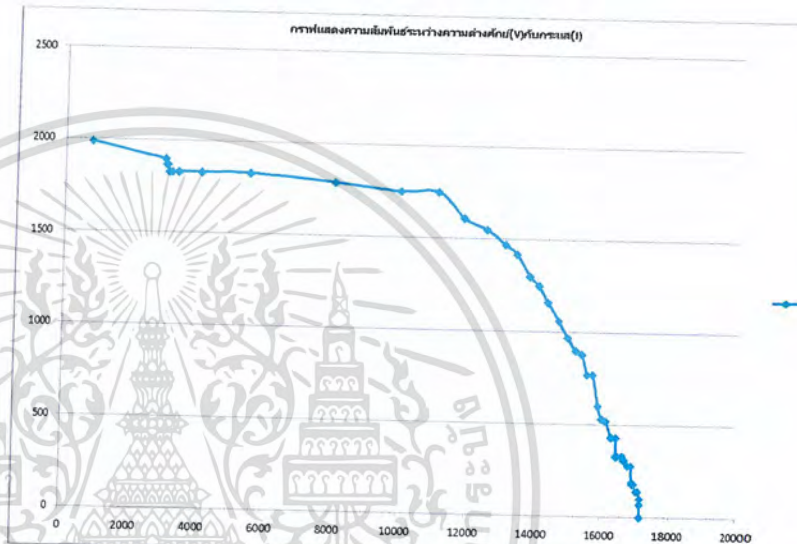
4.4 การวัดแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 2

ตารางที่ 4.2 (ก) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/s47 ครั้งที่ 2

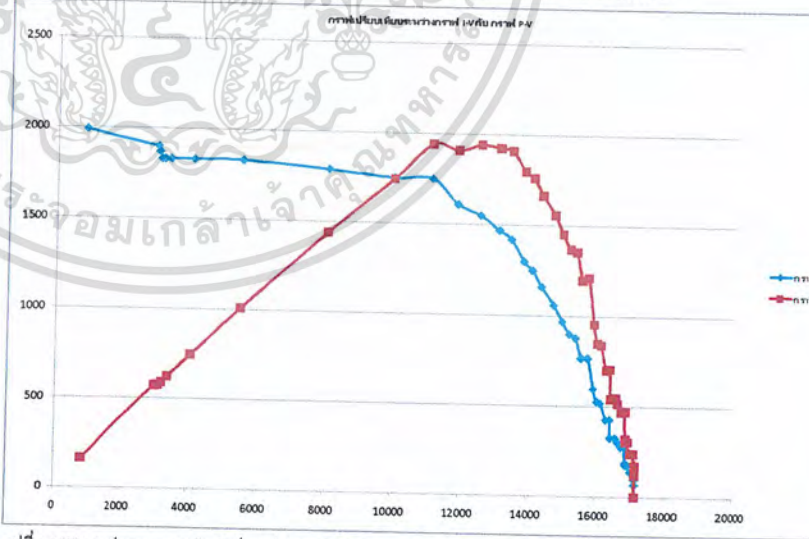
Number	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (x10 mW)
1	17154	0	0
2	17154	70	120.078
3	17154	70	120.078
4	17154	100	171.54
5	17154	100	171.54
6	17154	100	171.54
7	17154	100	171.54
8	17154	100	171.54
9	17094	140	239.316
10	17034	140	238.476
11	17034	140	238.476
12	16920	180	304.56
13	16950	180	305.1
14	16890	190	320.91
15	16860	280	472.08
16	16770	280	469.56
17	16656	310	516.336
18	16596	330	547.668
19	16446	330	542.718
20	16422	430	706.146
21	16302	430	700.986
22	16128	520	838.656
23	16008	530	848.424
24	15894	600	953.64
25	15714	770	1209.978
26	15540	770	1196.58
27	15366	880	1352.208
28	15186	900	1366.74
29	14952	970	1450.344
30	14688	1060	1556.928
31	14340	1160	1663.44
32	14076	1250	1759.5
33	13812	1300	1795.56
34	13428	1420	1906.776
35	13074	1470	1921.878
36	12516	1550	1939.98
37	11844	1610	1906.884
38	11082	1750	1939.35
39	9966	1750	1744.05
40	8034	1790	1438.086
41	5508	1830	1007.964
42	4074	1830	745.542
43	3396	1830	621.468
44	3222	1830	589.626
45	3132	1830	573.156
46	3078	1870	575.586
47	3048	1870	569.976
48	3018	1900	573.42
49	3018	1900	573.42
50	816	1990	162.384

ตารางที่ 4.2 (ข) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/s47 ครั้งที่ 2

Area Of Module	0.3776
Area Of Cell	0.33
Power Input(W/m2)	623.6
Current Short Circuit(mA)	1990
Voltage Open Circuit(mV)	17154
Power Max(mW)	19400
Voltage Max(mV)	12516
Current Max(mA)	1550
FF	0.5683
eff of module(%)	8.2387
eff of cell(%)	9.4271



รูปที่ 4.9 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับกระแส (I) ของผลการทดลองครั้งที่ 2



รูปที่ 4.9 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกราฟ I-V กับ กราฟ P-V ของผลการทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

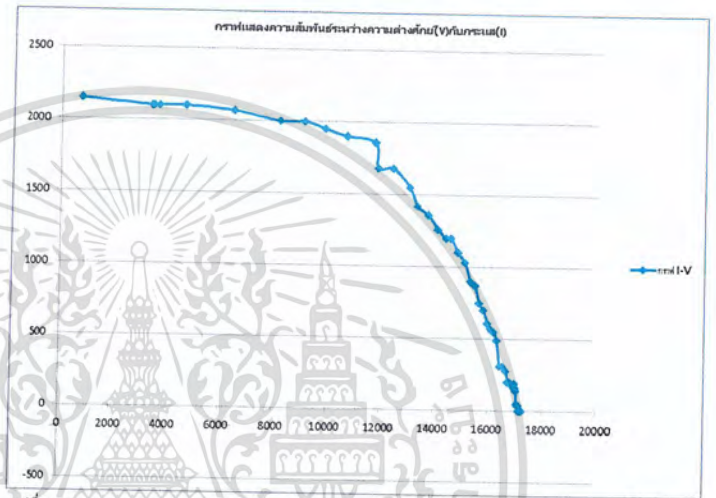
4.5 การวัดแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 3

ตารางที่ 4.3 (ก) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/s47 ครั้งที่ 3

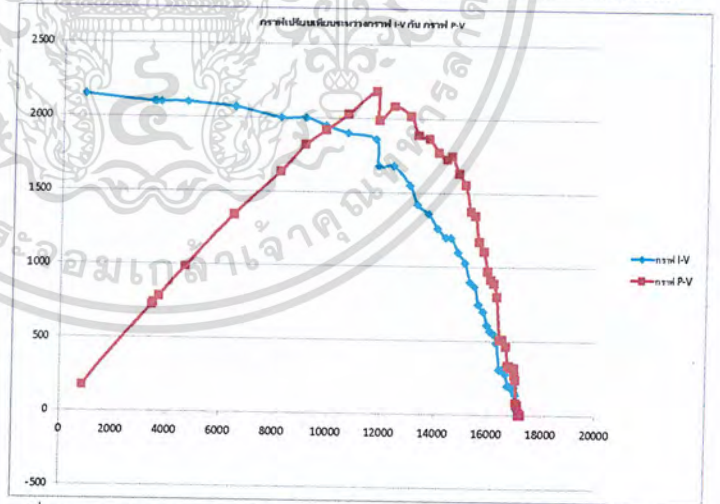
Number	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (x10 mW)
1	17238	0	0
2	17238	0	0
3	17238	0	0
4	17214	0	0
5	17238	0	0
6	17154	0	0
7	17184	10	17.184
8	17184	10	17.184
9	17124	40	68.496
10	17124	40	68.496
11	17094	40	68.376
12	17064	50	85.32
13	17034	140	238.476
14	17004	160	272.064
15	16974	190	322.506
16	16860	190	320.34
17	16800	200	336
18	16740	200	334.8
19	16656	280	466.368
20	16536	310	512.616
21	16422	310	509.082
22	16302	490	798.798
23	16182	550	890.01
24	16068	570	915.876
25	15948	610	972.828
26	15804	700	1106.28
27	15630	750	1172.25
28	15480	870	1346.76
29	15306	900	1377.54
30	15102	1030	1555.506
31	14838	1100	1632.18
32	14574	1200	1748.88
33	14394	1200	1727.28
34	14076	1260	1773.576
35	13722	1360	1866.192
36	13308	1420	1889.736
37	13020	1550	2018.1
38	12402	1680	2083.536
39	11844	1680	1989.792
40	11730	1860	2181.78
41	10674	1900	2028.06
42	9852	1950	1921.14
43	9090	2000	1818
44	8178	2000	1635.6
45	6480	2070	1341.36
46	4692	2100	985.32
47	3720	2100	781.2
48	3516	2100	738.36
49	3456	2100	725.76
50	816	2150	175.44

ตารางที่ 4.3 (ข) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/s47 ครั้งที่ 3

Area Of Module	0.377599984
Area Of Cell	0.330000013
Power Input(W/m2)	680.7
Current Short Circuit(mA)	2150
Voltage Open Circuit(mV)	17238
Power Max(mW)	21817.8
Voltage Max(mV)	11730
Current Max(mA)	1860
FF	0.588688592
eff of module(%)	8.488349209
eff of cell(%)	9.712728489



รูปที่ 4.10 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (N/mm²) กับกระแส (I) ของผลการทดลองครั้งที่ 3



รูปที่ 4.10(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกราฟ I-V กับ กราฟ P-V ของผลการทดลองครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

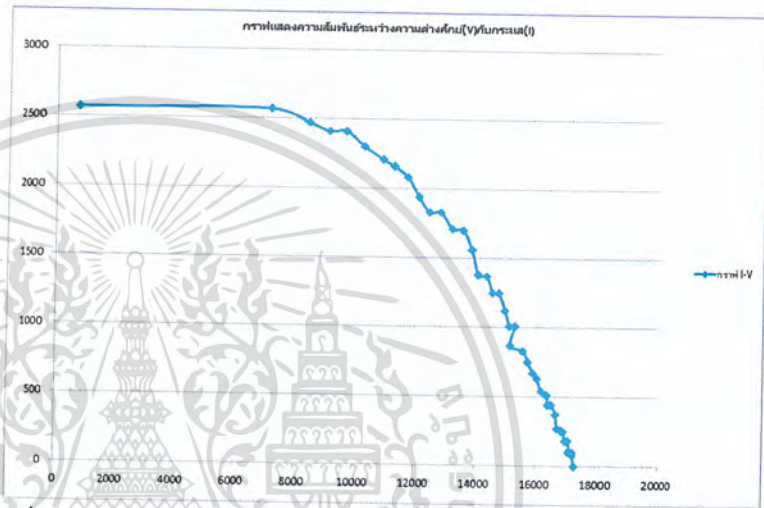
4.6 การวัดแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 4

ตารางที่ 4.4 (ก) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/s47 ครั้งที่ 4

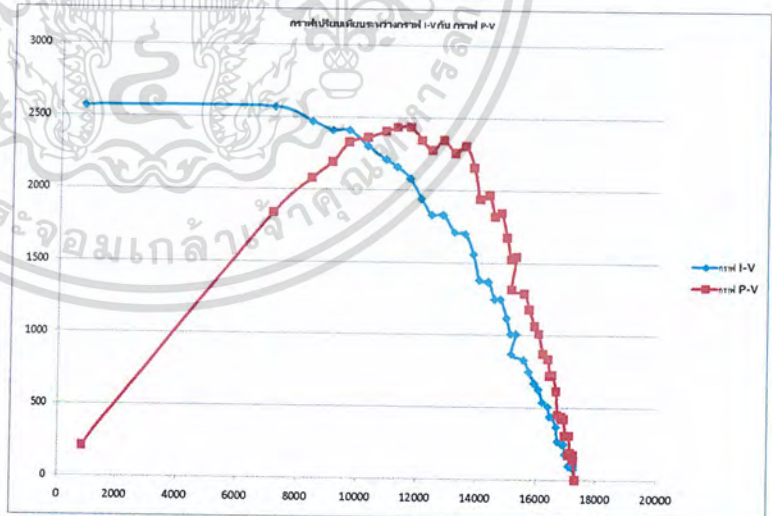
Number	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (x10 mW)
1	17298	0	0
2	17238	80	137.904
3	17238	100	172.38
4	17238	100	172.38
5	17184	100	171.84
6	17184	100	171.84
7	17154	100	171.54
8	17124	100	171.24
9	17094	100	170.94
10	17124	110	188.364
11	17094	180	307.692
12	17064	180	307.152
13	17004	180	306.072
14	16974	180	305.532
15	16920	250	423
16	16860	250	421.5
17	16830	260	437.58
18	16710	270	451.17
19	16656	370	616.272
20	16506	440	726.264
21	16422	440	722.568
22	16362	510	834.462
23	16182	540	873.828
24	16038	630	1010.394
25	15894	670	1064.898
26	15714	750	1178.55
27	15540	830	1289.82
28	15126	870	1315.962
29	15276	1010	1542.876
30	15102	1010	1525.302
31	14952	1120	1674.624
32	14748	1250	1843.5
33	14544	1250	1818
34	14340	1370	1964.58
35	14046	1380	1938.348
36	13836	1560	2158.416
37	13548	1700	2303.16
38	13194	1710	2256.174
39	12810	1830	2344.23
40	12432	1830	2275.056
41	12078	1940	2343.132
42	11700	2080	2433.6
43	11256	2160	2431.296
44	10878	2210	2404.038
45	10260	2300	2359.8
46	9648	2410	2325.168
47	9090	2410	2190.69
48	8412	2470	2077.764
49	7152	2570	1838.064
50	816	2570	209.712

ตารางที่ 4.4 (ข) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/s47 ครั้งที่ 4

Area Of Module	0.377599984
Area Of Cell	0.330000013
Power Input(W/m2)	825.5
Current Short Circuit(mA)	2570
Voltage Open Circuit(mV)	17298
Power Max(mW)	24336
Voltage Max(mV)	11700
Current Max(mA)	2080
FF	0.547419395
eff of module(%)	7.807287123
eff of cell(%)	8.933428421



รูปที่ 4.11 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับกระแส (I) ของผลการทดลองครั้งที่ 4



รูปที่ 4.11 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกราฟ I-V กับกราฟ P-V ของผลการทดลองครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

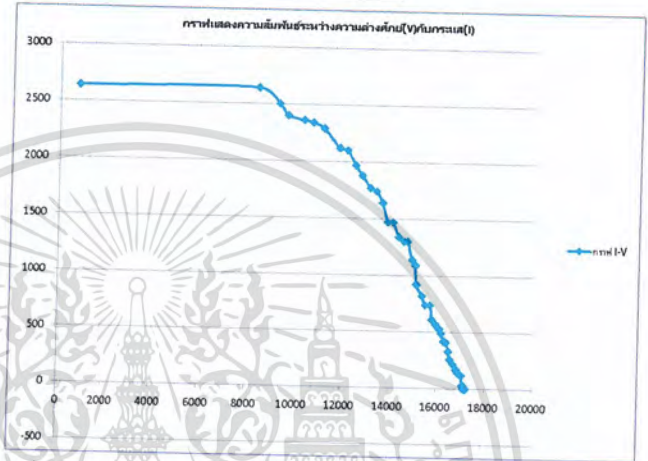
4.7 การวัดแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/S47 ครั้งที่ 5

ตารางที่ 4.5 (ก) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/s47 ครั้งที่ 5

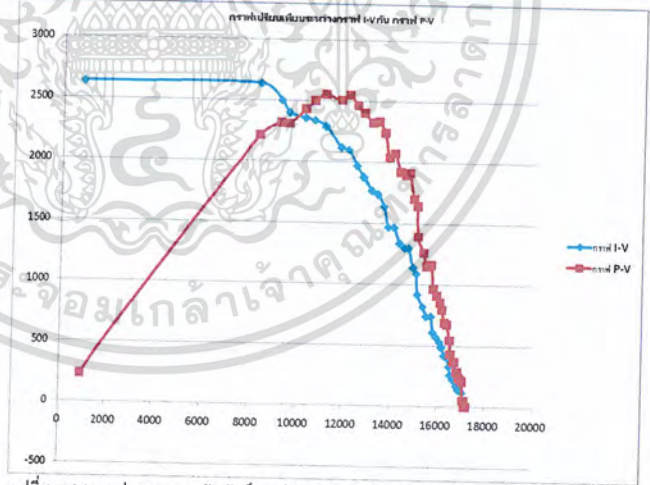
Number	Voltage (mV)	Current (mA)	Power (x10 mW)
1	17238	0	0
2	17184	0	0
3	17154	0	0
4	17154	30	51.462
5	17124	30	51.372
6	17124	30	51.372
7	17094	30	51.282
8	17064	120	204.768
9	17064	120	204.768
10	17064	120	204.768
11	17004	130	221.052
12	16920	140	236.88
13	16920	140	236.88
14	16860	170	286.62
15	16830	170	286.11
16	16710	220	367.62
17	16686	220	367.092
18	16566	260	430.716
19	16506	330	544.698
20	16392	410	672.072
21	16302	420	684.684
22	16182	490	792.918
23	16098	530	853.194
24	15948	570	909.036
25	15804	610	964.044
26	15714	740	1162.836
27	15510	740	1147.74
28	15366	820	1260.012
29	15126	920	1391.592
30	15072	1090	1642.848
31	14922	1140	1701.108
32	14718	1300	1913.34
33	14574	1300	1894.62
34	14340	1340	1921.56
35	14100	1470	2072.7
36	13866	1470	2038.302
37	13662	1640	2240.568
38	13398	1740	2331.252
39	13134	1770	2324.718
40	12780	1880	2402.64
41	12492	1970	2460.924
42	12138	2100	2548.98
43	11814	2120	2504.568
44	11142	2290	2551.518
45	10674	2340	2497.716
46	10290	2360	2428.44
47	9618	2400	2308.32
48	9264	2500	2316
49	8382	2640	2212.848
50	876	2640	231.264

ตารางที่ 4.5 (ข) ผลการทดลองแผงโซลาร์เซลล์ Solartron Model M75/s47 ครั้งที่ 5

Area Of Module	0.377599984
Area Of Cell	0.330000013
Power Input(W/m2)	911.3
Current Short Circuit(mA)	2640
Voltage Open Circuit(mV)	17238
Power Max(mW)	25515.18
Voltage Max(mV)	11142
Current Max(mA)	2290
FF	0.560670664
eff of module(%)	7.414900002
eff of cell(%)	8.484442467



รูปที่ 4.12 (ก) กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับกระแส (I) ของผลการทดลองครั้งที่ 5



รูปที่ 4.12 (ข) กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกราฟ I-V กับ กราฟ P-V ของผลการทดลองครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การเปรียบเทียบวัดจากมิเตอร์มาตรฐานเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์ครั้งที่ 1

ตารางที่ 4.6(ก) ผลการทดลองจากมิเตอร์ครั้งที่ 1

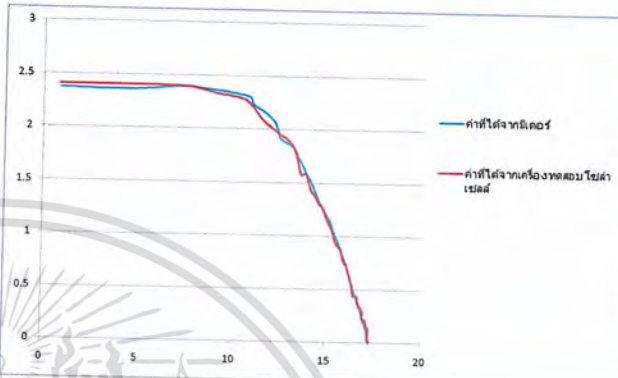
วัดจากมิเตอร์		
Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
17.31	0.014	0.24234
17.26	0.019	0.32794
17.26	0.022	0.37972
17.23	0.027	0.46521
17.22	0.033	0.56826
17.24	0.041	0.70684
17.24	0.05	0.862
17.23	0.061	1.05103
17.22	0.073	1.25706
17.21	0.088	1.51448
17.2	0.105	1.806
17.17	0.125	2.14625
17.12	0.148	2.53376
17.07	0.174	2.97018
17.01	0.204	3.47004
16.96	0.237	4.01952
16.9	0.273	4.6137
16.83	0.314	5.28462
16.74	0.357	5.97618
16.65	0.406	6.7599
16.53	0.457	7.55421
16.43	0.51	8.3793
16.32	0.57	9.3024
16.22	0.631	10.23482
16.1	0.699	11.2539
15.96	0.77	12.2892
15.81	0.841	13.29621
15.66	0.908	14.21928
15.49	0.986	15.27314
15.3	1.066	16.3098
15.15	1.146	17.3619
14.89	1.228	18.28492
14.64	1.312	19.20768
14.43	1.395	20.12985
14.23	1.485	21.13155
14	1.56	21.84
13.71	1.658	22.73118
13.44	1.743	23.42592
13.18	1.833	24.15894
12.5	1.918	23.975
12.35	2.002	24.7247
12.14	2.085	25.3119
11.61	2.165	25.13565
11	2.236	24.596
10.82	2.304	24.92928
9.2	2.362	21.7304
7.3	2.395	17.4835
5.39	2.37	12.7743
4.009	2.359	9.457231
0.886	2.375	2.10425

ตารางที่ 4.6(ข) ผลการทดลองจากเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์ครั้งที่ 1

วัดจากเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์		
Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
17.268	0	0
17.238	0.06	1.03428
17.214	0.06	1.03284
17.214	0.06	1.03284
17.214	0.06	1.03284
17.184	0.06	1.03104
17.214	0.06	1.03284
17.238	0.07	1.20666
17.238	0.14	2.41332
17.154	0.14	2.40156
17.154	0.14	2.40156
17.094	0.21	3.58974
17.034	0.21	3.57714
16.974	0.21	3.56454
16.92	0.25	4.23
16.95	0.28	4.746
16.86	0.33	5.5638
16.74	0.34	5.6916
16.656	0.44	7.32864
16.596	0.44	7.30224
16.446	0.44	7.23624
16.362	0.54	8.83548
16.302	0.57	9.29214
16.158	0.66	10.66428
16.038	0.73	11.70774
15.894	0.76	12.07944
15.714	0.88	13.82832
15.57	0.91	14.1687
15.42	0.95	14.649
15.216	1.07	16.28112
15.012	1.15	17.2638
14.778	1.27	18.76806
14.574	1.31	19.09194
14.364	1.38	19.82232
14.13	1.44	20.3472
13.866	1.58	21.90828
13.602	1.58	21.49116
13.368	1.73	23.12664
13.134	1.85	24.2979
12.84	1.91	24.5244
12.492	1.95	24.3594
11.994	2.02	24.22788
11.52	2.09	24.0768
10.788	2.25	24.273
10.17	2.3	23.391
9.144	2.33	21.30552
7.68	2.39	18.3552
5.394	2.4	12.9456
3.984	2.4	9.5616
0.816	2.4	1.9584

ตารางที่ 4.6(ค) เปรียบเทียบผลการทดลองจากมิเตอร์และจากเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์

ข้อมูลที่ได้จากมิเตอร์	ข้อมูลที่ได้จากเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์
$I_{sc}(A)$	2.375
$V_{oc}(V)$	17.31
$P_M(W)$	25.3119
$V_M(V)$	12.14
$I_M(A)$	2.085



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบระหว่างกราฟ P-V ของผลจากมิเตอร์กับกราฟ P-V ของผลจากเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การเปรียบเทียบขั้วจากมิเตอร์มาตรฐานเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์ครั้งที่ 2

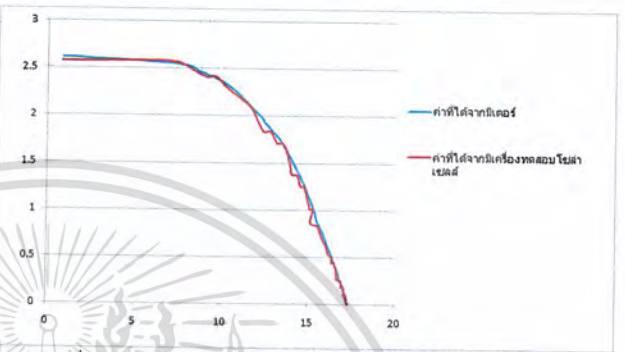
ตารางที่ 4.8 (ก) ผลการทดลองจากมิเตอร์ครั้งที่ 3 ตารางที่ 4.8 (ข) ผลการทดลองจากเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์ครั้งที่ 3

วัดจากมิเตอร์		
Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
17.33	0.014	0.24262
17.29	0.02	0.3458
17.29	0.021	0.36309
17.27	0.026	0.44902
17.26	0.032	0.55232
17.24	0.039	0.67236
17.23	0.048	0.82704
17.21	0.059	1.01539
17.19	0.072	1.23768
17.16	0.086	1.47576
17.14	0.103	1.76542
17.11	0.123	2.10453
17.08	0.145	2.4766
17.04	0.171	2.91384
16.99	0.201	3.41499
16.93	0.234	3.96162
16.81	0.27	4.5387
16.79	0.309	5.18811
16.69	0.353	5.89157
16.59	0.4	6.636
16.5	0.452	7.458
16.41	0.505	8.28705
16.27	0.563	9.16001
16.13	0.626	10.09738
15.99	0.691	11.04909
15.83	0.762	12.06246
15.65	0.833	13.03645
15.47	0.904	13.98488
15.37	0.981	15.07797
15.19	1.063	16.14697
15.02	1.145	17.1979
14.84	1.227	18.20868
14.64	1.314	19.23696
14.42	1.4	20.188
14.16	1.49	21.0984
13.9	1.578	21.9342
13.64	1.667	22.73788
13.33	1.754	23.38082
12.93	1.841	23.80413
12.52	1.925	24.101
12.24	2	24.48
11.7	2.09	24.453
11.29	2.171	24.51059
10.86	2.251	24.44586
10.33	2.327	24.03791
9.68	2.397	23.20296
8.73	2.468	21.54564
8.1	2.527	20.4687
6.89	2.559	17.63151
0.893	2.617	2.336981

วัดจากเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์		
Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
17.298	0	0
17.238	0.08	1.37904
17.238	0.1	1.7238
17.238	0.1	1.7238
17.184	0.1	1.7184
17.184	0.1	1.7184
17.154	0.1	1.7154
17.124	0.1	1.7124
17.094	0.1	1.7094
17.124	0.11	1.88364
17.094	0.18	3.07692
17.064	0.18	3.07152
17.004	0.18	3.06072
16.974	0.18	3.05532
16.92	0.25	4.23
16.86	0.25	4.215
16.83	0.26	4.3758
16.71	0.27	4.5117
16.656	0.37	6.16272
16.506	0.44	7.26264
16.422	0.44	7.22568
16.362	0.51	8.34462
16.182	0.54	8.73828
16.038	0.63	10.10394
15.894	0.67	10.64898
15.714	0.75	11.7855
15.54	0.83	12.8982
15.126	0.87	13.15962
15.276	1.01	15.42876
15.102	1.01	15.25302
14.952	1.12	16.74624
14.748	1.25	18.435
14.544	1.25	18.18
14.34	1.37	19.6458
14.046	1.38	19.38348
13.836	1.56	21.58416
13.548	1.7	23.0316
13.194	1.71	22.56174
12.81	1.83	23.4423
12.432	1.83	22.75056
12.078	1.94	23.43132
11.7	2.08	24.336
11.256	2.16	24.31296
10.878	2.21	24.04038
10.26	2.3	23.598
9.648	2.41	23.25168
9.09	2.41	21.9069
8.412	2.47	20.77764
7.152	2.57	18.38064
0.816	2.57	2.09712

ตารางที่ 4.8 (ค) เปรียบเทียบผลการทดลองจากมิเตอร์และจากเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์

ข้อมูลที่ได้จากมิเตอร์	ข้อมูลที่ได้จากเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์
$I_{sc}(A)$	0.893 2.57
$V_{oc}(V)$	17.26 17.238
$P_M(W)$	22.4175 22.0038
$V_M(V)$	12.25 11.83
$I_M(A)$	1.83 1.86



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกราฟ P-V ของผลจากมิเตอร์ กับกราฟ P-V ของผลจากเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 การเปรียบเทียบวัดจากมิเตอร์มาตรฐานเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบโซล่าเซลล์ครั้งที่ 3

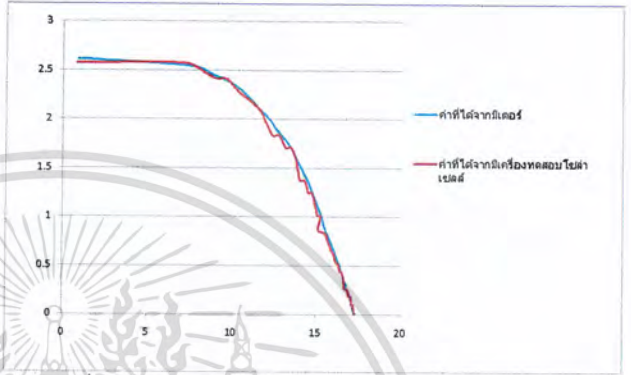
ตารางที่ 4.8 (ก) ผลการทดลองจากมิเตอร์ครั้งที่ 3 ตารางที่ 4.8 (ข) ผลการทดลองจากเครื่องทดสอบโซล่าเซลล์ครั้งที่ 3

วัดจากมิเตอร์		
Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
17.33	0.014	0.24262
17.29	0.02	0.3458
17.29	0.021	0.36309
17.27	0.026	0.44902
17.26	0.032	0.55232
17.24	0.039	0.67236
17.23	0.048	0.82704
17.21	0.059	1.01539
17.19	0.072	1.23768
17.16	0.086	1.47576
17.14	0.103	1.76542
17.11	0.123	2.10453
17.08	0.145	2.4766
17.04	0.171	2.91384
16.99	0.201	3.41499
16.93	0.234	3.96162
16.81	0.27	4.5387
16.79	0.309	5.18811
16.69	0.353	5.89157
16.59	0.4	6.636
16.5	0.452	7.458
16.41	0.505	8.28705
16.27	0.563	9.16001
16.13	0.626	10.09738
15.99	0.691	11.04909
15.83	0.762	12.06246
15.65	0.833	13.03645
15.47	0.904	13.98488
15.37	0.981	15.07797
15.19	1.063	16.14697
15.02	1.145	17.1979
14.84	1.227	18.20868
14.64	1.314	19.23696
14.42	1.4	20.188
14.16	1.49	21.0984
13.9	1.578	21.9342
13.64	1.667	22.73788
13.33	1.754	23.38082
12.93	1.841	23.80413
12.52	1.925	24.101
12.24	2	24.48
11.7	2.09	24.453
11.29	2.171	24.51059
10.86	2.251	24.44586
10.33	2.327	24.03791
9.68	2.397	23.20296
8.73	2.468	21.54564
8.1	2.527	20.4687
6.89	2.559	17.63151
0.893	2.617	2.336981

วัดจากเครื่องทดสอบโซล่าเซลล์		
Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
17.298	0	0
17.238	0.08	1.37904
17.238	0.1	1.7238
17.238	0.1	1.7238
17.184	0.1	1.7184
17.184	0.1	1.7184
17.154	0.1	1.7154
17.124	0.1	1.7124
17.094	0.1	1.7094
17.124	0.11	1.88364
17.094	0.18	3.07692
17.064	0.18	3.07152
17.004	0.18	3.06072
16.974	0.18	3.05532
16.92	0.25	4.23
16.86	0.25	4.215
16.83	0.26	4.3758
16.71	0.27	4.5117
16.656	0.37	6.16272
16.506	0.44	7.26264
16.422	0.44	7.22568
16.362	0.51	8.34462
16.182	0.54	8.73828
16.038	0.63	10.10394
15.894	0.67	10.64898
15.714	0.75	11.7855
15.54	0.83	12.8982
15.126	0.87	13.15962
15.276	1.01	15.42876
15.102	1.01	15.25302
14.952	1.12	16.74624
14.748	1.25	18.435
14.544	1.25	18.18
14.34	1.37	19.6458
14.046	1.38	19.38348
13.836	1.56	21.58416
13.548	1.7	23.0316
13.194	1.71	22.56174
12.81	1.83	23.4423
12.432	1.83	22.75056
12.078	1.94	23.43132
11.7	2.08	24.336
11.256	2.16	24.31296
10.878	2.21	24.04038
10.26	2.3	23.598
9.648	2.41	23.25168
9.09	2.41	21.9069
8.412	2.47	20.77764
7.152	2.57	18.38064
0.816	2.57	2.09712

ตารางที่ 4.8 (ก) เปรียบเทียบผลการทดลองจากมิเตอร์และจากเครื่องทดสอบโซล่าเซลล์

	ข้อมูลที่ได้จากมิเตอร์	ข้อมูลที่ได้จากเครื่องทดสอบโซล่าเซลล์
I _{sc} (A)	2.617	2.57
V _{oc} (V)	17.33	17.298
P _M (W)	24.51059	24.336
V _M (V)	11.29	11.7
I _M (A)	2.171	2.08

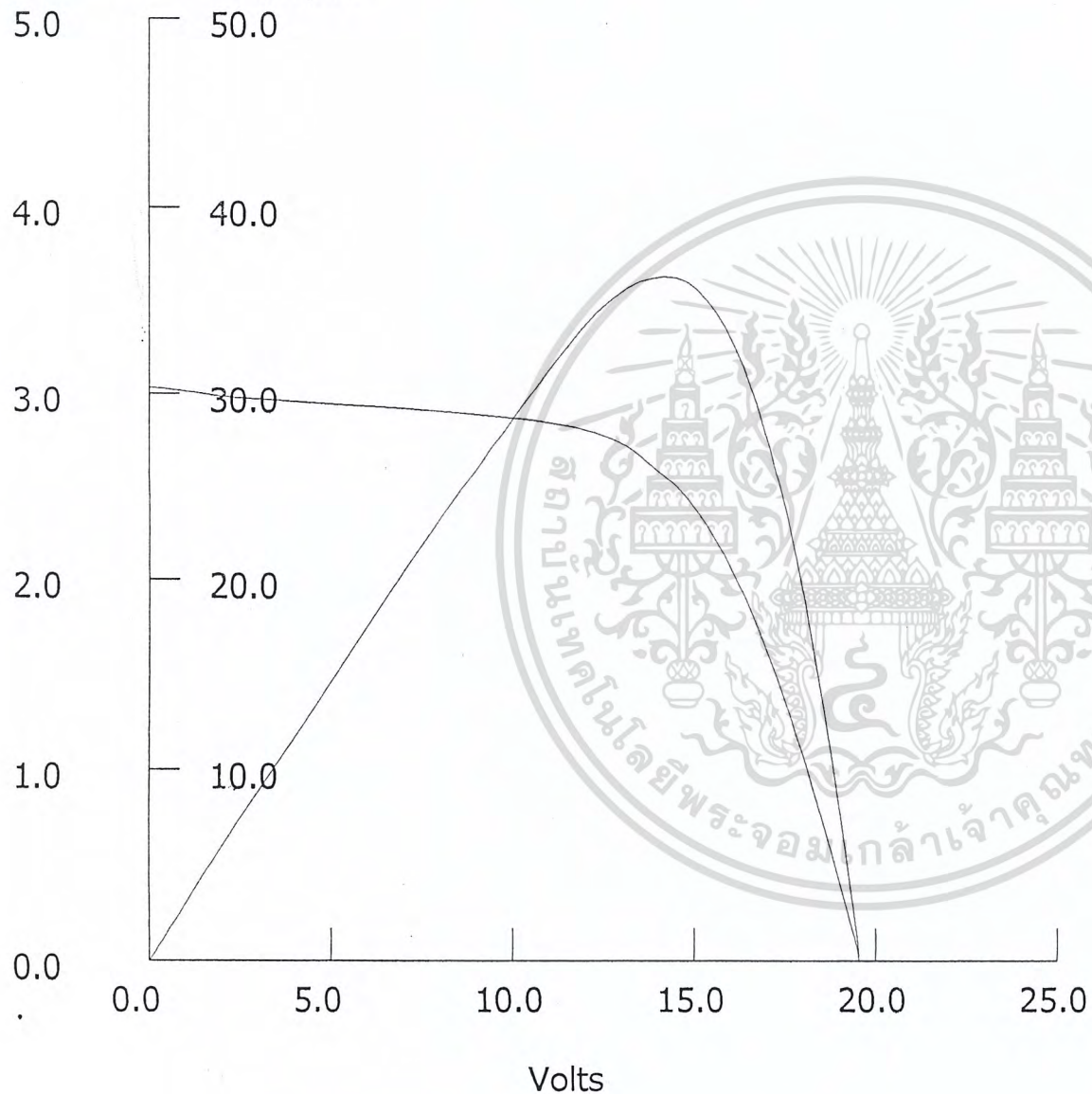


รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบระหว่างกราฟ V-I ของผลจากมิเตอร์ กับกราฟ V-I ของผลจากเครื่องทดสอบโซล่าเซลล์ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Amps, A

Power, W



Spire SPI-SUN SIMULATOR 350i

Title:

Operator: Kraingkr

ID:

Module Type: po-Si

13:53:26 02/02/2011

Tested at:

Irr = 100 mW/cm²

Temp = 25.1 degC

Corrected to:

Irr = 100 mW/cm²

Temp = 25.1 degC

Voc = 19.56 V

Isc = 3.035 A

Rs = 1.343 Ohm

Rsh = 49.800 Ohm

Pmax = 36.36 W

Vpm = 14.14 V

Ipm = 2.570 A

FF = 0.612

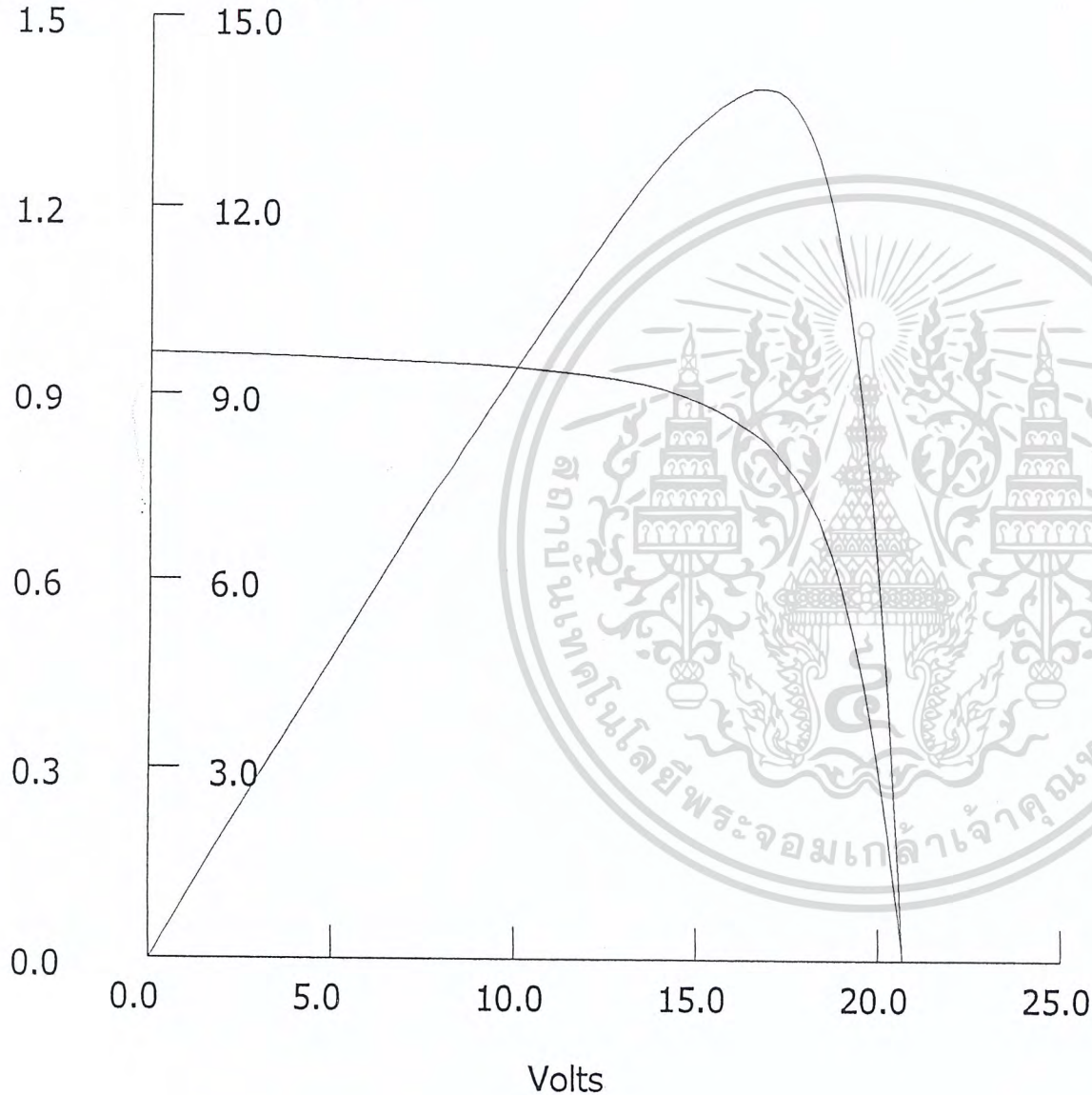
Eff,m = 9.63%

Eff,c = 11.02%

Comment:

Amps, A

Power, W



Spire SPI-SUN SIMULATOR 350i

Title:

Operator: Kraingkr

ID:

Module Type: po-Si

14:07:10 02/02/2011

Tested at:

Irr = 100 mW/cm²

Temp = 24.1 degC

Corrected to:

Irr = 100 mW/cm²

Temp = 24.1 degC

V_{oc} = 20.69 V

I_{sc} = 0.966 A

R_s = 2.247 Ohm

R_{sh} = 538.846 Ohm

P_{max} = 13.91 W

V_{pm} = 16.72 V

I_{pm} = 0.832 A

FF = 0.696

Eff_m = 8.26%

Eff_c = 9.70%

Comment: STC 3

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

คุณสมบัติของเครื่องทดสอบ โซล่าเซลล์ในโครงการนี้ คือ สามารถวัดแรงดันได้สูงสุดเท่ากับ 30 โวลต์ และสามารถวัดกระแสได้สูงสุด 3 แอมป์

การทำงานของเครื่องทดสอบ โซล่าเซลล์ สามารถปรับค่าความต้านทานที่เป็นโหลดให้กับแผงโซล่าเซลล์แล้ววัดค่าแรงดันและกระแสที่ค่าความต้านทานต่างๆแล้วทำการแปลงข้อมูลจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิตที่มีในไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อประมวลผลสัญญาณ ได้อัตโนมัติ และสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญทางไฟฟ้าและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดัน และกำลังของแผงโซล่าเซลล์ได้

ในการทดลองจะใช้เครื่องทดสอบ โซล่าเซลล์ วัดค่ากับแผงโซล่าเซลล์โดยตรง และเพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบ โซล่าเซลล์ จึงได้ทำการทดลองเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน

จากผลการทดลอง เครื่องทดสอบ โซล่าเซลล์สามารถวัดค่ากระแสและศักดาไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ได้ เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและศักดาไฟฟ้า ที่วัดจากมิเตอร์มาตรฐานเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบ โซล่าเซลล์ จะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกัน ดังนั้น เครื่องทดสอบ โซล่าเซลล์สามารถวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าคือค่ากระแสและแรงดันได้

ในการออกแบบวงจรที่ใช้ในการวัดค่าต่างๆ ต้องพึงระลึกไว้เสมอว่า การวัดแต่ละครั้งจะมีความผิดพลาดเสมอเนื่องจากสัญญาณรบกวน ดังนั้น ในการออกแบบวงจรต้องออกแบบให้มีความเหมาะสมและลดผลของสัญญาณรบกวนให้มากที่สุด เพื่อประสิทธิภาพในการวัด

จากการทำงานของเครื่องทดสอบโซล่าเซลล์ เราไม่สามารถบอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบโซล่าเซลล์ได้เนื่องจากไม่สามารถนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องวัดโซล่าเซลล์ที่มาตรฐานได้เกิดจากแหล่งจ่ายให้รังสีไม่เท่ากันและคุณสมบัติของแผ่นโซล่าเซลล์ที่มี มิไม่ครบถ้วน

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. สำหรับส่วนที่ควรมีการปรับปรุง คือ

- ส่วนที่ทำให้การวัดมีความผิดพลาด

Current sensor มีค่าความผิดพลาดมากเนื่องจาก Current sensor ที่ใช้ไม่เหมาะสมกับการวัดกระแสค่าต่ำๆ ดังนั้นต้องใช้ Current sensor ให้เหมาะสมกับขนาดกระแสที่ทำการวัด

- ส่วนที่ทำให้การวัดช้า

Active Load เมื่อมีการปรับค่าแรงดันที่ขาเกต แต่แต่ละครั้งต้องใช้เวลาระยะหนึ่งเพื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว ดังนั้น ในการวัดค่าแต่ละครั้งต้องมีการหน่วงเวลาออกไป

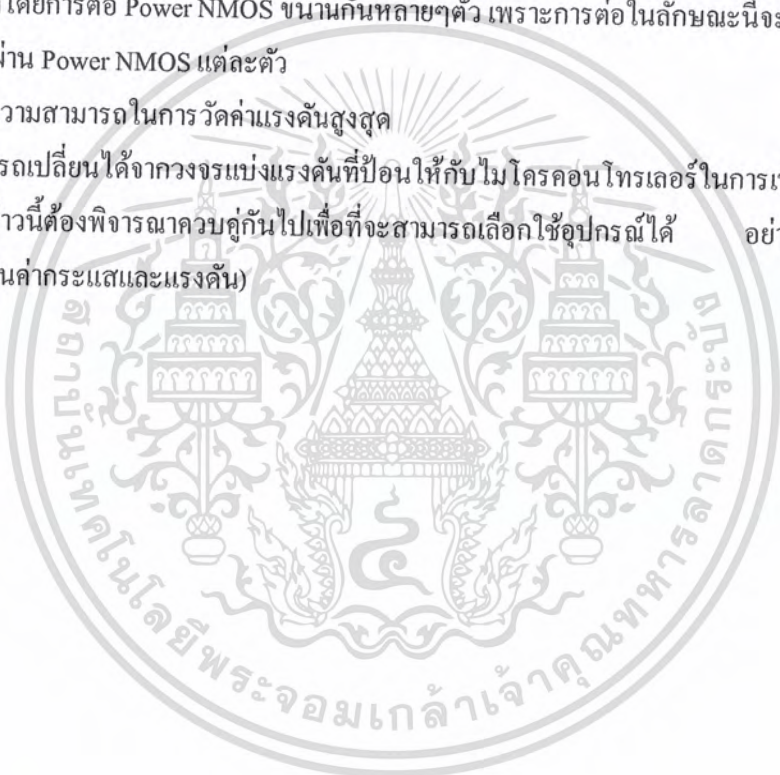
2. สำหรับเพิ่มความสามารถให้กับเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์

- เพิ่มความสามารถในการวัดค่ากระแสสูงสุด

ทำได้โดยการต่อ Power NMOS ขนานกันหลายๆตัว เพราะการต่อในลักษณะนี้จะช่วยลดกระแสที่ไหลผ่าน Power NMOS แต่ละตัว

- เพิ่มความสามารถในการวัดค่าแรงดันสูงสุด

สามารถเปลี่ยนได้จากวงจรแบ่งแรงดันที่ป้อนให้กับ ไมโครคอนโทรเลอร์ในการเพิ่มความสามารถดังกล่าวนี้ต้องพิจารณาควบคู่กันไปเพื่อที่จะสามารถเลือกใช้อุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสม(อัตรา
การทนค่ากระแสและแรงดัน)



มาตรฐาน IEC (The International Electrotechnical Commission)

ซึ่งเป็นมาตรฐานของแผงโซลาร์เซลล์ในการแปลงค่ากระแส (I) และแรงดัน (V) ให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล จากข้อมูลที่วัดได้จะต้องนำข้อมูลที่ได้ไม่สามารถที่จะไปเปรียบเทียบกับ Solar Simulator ได้เนื่องจากพารามิเตอร์ต่างๆไม่เท่ากัน เช่น ที่ความเข้มแสง 1000 w/m² อุณหภูมิ 25 องศา จากการวัดจริงเราไม่สามารถควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆนี้ได้จึงต้องนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน

ตามมาตรฐานแล้วมีสูตรที่ให้คำนวณค่าความเข้มแสงที่วัดได้ ณ ขณะนั้น (จะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 700 w/m²) ไปเป็นค่าความเข้มแสงมาตรฐานคือ 1000 w/m²

$$I_2 = I_1 + I_{SC} \cdot \left(\frac{G_2}{G_1} - 1 \right) + \alpha \cdot (T_2 - T_1)$$

$$V_2 = V_1 - R_S \cdot (I_2 - I_1) - \kappa \cdot I_2 \cdot (T_2 - T_1) + \beta \cdot (T_2 - T_1)$$

I_1, V_1 คือ ค่ากระแสและแรงดันที่ได้จากการวัด

I_2, V_2 คือ ค่ากระแสและแรงดันที่ได้จากการคำนวณ

G_1 คือ ค่าความเข้มแสงที่วัดได้

G_2 คือ ค่าความเข้มแสงมาตรฐาน (1000 W/M²)

T_1 คือ ค่าอุณหภูมิที่วัดได้

T_2 คือ ค่าอุณหภูมิมาตรฐาน (25 องศา)

I_{SC} คือค่ากระแสชอร์ตเซอร์กิตของแผง

α และ β คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสและแรงดัน

R_S คือ ค่าความต้านทานอนุกรม

K คือ ค่าคงที่ในการวัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] MARTIN A. GREEN, “Photovoltaic principles”, Physica E 14, 2002
- [2] IEC 60891 Edition 2.0 “INTERNATIONAL STANDARD NORME INTERNATIONALE”
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic_panel
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell
- [5] เอกสารการฝึกอบรมเทคนิคการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับประชาชนทั่วไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้