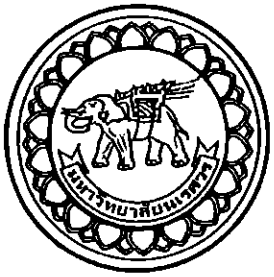


การออกแบบและพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.85 กิโลวัตต์

DESIGN AND DEVELOPMENT OF PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM WITH 2.85 KILOWATTS

นายณัฐนิติ วัลลิยะเมธี รหัส 51361582

นายพรชัย อินทะโก รหัส 51361636

นายสายชล ศรีแป้น รหัส 51361780

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 12 ม.ค. 2555
เลขทะเบียน 160 5825
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ฉ335 ๑ 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การออกแบบและพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.85 กิโลวัตต์

ผู้ดำเนินโครงงาน นายณัฐนิติ วัลลิยะเมธี รหัส 51361582
นายพรชัย อินทะโก รหัส 51361636
นายสายชล ศรีแป้น รหัส 51361780

ที่ปรึกษาโครงงาน ผศ.ดร. สุชาติ แย้มเม่น

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผศ.ดร. สุชาติ แย้มเม่น)

.....กรรมการ
(ดร. แคทรียา สุวรรณศรี)

.....กรรมการ
(ดร. สุพรรณนิกา วัฒนะ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบและพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.85 กิโลวัตต์	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายณัฐนิติ วัลลิยะเมธี	รหัส 51361582
	นายพรชัย อินทะโก	รหัส 51361636
	นายสายชล ศรีแป้น	รหัส 51361780
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร. สุชาติ แย้มเม่น	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2554	

.....

บทคัดย่อ

โครงงานฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.85 กิโลวัตต์เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวน 4 ระบบ คือ ระบบสูบน้ำใช้เข้าถังเก็บน้ำ ระบบสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ ระบบอัดประจุแบตเตอรี่ และระบบไฟส่องสว่าง ภายในโรงเรียนบ้านเนินทอง อำเภอชาติตระการ จังหวัดพิษณุโลก นอกจากนี้ยังได้ติดตั้งเครื่องวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าเพื่อเก็บข้อมูลมาทำการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ภายในส่วนต่างๆ ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น จากผลการทดลองในวันที่ 4 และ 5 เมษายน 2555 พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 9.78 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน ให้กับภาระไฟฟ้าทั้ง 4 ระบบได้อย่างมีประสิทธิผลตามที่ออกแบบไว้ และยังพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ตัวที่ 1 และ 2 มีค่าเฉลี่ย 77.63% และ 74.21% ตามลำดับ รวมทั้งประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ย 75.65%

Project title	Design and Development of Photovoltaic Power System with 2.85 Kilowatts		
Name	Mr. Nutniti	Walliyamethee	ID. 51361582
	Mr. Pornchai	Inthako	ID. 51361636
	Mr. Saichon	Sriphan	ID. 51361780
Project advisor	Assistant Professor Suchart Yammen, Ph.D.		
Major	Electrical Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic year	2011		

Abstract

This project presents the design and development of the 2.85 kW photovoltaic (PV) power generation system for supplying electrical energy to elements of the four systems: (1) the water pump system for usage, (2) the automatic water pump system for drinking, (3) the battery charging system and (4) the lighting system within the Ban Noen Thong school at Amphoe Chat Trakan, Phitsanulok. In addition, current and voltage instruments were installed to store data. The data were applied to analyze the efficiency of the various devices in the developed power generation system. From experimental results for 2 days on time interval between April 4, 2012 and April 5, 2012, it was found that the developed power generation system can effectively supply electrical energy to the four load systems. The average quantity of electrical energy collected from the PV system was 9.78 kWh/day as we designed. It was also found that the average efficiency of the first and second charge controller was 77.63% and 74.21%, respectively. Furthermore, the average efficiency of the inverter was 75.65%.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงงานและให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินงาน

ขอขอบคุณนายประทีป สังข์แป้น ที่ให้คำแนะนำอย่างเต็มที่ พร้อมให้ความรู้ทางด้านเทคนิคตลอดเวลา จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณโครงการ M-150 Ideology 2010 ด้วยความร่วมมือของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และเครื่องดื่ม M - 150 บริษัท โอสถสภา จำกัด ที่ได้จัดสรรแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 60 แผงพร้อมเงินทุน จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

ขอขอบคุณผู้อำนวยการ (นายนิสิต เนินเพิ่มพิสุทธิ์) และคณะครูโรงเรียนบ้านเนินทอง ที่อำนวยความสะดวกด้านการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นด้านสถานที่ อาหาร และที่พัก

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์และใช้ห้องปฏิบัติการ จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา เป็นที่ปรึกษาปัญหาในทุก ๆ เรื่อง รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จบจนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุก ๆ คนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงงานที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายณัฐนิติ วัลลิยะเมธี
นายสายชล ศรีแป้น
นายพรชัย อินทะโก

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ 1
1.4 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน 2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 2
1.6 แผนการดำเนินงาน 3
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน 4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 รังสีแสงอาทิตย์ 5
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ 8
2.3 วงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 12
2.4 ปัจจัยที่ลดทอนประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ 13
2.5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Module) 15
2.6 เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller) 17
2.7 แบตเตอรี่ (Battery) 21
2.8 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) 25
2.9 รูปแบบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.10 การประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านต่างๆ 33
2.11 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 34
2.12 การติดตั้งและบำรุงรักษาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 37
2.13 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 38

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 41
3.1 แผนการดำเนินงาน 41
3.2 การสำรวจความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโรงเรียนบ้านเนินทอง 41
3.3 การออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 45
3.4 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 54
3.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 57

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน 60
4.1 ผลการติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 60
4.2 ผลการติดตั้งห้องควบคุมและอุปกรณ์ในระบบ 65
4.3 ผลการติดตั้งภาระไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 71
4.4 ผลการติดตั้งเครื่องวัด กระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบ 76
4.5 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ 83

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 96
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 96
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข 99
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป 99

เอกสารอ้างอิง 101

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก ข้อมูลทางเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 102
ภาคผนวก ข รายละเอียดของเครื่องควบคุมการประจะแบตเตอรี่ 104
ภาคผนวก ค รายละเอียดของแบตเตอรี่ 106
ภาคผนวก ง รายละเอียดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า 109
ภาคผนวก จ รายละเอียดของหลอดไฟ 111
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดของเครื่องสูบน้ำ 114
ภาคผนวก ช รายละเอียดของเครื่องสูบน้ำอัตโนมัติ 116
ภาคผนวก ซ ข้อมูลค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าในระบบ วันที่ 4 เมษายน 2555 118
ภาคผนวก ฌ ข้อมูลค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าในระบบ วันที่ 5 เมษายน 2555 131

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 144

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 47
3.2 ตัวอย่างตารางบันทึกค่าทางไฟฟ้าของระบบ 59
4.1 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 00:00 น. ถึง 00:35 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555 89
4.2 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 00:40 น. ถึง 06:30 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555 90
4.3 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 06:35 น. ถึง 07:05 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555 91
4.4 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 07:10 น. ถึง 10:45 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555 92
4.5 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 10:50 น. ถึง 12:40 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555 92
4.6 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 12:45 น. ถึง 14:55 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555 93
4.7 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 15:00 น. ถึง 15:35 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555 94
4.8 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 15:40 น. ถึง 18:15 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555 95
4.9 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 18:20 น. ถึง 23:55 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555 95

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยจัดทำในปี พ.ศ. 2542 7
2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ 9
2.3 สภาวะที่ไม่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบ 9
2.4 สภาวะที่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบ 10
2.5 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 10
2.6 กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อกับโหลดที่แปรค่า 11
2.7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ 12
2.8 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V curve) 12
2.9 ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร 14
2.10 ผลของความต้านทานอนุกรมต่อลักษณะกระแสและแรงดัน 14
2.11 ผลของความต้านทานชันต์ต่อลักษณะกระแสและแรงดัน 15
2.12 ลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก 16
2.13 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin film Solar cells) 16
2.14 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ทรงกลม (Spherical Micro Solar Cells) 17
2.15 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบอนุกรม 18
2.16 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบชันท์ 19
2.17 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด 20
2.18 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด 22
2.19 วงจรการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า 28
2.20 รูปสัญญาณขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า 28
2.21 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือน แบบกระแสสลับ 30
2.22 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือน แบบกระแสตรง 30
2.23 แผนภาพระบบประจุแบตเตอรี่แบบรวมศูนย์ด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 31
2.24 แผนภาพระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อระบบสายส่ง 32
2.25 ผังแสดงตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน 33
2.26 กราฟแสดงการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณแสงอาทิตย์ ในหน่วยชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด 35
3.1 แผนการดำเนินงานของโครงงาน 41
3.2 การทำงานของระบบในช่วงเวลากลางวัน 45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.3 การทำงานของระบบในช่วงเวลากลางคืน 46
3.4 ข้อมูลทางเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จาก สวทช. 50
3.5 แผนผังระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.85 กิโลวัตต์ 54
3.6 ลักษณะของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 54
3.7 ลักษณะของห้องควบคุม (ห้องซ้าย) 55
3.8 ลักษณะของการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบ 55
3.9 ลักษณะแผนผังและตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดค่าทางไฟฟ้าของระบบ 55
4.1 การปรับพื้นที่สำหรับติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 60
4.2 หลุมสำหรับฝังตอม่อเสาปูน 61
4.3 เสาปูนสำหรับยึดโครงเหล็กรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 62
4.4 ฐานโครงเหล็กสำหรับติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 62
4.5 ตัวยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับโครงเหล็ก 63
4.6 ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 60 แผง 64
4.7 กล่องป้องกันจุดเชื่อมต่อสายไฟ 64
4.8 การวางผังและหลุมสำหรับฝังตอม่อเสาปูนของห้องควบคุม 65
4.9 การก่อสร้างห้องควบคุม 65
4.10 ห้องควบคุมและห้องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร 66
4.11 เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ขนาด 1,600 วัตต์ จำนวน 2 เครื่อง 67
4.12 แบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ 125 แอมแปร์-ชั่วโมง จำนวน 4 ลูก ต่ออนุกรมกัน 68
4.13 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ขนาด 2 กิโลโวลต์ – แอมแปร์ 69
4.14 ตู้ควบคุมการทำงานของระบบ 70
4.15 ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องสูบน้ำ 71
4.16 แนวฝังท่อสายไฟและท่อน้ำสำหรับเครื่องสูบน้ำ 72
4.17 เครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ 73
4.18 แนวฝังท่อสายไฟไปยังเครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ 73
4.19 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร 74
4.20 การอัดประจุแบตเตอรี่ 74
4.21 ตำแหน่งติดตั้งเสาโคมไฟและแนวฝังท่อสายไฟ 75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.22 โคมไฟถนนขณะใช้งานในเวลากลางคืน 75
4.23 ตำแหน่งวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ทางด้านขาเข้าเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ 76
4.24 ลักษณะการติดตั้งตัวต้านทานชันท์ที่เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ 77
4.25 ลักษณะการติดตั้งตัวต้านทานชันท์ที่ด้านขาออกของแบตเตอรี่ 77
4.26 ตำแหน่งวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า 78
4.27 ตำแหน่งวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาออกเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า 78
4.28 ตำแหน่งวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับขาออกเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า 79
4.29 หน้าจอแสดงผลการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าในระบบ 79
4.30 ตำแหน่งติดตั้งหน้าจอแสดงผลการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าในระบบ 80
4.31 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์กระแสตรงให้กับวงจรวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า 81
4.32 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในระบบวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 82
4.33 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ระบบรับจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 4 เมษายน 2555 83
4.34 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ระบบรับจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 5 เมษายน 2555 84
4.35 กราฟประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 1 วันที่ 4 เมษายน 2555 85
4.36 กราฟประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 1 วันที่ 5 เมษายน 2555 85
4.37 กราฟประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 2 วันที่ 4 เมษายน 2555 86
4.38 กราฟประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 2 วันที่ 5 เมษายน 2555 87
4.39 กราฟประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า วันที่ 4 เมษายน 2555 87
4.40 กราฟประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า วันที่ 5 เมษายน 2555 88

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันประเทศไทยยังมีพื้นที่ชุมชนที่ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไม่สามารถเข้าถึง เนื่องจากเหตุผลหลายประการเช่น พื้นที่ห่างไกล พื้นที่เขตป่าสงวน เขตพื้นที่หวงห้าม ซึ่งยังไม่มีไฟฟ้าใช้หรือมีแต่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้น คณะผู้จัดทำโครงงานจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญในการผลิตไฟฟ้าเพื่อให้พื้นที่เหล่านั้นได้มีไฟฟ้าใช้ เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าเป็นสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานโดยการใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ สามารถติดตั้งได้ง่าย ติดตั้งได้ทุกพื้นที่ที่มีแสงอาทิตย์ และง่ายต่อการขนส่ง

คณะผู้จัดทำจึงได้จัดทำโครงงานนี้ขึ้นมา โดยทำการออกแบบ ติดตั้ง และพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ณ โรงเรียนบ้านเนินทอง ตำบลบ้านดง อำเภอชาติตระการ จังหวัดพิษณุโลก เพื่อนำพลังงานที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ และยังสามารถเป็นกรณีศึกษาให้กับพื้นที่ชุมชนอื่น ๆ ที่ขาดแคลนไฟฟ้า ได้ใช้โครงงานนี้เป็นต้นแบบในการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้เกิดประโยชน์กับชุมชนอื่น ๆ ต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.85 กิโลวัตต์ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1) ชุมชนในพื้นที่ขาดแคลนไฟฟ้า มีไฟฟ้าใช้ ส่งผลให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น
2) ชุมชนได้รับความรู้เกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
3) ชุมชนในพื้นที่ขาดแคลนไฟฟ้า มีต้นแบบของสถานีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.85 กิโลวัตต์

1.4 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน

1) ใช้พื้นที่โรงเรียนบ้านเนินทอง ตำบลบ้านดง อำเภอชาติตระการ จังหวัดพิษณุโลก (ละติจูดที่ 17.19 องศา) เป็นสถานที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 2.85 กิโลวัตต์
2) ใช้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโรงเรียนบ้านเนินทอง ซึ่งมีค่า 7.321 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ในการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
3) ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell) นำมาออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า

1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

1) ศึกษาข้อมูลสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2) สำรวจและเก็บข้อมูลในพื้นที่
3) ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
4) ติดตั้งและทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
5) ประเมินศักยภาพและพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
6) สรุปผลการดำเนินงานและจัดทำรายงาน

1.6 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ปี 2553					ปี 2554												ปี 2555			
	เดือน					เดือน												เดือน			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ศึกษาข้อมูลและสำรวจพื้นที่	■																				
ออกแบบระบบ		■																			
ติดตั้งและเชื่อมต่อระบบ			■																		
ทดสอบระบบ				■																	
ใช้งานจริง					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
เก็บค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ																				■	■
วิเคราะห์ข้อมูล																					■
สรุปผลการดำเนินงาน																					■

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

1) ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง		1,000 บาท
2) ค่าจัดทำรูปเล่ม		500 บาท
3) ค่าอุปกรณ์ในการวัดประสิทธิภาพ		500 บาท
4) ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด		1,000 บาท
	รวม	3,000 บาท

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 รังสีแสงอาทิตย์

รังสีแสงอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ถูกนำมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวกลาง สามารถทราบค่าในรูปความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร และพลังงานแสงอาทิตย์ ในหน่วยกิโลวัตต์ - ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งขึ้นกับวันที่และเวลา รวมถึงตำแหน่งบนพื้นโลกรังสีแสงอาทิตย์ประกอบด้วยสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 0.3 ถึง 3 ไมโครเมตร เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดสามารถตอบสนองต่อสเปกตรัมได้แตกต่างกัน ดังนั้นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจึงต่างกันในการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ การใช้งานและการบำรุงรักษาระบบมีความจำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในพื้นที่นั้น และลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้งาน

2.1.1 รังสีรวมที่ตกกระทบบนพื้นโลก (Total หรือ Global Radiation)

รังสีอาทิตย์บนพื้นโลกได้ผ่านกระบวนการดูดกลืน และการแผ่รังสีอาทิตย์โดยก๊าซในบรรยากาศเป็นผลให้สเปคตรัมแสงอาทิตย์เปลี่ยนไป ซึ่งโมเลกุลของก๊าซฝุ่นละอองและเมฆทำให้รังสีอาทิตย์กระจัดกระจาย (Scatter) และสะท้อน (Reflect) รังสีรวม (Total หรือ Global Radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรง และรังสีกระจายซึ่งจำกัดเฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้น (มีค่าไม่เกิน 4 ไมโครเมตร) ไม่รวมพลังงานคลื่นยาวจากการแผ่รังสีของพื้นโลก และบรรยากาศโดยกรณีผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง (Incline Plane) รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้ารังสีกระจายจากท้องฟ้า และรังสีสะท้อนจากสิ่งแวดล้อมและพื้นโลก ในกรณีนี้เรียกว่า Total Radiation สามารถแยกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

1) รังสีตรง (Beam or Direct Radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง และตกบนผิวรับแสงด้วยทิศทางที่แน่นอน ณ เวลาหนึ่งเวลาใด ซึ่งทิศทางของรังสีตรงจะอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์ เนื่องจากรังสีตรงมีทิศทางแน่นอน และมีลำแสงขนานจึงสามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีตรงได้

2) รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีแสงอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนและกระจายโดยก๊าซและฝุ่นละอองรวมถึงวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับแสง รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางในท้องฟ้าจึงไม่สามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีกระจายได้

3) รังสีสะท้อนจากพื้นโลกและสิ่งแวดล้อมรอบข้าง (Albedo Radiation) เป็นรังสีที่สะท้อนจากพื้น และสิ่งแวดล้อมรอบข้างก่อนจะมากระทบกับผิวรับแสง

แต่กรณีผิวรับแสงเป็นพื้นแนวราบ (Horizontal Plane) รังสีรวมบนพื้นราบประกอบด้วยรังสีตรง และรังสีกระจายที่มาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้าไม่มีรังสีกระจายที่มาจากพื้นโลก เรียกรังสีรวมบนพื้นแนวราบว่า Global Radiation

การเปลี่ยนแปลงของรังสีรวม รังสีตรง และรังสีกระจาย ในวันที่ฟ้ากระจ่างและวันที่ฟ้าครึ้มจะแตกต่างกันตามฤดูกาล ดังนั้นปริมาณรังสีรวม รังสีกระจาย และรังสีตรงจะเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี สำหรับประเทศไทยฤดูแล้งมีค่ารังสีรวมและรังสีตรงสูงเพราะท้องฟ้าโปร่ง แต่ฤดูฝนจะมีรังสีส่วนมากเป็นรังสีกระจาย ส่งผลให้รังสีรวมมีค่าน้อย

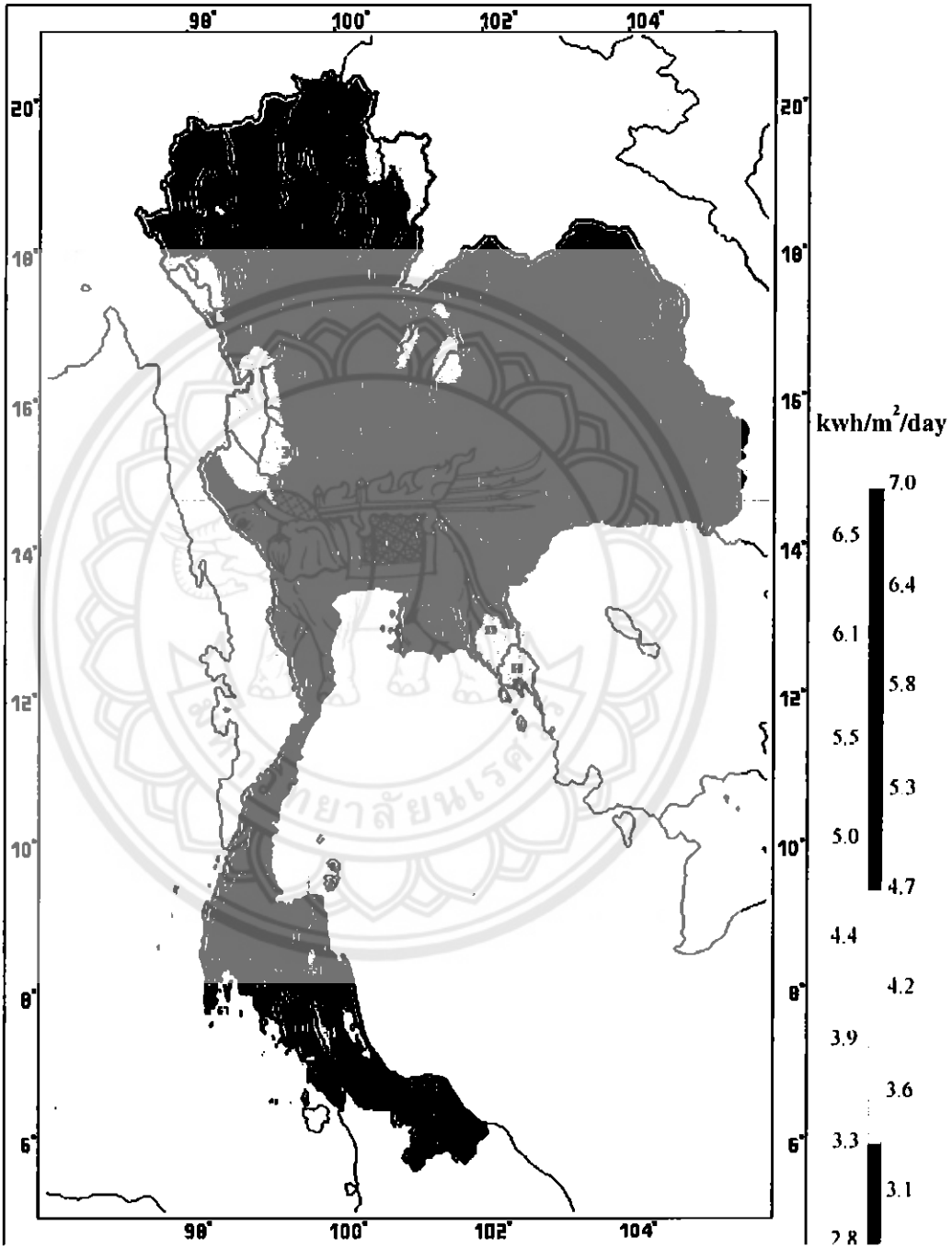
2.1.2 ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในพื้นที่นั้น จึงมีการศึกษาเพื่อทราบปริมาณรังสีแสงอาทิตย์บนพื้นโลกเพื่อใช้เป็นแนวทางการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งนำเสนอในรูปแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน) จัดทำขึ้นในปี พ.ศ. 2542 โดยร่วมกับมหาวิทยาลัยศิลปากร ดังรูปที่ 2.1 แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปี

ในแต่ละเดือนนั้น การกระจายของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ตามบริเวณต่าง ๆ ของประเทศได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.54 ถึง 6.65 กิโลวัตต์ - ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน

บริเวณที่รับรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อยุธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 5.26 ถึง 5.54 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่าร้อยละ 50.2 ของพื้นที่ทั้งหมด รับรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 4.99 ถึง 5.26 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 5.04 กิโลวัตต์ - ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

ปี พ.ศ. 2543 ได้มีการพัฒนาเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์มีทั้งหมด 37 สถานีทั่วประเทศเพื่อให้ประเทศไทยมีข้อมูลความเข้มรังสีที่ละเอียด และถูกต้องสามารถนำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการวิจัยพัฒนา และการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพ



ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

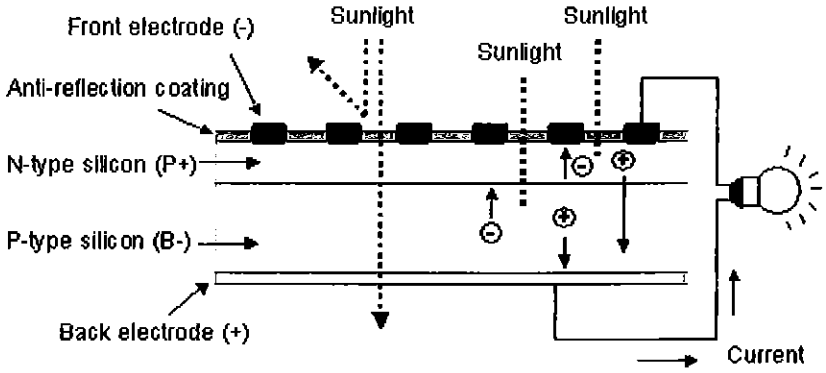
รูปที่ 2.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยจัดทำในปี พ.ศ. 2542
(หน่วย: กิโลวัตต์ - ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน)

2.2 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นประดิษฐกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบซึ่งเรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำ จนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอมและเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้าเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้า

2.2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วย รอยต่อพีเอ็น (P - N Junction) ของสารกึ่งตัวนำเช่น ซิลิคอน (Si) เมื่อมีการเติมสารเจือฟอสฟอรัส (P) จะมีสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N - Type) เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบและเมื่อซิลิคอนเติมด้วยสารเจือโบรอน (B) จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P - Type) เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮลซึ่งมีประจุบวก ดังนั้นเมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นมาต่อกัน ก็จะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน จึงทำจากผลึกซิลิคอนเป็นฐานหนาประมาณ 300 ไมครอน (หรือประมาณ 0.3 มิลลิเมตร) ด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึม (Diffused Layer) ที่มีการนำไฟฟ้าตรงข้ามกับฐานซึ่งหนาเพียง 0.5 ไมครอน การออกแบบให้รอยต่อพีเอ็นตื้นเป็นสิ่งจำเป็น เพราะต้องการให้แสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ทะลุถึงรอยต่อให้ได้มากที่สุด หากรอยต่อพีเอ็นอยู่ลึกเกินไป จะทำให้จำนวนพาหะไฟฟ้าที่เกิดจากการดูดกลืนแสงแพร่ซึมถึงรอยต่อพีเอ็นได้น้อยลงส่งผลให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้มีจำนวนน้อยลงไปด้วย ขั้วไฟฟ้าที่อยู่ด้านรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (Front Electrode) จะมีลักษณะเป็นก้างปลา หรือรูปแบบอื่น ๆ เพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ในขณะเดียวกันสามารถรวบรวมพาหะนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดด้วย ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ (Back Electrode) จะเป็นขั้วโลหะเต็มหน้า ผิวด้านรับแสงที่นอกเหนือจากขั้วไฟฟ้าแบบก้างปลาแล้ว ยังมีชั้นต้านการสะท้อนแสง (Anti Reflection Coating: AR) ปิดทับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงให้มากขึ้นโดยมิให้แสงสะท้อนกลับ เราจึงเห็นเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสีเงินเข้ม เพราะมีชั้นโลหะออกไซด์เป็นชั้นต้านการสะท้อนแสงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 2.2



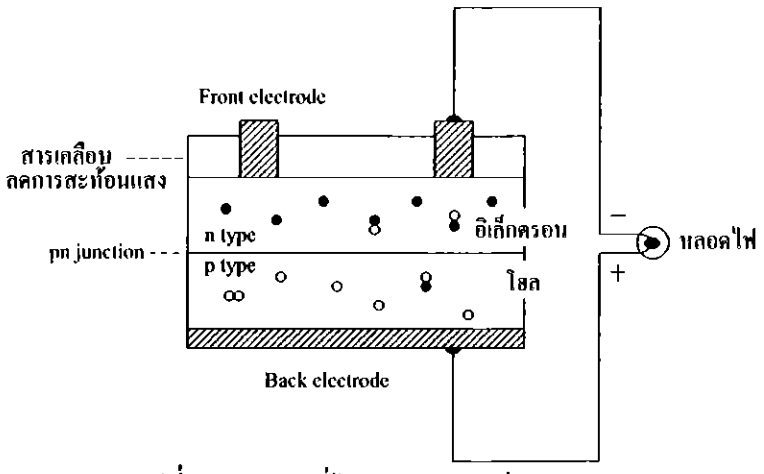
รูปที่ 2.2โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสง**เป็นพลังงานไฟฟ้า**ได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้

2.2.2.1 ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบ

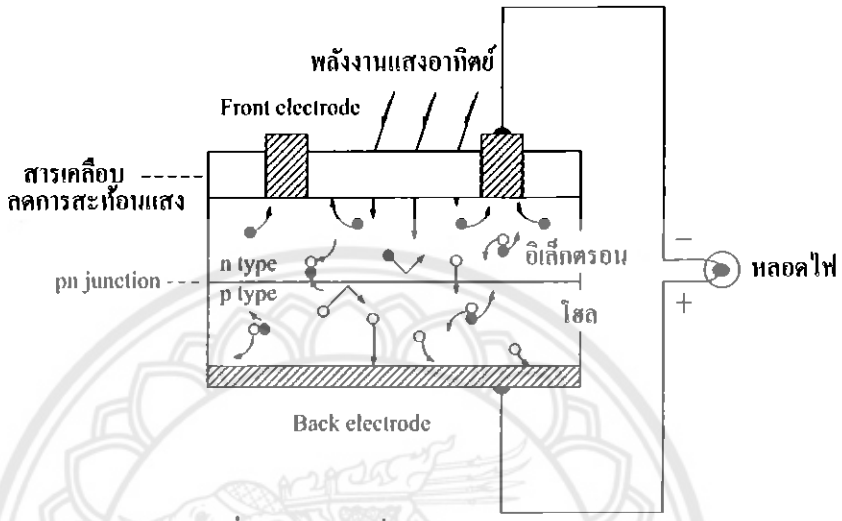
สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N - Type) ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์มีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นอิเล็กตรอน แต่ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P - Type) ซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์มีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของสารกึ่งตัวนำชนิดพี จะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮลดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สภาวะที่ไม่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบ

2.2.2.2 ในสภาวะที่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบ

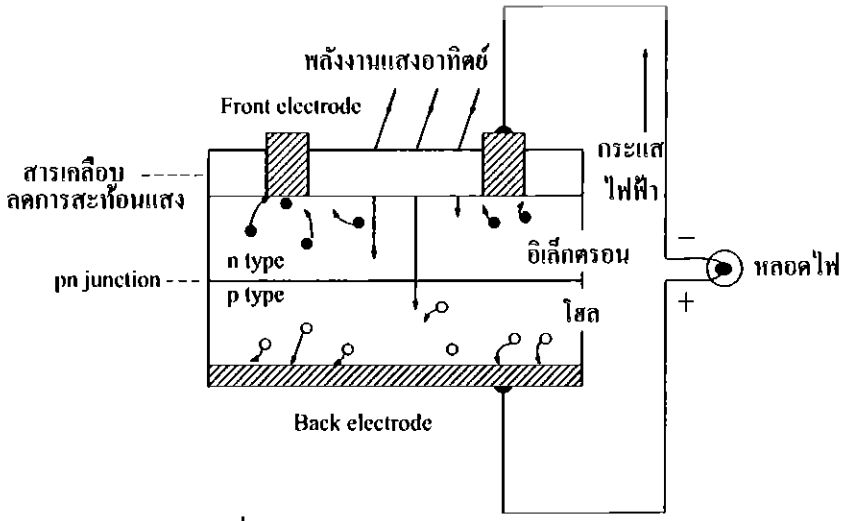
แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอน และโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และโฮลจะวิ่งไปยังชั้นสารกึ่งตัวนำชนิดพีดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สภาวะที่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบ

2.2.2.3 เมื่อต่อภาระทางไฟฟ้า

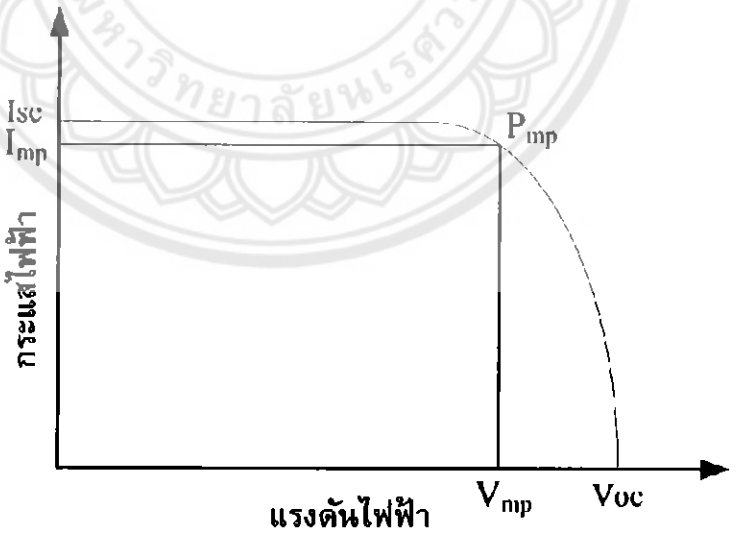
หลังจากที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานแสงแสงอาทิตย์ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลจะเคลื่อนที่ไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

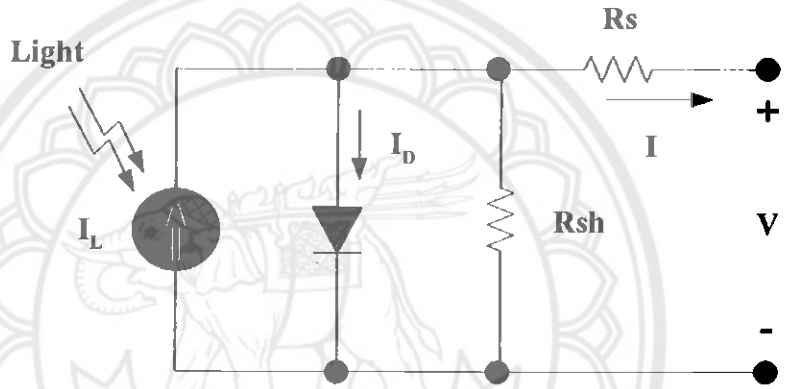
เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้ากระแสตรงจากการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยที่แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิของแผงเซลล์ โดยรูปที่ 2.6 แสดงกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อกับโหลดที่แปรค่าตั้งแต่สภาวะลัดวงจร (Short Circuit) ถึงสภาวะเปิดวงจร (Open Circuit) โดยตัดแกนตั้งที่แรงดันเป็นศูนย์ จะได้ค่ากระแสที่สภาวะวงจรลัด (Short Circuit Current: I_{SC}) ส่วนจุดตัดแกนนอนที่กระแสเท่ากับศูนย์จะได้ค่าแรงดันขณะวงจรเปิด (Open Circuit Voltage: V_{OC}) เมื่อนำค่ากระแสคูณกับแรงดันไฟฟ้าจะได้กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมีเพียงจุดเดียว เรียกว่า กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด (Power at Maximum Point: P_{MP}) ส่วนกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้เรียกว่า กระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Current at Maximum Power Point: I_{MP}) และแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Voltage at Maximum Power Point: V_{MP}) ตามลำดับ การระบุค่าสมรรถนะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้จากการทดสอบวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V Curve) โดยต่อภาระทางไฟฟ้าที่สามารถแปรค่าได้ตั้งแต่สภาวะวงจรเปิดไปจนถึงสภาวะวงจรลัดเข้ากับแผงเซลล์ แล้วให้แสงแก่แผงเซลล์โดยควบคุมสภาพแวดล้อมที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Test Condition: STC) คือ ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร สเปกตรัมของแสงที่ Air Mass (AM) 1.5 และอุณหภูมิด้านหลังแผงเซลล์เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.6 กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อกับโหลดที่แปรค่าตั้งแต่สภาวะลัดวงจร (Short Circuit) ถึงสภาวะเปิดวงจร (Open Circuit)

2.3 วงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โดยทั่วไปสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า เริ่มต้นที่วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงรูปที่ 2.7 เป็นการต่อขนานระหว่างแหล่งกำเนิดแสง ไดโอด (รอยต่อพี - เอ็น) และความต้านทานชันต์ และต่ออนุกรมกับความต้านทานอนุกรมตามลำดับ เขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.1 นั่นคือผลลัพธ์ของกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เกิดมาจากแหล่งพลังงานแสงหักลบด้วยกระแสที่ไหลผ่านไดโอด และผ่านความต้านทานชันต์ ขณะกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทำให้เกิดค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละจุดขึ้นสมการที่ 2.2 แสดงแรงดันไฟฟ้า ณ จุดใด ๆ เท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ขาออกบวกด้วยผลคูณระหว่างระแสไฟฟ้ากับความต้านทานอนุกรม



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

$$I = I_L - I_D - I_{SH} \tag{2.1}$$

$$V_L = V + IR_S \tag{2.2}$$

โดยที่ I คือ กระแสไฟฟ้าขาออกมีหน่วยเป็นแอมแปร์

I_L คือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งพลังงานแสงมีหน่วยเป็นแอมแปร์

I_D คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดมีหน่วยเป็นแอมแปร์

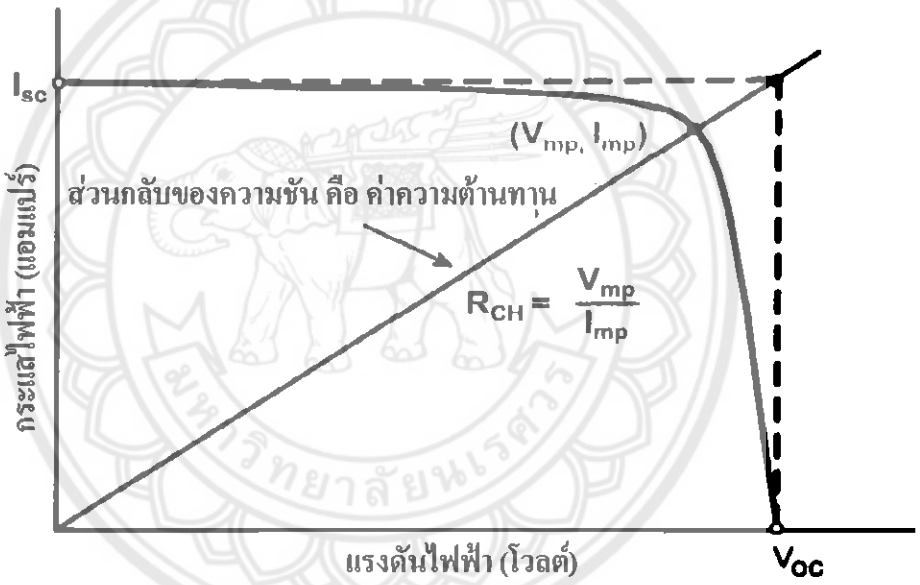
I_{SH} คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทาน Shunt มีหน่วยเป็นแอมแปร์

V_L คือ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากแล่งพลังงาน มีหน่วยเป็นโวลต์

V คือ แรงดันไฟฟ้าขาออกมีหน่วยเป็นโวลต์

R_S คือ ความต้านทานอนุกรมมีหน่วยเป็นโอห์ม

พารามิเตอร์ที่บ่งบอกประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยกระแสลัดวงจร (I_{sc}) แรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) และฟิลด์แฟกเตอร์ (FF) รูปที่ 2.8 แสดงกระแสลัดวงจรและแรงดันวงจรเปิด โดยที่กระแสลัดวงจรคือกระแสไฟฟ้าขณะที่แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และแรงดันวงจรเปิดคือแรงดันไฟฟ้าขณะที่กระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ส่วนฟิลด์แฟกเตอร์เป็นสัดส่วนระหว่างผลคูณแรงดันกับกระแสที่จุดทำงานสูงสุดและผลคูณของกระแสลัดวงจรกับแรงดันวงจรเปิด ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง นอกจากนี้มีพารามิเตอร์เกี่ยวกับความต้านทานในเซลล์แสงอาทิตย์เป็นประโยชน์ต่อการติดตามพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์และการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ โดยคิดจากสัดส่วนระหว่างค่าแรงดันที่จุดสูงสุดต่อกระแสที่สุดทำงานสูงสุด หรืออาจใช้สัดส่วนระหว่างค่าแรงดันวงจรเปิดต่อกระแสลัดวงจร

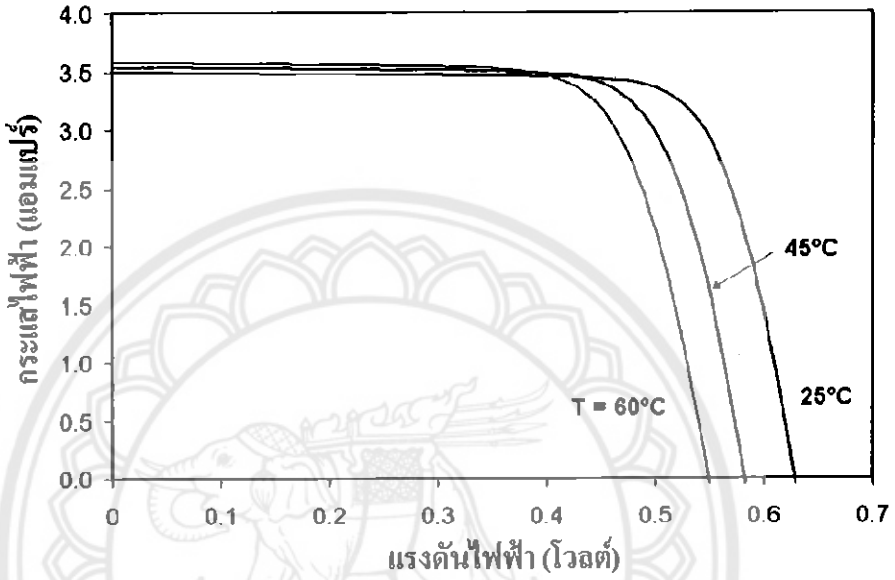


รูปที่ 2.8 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)

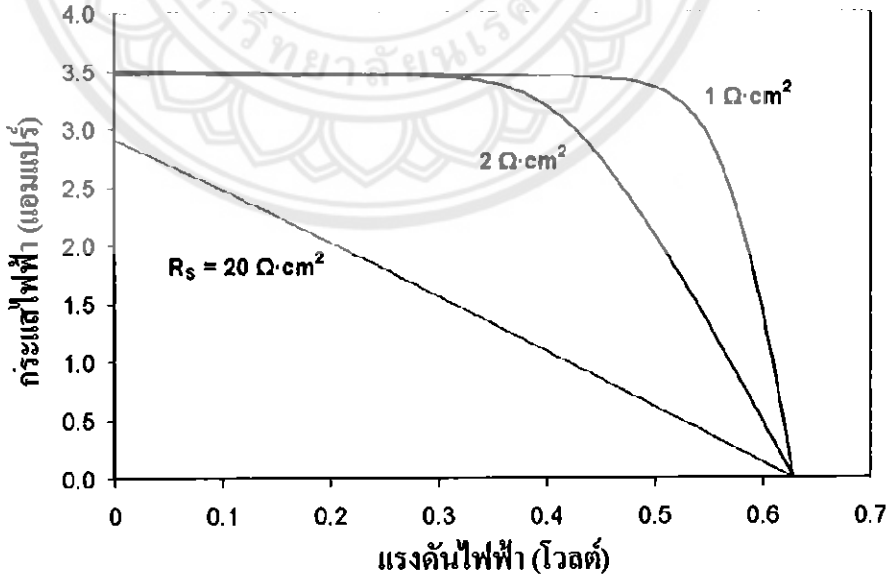
2.4 ปัจจัยที่ลดทอนประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นกับทั้งปัจจัยภายนอกและสมบัติของเซลล์ ได้แก่ อุณหภูมิความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ความต้านทานชันต์ และความต้านทานอนุกรม เป็นต้น โดยที่ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งหมายถึงสภาวะที่อุณหภูมิสูงระยะห่างของแถบพลังงานจะลดลง เป็นผลให้แรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยลงแต่ไม่ทำให้กระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงนัก ดังรูปที่ 2.9 ทั้งนี้กระแสลัดวงจรหรือกระแสสูงสุดจะลดลงเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าน้อย เช่น ในวันที่ท้องฟ้ามืดครึ้ม มีเมฆบัง การบังเงาเนื่องจากเงาต้นไม้ เป็นต้น

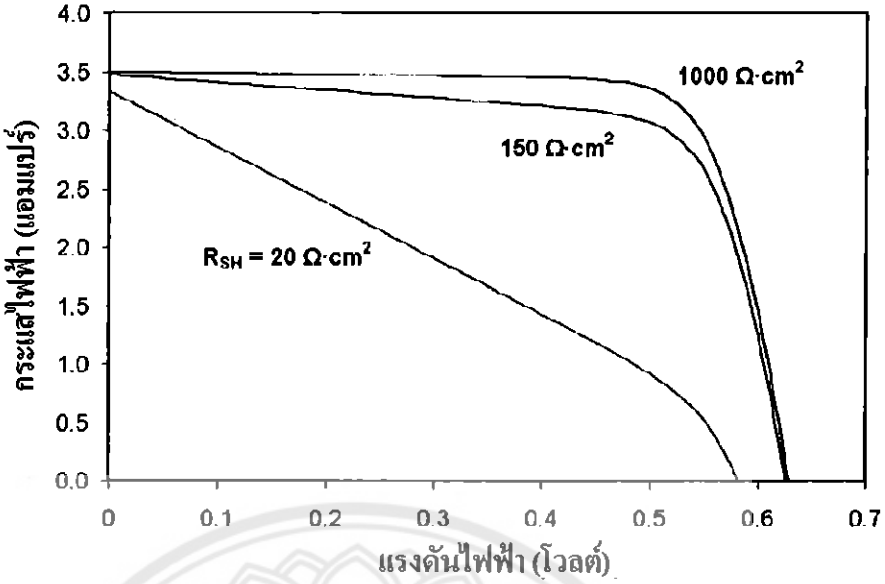
ความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันขาออกมีค่าลดลงแต่ไม่มีผลต่อค่าแรงดันวงจรเปิด หรือกล่าวได้ว่าความต้านทานอนุกรมทำให้ค่าฟิลด์แฟกเตอร์ลดลง หากค่านี้มีมาก ๆ จะทำให้กระแสลัดวงจรลดลง และ I - V Curve เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.10 และหากค่าความต้านทานชันต์ลดลงมากจะเป็นผลทำให้แรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจรมีค่าลดลงดังรูปที่ 2.11 และค่าฟิลด์แฟกเตอร์ลดลงเช่นเดียวกับกรณีของความต้านทานอนุกรม



รูปที่ 2.9 ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร



รูปที่ 2.10 ผลของความต้านทานอนุกรมต่อลักษณะกระแสและแรงดัน



รูปที่ 2.11 ผลของความต้านทานชันต์ต่อลักษณะกระแสและแรงดัน

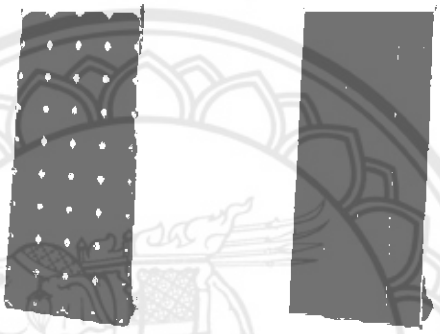
2.5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Module)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และมีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลาย ๆ เซลล์มาต่อกันเป็นแถวหรือเป็นชุด (PV Array) เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าใช้งานตามที่ต้องการ โดยการต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเป็นการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า และการต่อกันแบบขนานเพื่อเป็นการเพิ่มกระแสไฟฟ้า หากสถานที่ตั้งทางภูมิศาสตร์แตกต่างกัน จะมีผลให้ปริมาณของค่าเฉลี่ยพลังงานสูงสุดในหนึ่งวันไม่เท่ากัน รวมถึงอุณหภูมิซึ่งมีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า หากอุณหภูมิสูงขึ้นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะลดลง

2.5.1 ประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

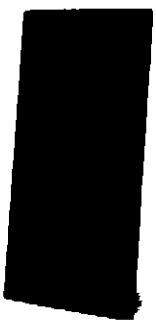
เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดต้นทุนด้านวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้ราคาเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น การแบ่งประเภทเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ตามการผลิตแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มดังต่อไปนี้

1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells) มีความแตกต่างกันตามชนิดของสารกึ่งตัวนำตั้งต้น (Semiconductor Material) เช่น ซิลิกอน (Si) และแกเลี่ยมอาร์เซไนด์ (GaAs) เป็นต้น เซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิกอนมีกรรมวิธีในการผลิตหลายวิธี จึงมีให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม ขึ้นกับราคาและวัตถุประสงค์การใช้งาน ได้แก่ แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Cells) แบบแผ่นฟิล์มบาง (Silicon Ribbon Cells) แบบหลายผลึก (Polycrystalline Silicon Cells) แบบแผ่นบางหลายผลึก (Polycrystalline Thin Film Silicon Cells) เป็นต้น เซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มนี้ได้การยอมรับในเชิงพาณิชย์และมีประสิทธิภาพ 10 - 15 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้นทุนของวัสดุค่อนข้างสูง ซึ่งตัวอย่างลักษณะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells)

2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin film Solar cells) ประกอบด้วยเซลล์ที่ผลิตจากอะมอฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon) เซลล์ที่ผลิตจากแคดเมี่ยมเทลลูไลด์ (CdTe) และเซลล์ที่ผลิตจากคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลเนียม (CIGS) มีการใช้งานในเชิงพาณิชย์และประสิทธิภาพ 6 - 10 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพจะน้อยกว่าเซลล์ชนิดผลึกแต่มีราคาต่ำกว่า ส่วนการติดตั้งใช้งานในสภาวะจริง อายุการใช้งานและการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์ในระยะยาวยังอยู่ระหว่างการศึกษาวิจัยซึ่งลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cells) แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cells)

3) เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาจากชนิดผลึกและชนิดฟิล์มบาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดการสร้างมลพิษและเพิ่มอายุการใช้งาน แบ่งตามการพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็น 3 แบบได้แก่ทรงกลม (Spherical Micro Solar Cells) ดายเซนซิไทซ์ (Dye-Sensitized Solar Cells) และควอนตัมดอต (Quantum Dot Solar Cells) ดังรูปที่ 2.14 เซลล์แสงอาทิตย์ทรงกลมจะสามารถรับแสงได้สามมิติ จึงเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแสงและมีน้ำหนักเบากว่าแบบแผ่นราบ เมื่อประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงลดต้นทุนลงได้มีใช้งานเชิงพาณิชย์แต่ยังไม่แพร่หลาย

รูปที่ 2.14 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ทรงกลม (Spherical Micro Solar Cells)

2.6 เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller)

ในการควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ฟังก์ชันพื้นฐานคือการรักษาแบตเตอรี่ให้มีสภาวะของความจุอยู่ในช่วงใช้งานตลอดเวลา ในขณะเดียวกันป้องกันไม่ให้เกิดการประจุเกินจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และป้องกันไม่ให้ภาระทางไฟฟ้าดึงกระแสออกไปใช้งานมากจนแบตเตอรี่เสียหาย แต่อย่างไรก็ตามในระบบเซลล์แสงอาทิตย์บางระบบอาจออกแบบโดยไม่มีระบบป้องกันการประจุได้ แต่ในกรณีระบบที่ไม่สามารถคำนวณการใช้ภาระทางไฟฟ้าล่วงหน้าได้ มีผู้ใช้งานเพิ่มเติมโดยควบคุมไม่ได้ หรือระบบที่ออกแบบแบตเตอรี่ให้พอดีหรือให้มีขนาดเล็กกว่าความต้องการ (ในกรณีงบประมาณมีจำกัด) จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ทั้งสิ้น วิธีการในการควบคุมการประจุแบตเตอรี่นั้นจะบ่งบอกถึงผลตอบแทนที่จะได้จากระบบแบตเตอรี่และระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และทำให้ระบบตอบแทนความต้องการทางภาระทางไฟฟ้าแก่ผู้ใช้งานได้เพียงพอ การเพิ่มเติมส่วนประกอบการทำงานอื่น ๆ เช่น ส่วนปรับแก้อุณหภูมิ สัญญาณเตือนต่าง ๆ มิเตอร์แสดงผลและการวัดแรงดันระยะไกล เพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์ประกอบภายนอกนั้น เป็นการเพิ่มความสามารถของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ให้รักษาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้นานเท่าที่แบตเตอรี่สามารถใช้งานได้

2.6.1 ฟังก์ชันที่สำคัญของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่

1) การป้องกันการประจุเกิน (Overcharge) เป็นการจำกัดหรือลดการประจุไฟให้กับแบตเตอรี่จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุเต็ม

2) การป้องกันการคายประจุเกิน (Overdischarge) เป็นการตัดแบตเตอรี่ออกจากภาระทางไฟฟ้า เมื่อความจุแบตเตอรี่ลดลงถึงสภาวะต่ำเกินไป

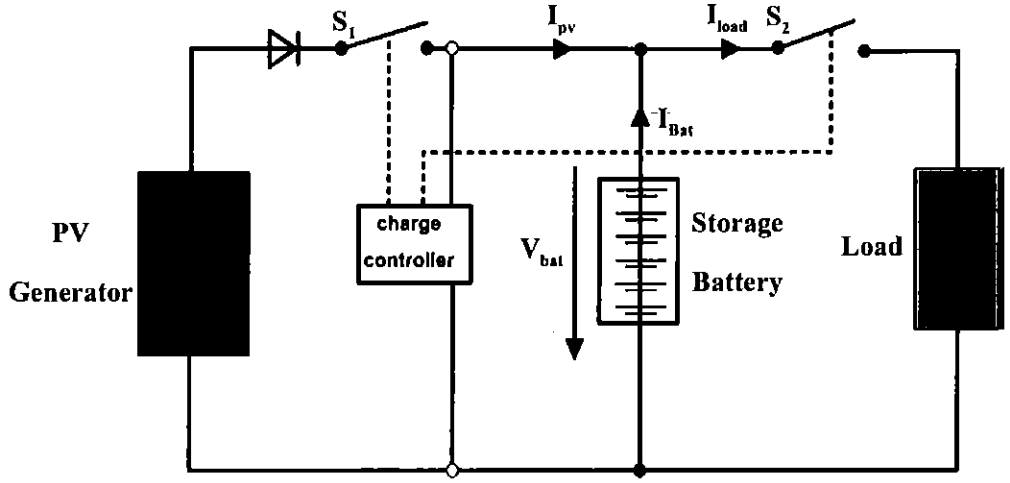
3) ควบคุมภาระทางไฟฟ้า (Load Control Function) เป็นการตัดหรือต่อภาระทางไฟฟ้าแบบอัตโนมัติตามช่วงเวลา เช่น การเปิดระบบแสงสว่างจากช่วงดวงอาทิตย์ตกถึงช่วงดวงอาทิตย์ขึ้น เป็นต้น

2.6.2 รูปแบบของเครื่องควบคุมการประจุ

เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าแบ่งได้ 4 แบบ คือ การประจุแบบอนุกรม (Series Controllers) การประจุแบบชันท์ (Shunt Controllers/Parallel Controllers) การประจุแบบป้องกันการคายประจุเกิน (Deep Discharge Protection) และการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด (MPP Charge Controllers) หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบต่าง ๆ มีดังนี้

2.6.2.1 เครื่องควบคุมการประจุแบบอนุกรม (Series Controllers)

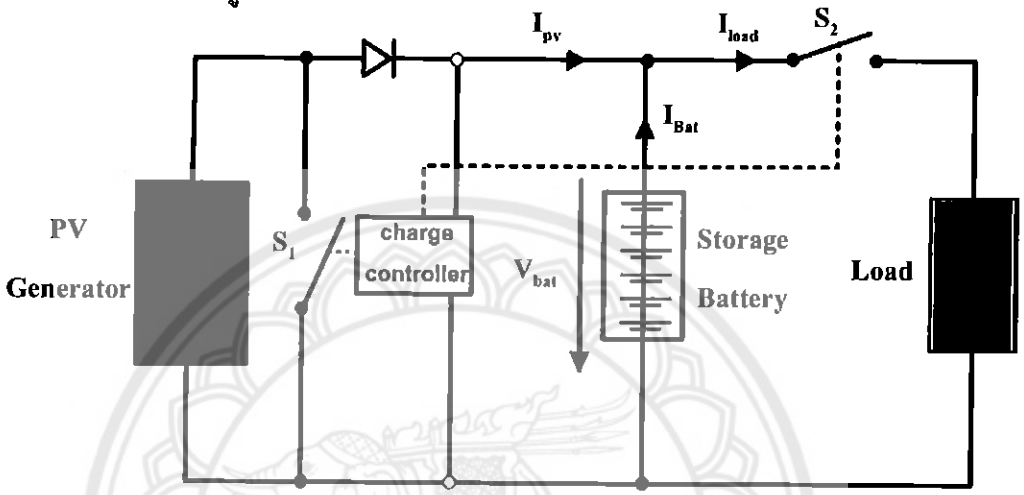
การต่อเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม โดยจะตัดการไหลของกระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อเกินแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่รับได้ และต่อวงจรเมื่อแรงดันไฟฟ้าลดลง อาศัยสวิทช์ควบคุมที่เป็นสวิทช์แม่เหล็ก เรียกว่า รีเลย์ (Relay) หรือตัวหนาสัญลักษณ์ S1 และหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.15 ข้อด้อยของเครื่องแบบคือ การสั่นของสวิทช์แม่เหล็กเนื่องจากการปิด - เปิดวงจรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า และก่อให้การสูญเสียขึ้นในระบบ ด้วยเหตุนี้จึงพัฒนาเครื่องควบคุมการประจุที่มีการควบคุมการทำงานต่อเนื่อง



รูปที่ 2.15 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบอนุกรม

2.6.2.2 เครื่องควบคุมการประจุแบบชันท์ (Shunt Controllers/Parallel Controllers)

การต่อเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน ตัวควบคุมจะทาหน้าที่ลดกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์อย่างต่อเนื่อง การต่อแบบนี้จะปลอดภัยกับแบตเตอรี่ แต่แผงเซลล์มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากกระแสลัดวงจรของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์ไม่ได้จ่ายออกมา หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบชันท์ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบชันท์

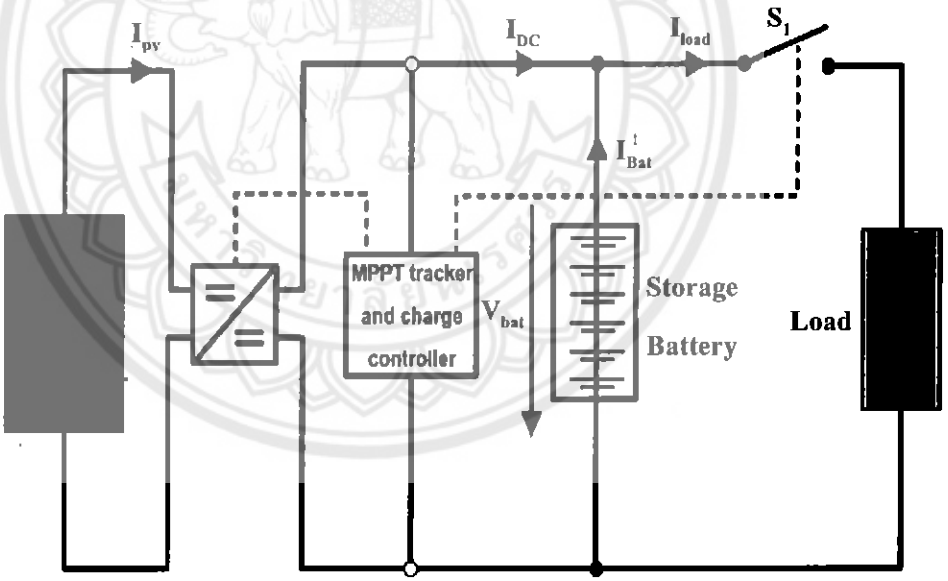
2.6.2.3 การประจุแบบป้องกันการคายประจุเกิน (Deep Discharge Protection)

เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยทั่วไป ป้องกันการคายประจุเกินด้วยรีเลย์เพื่อแยกโหลดออกจากแบตเตอรี่ ดังสัญลักษณ์ S2 ในรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16 และสัญลักษณ์ S1 ในรูปที่ 3.52 ตัวอย่างเช่น แรงดันของแบตเตอรี่ลดลงต่ำกว่าแรงดันจ่ายของแบตเตอรี่เนื่องจากโหลดต้องการจ่ายกระแสสูง (ตู้เย็น) เหตุการณ์เช่นนี้ตัวควบคุมจะแยกโหลดออก และนำแรงดันไฟฟ้ากลับมาโดยเร็วที่สุด ซึ่งโดยทั่วไป จะเพียงพอต่อการจ่ายให้โหลดขนาดเล็ก (หลอดไฟฟ้า) เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้ารุ่นใหม่จะมีตัววัดอุณหภูมิด้วย เพื่อวัดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม และปกติเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าจะต่อกับแบตเตอรี่โดยตรง ดังนั้นอุณหภูมิของทั้งสองจึงใกล้เคียงกัน ยกเว้นกรณีแบตเตอรี่รับภาระโหลดมากอาจจะเกิดความร้อนขึ้น ทำให้แบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงกว่าเครื่องควบคุมการประจุ ทั้งนี้แบตเตอรี่ที่ออกแบบไว้อย่างดีจะไม่ได้รับผลกระทบนี้

การควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการจำกัดกระแสไฟฟ้าทั้งด้านแผงเซลล์และแบตเตอรี่ ผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดความเสียหายได้ง่าย จึงจำเป็นต้องมีการป้องกันด้วยการติดตั้งฟิวส์ ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดจำกัดจากแผงเซลล์และจากโหลดอยู่ในช่วง 5 ถึง 30 แอมแปร์หากเป็นระบบขนาดใหญ่จะมีรุ่นเฉพาะหรือแบ่งระบบเป็นกลุ่มย่อย ๆ จึงทำให้ไม่เกิดภาวะทั้งระบบทำงานล้มเหลว

2.6.2.4 เครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกาลังสูงสุด (MPP Charge Controllers)

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าได้ ขึ้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิ ซึ่งการต่อเครื่องควบคุมการประจุและแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลัง 10 – 40 เปอร์เซ็นต์ทั้งนี้การหลีกเลี่ยงทำโดยการใช้ตัวติดตามจุดกำลังสูงสุด (Maximum Power Point, MPP) หรือเรียกว่า Maximum Power Point Tracker (MPPT) ซึ่ง MPPT ประกอบด้วย ตัวควบคุมการแปลงกระแสไฟตรงเป็นไฟตรง และจะทำงานทุก ๆ 5 นาที เพื่อวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นำมาคำนวณค่ากาลังไฟฟ้าสูงสุดจากนั้นจะมีวงจรที่ควบคุมเพื่อปรับให้เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ โดยทั่วไปเครื่องแปลงไฟฟ้าแบบนี้มีประสิทธิภาพ 90 - 96 % ส่วนระบบที่เหมาะสมกับการใช้ MPPT ควรมีขนาดตั้งแต่ 200 วัตต์ขึ้นไป หากระบบมีขนาดเล็กกว่านี้จะเกิดการสูญเสียในระหว่างการแปลงมากกว่าจะได้รับมาเนื่องจากวงจรมีความซับซ้อน ปัจจุบันพบว่าเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบนี้จะใช้ในระบบขนาดตั้งแต่ 500 วัตต์ขึ้นไป นอกจากนี้เครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุดมีราคาค่อนข้างสูงซึ่งหลักการทำงานของเครื่องการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุดแสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด

2.7 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สะสมพลังงานที่ทำหน้าที่สะสมพลังงานทดแทนต่าง ๆ ไว้ในรูปพลังงานไฟฟ้าเคมี แล้วนำกลับมาใช้ในช่วงเวลาที่ต้องการ เช่น ประจุไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในตอนกลางวันแล้วนำไปใช้กับระบบแสงสว่างในตอนกลางคืน แบตเตอรี่ที่ใช้งานจึงเป็นแบบที่สามารถประจุกลับได้ ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงส่วนใหญ่ไม่ได้นำมาใช้โดยตรงขณะที่ทำการผลิต เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานนั้นไม่ตรงกับความสามารถในการผลิต เพราะพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับ และการใช้งานขึ้นอยู่กับชนิดของภาระทางไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีการนำระบบแบตเตอรี่มาใช้ในระบบ

2.7.1 วัตถุประสงค์ของการใช้งานระบบแบตเตอรี่

วัตถุประสงค์ของการใช้งานระบบแบตเตอรี่ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สามารถสรุปได้ดังนี้

1) การเก็บพลังงานและจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Energy Storage Capacity and Autonomy) แบตเตอรี่จะทำหน้าที่เก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และจ่ายพลังงานให้ภาระทางไฟฟ้าตามที่ต้องการทุกเวลา

2) เสถียรภาพของแรงดัน และกระแสไฟฟ้า (Voltage and Current Stabilization) แบตเตอรี่ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ภาระทางไฟฟ้าด้วยกระแสและแรงดันคงที่ และแก้ปัญหาความผิดปกติซึ่งเกิดจากการผลิต ด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์

3) ความสามารถในการจ่ายกระแสสูง (Supply Surge Current) แบตเตอรี่ทำหน้าที่จ่ายกระแสสูง เมื่อมีความต้องการใช้ไฟฟ้าปริมาณมาก ทำให้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้หลายชนิดกับระบบ

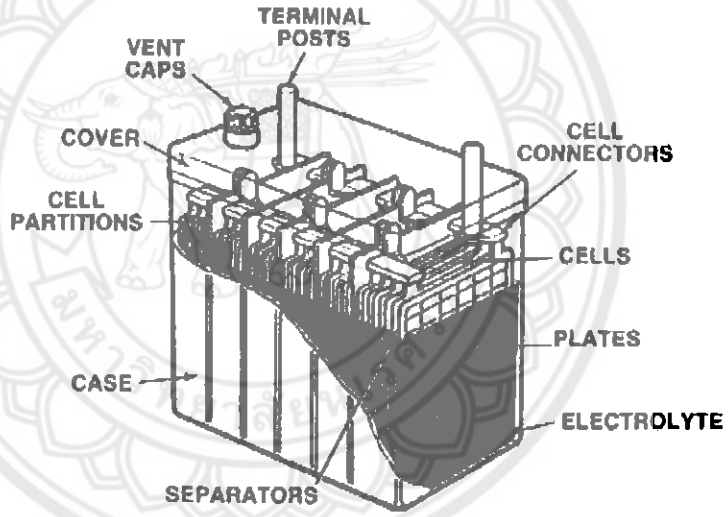
2.7.2 ชนิดของแบตเตอรี่และการจัดแบ่งประเภท

ในปัจจุบันมีแบตเตอรี่หลายชนิดและหลายลักษณะผลิตจำหน่าย บางชนิดมีการออกแบบพิเศษให้เหมาะสมกับเฉพาะงาน แบตเตอรี่ทุกชนิดที่ออกแบบมามีข้อเด่นและข้อด้อยแตกต่างกัน ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด เป็นชนิดที่มีการใช้งานมากที่สุดเนื่องจากมีหลายขนาดให้เลือกใช้ มีราคาต่ำ และคุณสมบัติเป็นที่รู้จักดีแล้ว ในบางสภาวะแวดล้อมเช่นในสภาพที่อุณหภูมิต่ำมีการใช้เซลล์แบบนิเกิล - แคดเมียม แต่เนื่องจากมีราคาสูงทำให้มีการใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในวงจำกัด ยังไม่มีแบตเตอรี่ที่สมบูรณ์ ดังนั้นผู้ออกแบบระบบจึงควรเลือกระบบแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานนั้น ๆ การแบ่งชนิดของแบตเตอรี่ โดยทั่วไป

แบตเตอรี่จะจัดแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (Primary Battery) และแบตเตอรี่ทุติยภูมิ (Secondary Battery)

1) แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (Primary Battery) สามารถเก็บพลังงานเคมีและจ่ายเป็นพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ แต่ไม่สามารถที่จะประจุกลับได้ เช่นแบตเตอรี่ชนิดเซลล์คาร์บอน-สังกะสี และเซลล์ลิเทียม ที่ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไป แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิจึงไม่นำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

2) แบตเตอรี่ทุติยภูมิ (Secondary Battery) สามารถเก็บพลังงานเคมี แล้วจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ และสามารถประจุกลับได้โดยการจ่ายกระแสในทิศทางตรงข้ามกับการคายประจุ แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนมากทำจาก ตะกั่ว - กรด ใช้ในรถยนต์ และใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าสำรองในระบบต่าง ๆ เช่น ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น โดยที่โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่2.18 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด

ส่วนประกอบโครงสร้างแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด มีดังนี้

ก. แผ่นกั้นแยกเซลล์ย่อย (Separators) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบแตะกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น ซึ่งแผ่นกั้นนี้ทำจากไฟเบอร์กลาสหรือยางแข็งเจาะรูพรุนเพื่อให้น้ำกรดสามารถไหลถ่ายเทไปมาได้ และมีขนาดความกว้างยาวเท่ากับแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ

ข. แผ่นธาตุตะกั่ว (Plates) มี 2 ชนิด คือ แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ แผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วเปอร์ออกไซด์ (PbO_2) และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว (Pb) วางเรียงสลับกันจนเต็มพอดีในแต่ละเซลล์ แล้วกั้นไม่ให้แตะกันด้วยแผ่นกั้น

ค. ช่องที่บรรจุแผ่นธาตุบวก แผ่นธาตุลบ (Cells) จะวางสลับกัน แล้วกั้นด้วยแผ่นกั้นแล้วจุ่มในน้ำกรดในช่องหนึ่งจะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 2 โวลต์จะมีเซลล์ 6 เซลล์ และในแต่ละเซลล์ก็จะมีส่วนบนเป็นที่ เติมน้ำกรดและมีฝาปิดป้องกันน้ำกรดกระเด็นออกมาและที่ฝาปิดก็จะมีรูระบายก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีให้ระบายออกไปได้

ง. ฝาปิดสำหรับให้แรงดันอากาศถ่ายเท (Vent Caps) รวมทั้งการตรวจเติมน้ำกลั่นหรือฝาปิดเซลล์ (Battery Cell Plug) ฝานี้จะมีรูระบายก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีภายในแบตเตอรี่ให้สามารถระบายออกไปได้ถ้าไม่มีฝาระบายนี้เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีก๊าซไฮโดรเจนจะไม่สามารถระบายออกไปได้ ทำให้เกิดแรงดันสูงทำให้แบตเตอรี่เกิดระเบิดขึ้นได้

จ. น้ำกรดหรือน้ำยาอิเล็กโตรไลต์ (Electrolyte) น้ำกรดในแบตเตอรี่รถยนต์เป็นน้ำกรดกำมะถันเจือจางคือจะมีกรดกำมะถัน (H2SO4) ประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรด 1.260 - 1.280 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส น้ำกรดในแบตเตอรี่เป็นตัวที่ทำให้แผ่นธาตุลบเกิดปฏิกิริยาทางเคมีจนเกิดกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นมาได้

ฉ. แผงกั้นแยกเซลล์ให้เป็นช่อง (Cell Partitions)

ช. สะพานเชื่อมต่อแต่ละเซลล์ในช่องย่อย (Cell Connectors)

ซ. ฝาปิด (Cover)

ฌ. ขั้วแบตเตอรี่ (Terminal Posts) มีขั้วบวก (ต่อสายไฟสีแดง) และขั้วลบ (ต่อสายไฟสีดำ)

ญ. เสื้อหุ้มแบตเตอรี่ (Case)

2.7.3 การทำปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในแบตเตอรี่

ปฏิกิริยาเคมีในแบตเตอรี่เป็นการรับและให้อิเล็กตรอน หรือเรียกว่า "ปฏิกิริยารีดอกซ์" ซึ่งการเสียอิเล็กตรอนเกิดขึ้นที่ขั้วบวก ทำให้มีสภาพขาดแคลนอิเล็กตรอน แต่การรับอิเล็กตรอนเกิดขึ้นที่ขั้วลบ ทำให้มีสภาพอุดมด้วยอิเล็กตรอน ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในอิเล็กโทรไลต์หรือน้ำกรดกำมะถัน (Sulfuric Acid) กับแผ่นธาตุบวก (เป็นตะกั่วไดออกไซด์) และแผ่นธาตุลบ (เป็นตะกั่วพรุน) และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ การคายประจุ และการอัดประจุ

1) การคายประจุหรือการจ่ายกระแสไฟฟ้า แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าได้ทันทีเมื่อขั้วบวกและขั้วลบต่อกับวงจรภายนอก (อุปกรณ์ไฟฟ้า) โดยที่ออกซิเจนจากแผ่นธาตุบวกจะรวมตัวกับไฮโดรเจนในกรดกำมะถันเกิดเป็นน้ำ ขณะเดียวกันจะเกิดสารประกอบเรียกว่า ตะกั่วซัลเฟตหรือขี้เกลือ (คราบหรือผลึกสีขาว) เช่นเดียวกับตะกั่วพรุนในแผ่นธาตุลบก็จะรวมตัวกับอนุมูลซัลเฟตจากกรดกำมะถันเกิดเป็นตะกั่วซัลเฟตเช่นกัน

2) การอัดประจุไฟฟ้า เครื่องควบคุมการประจุถูกนำมาต่อกับแบตเตอรี่โดยการต่อขั้วบวกของเครื่องควบคุมการประจุเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่และต่อขั้วลบของเครื่องควบคุมการประจุกับขั้วลบของแบตเตอรี่แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบทำให้สารประกอบตะกั่วซัลเฟตจากแผ่นธาตุทั้งสองออกมารวมตัวกับน้ำ กลายเป็นน้ำกรดอีกครั้ง

แบตเตอรี่ขณะจ่ายกระแสไฟฟ้า (คายประจุ) จะเกิดตะกั่วซัลเฟต (ขี้เกลือ) ขึ้นที่แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ การที่อนุภาคซัลเฟตจากกรดกำมะถันถูกใช้ไปและเกิดเป็นน้ำมาแทนทำให้ความหนาแน่นของน้ำกรดลดลง ในทางกลับกันขณะอัดประจุกระแสไฟฟ้าจะแยกตะกั่วซัลเฟตจากแผ่นธาตุโดยน้ำจะแยกตัวเป็นไฮโดรเจน และออกซิเจน อนุมูลซัลเฟตจะรวมตัวกับไฮโดรเจนกลายเป็นกรด ปฏิกิริยาจะเกิดเช่นนี้สลับไปมาจนกระทั่งแผ่นธาตุทั้งสองเสื่อมสภาพไม่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้

แบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานยาวนานกว่า 3 - 4 เท่าของแบตเตอรี่ทั่วไปการจ่ายไฟต่อเนื่องได้นานกว่า ด้วยอัตรากระแสเท่ากัน และการบำรุงรักษาง่ายกว่าโดยเติมน้ำกลั่นน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของแผ่นธาตุใหญ่และหนา ทำให้เนื้อของแผ่นธาตุหลุดร่วงได้ยากและมีความเหมาะสมสำหรับใช้งานในเขตเมืองร้อน

2.7.4 ชนิดของแบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นแบตเตอรี่ ชนิดตะกั่ว - กรด (Lead - Acid Battery) ด้วยเหตุผลนานาประการไม่ว่าจะเป็นราคาที่ถูกกว่าและหาซื้อได้ง่ายในทุก ๆ ที่ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรดมีส่วนประกอบสำคัญเป็นแผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวกและลบจุ่มอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก หรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโตรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุโมเลกุลของซัลเฟอร์จากสารละลายอิเล็กโตรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่ว และปล่อยอิเล็กตรอนออกมามากมาย เมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เอง และไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ให้แรงดัน 2 โวลต์ แบตเตอรี่ 12 โวลต์จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรม เซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ภายในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรดมีอยู่หลายแบบด้วยกัน แต่ที่เหมาะสำหรับใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดคือ แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep Discharge Battery) เพราะถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานปริมาณเล็กน้อยได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ โดยไม่เกิดความเสียหายสามารถใช้ไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่นี้ได้อย่างต่อเนื่องถึง 80% โดยแบตเตอรี่ไม่ได้รับความเสียหาย (แบตเตอรี่ทั่วไปที่ใช้ในการติดเครื่องยนต์ถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานสูงในช่วงเวลา

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

สั้น ๆ ถ้าใช้ไฟฟ้ามากกว่า 20 - 30% ของพลังงานที่เก็บอยู่ จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลงได้) ส่วนมากแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะที่ฝาครอบด้านบนเปิดออกได้ เพื่อให้สามารถตรวจสอบเซลล์และเติมน้ำในเวลาที่จำเป็นได้ เรียกว่า แบตเตอรี่แบบเซลล์เปิด (Open Cell หรือ Unsealed หรือ Flooded Cell Battery) มีบางชนิดที่ถูกปิดแน่นและไม่ต้องการการซ่อมบำรุง เรียกว่าแบตเตอรี่แบบไม่ต้องดูแลรักษา (Maintenance Free หรือ Sealed Battery)

2.7.5 ความสามารถในการจัดเก็บพลังงาน

ความจุของแบตเตอรี่ในการบรรจุพลังงานหน่วยเป็น แอมแปร์ - ชั่วโมง (Ampere - Hour: Ah) พลังงานในแบตเตอรี่ 12 V 100 Ah เท่ากับ 12 V x 100 Ah หรือ 12 V x 100 A x 3600 s จะได้เท่ากับ 4.32 MJ ถ้าแบตเตอรี่ 100 Ah เท่ากับว่าแบตเตอรี่จะจ่ายกระแส 1 แอมแปร์ อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 100 ชั่วโมง หรือแบตเตอรี่จ่ายกระแส 10 แอมแปร์ อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เช่นเดียวกับแบตเตอรี่จ่ายกระแส 5 แอมแปร์ อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งทั้งหมดนี้จ่ายกระแสเท่ากับ 100 Ah ทั้งสิ้น จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากันอาจมีความเร็วในการจ่ายกระแสต่างกันได้ ดังนั้น การจะทราบความจุของแบตเตอรี่ต้องทราบถึงอัตราการจ่ายกระแสด้วย มักกำหนดเป็นจำนวนชั่วโมงของการจ่ายกระแสเต็มที่ การกำหนดขนาดของแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ในการจัดเก็บพลังงาน อัตราการจ่ายประจุสูงสุด อัตราการประจุสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่จะนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน (อุณหภูมิที่ได้ผลดีที่สุดของแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด คือ 77 F หรือประมาณ 60 - 80 F)

1605825
ป ร.
ฉ1335 ฉ
2554

2.8 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่แน่นอน

2.8.1 ฟังชันก์การทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

โดยที่ฟังชันก์การทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 4 แบบดังนี้

2.8.1.1 ฟังก์ชันแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter)

ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงจากระบบพลังงานทดแทน หรือแบตเตอรี่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่แน่นอน วงจรภายในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เป็นสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง และวงจรควบคุมการทำงานของสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อให้ได้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าและความถี่ตามต้องการ ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าทางด้านออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับคุณภาพและราคาของเครื่อง

แปลงกระแสไฟฟ้า ซึ่งเครื่องที่มีสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกคล้ายคลื่นรูปไซน์ จะมีราคาสูง เนื่องจากมีขนาดของฮาร์มอนิกส์รวมต่ำ

2.8.1.2 ฟังก์ชันการจัดรูปแบบสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ (Wave Shaping)

ในทางอุดมคติแล้วรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ สำหรับภาระทางไฟฟ้าที่เป็นความต้านทาน สามารถใช้ได้กับทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ดังนั้นลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าจึงไม่มีผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดนี้ ในขณะที่ภาระทางไฟฟ้าแบบอินดัคทีพ เช่น มอเตอร์ พัดลม สัญญาณไฟฟ้าที่ส่งให้มอเตอร์จะต้องมีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์หรือใกล้เคียงมากที่สุด เนื่องจากประสิทธิภาพการหมุนของมอเตอร์ (พลังงานกล) จะเกิดจากความถี่พื้นฐาน 50 เฮิรตซ์ของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ส่วนความถี่ฮาร์โมนิกอื่นที่สูงกว่า ที่ถูกส่งมาร่วมกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์ จะไม่ทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์ แต่จะทำให้เกิดความร้อน ในขดลวดทองแดงและตัวของมอเตอร์เอง และที่มักเกิดบ่อย ๆ คือทำให้ฉนวนที่หุ้มขดลวดมีอายุการใช้งานสั้นลงทำให้มอเตอร์ไหม้เสียหายได้

2.8.1.3 ฟังก์ชันการควบคุมแรงดัน (Regulation)

ฟังก์ชันนี้ควบคุมโดย พัลส์วิดมอดูเลชัน (PWM) เนื่องจากแรงดันกระแสตรงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งมายังเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง ทำให้แรงดันไบแอสที่อุปกรณ์สวิทซ์แบบสารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยส่งผลให้กระแสที่ส่งไปยังภาระทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง หมายถึง แอมปลิจูดของพัลซ์ที่ทางด้านออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไม่คงที่ ดังนั้นจึงต้องทำการมอดดูเลทความกว้างด้านออกของพัลซ์ (ให้แคบลงหรือกว้างขึ้น) เพื่อรักษาค่าแรงดันทางด้านออกให้คงที่ Pure Square - Wave Inverter ไม่สามารถควบคุมแรงดันโดย PWM ได้ เนื่องจากไม่สามารถทำการมอดดูเลทความกว้างของสัญญาณได้ จึงมีการออกแบบเทคนิคการควบคุมแรงดันด้านออก เช่น การเลือกสวิทซ์ทางด้านขดทุติยภูมิของหม้อแปลงสวิทซ์ เป็นต้น

การใช้หม้อแปลงในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ไม่ได้ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้า การจัดรูปสัญญาณ หรือการควบคุมแรงดันไฟฟ้าดังที่กล่าวมาข้างต้น สามารถตัดออกจากการออกแบบเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าได้ แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีการนำหม้อแปลงมาใช้ในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

เพื่อสร้างการแยกทางไฟฟ้า (Galvanic Isolation) ระหว่างระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบสายส่งของการไฟฟ้า หรือระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการเลือกขนาดแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบแบตเตอรี่ หรือแรงดันของแบตเตอรี่ ทำให้มีระบบสายดิน (Grounding System) สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานระบบ

2.8.1.4 ฟังก์ชันทำงานที่จุดกำลังสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Maximum Power Point Tracker)

ปกติแล้วเมื่อนำภาระทางไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ เช่นชนิดความต้านทาน ชนิดที่เป็นคาปาซิเตอร์ หรือขดลวดมาต่อกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ลักษณะของจุดทำงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายพลังงานงานออกมาจะถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของภาระทางไฟฟ้าแบบต่าง ๆ เหล่านั้น ทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด การเพิ่มฟังก์ชันการทำงาน ที่จุดกำลังสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นการเพิ่มวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่กำหนดจุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำงานที่จุดกำลังสูงสุดตลอดเวลา ผู้ใช้งานจึงได้รับประโยชน์ทางด้านพลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด

2.8.2 การแยกประเภทของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

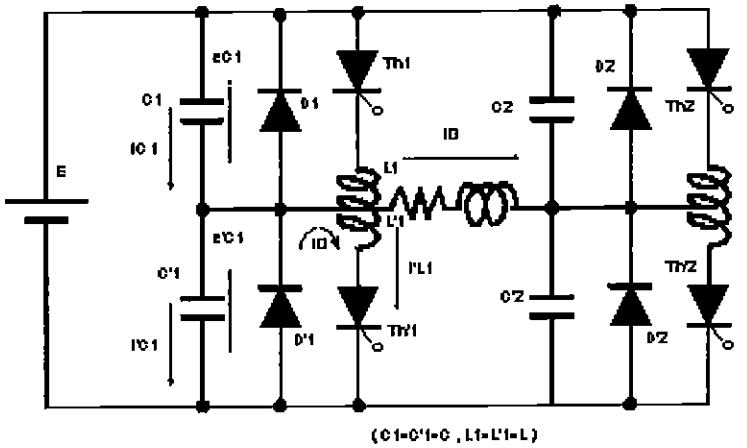
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแยกออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1) **เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระ (Stand Alone Inverter)** เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดนี้บางครั้งเรียก Self - Commutated Inverter หรือ Voltage - Fed Inverter สามารถนำไปใช้งานได้อิสระ แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งกำเนิด เช่น ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกระแสสลับได้ทันที

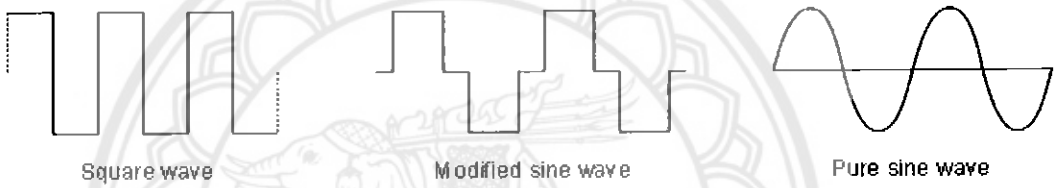
2) **เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสำหรับระบบเชื่อมต่อสายส่ง (Grid Connected Inverter)** เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดนี้บางครั้งเรียก Line - Commutated Inverter หรือ Current - Fed Inverter เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดนี้จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีแรงดันทางด้านออกก่อนเท่านั้น โดยอาจเป็นแรงดันจากระบบสายส่งของการไฟฟ้าหรือแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ต่อทางด้านออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เช่น เครื่องยนต์ดีเซล หรือกังหันลมผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

2.8.3 การทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะทำการแปลงพลังงานกระแสตรงที่ได้จากแบตเตอรี่หรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วเปลี่ยนรูปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการทำงานของวงจรสวิชชิ่งทรานซิสเตอร์ (Switching Transistor) ด้วยการเปิด - ปิดวงจรกระแสตรงของทรานซิสเตอร์อย่างรวดเร็วรวมกับหม้อแปลงไฟฟ้า จะทำให้สามารถแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแล้วจ่ายออกมาได้คุณภาพ และความซับซ้อนของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะให้สัญญาณขาออกในลักษณะต่าง ๆ กัน เช่น Square Wave, Modified Sine Wave และ Pure Sine Wave ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 วงจรการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.20 รูปสัญญาณขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

2.8.3.1 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดใช้งานอิสระ (Stand - Alone Inverter)

ถูกนำไปใช้ในการติดตั้งในบริเวณที่ไม่มีระบบไฟฟ้าหรือมีปัญหาไฟฟ้าและจะต้องมีแบตเตอรี่สำรองไฟฟ้า โดยแบ่งตามสัญญาณขาออกได้ดังนี้

ก. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Square Wave จะทำการกลับขั้วแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่ายคือ 100 ถึง 120 ครั้งต่อวินาที (1 รอบประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้าบนและล่าง) ทำให้เกิดความเพี้ยนของสัญญาณสูงมาก จึงไม่เหมาะที่จะใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป

ข. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Modified Sine Wave สัญญาณขาออกเป็น 4 ระดับแรงดัน (Voltage Level) ต่อรอบ การจ่ายสัญญาณขาออกเป็นลักษณะขั้นบันได แม้สัญญาณจะไม่ดีเท่ากับระบบสายส่ง แต่ราคาถูกกว่า ประสิทธิภาพสูงและนำไปใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ามาตรฐานส่วนใหญ่ เช่น โทรทัศน์ วิทยุ คอมพิวเตอร์และเตาไมโครเวฟ ฯลฯ รวมถึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก แต่อาจไม่เหมาะกับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์บางชนิดที่ต้องการความละเอียดและความแม่นยำ เช่น เครื่องมือ/อุปกรณ์ไร้สาย เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องพิมพ์เลเซอร์ ฯลฯ

ค. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Sine Wave ให้สัญญาณขาออกเป็นเส้นโค้งเรียบเสมอกัน จึงเรียกเป็น Pure Sine Wave สัญญาณไฟฟ้าที่ได้ใกล้เคียงกับระบบสายส่งมาก เนื่องจากให้กำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่คุณภาพดีที่สุด จึงทำงานได้ดีกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับต่าง ๆ เกือบทุกประเภท รวมถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีมอเตอร์ ปั๊มน้ำ AC เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์และใช้งานกับระบบจ่ายไฟฟ้าภายในบ้านที่ขนาดใหญ่ขึ้น ผลที่ได้จากเครื่องชนิดนี้สูงถึง 256 ระดับแรงดันต่อรอบ

2.8.3.2 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งการไฟฟ้า (Grid Connected inverter)

มีการนำมาใช้เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและติดตั้งในบริเวณที่มีระบบสายส่งเพื่อการต่อเชื่อม ด้วยหลักการพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกนำเข้าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยติดตามสัญญาณไฟฟ้าในระบบสายส่งตลอดเวลา ผลักดันกระแสไฟฟ้าให้ไหลกลับเข้าระบบสายส่ง ซึ่งช่วยลดค่าไฟฟ้าในระบบรวมได้ ดังนั้น เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดนี้จะต้องมีความซับซ้อนและการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า Pure Sine Wave อย่างมาก ทั้งนี้ระบบไม่ต้องการแบตเตอรี่เพื่อสำรองไฟฟ้า

2.9 รูปแบบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

รูปแบบของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถแบ่งลักษณะการใช้งานโดยรวมได้ 3 ระบบ ได้แก่

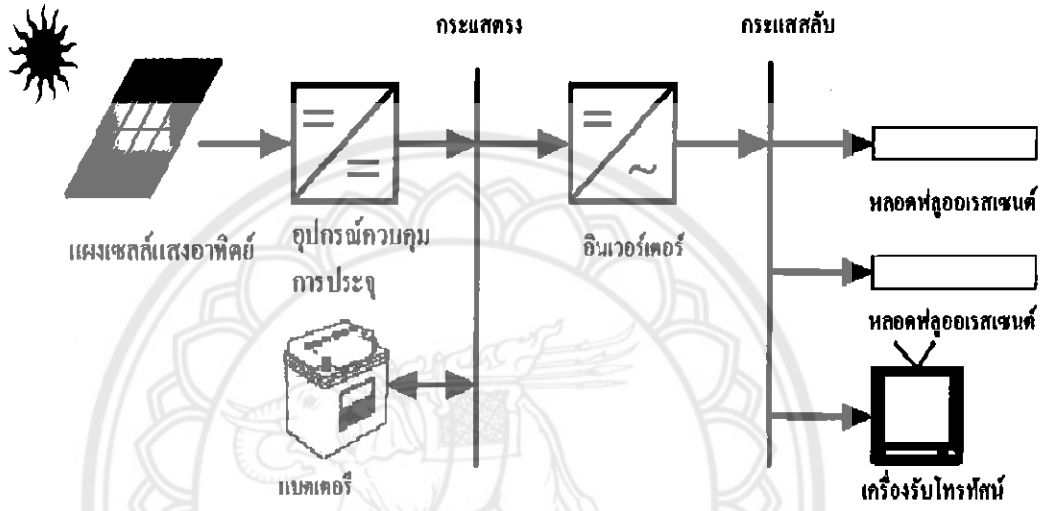
2.9.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบแยกอิสระ (Stand Alone PV System)

เป็นระบบที่ผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์แหล่งเดียว และใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีการปักเสาพาดสายบริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเข้าไปถึง โดยมีหลักการทำงานดังนี้

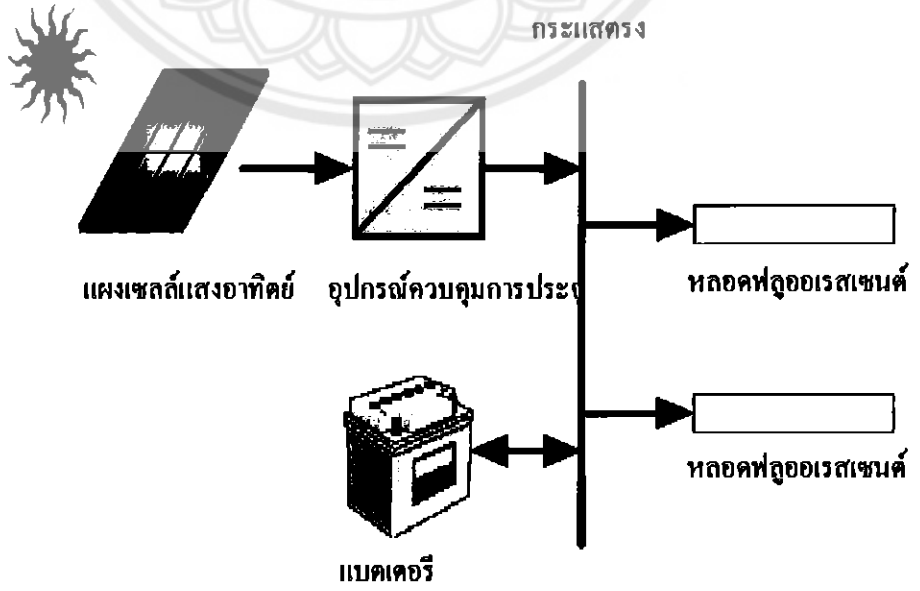
1) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบแยกอิสระ (Stand Alone PV System) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบแยกอิสระนี้ จัดเป็นระบบที่ใช้งานอยู่ในพื้นที่ห่างไกลนอกเขตระบบสายส่ง เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลัก ในประเทศไทยมีการนำมาใช้งาน 2 รูปแบบ คือ

ก. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือน (Solar Home System : SHS) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้ เป็นระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือน ประกอบด้วยแผงเซลล์ 1-2 แผง แบตเตอรี่ และอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ขีดความสามารถในการจ่ายไฟของระบบมีค่อนข้างจำกัด เนื่องจากมีต้นทุนสูงดังนั้น

ภาระไฟฟ้าจึงมีเพียงแสงสว่าง และวิทยุ โทรทัศน์ เท่านั้น คิดเป็นประมาณ 200 วัตต์ชั่วโมงต่อวันต่อครัวเรือน ดังนั้นรูปแบบของการจ่ายไฟแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ โดยระบบ SHS แบบที่ 1 สามารถจ่ายไฟให้ภาระไฟฟ้าแสงสว่างและวิทยุโทรทัศน์ โดยใช้ระบบไฟฟ้าภายในบ้านเป็นแบบกระแสสลับ (AC) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.21 ส่วนระบบ SHS แบบที่ 2 สามารถจ่ายไฟ ให้ภาระไฟฟ้าที่มีเพียงแสงสว่างเท่านั้น โดยใช้ระบบไฟฟ้าภายในบ้านเป็นแบบกระแสตรง (DC) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.22

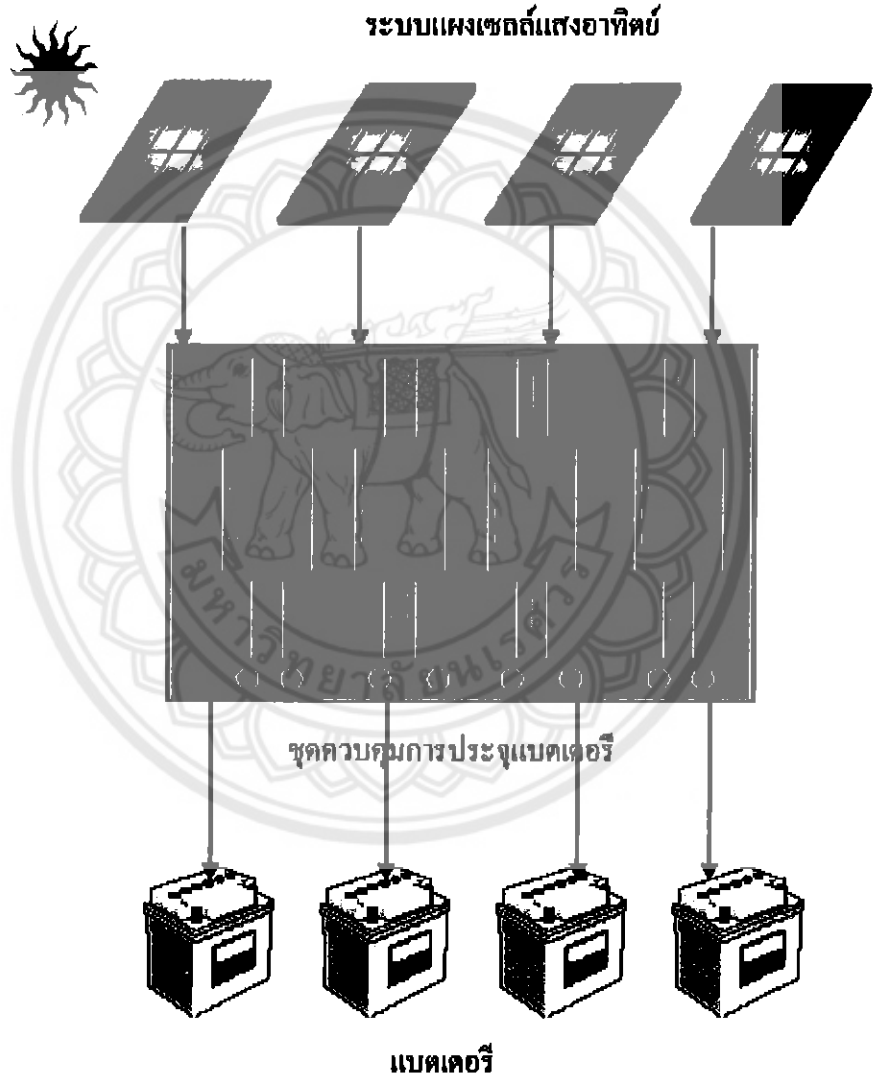


รูปที่ 2.21 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือน แบบกระแสสลับ



รูปที่ 2.22 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือน แบบกระแสตรง

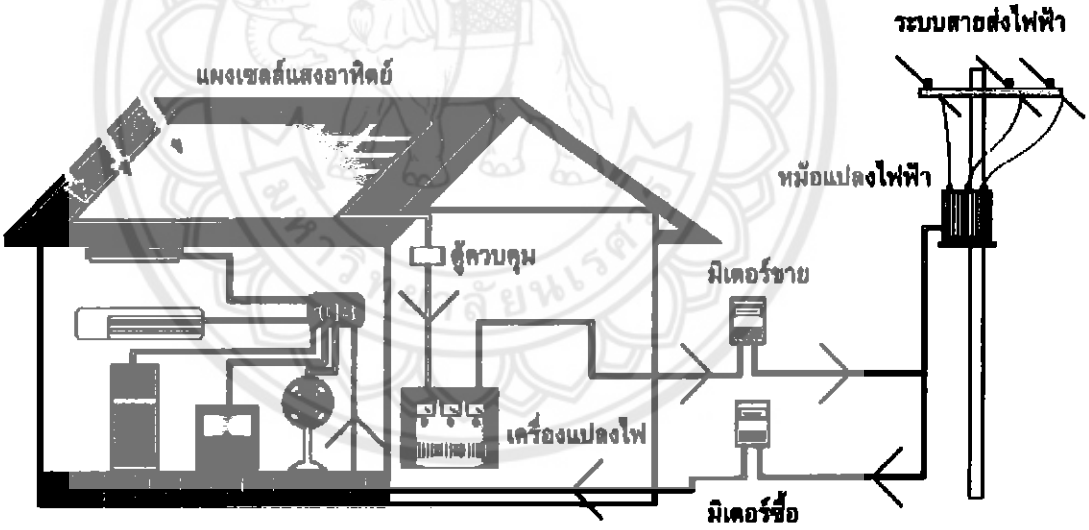
ข. ระบบประจุแบตเตอรี่แบบรวมศูนย์ (PV Battery Charging Station) เป็นแบบที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์รวมกันที่จุดศูนย์กลางของหมู่บ้านและมีช่องสำหรับประจุแบตเตอรี่หลาย ๆ ช่อง แสดงดงรูปที่ 2.23 ชาวบ้านจะนำแบตเตอรี่ของตนเองมาทำการประจุที่สถานีในช่วงเช้าและนำกลับไปใช้ที่บ้านของตนเองในตอนเย็นภาระทางไฟฟ้าที่ใช้มีทั้งหลอดไฟฟ้าแสงสว่างและเครื่องรับวิทยุหรือโทรทัศน์ทั้งแบบกระแสตรงและกระแสสลับสำหรับครัวเรือนที่ใช้กระแสสลับจะมีอุปกรณ์เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับแปลงไฟ



รูปที่ 2.23 แผนภาพระบบประจุแบตเตอรี่แบบรวมศูนย์ด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์

2.9.2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งไฟฟ้า (Grid Connected PV System)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งใช้งานในพื้นที่ที่มีระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระบบจะผลิตพลังงานไฟฟ้าเมื่อมีแสงแดด พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านได้โดยตรง ถ้าพลังงานเหลือสามารถส่งเข้าระบบสายส่งของการไฟฟ้าทำให้มิเตอร์หมุนกลับ เวลากลางคืนเมื่อต้องการใช้ไฟฟ้าพลังงานไฟฟ้าก็จะถูกดึงมาจากระบบสายส่งของการไฟฟ้า ทำให้ไม่ต้องออกแบบระบบให้มีอุปกรณ์สะสมพลังงานเช่นแบตเตอรี่ในระบบเลย อย่างไรก็ตาม การเชื่อมต่อระบบกับระบบของการไฟฟ้าต้องมีมาตรฐานในการเชื่อมต่อ เพื่อป้องกันอันตรายของระบบสายส่งในกรณีที่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าดับแต่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ยังทำงาน อุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจะต้องได้รับการออกแบบเป็นพิเศษเรียกว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเชื่อมต่อระบบสายส่ง (Grid Connected Inverter) และต้องได้รับการอนุญาตจากการไฟฟ้าก่อน ถึงจะสามารถเชื่อมต่อระบบได้ซึ่งในรูปที่ 2.24 นั้นเป็นการแสดงแผนภาพระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อระบบสายส่ง

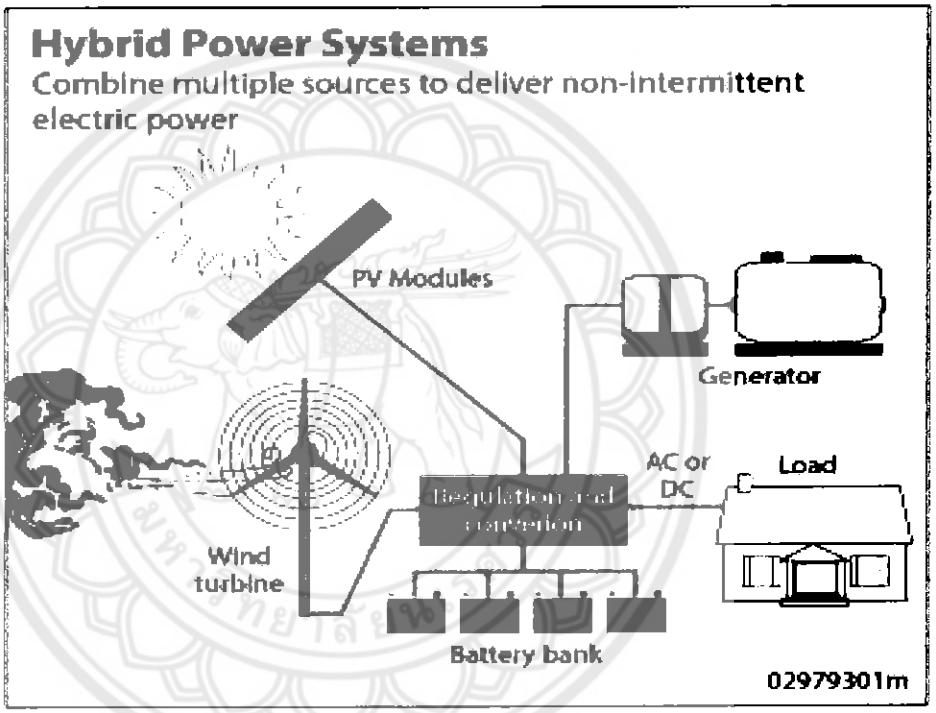


รูปที่ 2.24 แผนภาพระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อระบบสายส่ง

ระบบลักษณะนี้มีข้อดีคือไม่ต้องมีระบบแบตเตอรี่เพื่อสะสมพลังงาน พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกนำไปใช้ในบ้านหรืออาคารที่ติดตั้งระบบ ถ้ามีพลังงานเหลือสามารถส่งพลังงานไฟฟ้าคืนระบบสายส่งของการไฟฟ้า และถ้าต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามากก็ใช้จากการไฟฟ้าทำให้มีพลังงานไฟฟ้าใช้ตลอดเวลา และไม่มีข้อจำกัดของชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งาน นอกจากนั้นยังมีมาตรฐานด้านความปลอดภัย และมีกฎหมายรองรับการรับซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้า ระบบนี้มีการนำร่องโครงการในหน่วยงานรัฐบางหน่วยงาน และในบ้านพักอาศัยแล้ว

2.9.3 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน (Hybrid Renewable Energy Electrification System)

เป็นระบบที่พัฒนาจากระบบที่ 1 หรือ 2 โดยการผสมผสานแหล่งพลังงานทดแทนหลาย ๆ แหล่ง เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ หรือเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าที่อาจใช้เชื้อเพลิงจากชีวมวลหรือน้ำมันดีเซล มีการผสมผสานแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในแต่ละช่วงเวลา กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้อาจใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีการปักเสาพาดสายของการไฟฟ้าเข้าไปถึง หรือใช้งานเชื่อมต่อกับระบบสายส่ง การประยุกต์ใช้งานสามารถแสดงดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ผังแสดงตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

2.10 การประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านต่าง ๆ

การนำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานจากธรรมชาติมาทดแทนพลังงานรูปแบบอื่น ๆ ได้รับความสนใจและเป็นที่นิยมมากขึ้น สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างมากมายในการดำรงชีวิต รวมถึงไม่เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อม โดยสามารถประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) บ้านพักอาศัย ได้แก่ ระบบแสงสว่างภายในบ้านระบบแสงสว่างนอกบ้าน (ไฟสนาม ไฟโรงจอดรถ และโคมไฟรั้วบ้าน ฯลฯ) อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ระบบเปิด-ปิดประตูบ้านระบบรักษาความปลอดภัยระบบระบายอากาศ เครื่องสูบน้ำเครื่องกรองน้ำ และไฟสำรองยามฉุกเฉิน เป็นต้น

2) ระบบสูบน้ำ ได้แก่ อุปโภค สาธารณูปโภค ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เพาะปลูก ทำสวน-ไร่ เหมืองแร่และชลประทาน เป็นต้น

3) ระบบแสงสว่าง ได้แก่ โคมไฟป้ายรถเมล์ ตู้โทรศัพท์ ป้ายประกาศ สถานที่จอดรถ แสงสว่างภายนอกอาคาร และไฟถนนสาธารณะ เป็นต้น

4) ระบบประจุแบตเตอรี่ ได้แก่ ไฟสำรองไว้ใช้ยามฉุกเฉินศูนย์ประจุแบตเตอรี่ประจำหมู่บ้านในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้แหล่งจ่ายไฟสำหรับใช้ในครัวเรือน และระบบแสงสว่างในพื้นที่ห่างไกล เป็นต้น

5) ทำการเกษตร ได้แก่ ระบบสูบน้ำ พัดลมอบผลผลิตทางการเกษตร และเครื่องนวดข้าว เป็นต้น

6) เลี้ยงสัตว์ ได้แก่ ระบบสูบน้ำระบบเติมออกซิเจนในบ่อน้ำ (บ่อกุ้งและบ่อปลา) และแสงไฟดักจับแมลง เป็นต้น

7) อนามัย ได้แก่ ตู้เย็น กล่องทำความเย็นเพื่อเก็บยาและวัคซีน อุปกรณ์ไฟฟ้าทางการแพทย์สำหรับหน่วยอนามัยหน่วยแพทย์เคลื่อนที่ และสถานีอนามัย เป็นต้น

8) คมนาคม ได้แก่ สัญญาณเตือนทางอากาศไฟนำร่องทางขึ้น - ลงเครื่องบิน ไฟประภาคาร ไฟนำร่องเดินเรือ ไฟสัญญาณข้ามถนน สัญญาณจราจร โคมไฟถนน และโทรศัพท์ฉุกเฉิน เป็นต้น

9) สื่อสาร ได้แก่ สถานีทวนสัญญาณไมโครเวฟ อุปกรณ์โทรคมนาคมอุปกรณ์สื่อสารแบบพกพา (เช่น วิทยุสนามของหน่วยงานบริการและทหาร) และสถานีตรวจสอบอากาศ เป็นต้น

10) บันเทิงและพักผ่อนหย่อนใจ ได้แก่ แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับบ้านพักตากอากาศในพื้นที่ห่างไกล ระบบประจุแบตเตอรี่แบบพกพาติดตัว และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้ความบันเทิง เป็นต้น

11) พื้นที่ห่างไกล ได้แก่ ภูเขาเกาะป่าลึก และพื้นที่สายส่งของการไฟฟ้าเข้าไม่ถึง เป็นต้น

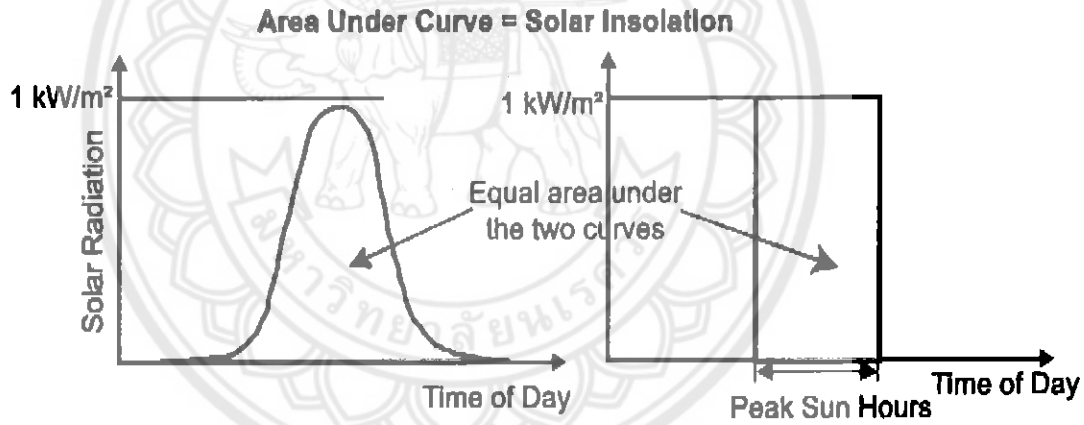
12) อวกาศ ได้แก่ ใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับดาวเทียม

2.11 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ระบบที่สามารถผลิตไฟฟ้าเพียงพอต่อความต้องการอย่างแท้จริง จำเป็นต้องทราบชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า จำนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าระยะเวลาใช้งานในแต่ละวัน และพลังงานสำรองที่ต้องการสำหรับใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เช่น ในเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เป็นต้น

2.11.1 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นต้องทราบปริมาณแสงอาทิตย์ในพื้นที่ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถรับแสงและผลิตไฟฟ้าได้สำหรับพื้นที่ส่วนใหญ่ของโลกนั้นค่าเฉลี่ยของปริมาณแสงอาทิตย์ได้มีการสำรวจแล้วโดยค่าเฉลี่ยของปริมาณแสงอาทิตย์จะอยู่ในหน่วยชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด (Peak Sun Hour, PSH) ยกตัวอย่างเช่น ชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด (PSH) เท่ากับ 1 แสดงถึงเวลาหนึ่งชั่วโมงที่มีค่าแสงแดดดีมากและไม่มีเมฆดังนั้นถ้าในพื้นที่มีค่า PSH เท่ากับ 4 จะหมายความว่าโดยเฉลี่ยแล้วพื้นที่นั้น ๆ จะมีจำนวนชั่วโมงที่แสงแดดดีมาก 4 ชั่วโมงต่อวันโดยแสงแดดดีมากหรือแสงอาทิตย์สูงสุดจะนิยามโดยเท่ากับการที่แสงแดดที่มีความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตรสม่ำเสมอตลอด 1 ชั่วโมง ซึ่งสามารถคำนวณค่า PSH ได้โดยการหาผลรวมของปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับทุกชั่วโมงตลอดวันและนำผลรวมที่ได้ไปหารด้วยค่า 1,000 วัตต์/ตารางเมตร ดังรูปที่ 2.26 กราฟรูประฆังคว่ำแสดงถึงปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับในแต่ละชั่วโมงของวันและรูปสี่เหลี่ยมแสดงถึงจำนวนของชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุดของวัน



รูปที่ 2.26 กราฟแสดงการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณแสงอาทิตย์ ในหน่วยชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด

เมื่อทราบค่าเฉลี่ยของปริมาณแสงอาทิตย์ในหน่วยชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด (PSH) แล้ว สามารถคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ดังสมการ (2.3)

$$E_a = P_{\max,a} \times PSH \tag{2.3}$$

โดยที่ E_a หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Wh/day)

$P_{\max,a}$ หมายถึง พิกัดกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Watt: W)

PSH หมายถึง จำนวนชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด (Hour/day)

2.11.2 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่โหลดต้องการ

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่โหลดต้องการนั้น จำเป็นต้องทราบกำลังไฟฟ้าขณะใช้งานและระยะเวลาในการใช้งานของโหลดแต่ละชนิดในระบบ เพื่อแทนค่าหาพลังงานไฟฟ้าที่โหลดต้องการจากสมการ (2.4)

$$E_L = \sum(P_L \times t) \tag{2.4}$$

โดยที่ E_L หมายถึง พลังงานไฟฟ้ารวม ที่โหลดต้องการ (Wh/day)

P_L หมายถึง กำลังไฟฟ้าของโหลดแต่ละชนิด ขณะใช้งาน (Watt: W)

t หมายถึง ระยะเวลาในการใช้งานโหลดแต่ละชนิด (Hour/day)

2.11.3 การกำหนดขนาดของแบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ที่เหมาะกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ควรใช้แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep Discharge Battery) ที่มีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะเก็บพลังงานไว้ใช้ในเวลากลางคืนและเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์โดยขนาดความจุของแบตเตอรี่ (C_B) สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.5)

$$C_B = \frac{L \times T_A}{V_B \times DOD \times D_T \times \eta_{Inv} \times \eta_B} \tag{2.5}$$

โดยที่ C_B หมายถึง ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (Ampere hour: Ah)

L หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่โหลดต้องการต่อวัน (kWh/day)

T_A หมายถึง ระยะเวลาที่ต้องการให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้า (Day)

V_B หมายถึง แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (Volt)

DOD หมายถึง ความลึกในการดึงกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปใช้งาน

D_T หมายถึง ค่าความคาดเคลื่อนของอุณหภูมิ

η_I หมายถึง ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

η_B หมายถึง ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

2.11.4 การกำหนดขนาดของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Charge Controller)

เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ต้องมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่ ดังนั้นขนาดของเครื่องควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ ควรมีขนาดมากกว่าพิกัดกระแสไฟฟ้าของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.11.5 การกำหนดขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าควรกำหนดให้มีขนาดมากกว่ากำลังไฟฟ้ารวมที่อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดใช้จากระบบในเวลาเดียวกัน ถ้ามีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความเหนี่ยวนำ (เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าปั๊มน้ำและเครื่องซักผ้า) ให้รวมกำลังไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้นด้วย (มักกำหนดกระแสไฟฟ้ากระชากในช่วงเริ่มต้นเป็น 2 – 5 เท่าของกระแสไฟฟ้าขณะใช้งาน) จะได้พิกัดกำลังไฟฟ้าที่สามารถนำไปเลือกขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับระบบได้

2.12 การติดตั้งและบำรุงรักษาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

2.12.1 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พื้นที่ที่เลือกติดตั้งนั้นต้องมีลักษณะโล่ง และไม่มีสิ่งปลูกสร้างมาบดบังแสงอาทิตย์ การตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ถูกต้องนั้นจะทำให้สามารถรับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากที่สุดเมื่อวางแผงตั้งฉากกับรังสีแสงอาทิตย์

โดยทั่วไป ตำแหน่งเฉลี่ยที่ดีที่สุดสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ วางเอียงหันหน้าไปยังเส้นศูนย์สูตรของโลก โดยทำมุมเอียงกับพื้นราบโดยประมาณเท่ากับละติจูดของพื้นที่นั้น ดังนั้นสำหรับพื้นที่ที่อยู่บนเส้นศูนย์สูตร มุมเอียงที่เหมาะสมที่สุดคือ 0 องศา หรือวางราบกับพื้น แต่ในทางปฏิบัติต้องเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์เล็กน้อยเพื่อให้น้ำฝนสามารถล้างสิ่งสกปรกออกไปได้ จากนั้นจึงทำการล้อมรั้วเพื่อป้องกันอันตรายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากสิ่งรบกวนภายนอกต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นได้

2.12.2 การบำรุงรักษาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปยาวนานกว่า 20 ปี และเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ไม่มีส่วนใดที่เคลื่อนไหว เป็นผลให้ลดการดูแลและบำรุงรักษาระบบดังกล่าว จะมีเพียงในส่วนของการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากฝุ่นละอองเท่านั้น

โดยทั่วไปแล้วควรดำเนินการตรวจสอบและซ่อมบำรุงทุก 4 ถึง 6 สัปดาห์ ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนและพื้นที่ติดตั้งระบบ ซึ่งการดำเนินการตรวจสอบมีรายละเอียดดังนี้

1) ตรวจสอบความชำรุดที่เกิดขึ้นกับฉนวนของสายไฟฟ้า ความเสียหายที่เกิดจากสัตว์กัดแทะ หรือความเสียหายที่เกิดจากสภาวะอากาศ ตรวจสอบการแตกร้าวของเซลล์แสงอาทิตย์ การผุกร่อนของขั้วไฟฟ้า และทำการซ่อมแซมหรือทำความสะอาดส่วนต่าง ๆ เหล่านั้น

2) ตรวจสอบระดับและค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่ ตรวจสอบการผุกร่อนของขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ทำการเติมน้ำกลั่น ทำความสะอาดขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่ และความแน่นของจุดต่อสายไฟ

3) ทำการปรับเทียบเครื่องมือวัดทดสอบระบบควบคุม เพื่อตรวจสอบการทำงาน อ่านค่าและบันทึกค่าจากมิเตอร์ทั้งหมด

4) ตรวจสอบและใช้งานระบบ ตามข้อแนะนำของผู้ผลิตระบบเซลล์แสงอาทิตย์

5) บันทึกและรายงานลักษณะความผิดพลาดและชำรุด ที่ตรวจพบภายในส่วนประกอบของระบบ

2.13 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

2.13.1 การลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นกับทั้งปัจจัยภายนอกและสมบัติของเซลล์ ได้แก่ อุณหภูมิความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ความต้านทานชันท์และความต้านทานอนุกรม เป็นต้น โดยที่ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นั่นคือ สภาวะที่อุณหภูมิสูงระยะห่างของแถบพลังงานจะลดลงเป็นผลให้แรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยลงแต่ไม่ทำให้กระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงนักทั้งนี้กระแสลัดวงจรหรือกระแสสูงสุดจะลดลงเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าน้อย เช่น ในวันที่ท้องฟ้ามีดครึ้ม มีเมฆบดบัง การบังเงาเนื่องจากเงาต้นไม้ เป็นต้นความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันขาออกมีค่าลดลงแต่ไม่มีผลต่อค่าแรงดันวงจรเปิดหรือกล่าวได้ว่าความต้านทานอนุกรมทำให้ค่าฟิลด์แฟกเตอร์ลดลง หากค่านี้มีมาก ๆ จะทำให้กระแสลัดวงจรลดลงและ I-V Curve เป็นเส้นตรง ค่าความต้านทานชันท์ลดลงมากจะเป็นผลทำให้แรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจรมีค่าลดลง และค่าฟิลด์แฟกเตอร์ลดลง เช่นเดียวกับกรณีของความต้านทานอนุกรม

2.13.2 การวัดประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

หลักการวัดประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์หลังจากที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการตรวจสอบการทำงานของระบบในแต่ละจุด จึงจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องมือวัดเพื่อตรวจสอบการทำงาน ในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการติดตั้งเครื่องมือวัด และวิธีการบันทึกข้อมูล ค่าที่จะทำการบันทึก ระยะเวลาในการบันทึก

2.13.2.1 การติดตั้งเครื่องมือวัด

การติดตั้งเครื่องมือวัดต่าง ๆ โดยรายละเอียดและประเภทของเครื่องวัดสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก. เครื่องมือวัดในตำแหน่งไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วย โวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ

ข. เครื่องมือวัดในตำแหน่งไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วย โวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง

2.13.2.2 วิธีการเก็บข้อมูลของระบบ

การเก็บข้อมูล จะเริ่มทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลาของแต่ละวัน โดยจะบันทึกค่าเป็นช่วง ๆ ทุก ๆ 5 นาที โดยจะทำการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 2 วัน เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลต่าง ๆ ที่จะนำไปหาค่าพลังงานไฟฟ้าใน 1 วัน โดยที่สามารถแบ่งข้อมูลที่จะทำการวัดออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

ก. การเก็บข้อมูลค่าพลังงานที่ได้จากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ซึ่งในระบบมีแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าอยู่ 2 ชนิด คือ

ก.1 เซลล์แสงอาทิตย์ จะวัดค่าแรงดันและค่ากระแส โดยใช้เครื่องวัดที่ติดตั้งไว้ภายในตู้ควบคุมเพื่อวิเคราะห์หาค่าพลังงานไฟฟ้าใน 1 วันที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

ก.2 แบตเตอรี่ จะวัดค่าแรงดันและค่ากระแส โดยใช้เครื่องวัดที่ติดตั้งไว้ภายในตู้ควบคุมเพื่อวิเคราะห์หาค่าพลังงานใน 1 วันที่จ่ายออกจากแบตเตอรี่

ข. การเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน ซึ่งจะเก็บค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ระบบไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเข้าเครื่องแปลงกรแสไฟฟ้า โดยใช้เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรงที่ติดตั้งไว้ภายในตู้ควบคุม เก็บค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า และค่ากำลังไฟฟ้าที่เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (220 V_{AC}) ทางด้านขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า โดยใช้เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับที่ติดตั้งไว้ภายในตู้ควบคุม

2.13.3 การวิเคราะห์สมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การวิเคราะห์สมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1) การวิเคราะห์อุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ก. การวิเคราะห์หาค่าพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ หาได้จากการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าจากคุณสมบัติทางเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เทียบกับการหาพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ PSH ของแต่ละพื้นที่

ข. การวิเคราะห์เพื่อหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ สามารถหาได้จากค่ากำลังไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกจากเครื่องควบคุมการประจุต่อกำลังไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้าของเครื่องควบคุมการประจุ

ค. การวิเคราะห์เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ สามารถหาได้จากค่าพลังงานในการคายประจุแบตเตอรี่ต่อค่าพลังงานในการประจุแบตเตอรี่

ง. การวิเคราะห์เพื่อหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า หาได้จากค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้โหลดต่อค่ากำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่

2) การวิเคราะห์โหลดของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ทำโดยการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจากการออกแบบกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่จ่ายให้กับโหลด

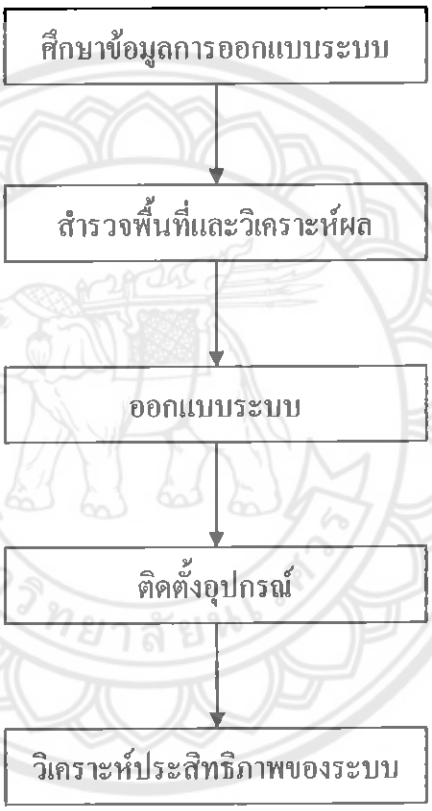
3) การวิเคราะห์หาค่าพลังงานส่วนเกินและพลังงานที่ไม่สามารถจ่ายให้กับโหลดได้ ทำโดยการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่จ่ายให้กับเครื่องควบคุมการประจุกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยด้านเข้าของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่

4) การวิเคราะห์การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถหาได้จาก อัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้เครื่องควบคุมการประจุต่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับโหลด

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานของโครงงาน "ออกแบบและพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.85 กิโลวัตต์" แสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานของโครงงาน

3.2 การสำรวจความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโรงเรียนบ้านเนินทอง

ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จะต้องมีการสำรวจความต้องการพลังงานไฟฟ้าโดยรวมของพื้นที่ตัวอย่าง แล้วจึงนำมาวิเคราะห์หาขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสม ในกรณีนี้พื้นที่ตัวอย่างคือโรงเรียนบ้านเนินทอง ต.บ้านดง อ.ชาติตระการ จ.พิษณุโลก ซึ่งจากการสำรวจพบว่ามีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้กับโหลดใน 4 ระบบ ได้แก่ระบบสูบน้ำใช้เข้าถังเก็บน้ำ ระบบอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร ระบบสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ และระบบส่องสว่างนอกอาคารในเวลากลางคืน ซึ่งจำแนกได้ดังนี้

3.2.1 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำใช้เข้าถังเก็บน้ำ

โรงเรียนบ้านเนินทองมีความต้องการใช้น้ำเฉลี่ย 12,000 ลิตรต่อวัน จึงใช้เครื่องสูบน้ำแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Pump) ขับโดยมอเตอร์ 1 เฟส 1 แรงม้า (ใช้กระแสไฟฟ้าขณะเดินเครื่อง 6.2 แอมแปร์ และมีค่า P.F. = 0.75) ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำ 80 ลิตรต่อนาที ที่ความสูง 23 เมตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที จะได้ปริมาณน้ำตามที่ต้องการ

คำนวณกำลังไฟฟ้าปรากฏขณะสูบน้ำ (S_P) เพื่อการเลือกขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าได้ดังนี้

$$S_P = V_P \times I_P = 220 \times 6.2 = 1{,}364VA$$

โดยที่ V_P หมายถึง แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในขณะสูบน้ำ (V)

I_P หมายถึง กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในขณะสูบน้ำ (A)

คำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำ (E_P) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที (2.5 ชั่วโมง) ได้ดังนี้

$$P_P = S_P \times P.F. = 1{,}364 \times 0.75 = 1{,}023W$$

$$E_P = P_P \times t_P = 1{,}023 \times 2.5 = 2{,}557.5Wh/day = 2.56kWh/day$$

โดยที่ P_P หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำ (W)

t_P หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการสูบน้ำ (Hour/day)

3.2.2 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร

กำหนดให้มีการอัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 7 แอมแปร์-ชั่วโมง จำนวนไม่เกิน 5 ลูกต่อวัน คำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ (E_B) ได้ดังนี้

$$E_B = \frac{V_B \times C_B}{\eta_C} \times n_B = \frac{12 \times 7}{0.8} \times 5 = 525Wh/day = 0.525kWh/day$$

โดยที่ V_B หมายถึง ขนาดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (V)

C_B หมายถึง ขนาดความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (Ah)

η_C หมายถึง ประสิทธิภาพของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่

n_B หมายถึง จำนวนแบตเตอรี่ที่นำมาอัดประจุใน 1 วัน

คำนวณกำลังไฟฟ้าปรากฏขณะอัดประจุแบตเตอรี่ (S_B) เพื่อการเลือกขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าได้ดังนี้ (ในกรณีที่ต่อแบตเตอรี่ขนานเพื่ออัดประจุพร้อมกันไม่เกินครั้งละ 2 ลูก กำหนดให้ใช้กระแสไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่ไม่เกิน 7 แอมแปร์)

$$S_B = \frac{V_B \times I_{BC}}{\eta_C} = \frac{12 \times 7}{0.8} = 105VA$$

โดยที่ V_B หมายถึง ขนาดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (V)

I_{BC} หมายถึง กระแสไฟฟ้าในขณะอัดประจุแบตเตอรี่ (A)

η_C หมายถึง ประสิทธิภาพของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่

3.2.3 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ

โรงเรียนบ้านเนินทองมีความต้องการสูบน้ำดื่มไปยังอาคารเรียนเฉลี่ย 1,200 ลิตรต่อวัน จึงใช้เครื่องสูบน้ำอัตโนมัติขนาด 80 วัตต์ (ใช้กระแสไฟฟ้าขณะทำงาน 0.6 แอมแปร์ และมีค่า P.F. = 0.75) ซึ่งมีอัตราการไหล 20 ลิตรต่อนาที ที่ความสูง 3 เมตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

คำนวณกำลังไฟฟ้าปรากฏขณะสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ (S_{AP}) เพื่อการเลือกขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าได้ดังนี้

$$S_{AP} = V_{AP} \times I_{AP} = 220 \times 0.6 = 132VA$$

โดยที่ V_{AP} หมายถึง แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในขณะสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ (V)

I_{AP} หมายถึง กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในขณะสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ (A)

คำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ (E_{AP}) เป็นเวลา 1 ชั่วโมงต่อวัน ได้ดังนี้

$$P_{AP} = S_{AP} \times P.F. = 132 \times 0.75 = 99W$$

$$E_{AP} = P_{AP} \times t_{AP} = 99 \times 1 = 99Wh/day = 0.099kWh/day$$

โดยที่ P_{AP} หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ (W)

t_{AP} หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ (Hour/day)

3.2.4 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบส่องสว่างนอกอาคารในเวลากลางคืน

จากการสำรวจพื้นที่โรงเรียนบ้านเนินทองพบว่า มีความต้องการแสงสว่างนอกอาคารในเวลา 18.00 – 6.00 น. หรือเป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน เลือกใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดประหยัดขนาด 23 วัตต์จำนวน 15 หลอด คำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบส่องสว่างนอกอาคารในเวลากลางคืน (E_L) ได้ดังนี้

$$E_L = P_L \times n_L \times t_L = 23 \times 15 \times 12 = 4{,}140 Wh/day = 4.14 kWh/day$$

โดยที่ P_L หมายถึง กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ 1 หลอด (W)

n_L หมายถึง จำนวนหลอดไฟในระบบแสงสว่าง (หลอด)

t_L หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้งานระบบแสงสว่าง (Hour/day)

ดังนั้นสามารถคำนวณความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมของโหลดทั้งหมดในระบบ (E_D) ได้ดังสมการ (3.1)

$$E_D = E_P + E_B + E_{AP} + E_L \tag{3.1}$$

$$\therefore E_D = 2.56 + 0.525 + 0.099 + 4.14 = 7.321 kWh/day$$

โดยที่ E_P หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำเข้าถังเก็บน้ำ (kWh/day)

E_B หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร (kWh/day)

E_{AP} หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ (kWh/day)

E_L หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบส่องสว่างในเวลากลางคืน (kWh/day)

และพบว่าโหลดมีความต้องการกำลังไฟฟ้าปรากฏสูงที่สุดเมื่อทำงานพร้อมกันในเวลากลางวัน สามารถคำนวณหากำลังไฟฟ้าปรากฏสูงสุด (S_M) เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในหัวข้อ 3.3.2.3 ก ได้ดังสมการ (3.2)

$$S_M = S_P + S_B + S_{AP} \tag{3.2}$$

$$\therefore S_M = 1{,}364 + 105 + 132 = 1601 VA \approx 1.6 kVA$$

โดยที่ S_P หมายถึง กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ใช้ในการสูบน้ำเข้าถังเก็บน้ำ (VA)

S_B หมายถึง กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร (VA)

S_{AP} หมายถึง กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ใช้ในการสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ (VA)

3.3 การออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

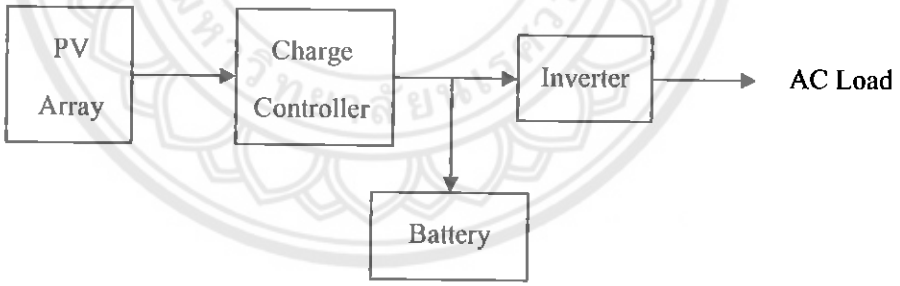
การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในหัวข้อนี้ จะอาศัยข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าและพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของโรงเรียนบ้านเนินทอง จากหัวข้อที่ 3.2 ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยจะมีการกำหนดรูปแบบการทำงานของระบบ และออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ดังต่อไปนี้

3.3.1 การกำหนดรูปแบบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทราบความต้องการพลังงานไฟฟ้าและพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแล้ว สามารถกำหนดรูปแบบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยแบ่งการทำงานของระบบออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเวลากลางวัน (เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสง) และช่วงเวลากลางคืน (เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสง) ดังนี้

3.3.1.1 การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน

การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน จะเป็นการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้โหลดกระแสสลับ และมีการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้จ่ายโหลดในเวลากลางคืน ดังแสดงในรูปที่ 3.2

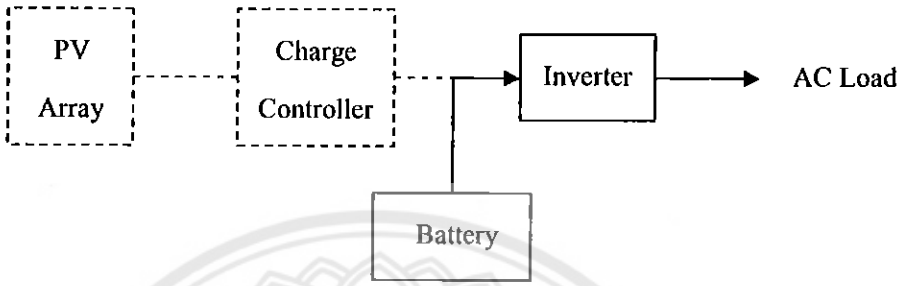


รูปที่ 3.2 การทำงานของระบบในช่วงเวลากลางวัน

ในช่วงเวลากลางวัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะรับแสงอาทิตย์และเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นพลังงานไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เพื่อการประจุแบตเตอรี่อย่างมีประสิทธิภาพ และส่งผ่านไปยังเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นกระแสสลับและจ่ายโหลดกระแสสลับที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน ดังนั้นในเวลากลางวันจะมีการเดินโหลด 3 ระบบ คือ ระบบสูบน้ำใช้เข้าถังเก็บน้ำ ระบบอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร และระบบสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่เหลือจากการเดินโหลดทั้ง 3 ระบบ จะถูกเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่เพื่อจ่ายโหลดในเวลากลางคืนต่อไป

3.3.1.2 การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางคืน

การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางคืน เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จึงเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในการจ่ายโหลดดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การทำงานของระบบในช่วงเวลากลางคืน

ในช่วงเวลากลางคืนเป็นช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ แต่ยังมีโหลดที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าอยู่ ดังนั้น จึงใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในการจ่ายโหลด โดยที่พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ซึ่งเป็นกระแสตรงจะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เพื่อแปลงให้เป็นกระแสสลับและจ่ายโหลดในช่วงเวลากลางคืนได้ ดังนั้น ในช่วงเวลากลางคืนระบบส่องสว่างนอกอาคารจะทำงานได้ตามปกติ

3.3.2 การออกแบบและกำหนดรายละเอียดของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ในส่วนของการออกแบบเพื่อหาขนาดของระบบตามลักษณะการทำงานที่เหมาะสม จะอาศัยข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์และข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าของพื้นที่ โดยใช้วิธีการคำนวณเพื่อกำหนดขนาดและรายละเอียดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งจะเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ตามท้องตลาด

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีอุปกรณ์สำคัญ คือ ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Array) เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Charge Controller) แบตเตอรี่ (Battery) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) โดยในการออกแบบระบบมีขั้นตอนดังนี้

3.3.2.1 เงื่อนไขในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ก. ระบบผลิตไฟฟ้าต้องสามารถรองรับความต้องการไฟฟ้าขนาด 7.321 kWh/day ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏสูงสุดขณะใช้งาน 1,601 VA โดยโหลดทั้งหมดอยู่ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโรงเรียนบ้านเนินทองในหนึ่งวัน)

ข. ค่า DOD (Depth of Discharge) ของแบตเตอรี่ที่ใช้มีค่า 80%

ค. จำนวนชั่วโมงที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดต่อวันของโรงเรียนบ้านเนินทอง ต.บ้านดง อ.ชาติตระการ จ.พิษณุโลก มีค่าประมาณ 4.5 Peak Sun Hour (อ้างอิงจากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542)

ง. แรงดันไฟฟ้าภายในระบบใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 48 V (ระบบ 48 V_{dc})

จ. ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ซึ่งมีพิกัดกำลังต่อแผงเท่ากับ 47.436 W_p

ฉ. กำหนดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบดังตาราง 3.1 (ข้อมูลของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า อ้างอิงจากบริษัท ลีโออีเลคทรอนิคส์ จำกัด และข้อมูลของแบตเตอรี่อ้างอิงจาก บริษัท ไทยสโตเรจแบตเตอรี่ จำกัด (มหาชน))

ตารางที่ 3.1 ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

อุปกรณ์ในระบบ	ประสิทธิภาพ
เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่	90.00%
แบตเตอรี่	80.00%
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	90.00%
ระบบรวม	64.80%

3.3.2.2 การคำนวณค่าพลังงาน ณ จุดต่าง ๆ ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

จากเงื่อนไขความต้องการพลังงานไฟฟ้าขนาด 7.321 kWh/day ซึ่งแบ่งเป็นความต้องการพลังงานไฟฟ้าในเวลากลางวัน ขนาด 3.181 kWh/day และความต้องการพลังงานไฟฟ้าในเวลากลางคืน ขนาด 4.14 kWh/day และโหลดมีค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏสูงสุดขณะใช้งานพร้อมกันในเวลากลางวัน 1,601 VA โดยโหลดทั้งหมดอยู่ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ และกำหนดให้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพประมาณ 90% สามารถคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (E_{Inv}) ได้ดังนี้

$$E_{Inv} = \frac{E_D}{\eta_{Inv}} = \frac{7.321}{0.9} = 8.134 kWh/day$$

โดยที่ E_D หมายถึง ความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมของโหลดทั้งหมดในระบบ (kWh/day)

η_{Inv} หมายถึง ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

โดยในช่วงเวลากลางวัน (ไม่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่) สามารถคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ต้องจ่ายให้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ($E_{Inv,d}$)ได้ดังนี้

$$E_{Inv,d} = \frac{E_{D,d}}{\eta_{Inv}} = \frac{3.181}{0.9} = 3.534 kWh/day$$

โดยที่ $E_{D,d}$ หมายถึง ความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมของโหลดในเวลากลางวัน (kWh/day)

η_{Inv} หมายถึง ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

และในช่วงเวลากลางคืน (มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่) สามารถคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ต้องจ่ายให้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ($E_{Inv,n}$)ได้ดังนี้

$$E_{Inv,n} = \frac{E_{D,n}}{\eta_{Inv}} = \frac{4.14}{0.9} = 4.6 kWh/day$$

โดยที่ $E_{D,n}$ หมายถึง ความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมของโหลดในเวลากลางคืน (kWh/day)

η_{Inv} หมายถึง ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในเวลากลางคืนมีค่าเท่ากับ 4.6 kWh/day ซึ่งคิดเป็นพลังงานที่ DOD 80% ของแบตเตอรี่ในระบบ 48 V_{dc} กำหนดให้แบตเตอรี่มีค่าประสิทธิภาพประมาณ 80% สามารถคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่ (E_B) ได้ดังนี้

$$E_B = \frac{E_{Inv,n}}{\eta_B} = \frac{4.6}{0.8} = 5.75 kWh/day$$

โดยที่ $E_{Inv,n}$ หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ต้องจ่ายให้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (kWh/day)

η_B หมายถึง ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

เมื่อทราบพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ต้องจ่ายให้กับแบตเตอรี่และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแล้ว สามารถคำนวณหาพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์ต้องจ่ายให้กับเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (E_{CC}) ได้ดังนี้ (กำหนดประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ประมาณ 90%)

$$E_{CC} = \frac{E_{Inv,d} + E_B}{\eta_{CC}} = \frac{3.534 + 5.75}{0.9} = 10.316 kWh/day$$

โดยที่ $E_{Inv,d}$ หมายถึง พลังงานที่เครื่องควบคุมการประจุจ่ายให้เครื่องแปลงกระแส (kWh/day)

E_B หมายถึง พลังงานที่เครื่องควบคุมการประจุทำการประจุแบตเตอรี่ (kWh/day)

η_{CC} หมายถึง ประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่

เพราะฉะนั้น ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะทำการติดตั้งต้องสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอกับที่ได้คำนวณไว้ คือ 10.316 kWh/day

3.3.2.3การกำหนดอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วยังประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญต่าง ๆ ในระบบ โดยจะต้องมีการกำหนดพิกัดกระแสแรงดัน หรือกำลังไฟฟ้า เพื่อการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมที่สุด ซึ่งแสดงการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบได้ดังต่อไปนี้

ก. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)

การเลือกพิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ต้องกำหนดให้มีขนาดมากกว่ากำลังไฟฟ้ารวมที่โหลดทั้งหมดใช้จากระบบในเวลาเดียวกัน ในกรณีนี้โอกาสที่โหลดในระบบจะทำงานพร้อมกันแล้วใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดคือช่วงเวลากลางวัน ซึ่งจากเงื่อนไขพบว่าโหลดใช้กำลังไฟฟ้าในการทำงานมากที่สุด 1,601 โวลต์ - แอมแปร์ดังนั้นจึงเลือกใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ารุ่น APOLLO S-216C จากบริษัท ลีโออีเลคทรอนิคส์ จำกัด ซึ่งมีพิกัดกำลัง 2 กิโลโวลต์ - แอมแปร์ ต้องการแรงดันขาเข้า 48 โวลต์ (ช่วง 40 - 58 โวลต์) จ่ายแรงดันขาออกเป็นกระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ และมีประสิทธิภาพประมาณ 90% เพื่อให้เหมาะสมกับระบบและจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้อย่างต่อเนื่อง

ข. แบตเตอรี่ (Battery)

การกำหนดขนาดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ต้องคำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าขาเข้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ในกรณีนี้แบตเตอรี่ต้องมีขนาดแรงดันไฟฟ้า 48 โวลต์ จึงจะสอดคล้องกับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

จากการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า ณ จุดต่าง ๆ ในหัวข้อ 3.3.2.2 พบว่า ความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมของโหลดในเวลากลางคืนมีค่า 4.14 kWh/day และจากเงื่อนไขแบตเตอรี่ในระบบ 48 V_{dc} มีค่า DOD 80% เพราะฉะนั้นสามารถคำนวณหาขนาดความจุของแบตเตอรี่ (C_B) ในหน่วยแอมแปร์ - ชั่วโมง (Ah) ได้ดังนี้

$$C_B = \frac{E_{D,n}}{V_B \times DOD \times \eta_B \times \eta_{Inv}} = \frac{4140}{48 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.9} = 149.74 Ah$$

โดยที่ $E_{D,n}$ หมายถึง ความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมของโหลดในเวลากลางคืน (Wh/day)

V_B หมายถึง ขนาดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (V)

DoD หมายถึง ความลึกในการดึงกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปใช้งาน

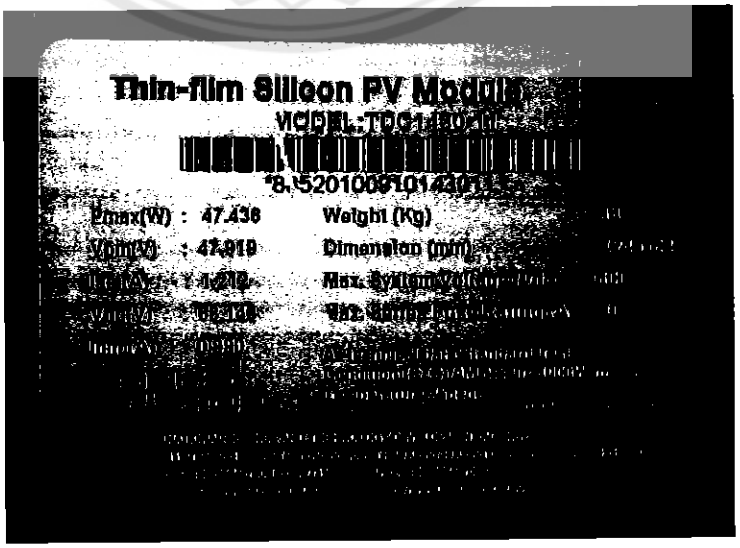
η_B หมายถึง ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

η_{Inv} หมายถึง ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

จากการคำนวณพบว่าต้องใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 160 แอมแปร์ - ชั่วโมง จำนวน 4 ลูก ต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้ขนาดรวม 48 โวลต์ 160 แอมแปร์ - ชั่วโมง ซึ่งเลือกใช้แบตเตอรี่รุ่น EBB 160 จากบริษัท ไทยสโตเรจแบตเตอรี่ จำกัด (มหาชน) มีค่า DOD สูงที่สุด 80% และมีประสิทธิภาพประมาณ 80% จึงจะเหมาะสมกับระบบ และเพียงพอต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบส่องสว่างในเวลากลางคืน

ค. ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Array)

จากการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า ณ จุดต่าง ๆ ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่ามีความต้องการพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 10.316 kWh/day จากเงื่อนไขจำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสงอาทิตย์สูงสุดต่อวันของโรงเรียนบ้านเนินทอง ต.บ้านคง อ.ชาติตระการ จ.พิษณุโลก มีค่าประมาณ 4.5 PSH และเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ซึ่งมีพิกัดกำลังต่อแผงเท่ากับ 47.436 W_p และมีข้อมูลทางเทคนิคอื่น ๆ ดังรูปที่ 3.4 (ข้อมูลทางเทคนิคของแผงเซลล์ฯ แต่ละแผงมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย)



รูปที่ 3.4 ข้อมูลทางเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จาก สวทช.

คำนวณหากำลังผลิตของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (P_{PV}) โดยกำหนดค่าตัวประกอบลดทอนพิกัดกำลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 85% ตามเงื่อนไข สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P_{PV} = \frac{E_{CC}}{PSH \times R.F.} = \frac{10.316}{4.5 \times 0.85} = 2.697kW$$

โดยที่ E_{CC} หมายถึง ความต้องการพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Wh/day)

PSH หมายถึง จำนวนชั่วโมงที่พื้นที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงที่สุดในหนึ่งวัน (Hour)

$R.F.$ หมายถึง ค่าตัวประกอบลดทอนพิกัดกำลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เพราะฉะนั้นจะต้องใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 47.436 วัตต์ จำนวน 60 แผง มาเชื่อมต่อกันเพื่อให้ได้ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.846 กิโลวัตต์ จึงจะผลิตพลังงานไฟฟ้าเพียงพอต่อความต้องการของระบบ ส่วนการจัดรูปแบบการเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Module) ของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Array) นั้น จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่เพื่อการเชื่อมต่อที่สอดคล้องกัน ดังนั้นจะแสดงการจัดรูปแบบในการเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในหัวข้อ 3.3.2.4

ง. เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Charge Controller)

การเลือกใช้เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ จะเลือกให้มีพิกัดกำลังมากกว่ากำลังผลิตติดตั้งของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีค่า 2.846 กิโลวัตต์ โดยเลือกเครื่องควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่ รุ่น SOLARCON SPT-4830 จากบริษัท ลีโอเอเลคทรอนิคส์ จำกัดซึ่งมีพิกัดกำลังขนาด 1,600 วัตต์ จำนวน 2 เครื่อง มีกำลังไฟฟ้าขาเข้าสูงสุดไม่เกิน 1,600 วัตต์ แรงดันวงจรเปิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เกิน 192 โวลต์ ช่วงของแรงดันขาเข้าอยู่ระหว่าง 65 – 150 โวลต์ แรงดันขาออกมีค่า 48 โวลต์ จ่ายกระแสไฟฟ้าอัดประจุแบตเตอรี่สูงสุด 30 แอมแปร์ และมีค่าประสิทธิภาพประมาณ 80%

3.3.2.4 การจัดรูปแบบการเชื่อมต่อของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาเชื่อมต่อกันเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า จะคำนึงถึงข้อมูลของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ โดยให้กระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สอดคล้องกับด้านขาเข้าของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ที่เลือกใช้ ซึ่งในกรณีนี้พบว่าเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่นั้นต้องการกำลังไฟฟ้าขาเข้าสูงสุดไม่เกิน 1,600 วัตต์ แรงดันวงจรเปิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เกิน 192 โวลต์ และช่วงของแรงดันขาเข้าอยู่ระหว่าง 65 – 150 โวลต์ จึงนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาเชื่อมต่อรวมกันเป็นชุด ชุดละ 30 แผง เป็นจำนวน 2 ชุด โดยกำหนดให้ใน 1 ชุด มีการต่อแผงเซลล์ขนานกัน 10 แถว และใน 1 แถวมีแผงเซลล์ต่อแบบอนุกรมกัน 3 แผง ซึ่งสามารถคำนวณหาข้อมูลทางเทคนิคต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$V_{oc,a} = V_{oc,m} \times n_{m,s} = 63.143 \times 3 = 189.43V$$

$$V_{pm,a} = V_{pm,m} \times n_{m,s} = 47.92 \times 3 = 143.76V$$

$$P_{\max,a} = P_{\max,m} \times n_{m,a} = 47.44 \times 30 = 1423.2W$$

โดยที่ $V_{oc,a}$ หมายถึง แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V)

$V_{oc,m}$ หมายถึง แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผง (V)

$V_{pm,a}$ หมายถึง แรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V)

$V_{pm,m}$ หมายถึง แรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผง (V)

$P_{\max,a}$ หมายถึง กำลังไฟฟ้าสูงสุดของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W)

$P_{\max,m}$ หมายถึง กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผง (W)

$n_{m,s}$ หมายถึง จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมกัน

$n_{m,a}$ หมายถึง จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งชุด

จากการคำนวณพบว่า ค่าทางไฟฟ้าต่าง ๆ ของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชุดและเครื่องควบคุมการอัดประจุมีค่าสอดคล้องกันดังนั้นจึงสามารถเชื่อมต่อชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ได้ โดยเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 30 แผง เข้ากับเครื่องควบคุมการประจุ 1 เครื่อง เป็นจำนวน 2 ชุด ซึ่งมีกำลังผลิตติดตั้งเท่ากับ 2846.16 วัตต์ หรือประมาณ 2.85 กิโลวัตต์

พลังงานไฟฟ้าที่ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (E_{PV}) สามารถคำนวณหาโดยกำหนดให้พื้นที่ตัวอย่างมีชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด (Peak Sun Hour, PSH) ประมาณ 4.5 ชั่วโมง และแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าตัวประกอบลดทอนพิกัดกำลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 85% ตามเงื่อนไขแสดงการคำนวณได้ดังนี้

$$E_{PV} = P_{PV} \times PSH \times R.F. = 2.846 \times 4.5 \times 0.85 = 10.886kWh/day$$

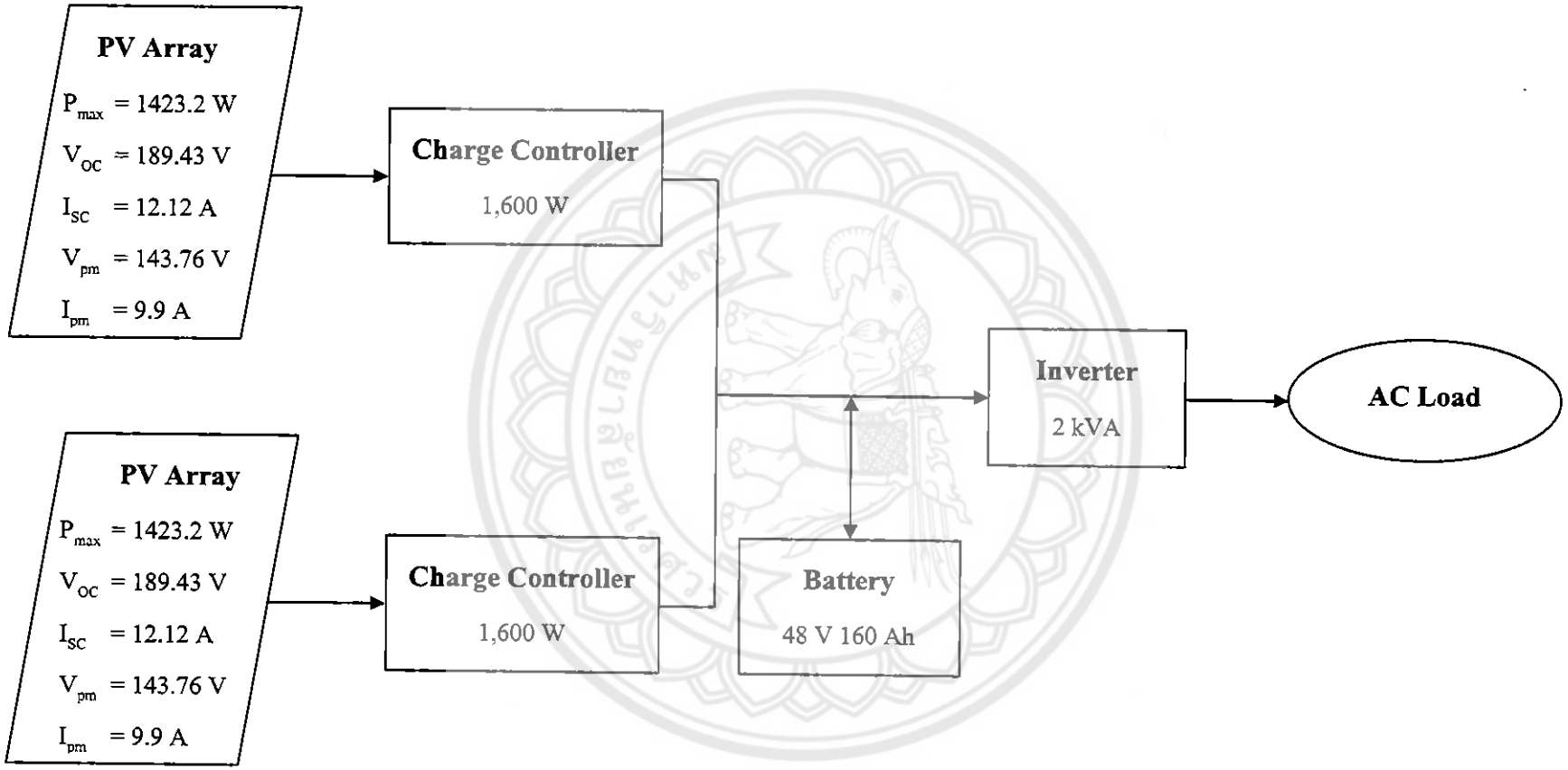
โดยที่ P_{PV} หมายถึง กำลังผลิตของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)

PSH หมายถึง จำนวนชั่วโมงที่พื้นที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงที่สุดในหนึ่งวัน (Hour)

$R.F.$ หมายถึง ค่าตัวประกอบลดทอนพิกัดกำลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการคำนวณพบว่า ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในพื้นที่ตัวอย่างสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 10.886 กิโลวัตต์ - ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งเพียงพอกับที่ระบบต้องการ

เมื่อออกแบบระบบและกำหนดอุปกรณ์ในระบบแล้ว สามารถแสดงแผนผังระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.85 กิโลวัตต์ ได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนผังระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.85 กิโลวัตต์

3.4 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

รูปแบบของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีนี้ เป็นระบบแบบอิสระ (PV Stand Alone System) มีขนาดของกำลังผลิตติดตั้งประมาณ 2.85 กิโลวัตต์ โดยที่การติดตั้งสามารถจำแนกออกเป็น 3 ส่วน คือ การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบและการเดินสายไฟเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ

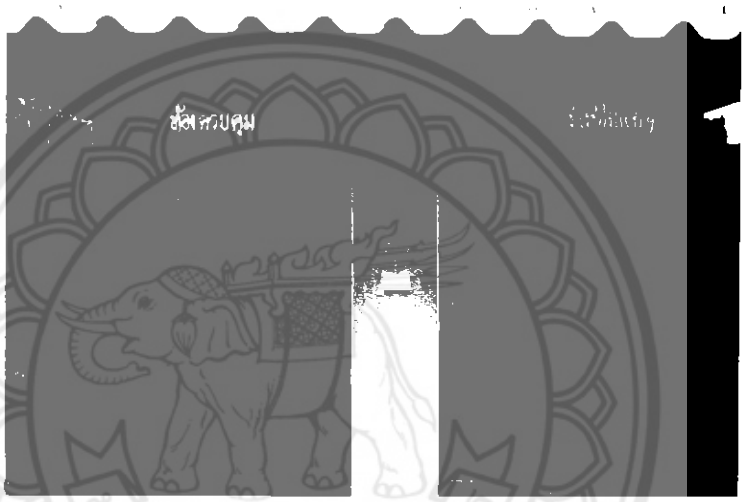
3.4.1 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น พื้นที่ติดตั้งต้องมีลักษณะโล่ง และไม่มีสิ่งปลูกสร้างมาบดบังแสงอาทิตย์ จากนั้นนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจัดวางบนฐานที่มีโครงสร้างมั่นคงและแข็งแรง หันระนาบเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ ปรับมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดให้มีค่าเท่ากับละติจูดของพื้นที่ติดตั้ง ซึ่งตำแหน่งละติจูดของโรงเรียนบ้านเนินทอง ตำบลบ้านดง อำเภอชาติตระการ จังหวัดพิษณุโลกคือ 17.19 องศา เนื่องจากทำให้ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มากระทบกับพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุด ส่งผลให้การผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมรายปีมีค่ามากที่สุด จากนั้นจึงทำการล้อมรั้วเพื่อป้องกันอันตรายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากสิ่งรบกวนภายนอก เช่น สุนัข หรือเด็กที่อาจรู้เท่าไม่ถึงการณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

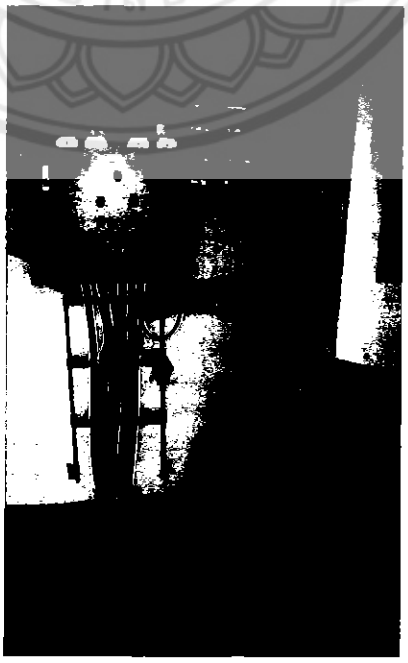
รูปที่ 3.6 ลักษณะของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.4.2 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบ

อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบประกอบด้วย เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และตู้ควบคุมการทำงานของระบบอัตโนมัติ โดยที่อุปกรณ์เหล่านี้จะถูกติดตั้งในห้องควบคุมที่มีอุณหภูมิและความชื้นต่ำ ปราศจากฝุ่น รวมถึงใกล้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะเป็นการช่วยลดความยาวของสายไฟที่ใช้และลดปัญหาแรงดันตกลงได้ ทั้งยังต้องมีการการหมุนเวียนของอากาศและการระบายความร้อนในสถานที่ติดตั้งที่ดี ซึ่งลักษณะของห้องควบคุม และลักษณะของการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบนั้นแสดงดังรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 ลักษณะของห้องควบคุม (ห้องซ้าย)



รูปที่ 3.8 ลักษณะของการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบ

3.4.3 การเดินสายไฟเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบครบทุกอย่างแล้ว จึงทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบเข้าด้วยกันเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ โดยที่ขั้นตอนของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.4.3.1 การเดินสายไฟจากเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ไปยังแบตเตอรี่

การเดินสายไฟจากเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ไปยังแบตเตอรี่นั้น ใช้สายไฟ THW ขนาด 2 x 4 sq.mm. เดินในอากาศโดยต่อขั้วบวก (+) ของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เข้ากับขั้วบวก (+) ของแบตเตอรี่ และต่อขั้วลบ (-) ของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เข้ากับขั้วลบ (-) ของแบตเตอรี่ซึ่งการเดินสายไฟในส่วนนี้จะเป็นการเดินสายไฟในห้องควบคุมสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือไม่ให้สายไฟหักมุม และตำแหน่งของอุปกรณ์ควรอยู่ใกล้กันเพื่อความสะดวกในการเดินสายไฟ

3.4.3.2 การเดินสายไฟจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่

การเดินสายไฟจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่นั้น ใช้สายไฟ NYY ขนาด 2 x 2.5 sq.mm. เดินในท่อร้อยสายชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE) ฝังดินเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน โดยต่อขั้วบวก (+) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับขั้วบวก (+) ของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่และต่อขั้วลบ (-) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับขั้วลบ (-) ของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือไม่ให้สายไฟในกล่องเชื่อมสายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เกิดความเครียดจากแรงดึง และไม่ให้สายไฟหักมุมขณะเดินสายเข้าในห้องควบคุม ซึ่งสายไฟที่ใช้ควรจะมีขนาดใหญ่พอที่จะสามารถทนค่ากระแสใช้งานของระบบได้ และมีระยะสั้นเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อลดปัญหาแรงดันตก

3.4.3.3 การเดินสายไฟจากแบตเตอรี่ไปยังเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

การเดินสายไฟจากแบตเตอรี่ไปยังเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้านั้น ใช้สายไฟ THW ขนาด 2 x 10 sq.mm. โดยต่อขั้วบวก (+) ของแบตเตอรี่เข้ากับขั้วบวก (+) ของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และต่อขั้วลบ (-) ของแบตเตอรี่เข้ากับขั้วลบ (-) ของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ซึ่งการเดินสายไฟในส่วนนี้จะเป็นการเดินสายไฟในห้องควบคุมสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ไม่ให้สายไฟหักมุมเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน และตำแหน่งของอุปกรณ์ควรอยู่ใกล้กันเพื่อความสะดวกในการเดินสายไฟ

3.4.3.4 การเดินสายไฟจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไปยังตู้ควบคุมการทำงานอัตโนมัติ

การเดินสายไฟจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไปยังตู้ควบคุมการทำงานอัตโนมัตินั้น ใช้สายไฟ THW ขนาด 2 x 2.5 sq.mm. เดินในท่อ PVC เกาะผนังโดยต่อสายไฟออกจากด้านเอาท์พุตของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไปยังด้านอินพุตของตู้ควบคุมการทำงานอัตโนมัติ เพื่อจัดการพลังงานที่ผลิตได้ไปใช้อย่างเป็นระบบตามความต้องการในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม

3.4.3.5 การเดินสายไฟจากตู้ควบคุมการทำงานอัตโนมัติไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ

สำหรับการเดินสายไฟในส่วนนี้นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของสถานที่ติดตั้งของเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น ติดตั้งในอาคาร หรือติดตั้งนอกอาคาร และชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันออกไป เป็นต้น ดังนั้นการเลือกชนิดของสาย ขนาดสาย และท่อร้อยสายไฟ จึงควรเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ตามมาตรฐานที่มีกำหนดไว้อย่างถูกต้องเพื่อทำให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน

3.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงใช้งานระบบเพื่อส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปยังโหลด ซึ่งความต้องการใช้พลังงานของโหลดในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวันไม่เท่ากัน และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการใช้งานระบบดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ โดยลักษณะของการจัดเก็บข้อมูลจะเป็นตารางบันทึกค่าทางไฟฟ้าของระบบ ทุก 5 นาทีใน 1 วัน เป็นเวลา 2 วัน ตัวอย่างของตารางบันทึกค่าทางไฟฟ้าของระบบในช่วงเวลา 1 วัน แสดงดังตารางที่ 3.2 โดยมีรายละเอียดของการวัดค่าต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

3.5.1 การวัดค่าพลังงานที่ได้จากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าของระบบ

3.5.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์

ทำการวัดค่าแรงดันและค่ากระแสไฟฟ้า โดยใช้เครื่องวัดที่ติดตั้งไว้ภายในห้องควบคุมเพื่อวิเคราะห์หาค่าพลังงานไฟฟ้าใน 1 วันที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (แสดงตำแหน่งเครื่องวัด V_{DC1} A_{DC1} V_{DC2} และ A_{DC2} ในรูปที่ 3.9)

3.5.1.2 แบตเตอรี่

ทำการวัดค่าแรงดันและค่ากระแสไฟฟ้า โดยใช้เครื่องวัดที่ติดตั้งไว้ภายในห้องควบคุมเพื่อวิเคราะห์หาค่าพลังงานใน 1 วันที่จ่ายออกจากแบตเตอรี่ (แสดงตำแหน่งเครื่องวัด V_{DC3} และ A_{DC5} ในรูปที่ 3.9)

3.5.2 การวัดค่าพลังงานที่ได้จากส่วนควบคุมของระบบ

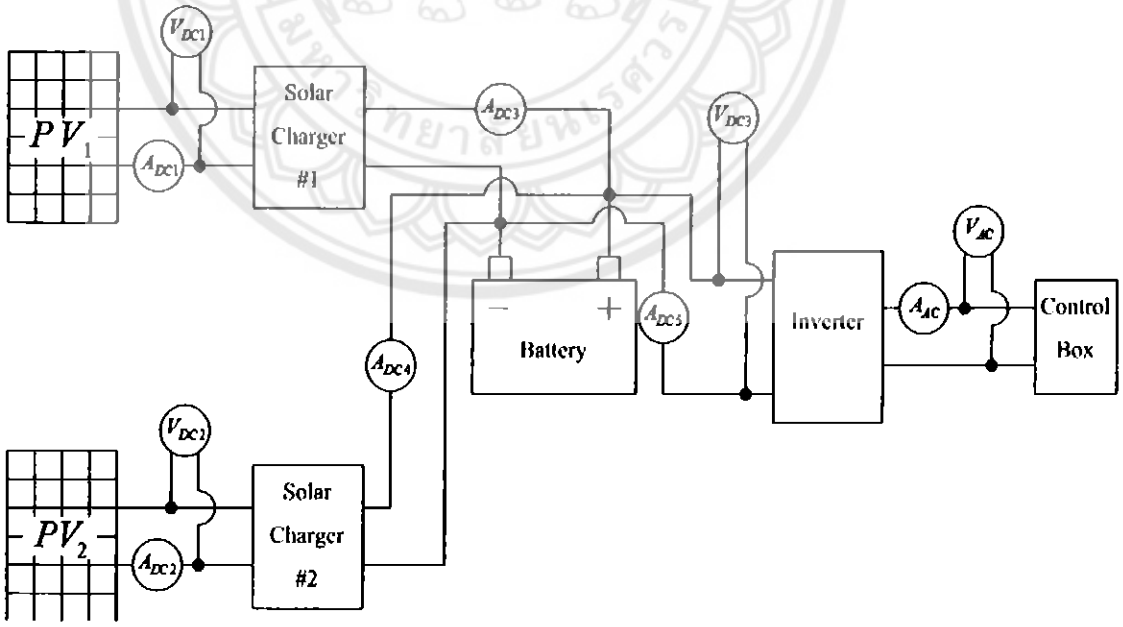
3.5.2.1 เครื่องควบคุมการประจุ

มีหน้าที่ควบคุมการประจุไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังแบตเตอรี่ โดยจะวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ด้านออกของเครื่องควบคุมการประจุ ซึ่งใช้เครื่องวัดที่ติดตั้งไว้ภายในห้องควบคุมเพื่อวิเคราะห์หาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (แสดงตำแหน่งเครื่องวัด V_{DC3} A_{DC3} และ A_{DC4} ในรูปที่ 3.9)

3.5.3 การวัดค่าการใช้พลังงานของระบบ

3.5.3.1 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยทำการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ระบบไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเข้าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า โดยใช้เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรงที่ติดตั้งไว้ภายในห้องควบคุม เก็บค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า (แสดงตำแหน่งเครื่องวัด V_{DC3} และ A_{DC5} ในรูปที่ 3.9) รวมทั้งวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (220 V_{AC}) ทางด้านขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า โดยใช้เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับที่ติดตั้งไว้ภายในห้องควบคุม (แสดงตำแหน่งเครื่องวัด V_{AC} และ A_{AC} ในรูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.9 แผนผังและตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดค่าทางไฟฟ้าของระบบ

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างตารางบันทึกค่าทางไฟฟ้าของระบบ (โดยย่อ)

วันที่..... เดือน..... พ.ศ. 2555 สภาพอากาศ.....										
เวลา (น.)	PV1		PV2		Charger1	Charger2	Battery		Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
0:00										
0:05										
0:10										
0:15										
0:20										
0:25										
0:30										
0:35										
0:40										
0:45										
0:50										
↓										
23:35										
23:40										
23:45										
23:50										
23:55										

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

หลังจากทำการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.85 กิโลวัตต์ ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกติดตั้งพร้อมอุปกรณ์ในระบบ ติดตั้งโหลดไฟฟ้าของระบบ ติดตั้งเครื่องวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบ และนำค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้ในขณะระบบทำงานปกติ มาวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบและประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ ซึ่งผลการดำเนินงานในส่วนต่าง ๆ มีดังนี้

4.1 ผลการติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

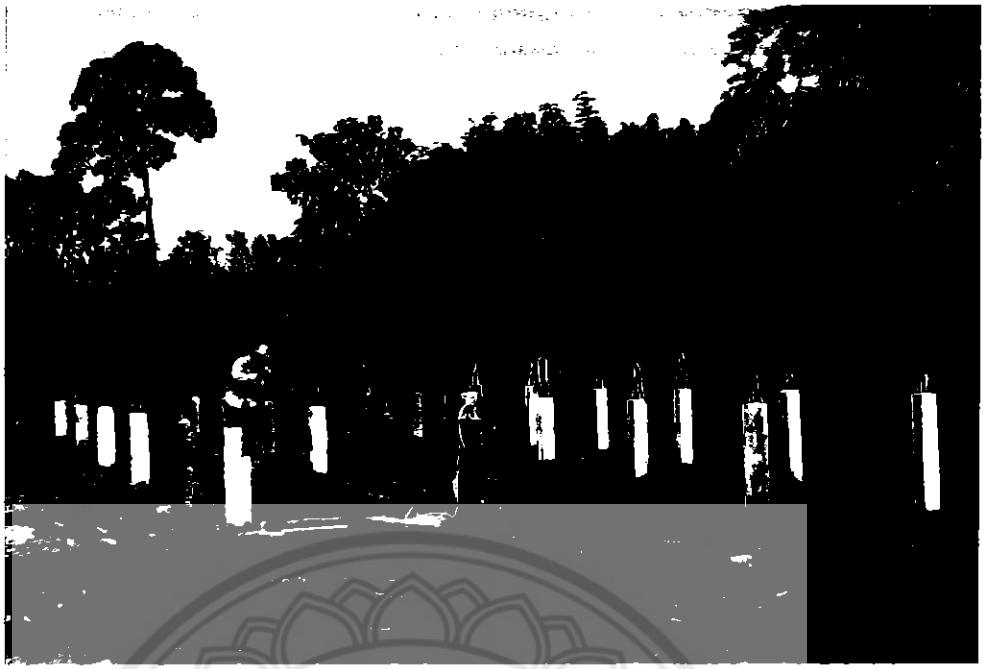
การติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามที่ได้ออกแบบไว้นั้น ติดตั้งโดยยึดชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับฐานโครงเหล็กซึ่งทำมุมเอียง 17.19 องศา กับแนวระดับ และหันระนาบเอียงไปทางทิศใต้ ส่วนพื้นที่นั้นควรเลือกพื้นที่ที่รับแสงอาทิตย์ได้อย่างเต็มที่ ไม่มีเงาของต้นไม้ใหญ่หรือตึกมาบัง ในกรณีนี้เลือกพื้นที่บริเวณหลังโรงเรียนซึ่งเป็นพื้นที่ลาดเอียง จึงต้องมีการไถปรับหน้าดินให้เท่ากัน แสดงดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 การปรับพื้นที่สำหรับติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หลังจากทำการไถปรับหน้าดินเรียนร้อยแล้ว จะต้องมีการขุดหลุม ขนาดกว้าง 0.6 เมตร ยาว 0.6 เมตร และลึก 0.8 เมตร สำหรับฝังตอม่อเสาปูน พร้อมทั้งเทหินและปูนลงไปด้วยเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของฐานชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากดินบริเวณนี้เป็นดินอ่อน หากไม่ทำการฝังตอม่อลึกลงในดิน จะเสี่ยงต่อการทรุดตัวของฐานติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4.2

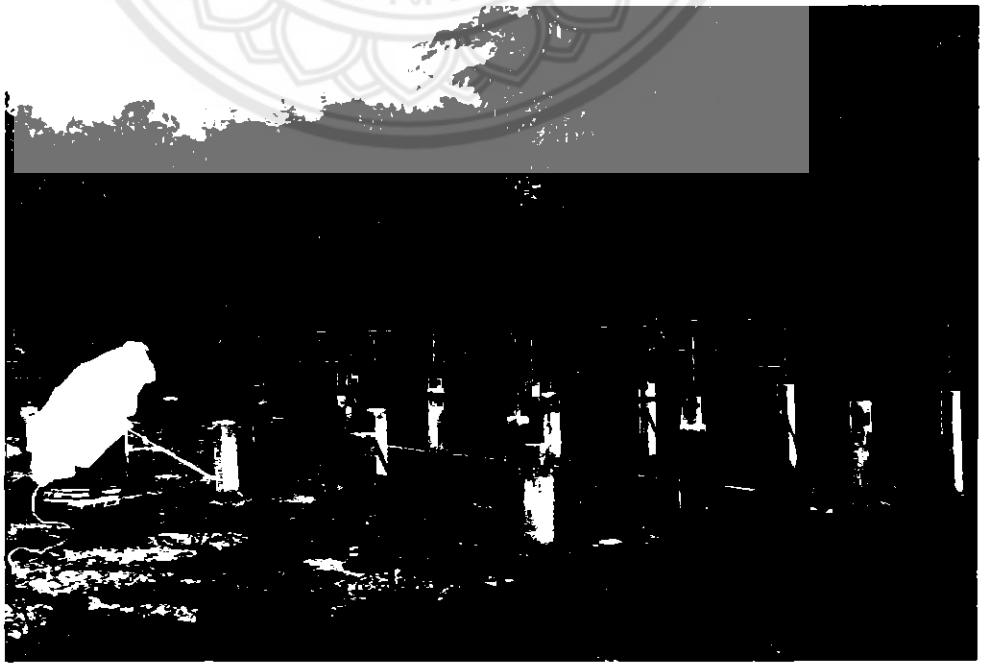
รูปที่ 4.2 หลุมสำหรับฝังตอม่อเสาปูน

จากที่ได้ออกแบบไว้ ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 60 แผง จะติดตั้งโดยแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดละ 30 แผง และใช้เสาปูนที่มีขนาด 6 x 6 นิ้ว สูง 1 เมตร จำนวน 24 ฝังลงดินก่อนที่จะเชื่อมโครงเหล็กเพื่อรับน้ำหนักของโครงเหล็กและแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเสาปูนแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดละ 12 ต้น ซึ่งเมื่อทำการฝังเสาปูนลงในหลุมที่ได้เตรียมไว้แล้ว จะต้องเทปูนทับตอม่อและรอให้ปูนแห้ง ใช้เวลาประมาณ 1 วัน หลังจากนั้นกลบและอัดดินให้แน่นเพื่อความมั่นคงของเสาและฐานติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงการติดตั้งเสาปูนได้ดังรูปที่ 4.3



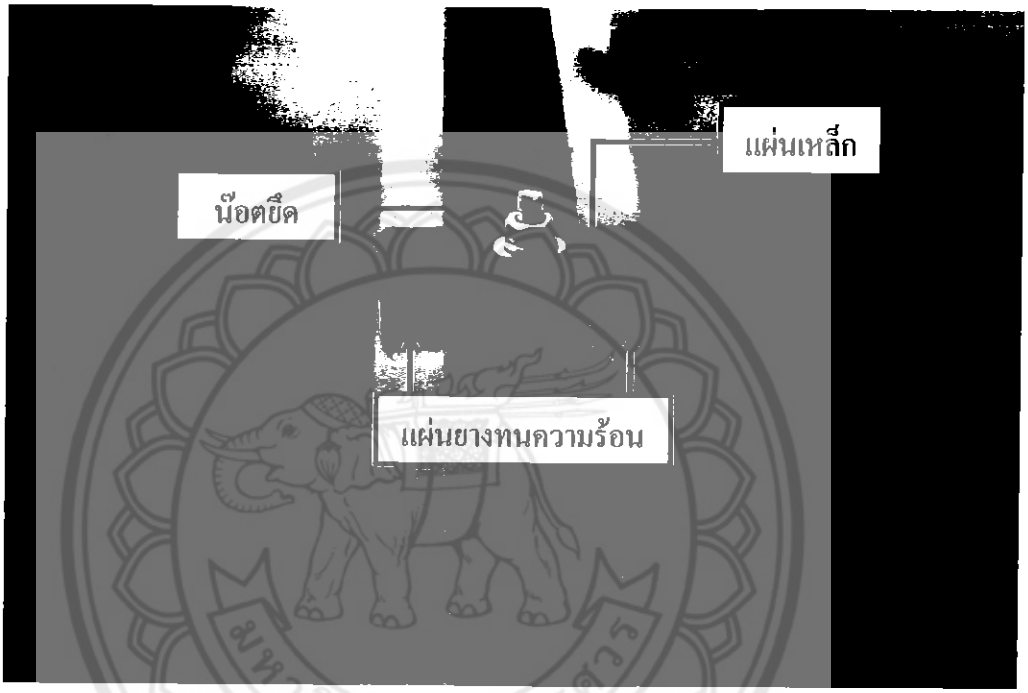
รูปที่ 4.3 เสาปูนสำหรับยึดโครงเหล็กรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หลังจากปูนบริเวณตอม่อฐานเสาปูนแห้งและมีความแข็งแรงเพียงพอแล้ว จึงทำการเชื่อมโครงเหล็กลงบนเสาปูนเพื่อรองรับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยให้โครงเหล็กนี้ทำมุมเอียง 17.19 องศา กับแนวระดับ และหันระนาบเอียงไปทางทิศใต้ตามที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อจะใช้ในการติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในลำดับต่อไป แสดงฐานโครงเหล็กสำหรับติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 4.4



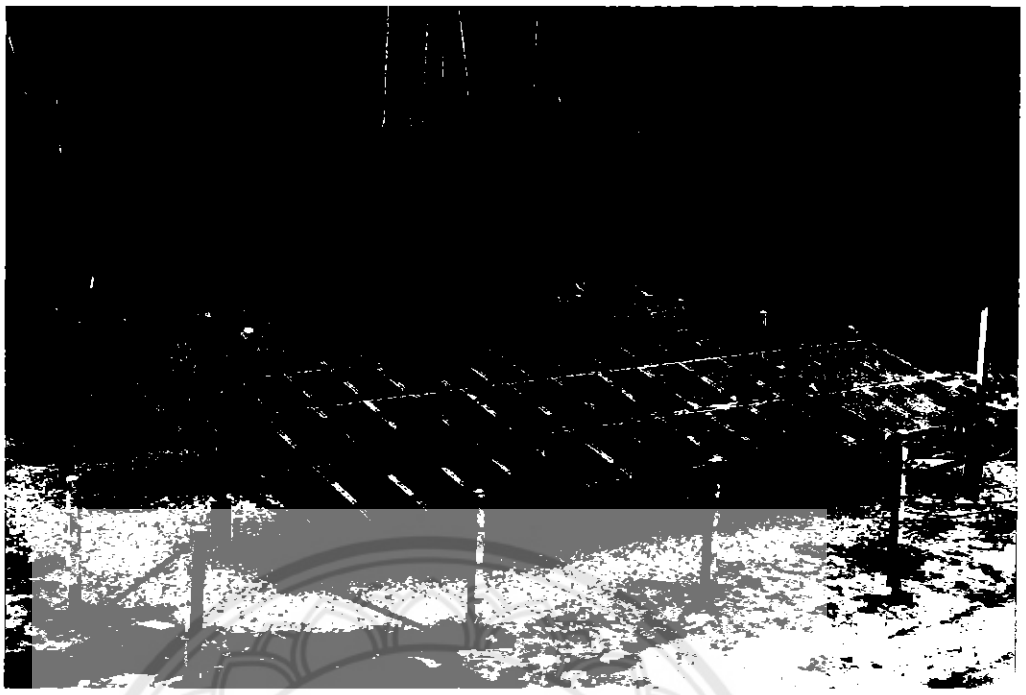
รูปที่ 4.4 ฐานโครงเหล็กสำหรับติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับการยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงเข้ากับฐานโครงเหล็กนั้น ได้ใช้วิธีการนำยางที่มีคุณสมบัติทนความร้อนและมีความยืดหยุ่นได้ดี มาเป็นตัวประกบที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการยึดติดที่ดีและป้องกันการชำรุดเสียหายต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ถัดมาทำการประกบด้วยแผ่นเหล็ก ขนาด 2 x 2.5 นิ้ว ซึ่งได้เจาะรูสำหรับขันน็อตไว้แล้ว และทำการขันน็อตเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของการจับยึด แสดงตัวยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับโครงเหล็กได้ดังรูปที่ 4.5



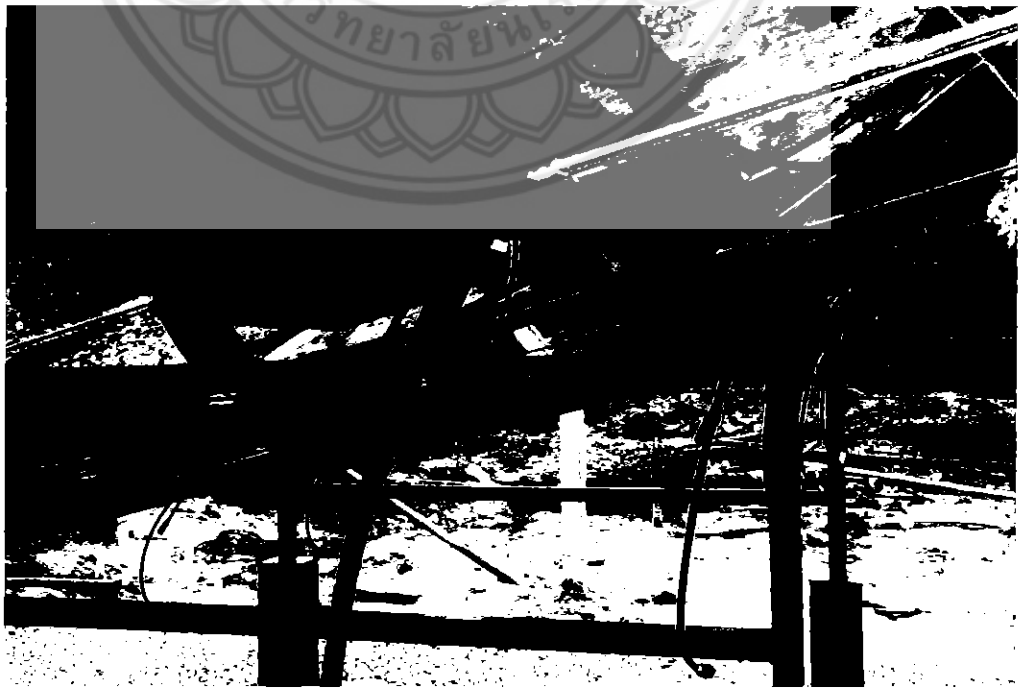
รูปที่ 4.5 ตัวยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับโครงเหล็ก

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับโครงเหล็กนั้น ทำได้โดยการคลายตัวจับยึดให้หลวมไว้ก่อน แล้วค่อย ๆ วางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงไประหว่างแผ่นยาง จนครบ 4 ด้าน จากนั้นขันน็อตของตัวจับยึดทั้ง 4 ด้าน ให้แน่นพอดี ไม่แน่นเกินไปหรือไม่หลวมเกินไป เพื่อให้สามารถยึดติดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับโครงเหล็กได้โดยไม่เกิดความเสียหายต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อทำการยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 60 แผงเข้ากับฐานโครงเหล็กเรียบร้อยแล้ว จะได้ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชุด ชุดละ 30 แผง ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 60 แผง

ในการติดตั้งระบบจ่ายไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องมีการเชื่อมต่อสายไฟในแต่ละแผงเข้าด้วยกัน เพื่อเป็นการป้องกันสิ่งต่าง ๆ ที่สามารถทำให้จุดเชื่อมต่อเสียหาย ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อระบบโดยรวม เช่น สัตว์มากัดแทะ หรือน้ำที่เกิดขึ้นจากฝน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องติดตั้งกล่องป้องกันจุดเชื่อมต่อสายไฟ ดังรูปที่ 4.7 และทำการเชื่อมต่อสายไฟภายในกล่องนี้



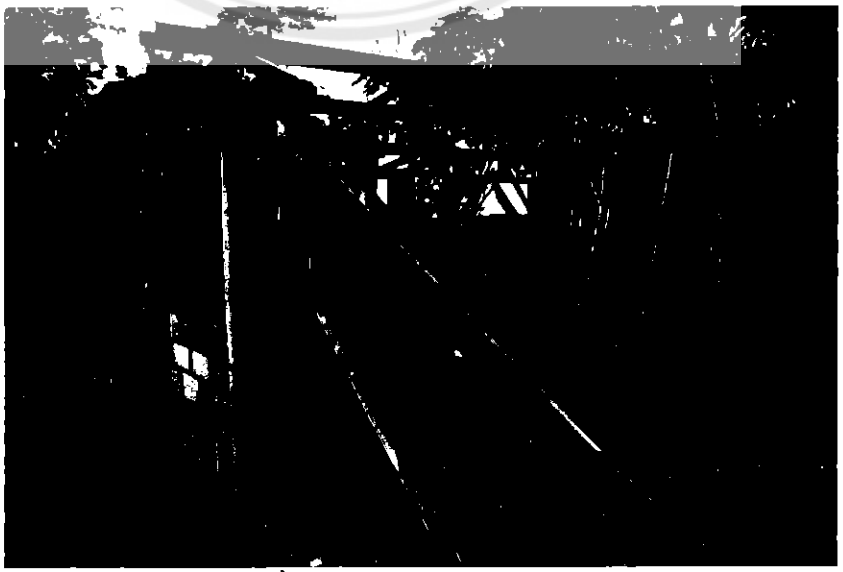
รูปที่ 4.7 กล่องป้องกันจุดเชื่อมต่อสายไฟ

4.2 ผลการติดตั้งห้องควบคุมและอุปกรณ์ในระบบ

เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.85 กิโลวัตต์ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ เพื่อให้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับให้กับโหลดทำงานได้ตามปกติ ดังนั้นจึงต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้ไว้ในห้องควบคุม เพื่อให้ใช้งานสะดวก ง่ายต่อการบำรุงรักษาและปลอดภัยจากสิ่งรบกวนภายนอก การสร้างห้องควบคุมนั้น มีลักษณะการออกแบบคล้ายกับอาคารทั่ว ๆ ไป คือต้องมีการวางผังและขุดหลุมสำหรับฝังตอม่อเสาปูนเพื่อเสริมความมั่นคงให้กับฐานและเสาห้องควบคุม แสดงการวางผังและหลุมสำหรับฝังตอม่อเสาปูนดังรูปที่ 4.8

รูปที่ 4.8 การวางผังและหลุมสำหรับฝังตอม่อเสาปูนของห้องควบคุม

หลังจากวางผังและขุดหลุมสำหรับฝังตอม่อเสาปูนของห้องควบคุมแล้ว ทำการตั้งเสาปูนก่ออิฐทำผนัง ตั้งวงกบประตู และเชื่อมโครงเหล็กรองรับแผ่นกระเบื้องมุงหลังคา แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การก่อสร้างห้องควบคุม

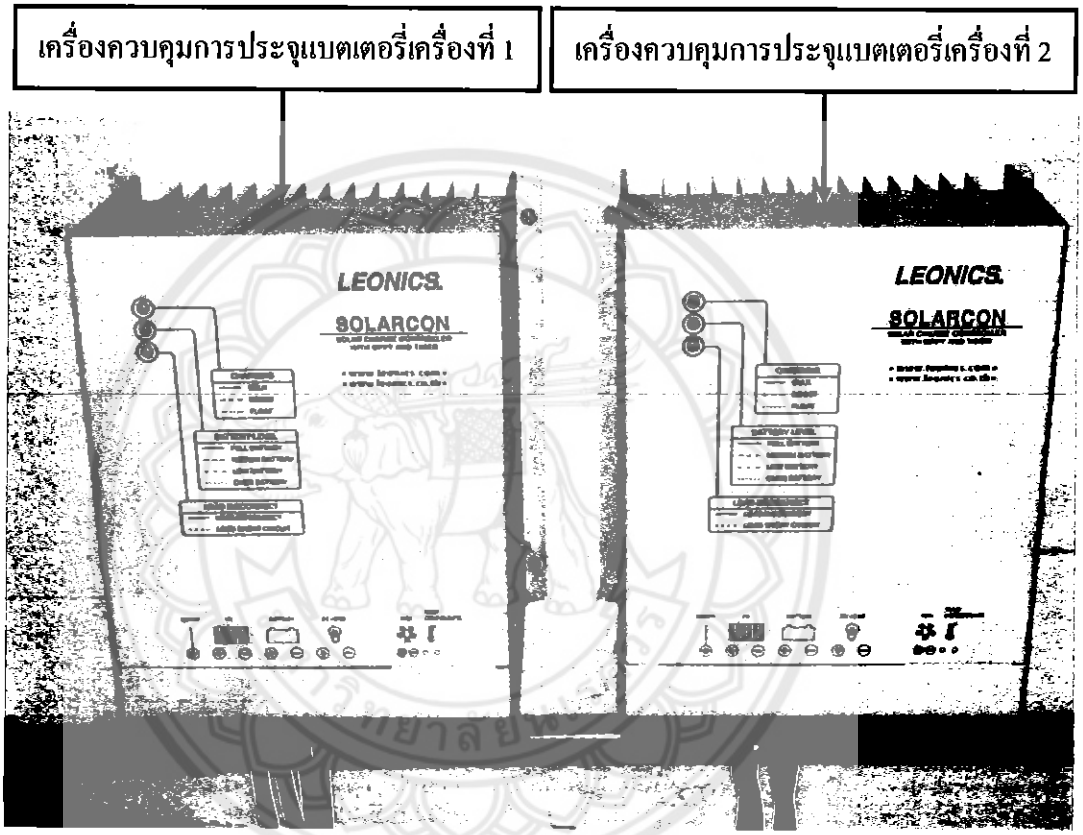
เมื่อก่ออิฐและขึ้นโครงหลังคาเรียบร้อยแล้ว ทำการมุงกระเบื้องหลังคา เทพื้นปูน ปูกระเบื้องที่พื้น ติดตั้งประตู และทาสีห้องควบคุมจนเสร็จสิ้น จะได้ห้องควบคุมตามที่ออกแบบไว้ โดยที่มีห้องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกรอยู่ติดกัน จากนั้นทำการติดป้ายแสดงห้องควบคุม และห้องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร โดยปกติแล้วจะทำการล็อคประตูห้องควบคุมไว้เพื่อป้องกันการรบกวนจากภายนอก ส่วนห้องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกรนั้นจะเปิดไว้ในช่วงกลางวันเพื่อให้เกษตรกรได้เข้ามาอัดประจุแบตเตอรี่ได้ แสดงห้องควบคุมและห้องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร ดังรูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10 ห้องควบคุม (ซ้าย) และห้องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร (ขวา)

ห้องควบคุมนี้อยู่บริเวณด้านหลังโรงเรียน ซึ่งอยู่บริเวณเดียวกันกับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงทำให้ระยะทางของสายไฟจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีระยะสั้น เป็นการประหยัดงบประมาณและลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในสายส่ง ภายในห้องควบคุมที่ทำการออกแบบไว้ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.2.1 เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่

จากการออกแบบนั้น เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ถูกเลือกใช้รุ่น SOLARCON SPT-4830 จากบริษัท ลีโอนิคส์ จำกัด ซึ่งมีพิกัดกำลังขนาด 1,600 วัตต์ จำนวน 2 เครื่อง ติดตั้งยึดกับผนังปูนภายในห้องควบคุม โดยใช้เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ 1 เครื่อง ต่อชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 ชุด ซึ่งแสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ได้ดังรูปที่ 4.11

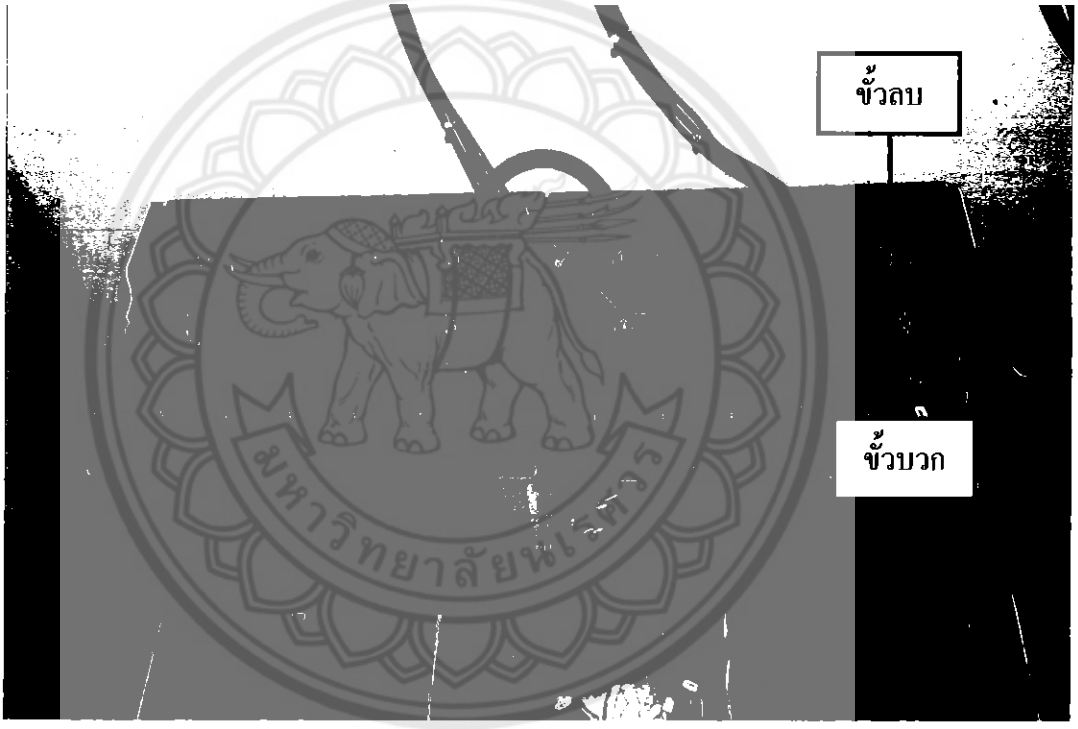


รูปที่ 4.11 เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ขนาด 1,600 วัตต์ จำนวน 2 เครื่อง

หลังจากติดตั้งเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ทั้ง 2 เครื่องแล้ว ทำการต่อสายไฟเพื่อใช้งานร่วมกับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยต่อสายไฟเชื่อมขั้วบวกของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับขั้วบวกทางด้านขาเข้าของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และต่อสายไฟเชื่อมขั้วลบของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับขั้วลบทางด้านขาเข้าของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และทำการเชื่อมต่อสายไฟจากขาออกของควบคุมการประจุแบตเตอรี่ไฟยังขั้วของแบตเตอรี่เพื่อการประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในส่วนต่อไป

4.2.2 แบตเตอรี่

จากการออกแบบนั้น แบตเตอรี่ได้ถูกเลือกใช้ในรุ่น EBB 160 จากบริษัท ไทยสโตเรจแบตเตอรี่ จำกัด (มหาชน) ขนาด 12 โวลต์ 125 แอมแปร์ - ชั่วโมง จำนวน 4 ลูกต่ออนุกรมกันโดยติดตั้งไว้บนแท่นไม้สูง 10 เซนติเมตรเพื่อความเป็นระเบียบและง่ายต่อการเคลื่อนย้าย จากนั้นทำการต่อสายไฟเชื่อมขั้วบวกของแบตเตอรี่เข้ากับขั้วบวกทางด้านขาออกของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และต่อสายไฟเชื่อมขั้วลบของแบตเตอรี่เข้ากับขั้วลบทางด้านขาออกของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ เพื่อรับพลังงานไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่จากเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แสดงลักษณะการติดตั้งแบตเตอรี่ได้ดังรูปที่ 4.12

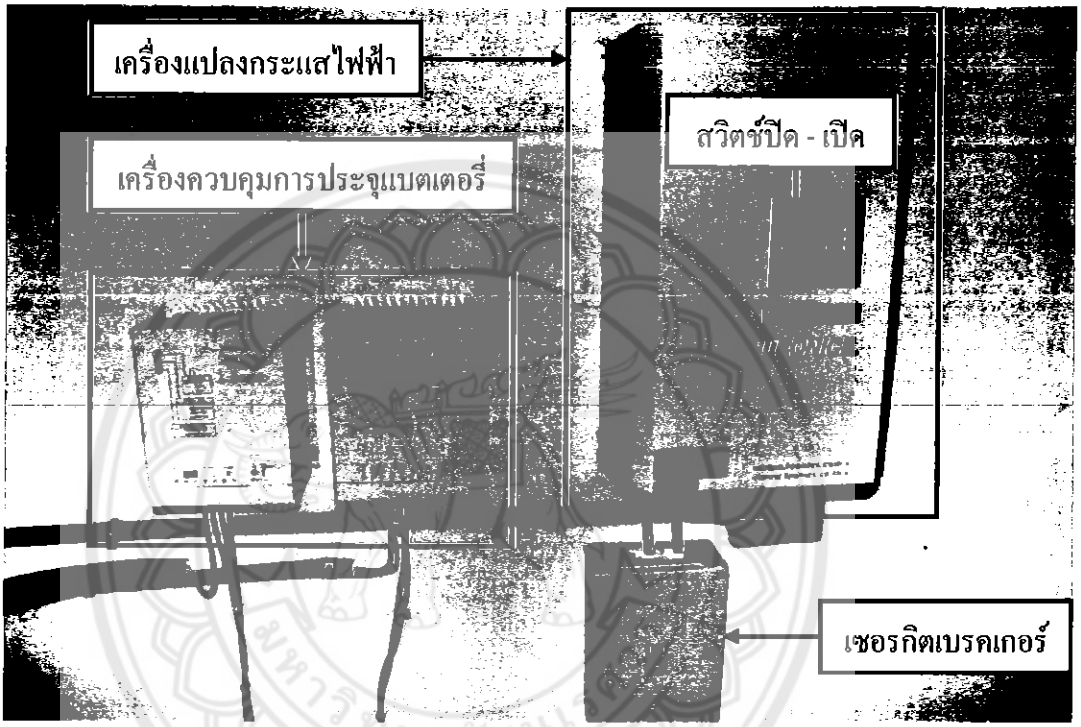


รูปที่ 4.12 แบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ 125 แอมแปร์-ชั่วโมง จำนวน 4 ลูก ต่ออนุกรมกัน

หลังจากติดตั้งแบตเตอรี่แล้ว ทำการต่อสายไฟเพื่อใช้งานร่วมกับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ และส่งจ่ายพลังงานให้กับภาระไฟฟ้าของระบบต่อไป โดยการเชื่อมต่อสายไฟให้แบตเตอรี่จ่ายไฟให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้านั้น ทำโดยการต่อสายไฟเชื่อมขั้วบวกของแบตเตอรี่เข้ากับขั้วบวกทางด้านขาเข้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และต่อสายไฟเชื่อมขั้วลบของแบตเตอรี่เข้ากับขั้วลบทางด้านขาเข้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

4.2.3 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

จากการออกแบบนั้น เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าได้ถูกเลือกใช้ในรุ่น APOLLO S-216C จาก บริษัท ลีโอเลคทรอนิคส์ จำกัด ซึ่งมีพิกัดกำลัง 2 กิโลโวลต์ - แอมแปร์ ติดตั้งโดยการยึดติดกับผนังปูนบริเวณใกล้เคียงกับเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ภายในห้องควบคุม แสดงลักษณะการติดตั้งเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 4.13

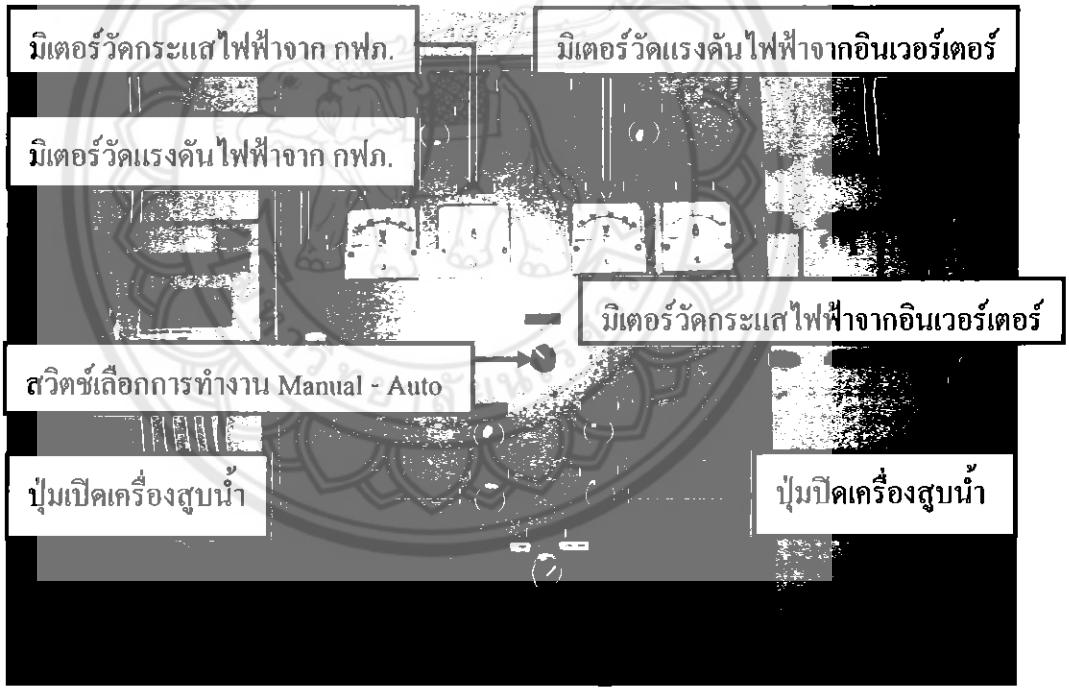


รูปที่ 4.13 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ขนาด 2 กิโลโวลต์ – แอมแปร์

หลังจากติดตั้งเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแล้ว ทำการต่อสายไฟจากแบตเตอรี่ผ่านเซอร์กิตเบรคเกอร์เข้าสู่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า โดยต่อสายไฟเชื่อมขั้วบวกของแบตเตอรี่เข้ากับขั้วบวกทางด้านขาเข้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และต่อสายไฟเชื่อมขั้วลบของแบตเตอรี่เข้ากับขั้วลบทางด้านขาเข้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า จากนั้นต่อสายไฟเชื่อมขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ตู้ควบคุมการทำงานของระบบ เพื่อส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไฟยังภาระไฟฟ้าของระบบต่อไป

4.2.4 ตู้ควบคุมการทำงานของระบบ

ตู้ควบคุมการทำงานของระบบถือเป็นส่วนสำคัญ เนื่องจากเป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดแบบอัตโนมัติ สามารถควบคุมให้จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าได้ แม้ในกรณีที่ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ จะมีการเลือกรับพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแทน ตู้ควบคุมได้ถูกออกแบบให้การทำงานของระบบประกอบด้วย มิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ และมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ ตู้ควบคุมนี้ยังสามารถควบคุมการเปิดและปิดภาระไฟฟ้าของระบบแบบอัตโนมัติ นอกจากนั้นยังสามารถปรับการควบคุมเครื่องสูบน้ำให้เป็นโหมดควบคุมด้วยตนเอง (Manual) ได้อีกด้วย โดยสามารถกดปุ่มเปิดและปิดเครื่องสูบน้ำได้ด้วยตนเองที่หน้าตู้ควบคุม แสดงตู้ควบคุมการทำงานของระบบได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ตู้ควบคุมการทำงานของระบบ

4.3 ผลการติดตั้งภาระไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

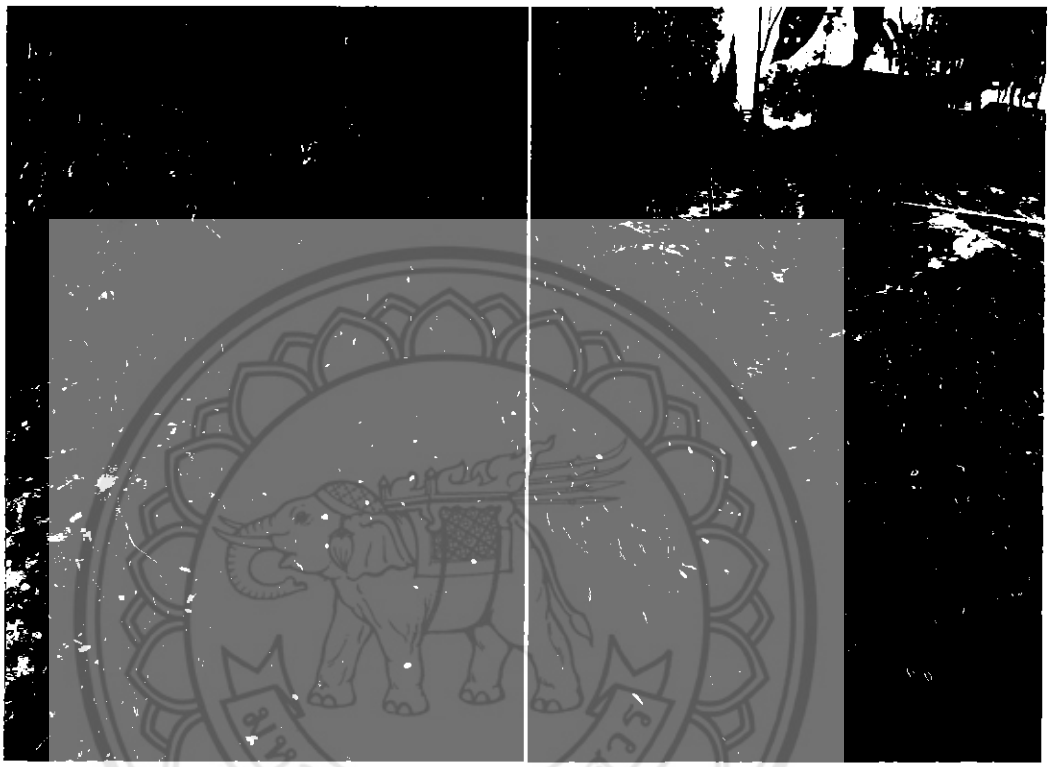
เมื่อทำการติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบในห้องควบคุมเพื่อผลิตและส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังภาระไฟฟ้าต่าง ๆ ในระบบเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการติดตั้งภาระไฟฟ้าต่าง ๆ ของระบบซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องสูบน้ำ เครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ สถานีอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร และระบบส่องสว่างนอกอาคารในเวลากลางคืน แสดงผลการติดตั้งภาระไฟฟ้าต่าง ๆ ของระบบดังต่อไปนี้

4.3.1 เครื่องสูบน้ำ

จากการออกแบบ เครื่องสูบน้ำแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Pump) ได้ถูกเลือกใช้เพื่อขับมอเตอร์ 1 เฟส 1 แรงม้า โดยสูบน้ำเข้าถังเก็บน้ำของโรงเรียนและใช้ในโครงการเกษตรเพื่ออาหารกลางวัน ซึ่งติดตั้งบริเวณบ่อน้ำหลังโรงเรียน และสร้างโครงเหล็กมุงหลังคาเพื่อป้องอันอันตรายจากภายนอกและป้องกันน้ำฝนที่จะส่งผลเสียต่อระบบไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องสูบน้ำได้ดังรูปที่ 4.15

รูปที่ 4.15 ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องสูบน้ำ

ในการติดตั้งเครื่องสูบน้ำบริเวณบ่อน้ำหลังโรงเรียนนั้น มีระยะห่างไกลจากห้องควบคุมมาก จึงจำเป็นต้องขุดแนวฝังท่อสายไฟเพื่อส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องสูบน้ำ ดังรูปที่ 4.16 (ก) และหลังจากเครื่องสูบน้ำทำการสูบน้ำขึ้นมาจากบ่อน้ำแล้ว เครื่องสูบน้ำจะปล่อยน้ำออกไปตามท่อน้ำเพื่อขึ้นไปสู่ถังเก็บน้ำต่อไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องขุดแนวฝังท่อน้ำ ดังรูปที่ 4.16 (ข)



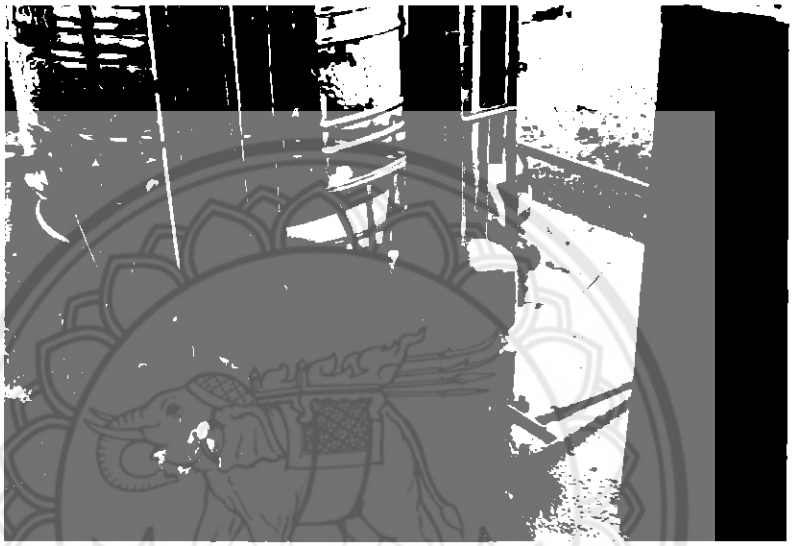
(ก) แนวฝังท่อสายไฟไปยังเครื่องสูบน้ำ (ข) แนวฝังท่อน้ำไปยังถังเก็บน้ำ

รูปที่ 4.16 แนวฝังท่อสายไฟและท่อน้ำสำหรับเครื่องสูบน้ำ

หลังจากขุดแนวฝังท่อสายไฟแล้ว ทำการเดินสายไฟจากห้องควบคุมไปยังเครื่องสูบน้ำ โดยการร้อยท่อฝังดินตามแนวฝังท่อสายไฟ เพื่อส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องสูบน้ำได้ทำการสูบน้ำไปยังถังเก็บน้ำ และทำการฝังท่อส่งน้ำลงดินตามแนวฝังท่อน้ำไปยังถังเก็บน้ำของโรงเรียน

4.3.2 เครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ

เนื่องจากอาคารเรียนต่าง ๆ และห้องกรองน้ำดื่มมีสถานที่ตั้งอยู่ห่างกัน จึงทำให้ครูและนักเรียนไม่สะดวกที่จะต้องมาดื่มน้ำที่ห้องกรองน้ำดื่ม ซึ่งเป็นที่ดื่มน้ำเพียงที่เดียวของโรงเรียน ดังนั้น เครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติขนาด 80 วัตต์ จึงถูกเลือกใช้เพื่อสูบน้ำดื่มจากห้องกรองน้ำดื่ม และส่งจ่ายไปยังอาคารเรียนต่าง ๆ ของโรงเรียน แสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติได้ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 เครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ

เนื่องจากเครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติมีระยะห่างไกลจากห้องควบคุมมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องขุดแนวฝังท่อสายไฟเพื่อส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากห้องควบคุมมายังเครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ แสดงแนวฝังท่อสายไฟได้ดังรูปที่ 4.18

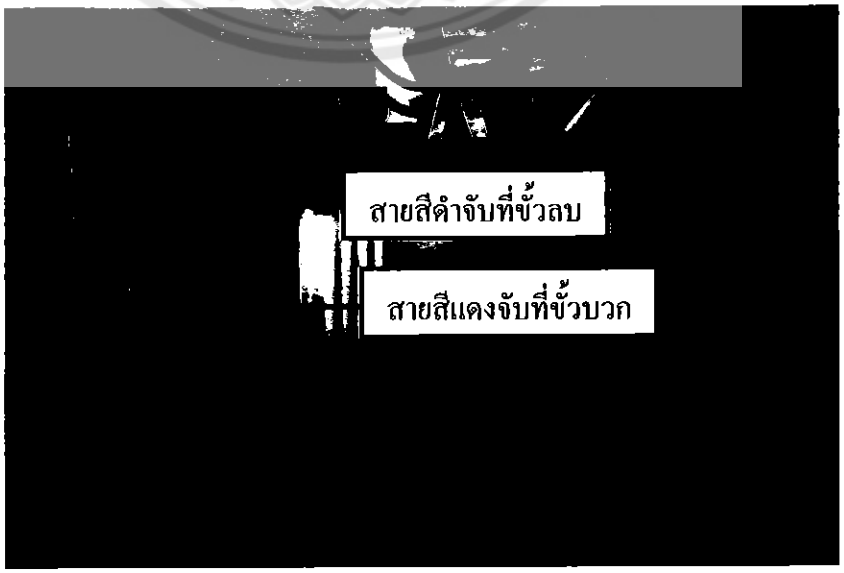
รูปที่ 4.18 แนวฝังท่อสายไฟไปยังเครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ

4.3.3 สถานีอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร

การติดตั้งเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร จะทำการติดตั้งไว้ในสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่งเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สามารถปรับระดับแรงดันในการอัดประจุได้ตั้งแต่ระดับ 6 โวลต์ ถึง 24 โวลต์ แสดงดังรูปที่ 4.19

รูปที่ 4.19 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร

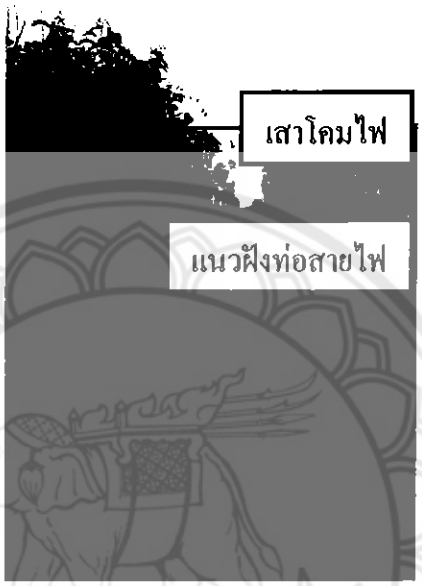
ส่วนวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่นั้น จะเป็นลักษณะการนำสายสีดำจากเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่มาจับที่ขั้วลบของแบตเตอรี่ที่ต้องการอัดประจุ และนำสายสีแดงจากเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่มาจับที่ขั้วบวกของแบตเตอรี่ที่ต้องการอัดประจุ จากนั้นทำการเปิดสวิตช์ของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่เพื่อทำการอัดประจุแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การอัดประจุแบตเตอรี่

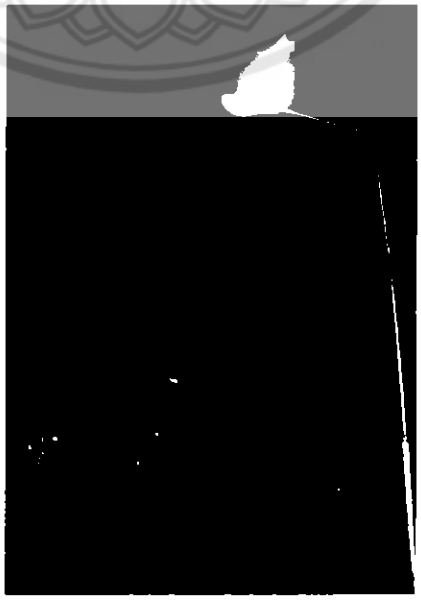
4.3.4 ระบบส่องสว่างนอกอาคารในเวลากลางคืน

การติดตั้งระบบส่องสว่างนอกอาคารในเวลากลางคืนนั้น ติดตั้งในลักษณะของโคมไฟถนน โดยใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดประหยัด ขนาด 23 วัตต์ จำนวน 15 หลอด ทำการติดตั้งบริเวณถนนรอบโรงเรียน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและลดความเสี่ยงต่อการเกิดการโจรกรรมทรัพย์สินของโรงเรียน โดยขั้นแรกทำการติดตั้งเสาโคมไฟและวางแนวฝังท่อสายไฟ ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ตำแหน่งติดตั้งเสาโคมไฟและแนวฝังท่อสายไฟ

หลังจากที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว จึงทดลองเปิดโคมไฟในเวลากลางคืนเพื่อทดสอบการใช้งาน ดังรูปที่ 4.22 พบว่ามีความสว่างที่เพียงพอต่อการป้องกันด้านความปลอดภัยในเวลากลางคืน



รูปที่ 4.22 โคมไฟถนนขณะใช้งานในเวลากลางคืน

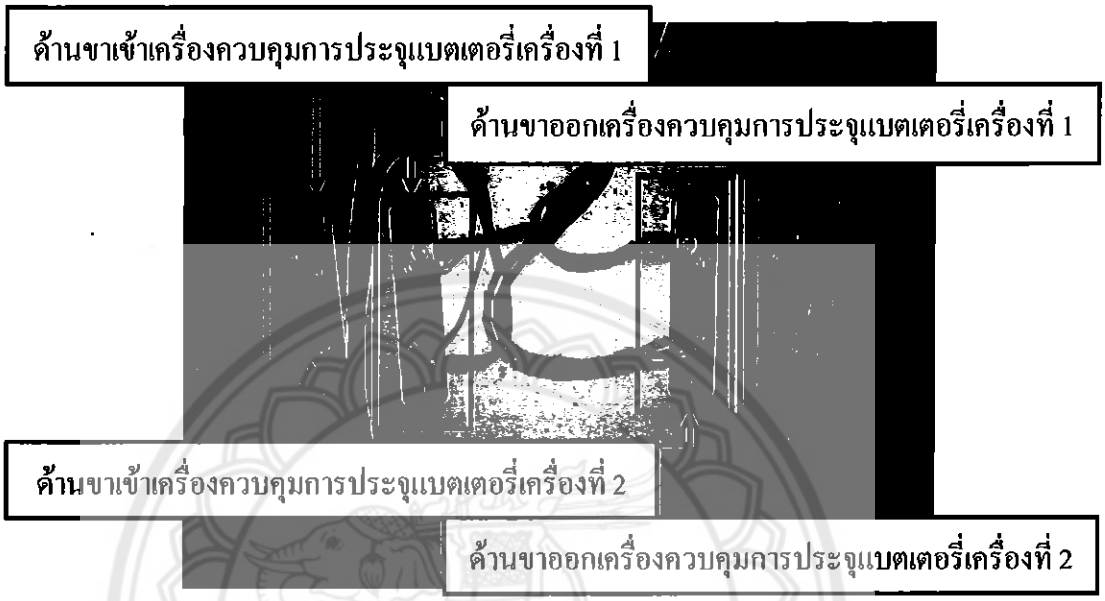
4.4 ผลการติดตั้งเครื่องวัด กระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบ

จากการที่ต้องการเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าของระบบ และวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ รวมทั้งประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ เพื่อให้สะดวกในการอ่านค่าและบันทึกค่าแสดงผลการติดตั้งเครื่องวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบ จึงทำการติดตั้งเครื่องวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบไว้ในห้องควบคุม ซึ่งอธิบายได้ ดังต่อไปนี้

การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ทางด้านขาเข้าเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ทั้ง 2 เครื่องนั้น ทำได้โดยการต่อสายไฟเชื่อมขั้วบวกของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับขั้วบวกทางด้านขาเข้าของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และต่อสายไฟเชื่อมขั้วลบของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับขั้วลบทางด้านขาเข้าของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 4.23

รูปที่ 4.23 ตำแหน่งวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ทางด้านขาเข้าเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่

การวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเข้าและออกของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ทั้ง 2 เครื่องนั้น ทำได้โดยการติดตั้งตัวต้านทานชันท์อนุกรมกับสายไฟทั้งทางด้านเข้าและออกของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ เพื่อส่งสัญญาณเข้าสู่เครื่องวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงต่อไป แสดงลักษณะการติดตั้งตัวต้านทานชันท์ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ลักษณะการติดตั้งตัวต้านทานชันท์ที่เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่

การวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านขาออกของแบตเตอรี่นั้น ทำได้โดยการติดตั้งตัวต้านทานชันท์อนุกรมกับสายไฟทางด้านขาออกของแบตเตอรี่เข้าสู่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เพื่อส่งสัญญาณเข้าสู่เครื่องวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงต่อไป แสดงลักษณะการติดตั้งตัวต้านทานชันท์ที่ด้านขาออกของแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.25

รูปที่ 4.25 ลักษณะการติดตั้งตัวต้านทานชันท์ที่ด้านขาออกของแบตเตอรี่

การวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่ (แรงดันทางด้านขาเข้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า) ทำได้โดยการต่อสายไฟเชื่อมขั้วบวกของแบตเตอรี่หรือขั้วบวกทางด้านขาเข้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเข้ากับขั้วบวกของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และต่อสายไฟเชื่อมขั้วลบของแบตเตอรี่หรือขั้วลบทางด้านขาเข้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเข้ากับขั้วลบของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง แสดงดังรูปที่ 4.26

รูปที่ 4.26 ตำแหน่งวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

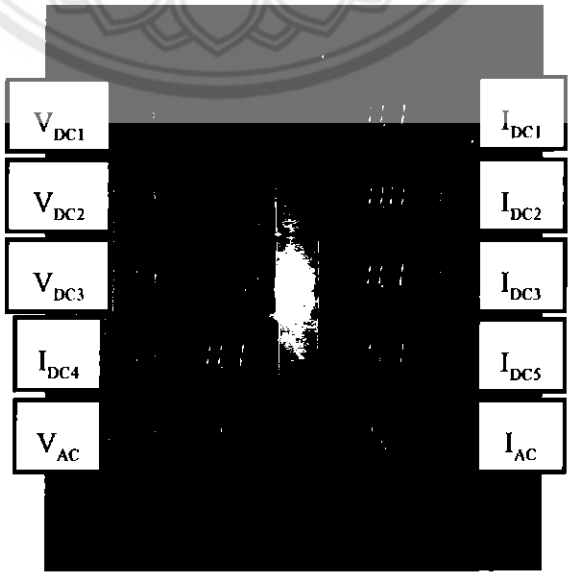
การวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ทำโดยการต่อสายไฟเชื่อมด้านขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเข้ากับด้านขาเข้าของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ แสดงตำแหน่งวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาออกเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าดังรูปที่ 4.27

รูปที่ 4.27 ตำแหน่งวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาออกเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

การวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ทำโดยการใช้หม้อแปลงกระแส คล้องไว้ที่สายไฟที่ต่อออกจากขั้ว L ด้านขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เพื่อส่งสัญญาณไปยังเครื่องวัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ แสดงตำแหน่งวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับขาออกเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าดังรูปที่ 4.28

รูปที่ 4.28 ตำแหน่งวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับขาออกเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

จากการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบ จะนำค่าเหล่านั้นมาแสดงผลออกทางหน้าจอแสดงผล ดังรูปที่ 4.29 เพื่อให้อ่านค่าได้อย่างสะดวก และนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบได้

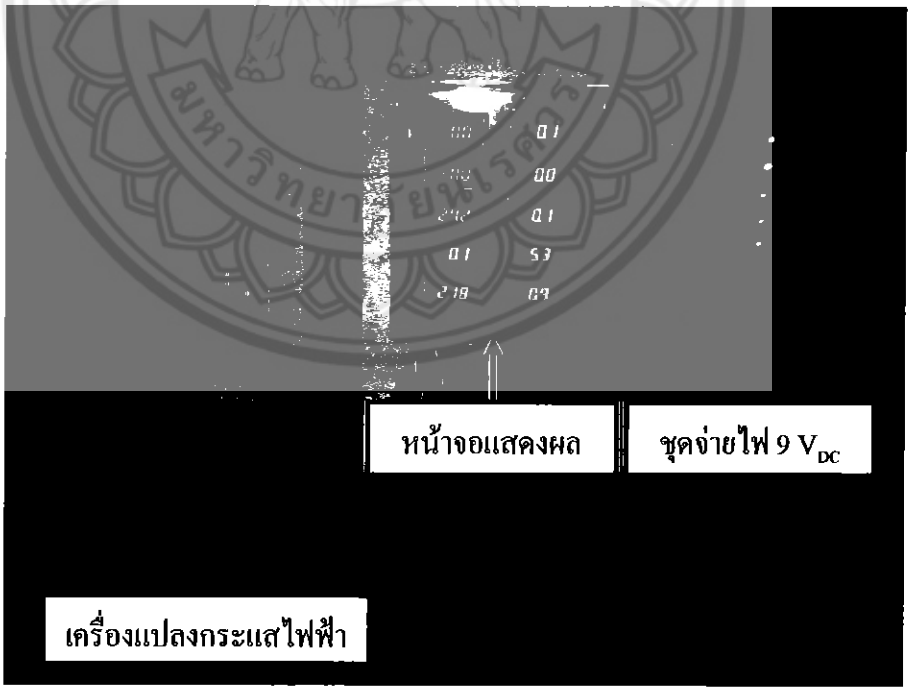


รูปที่ 4.29 หน้าจอแสดงผลการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าในระบบ

จากรูปที่ 4.29 หน้าจอแสดงผลต่าง ๆ แสดงค่าดังต่อไปนี้

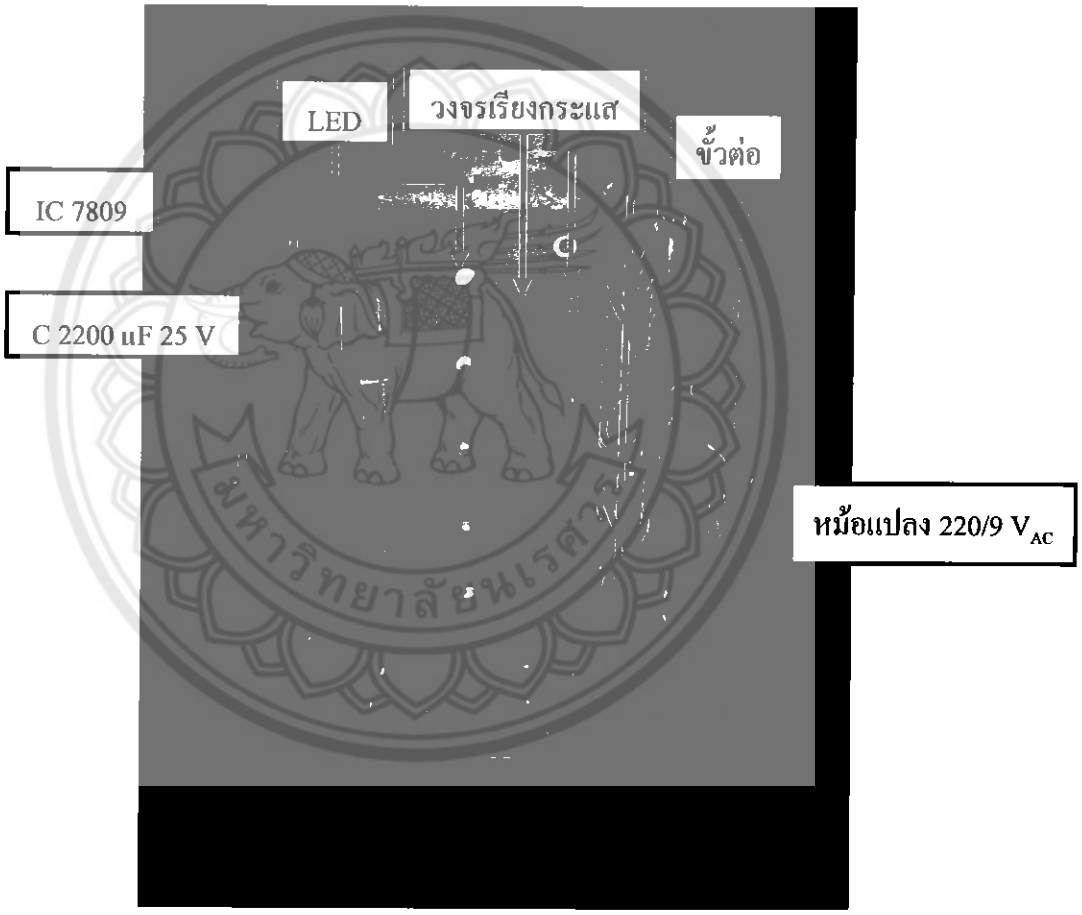
1. V_{DC1} แสดงค่า แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 1
2. V_{DC2} แสดงค่า แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 2
3. V_{DC3} แสดงค่า แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่
4. I_{DC1} แสดงค่า กระแสไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 1
5. I_{DC2} แสดงค่า กระแสไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 2
6. I_{DC3} แสดงค่า กระแสไฟฟ้ากระแสตรงขาออกเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 1
7. I_{DC4} แสดงค่า กระแสไฟฟ้ากระแสตรงขาออกเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 2
8. I_{DC5} แสดงค่า กระแสไฟฟ้ากระแสตรงขาออกของแบตเตอรี่
9. V_{AC} แสดงค่า แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า
10. I_{AC} แสดงค่า กระแสไฟฟ้ากระแสสลับขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

เครื่องวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าพร้อมหน้าจอแสดงผล และอุปกรณ์จ่ายแรงดันขนาด 9 โวลต์กระแสตรง ที่จ่ายไฟเลี้ยงให้กับเครื่องวัดได้ถูกติดตั้งไว้ในห้องควบคุม ซึ่งอยู่บริเวณใกล้เคียงกับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.30 เพื่อให้สามารถอ่านค่าต่าง ๆ ได้อย่างสะดวก



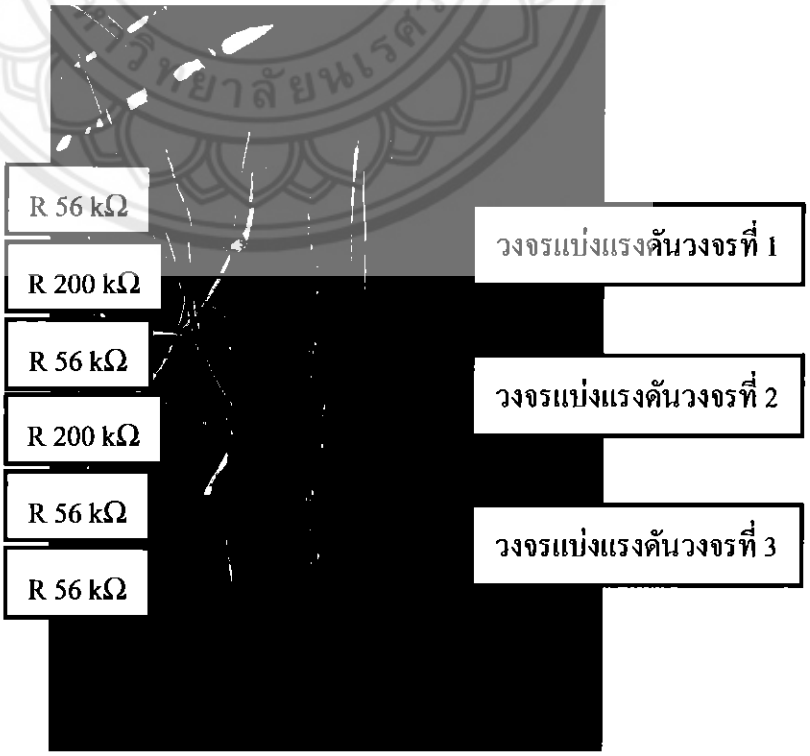
รูปที่ 4.30 ตำแหน่งติดตั้งหน้าจอแสดงผลการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าในระบบ

เนื่องเครื่องมือวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในระบบนั้น ต้องการไฟเลี้ยงวงจรขนาด 9 โวลต์กระแสตรง ดังนั้นจึงต้องมีการจัดทำวงจรจ่ายแรงดันขนาด 9 โวลต์กระแสตรงขึ้น โดยการใช้หม้อแปลงลดระดับแรงดันจาก 220 โวลต์กระแสสลับ เป็น 9 โวลต์กระแสสลับ ต่อเข้ากับขั้วต่อไปยังขาเข้าของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ไดโอด เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นแรงดันที่ออกจากวงจรเรียงกระแสจะถูกกรองด้วยตัวเก็บประจุและเข้าสู่ IC 7809 เพื่อรักษาระดับแรงดันให้อยู่ที่ 9 โวลต์กระแสตรง และจ่ายแรงดัน 9 โวลต์กระแสตรงผ่านขั้วต่อเพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรของเครื่องวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าต่อไป แสดงวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์กระแสตรง ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์กระแสตรงให้กับวงจรวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า

เนื่องจากอุปกรณ์วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในระบบนั้น มีค่าพิกัดการวัดแรงดันไม่เกิน 50 โวลต์กระแสตรง แต่ค่าที่ต้องการวัดในระบบมีค่ามากเกินกว่าพิกัด จึงต้องมีการจัดทำวงจรลดระดับแรงดันเพื่อให้สามารถใช้งานอุปกรณ์วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยไม่เกิดความเสียหาย โดยมีวงจรแบ่งแรงดันทั้งหมด 3 วงจร คือ วงจรที่ 1 ใช้ตัวต้านทาน 200 กิโลโอห์มต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน 56 กิโลโอห์ม โดยรับค่าแรงดันไฟฟ้าจากทางด้านขาเข้าของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 1 ตกคร่อมตัวต้านทานทั้งสอง และนำสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 56 กิโลโอห์ม เข้าสู่อุปกรณ์วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตัวที่ 1 (V_{DC1}) เพื่อเป็นการลดระดับแรงดันตามอัตราส่วนของวงจรแบ่งแรงดัน และกรณีที่อ่านค่าจากอุปกรณ์วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตัวที่ 1 แล้ว จะต้องนำค่าที่อ่านได้มาคูณกับค่าสัดส่วนการลดระดับแรงดันของวงจรเพื่อให้ทราบค่าจริง วงจรที่ 2 จะเป็นกรณีเดียวกันกับวงจรที่ 1 แต่จะใช้สำหรับการลดระดับของค่าแรงดันไฟฟ้าจากทางด้านขาเข้าของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 2 และนำสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 56 กิโลโอห์ม เข้าสู่อุปกรณ์วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตัวที่ 2 (V_{DC2}) ส่วนวงจรที่ 3 นั้นใช้สำหรับลดระดับแรงดันของแบตเตอรี่ ด้วยการใช้ตัวต้านทาน 56 กิโลโอห์มมาต่ออนุกรมกัน รับค่าแรงดันจากแบตเตอรี่มาตกคร่อมตัวต้านทานทั้งสองตัว แล้วนำสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 56 กิโลโอห์มเพียงตัวเดียว เข้าสู่อุปกรณ์วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตัวที่ 3 (V_{DC3}) แสดงวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในระบบวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในระบบวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

4.5 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ

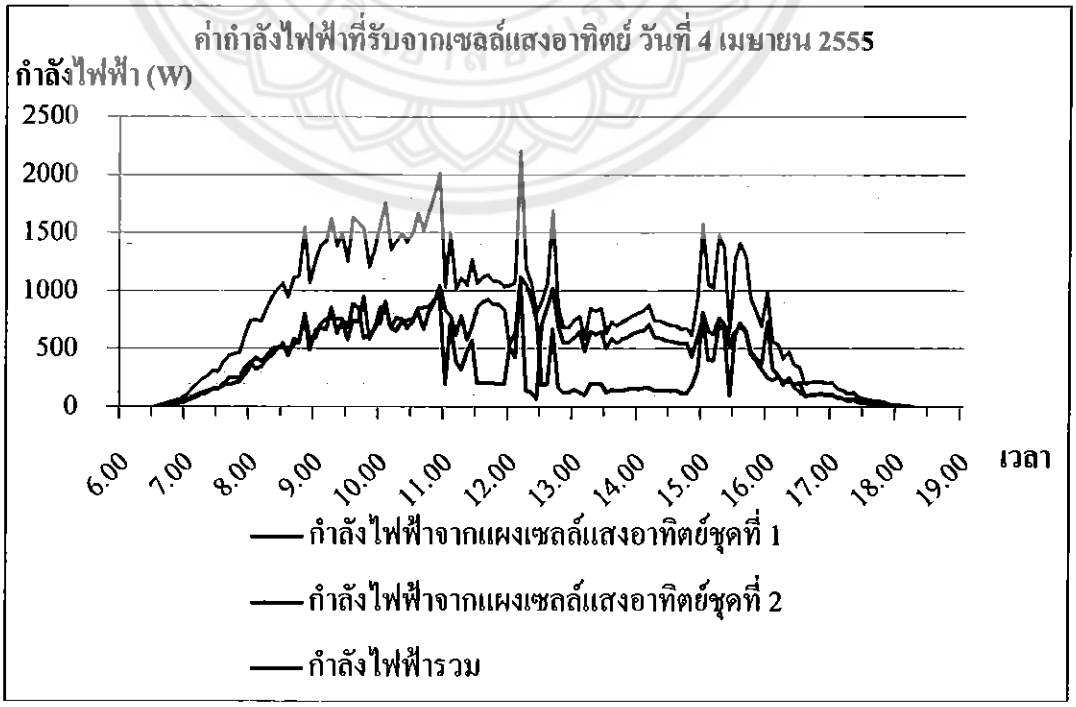
หลังจากติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.85 กิโลวัตต์ และทำการวัดค่า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ดังที่กล่าวไปแล้วนั้น ค่าต่าง ๆ ที่วัดได้จากแต่ละช่วงเวลา ได้กำหนดการบันทึกค่าไว้ทุก 5 นาที เพื่อวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบรับจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ โดยใช้ข้อมูลกระแสและแรงดันไฟฟ้า ในวันที่ 4 – 5 เมษายน 2555 จากภาคผนวก ซ และภาคผนวก ฌ แสดงผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

4.5.1 ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบรับจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการวัดและเก็บค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ จุดต่าง ๆ ของระบบ ในวันที่ 4 - 5 เมษายน และนำค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาเข้าของเครื่องควบคุมการประจุทั้ง 2 เครื่อง มาวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบรับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาต่าง ๆ และนำมาวิเคราะห์หาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบรับจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวัน มีผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.5.1.1 ผลการวิเคราะห์ในวันที่ 4 เมษายน 2555

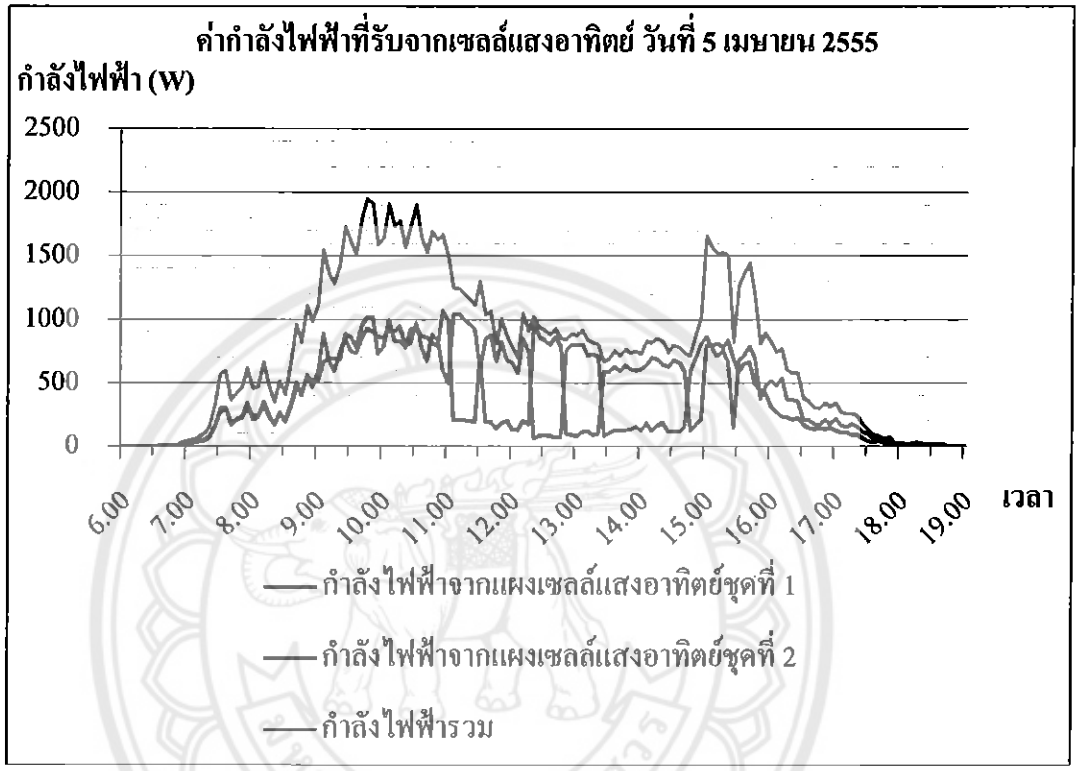
ผลการวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบรับจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในวันที่ 4 เมษายน 2555 แสดงดังรูปที่ 4.33 และจากรูปพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบรับจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าประมาณ 9.74 กิโลวัตต์ชั่วโมง



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบรับจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 4 เมษายน 2555

4.5.1.2 ผลการวิเคราะห์ในวันที่ 5 เมษายน 2555

ผลการวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบรับจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในวันที่ 5 เมษายน 2555 แสดงดังรูปที่ 4.34 และจากรูปพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบรับจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าประมาณ 9.82 กิโลวัตต์ชั่วโมง



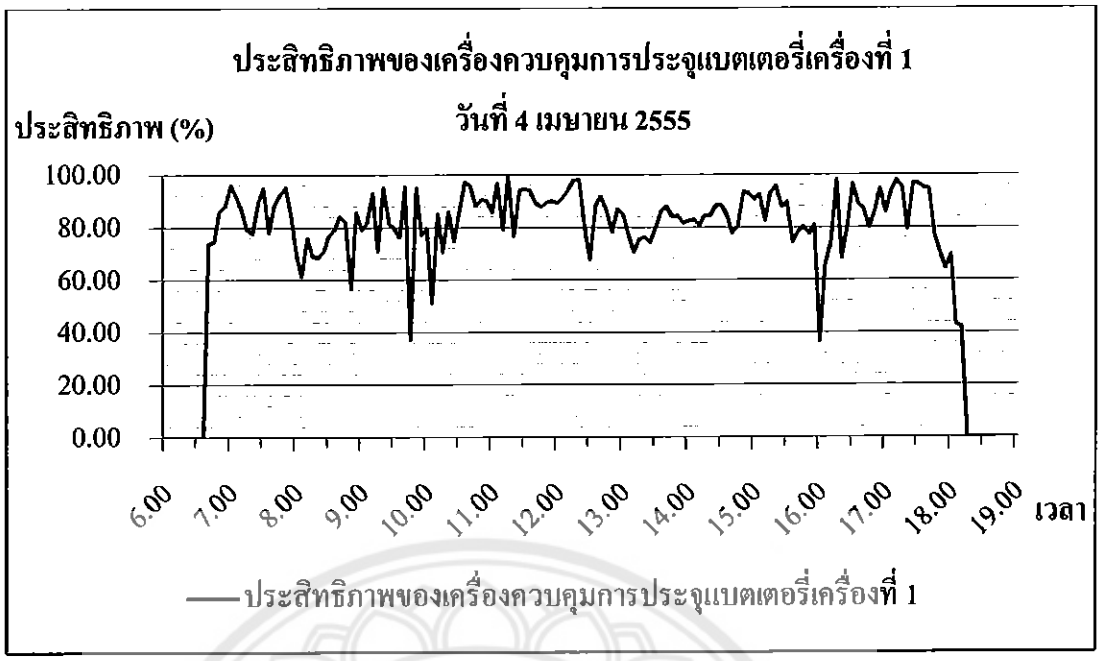
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบรับจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 5 เมษายน 2555

4.5.2 ผลการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 1

ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 1 โดยอาศัยข้อมูลกำลังไฟฟ้าทั้งด้านเข้าและด้านออก ได้กำหนดการบันทึกค่าไว้ทุก 5 นาที เป็นเวลา 2 วัน คือ ในวันที่ 4 - 5 เมษายน 2555 โดยมีผลการวิเคราะห์เป็นรายวันดังนี้

4.5.2.1 ผลการวิเคราะห์ในวันที่ 4 เมษายน 2555

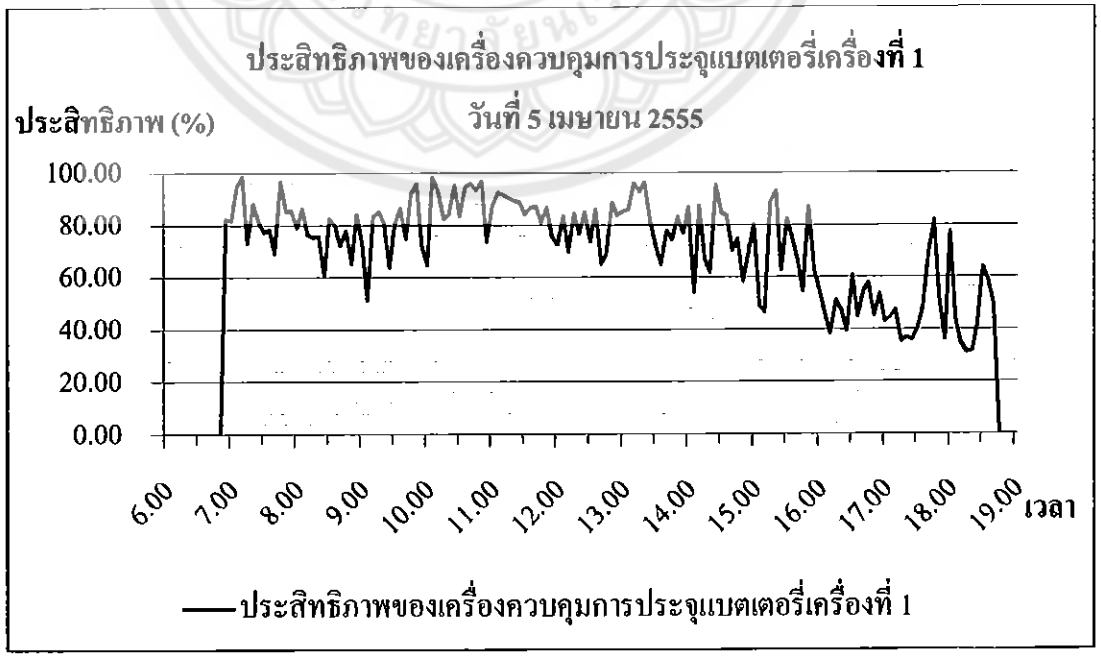
ในวันที่ 4 เมษายน 2555 ซึ่งจากรูปที่ 4.35 เมื่อวิเคราะห์ผลพบว่ามีค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยเท่ากับ 82.76% ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ที่กำหนดจากโรงงานมีค่า 90% พบว่าค่าประสิทธิภาพน้อยลง



รูปที่ 4.35 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 1 ในวันที่ 4 เมษายน 2555

4.5.2.3 ผลการวิเคราะห์ในวันที่ 5 เมษายน 2555

ในวันที่ 5 เมษายน 2555 ซึ่งจากรูปที่ 4.36 เมื่อวิเคราะห์ผลพบว่ามีค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยเท่ากับ 72.5% ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ที่กำหนดจากโรงงานมีค่า 90% พบว่าค่าประสิทธิภาพน้อยลง



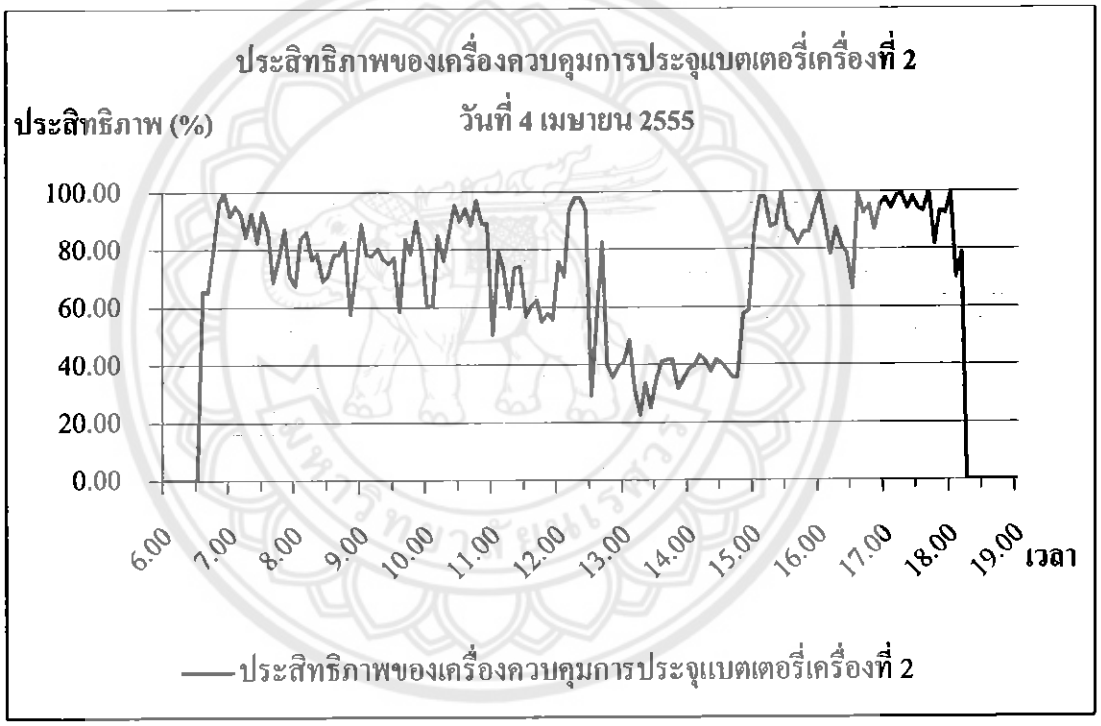
รูปที่ 4.36 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 1 ในวันที่ 5 เมษายน 2555

4.5.3 ผลการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 2

ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 2 โดยอาศัยข้อมูลกำลังไฟฟ้าทั้งด้านเข้าและด้านออก ได้กำหนดการบันทึกค่าไว้ทุก 5 นาที เป็นเวลา 2 วัน คือ ในวันที่ 4 - 5 เมษายน 2555 โดยมีผลการวิเคราะห์เป็นรายวันดังนี้

4.5.3.1 ผลการวิเคราะห์ในวันที่ 4 เมษายน 2555

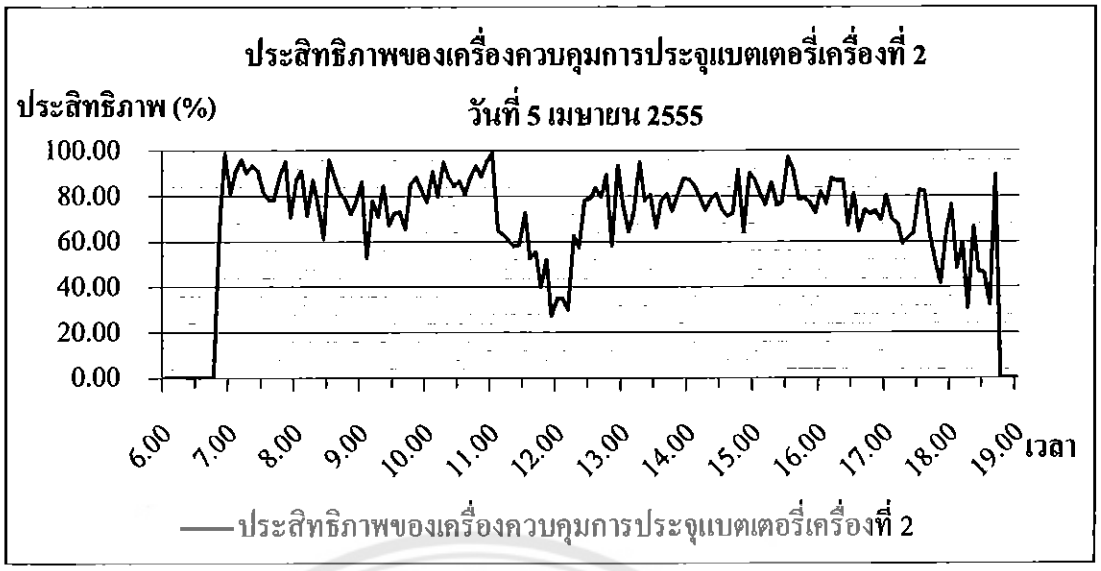
ในวันที่ 4 เมษายน 2555 ซึ่งจากรูปที่ 4.37 เมื่อวิเคราะห์ผลพบว่ามีค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยเท่ากับ 73.63% ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ที่กำหนดจากโรงงานมีค่า 90% พบว่าค่าประสิทธิภาพน้อยลง



รูปที่ 4.37 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 2 ในวันที่ 4 เมษายน 2555

4.5.3.2 ผลการวิเคราะห์ในวันที่ 5 เมษายน 2555

ในวันที่ 5 เมษายน 2555 ซึ่งจากรูปที่ 4.38 เมื่อวิเคราะห์ผลพบว่ามีค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยเท่ากับ 74.78% ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ที่กำหนดจากโรงงานมีค่า 90% พบว่าค่าประสิทธิภาพน้อยลง



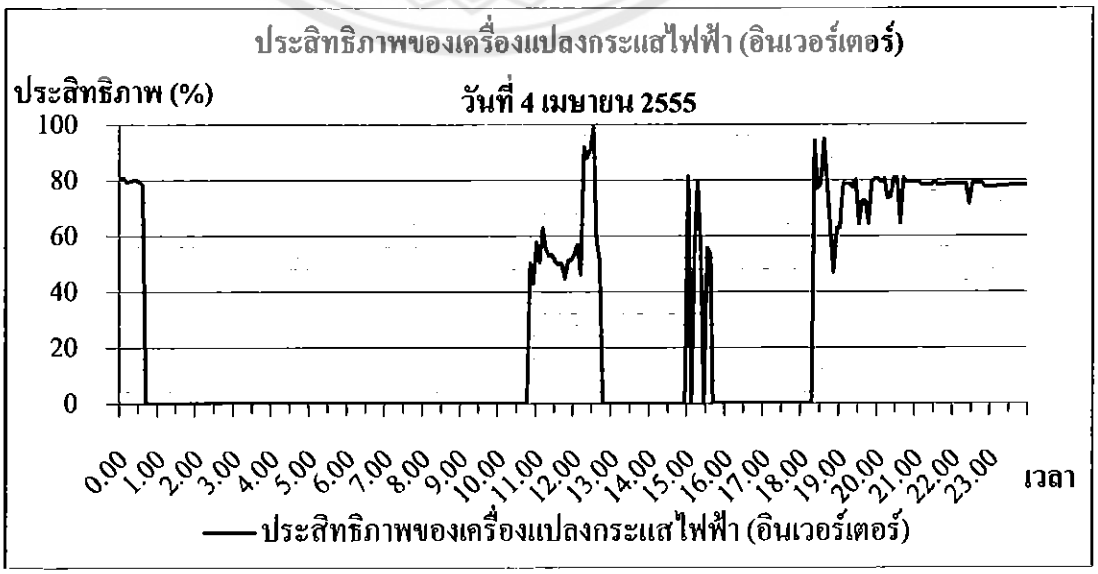
รูปที่ 4.38 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 2 ในวันที่ 5 เมษายน 2555

4.5.4 ผลการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยข้อมูลกำลังไฟฟ้าทั้งด้านเข้าและด้านออก ได้กำหนดการบันทึกค่าไว้ทุก 5 นาที เป็นเวลา 2 วัน คือ ในวันที่ 4 - 5 เมษายน 2555 โดยมีผลการวิเคราะห์เป็นรายวันดังนี้

4.5.4.1 ผลการวิเคราะห์ในวันที่ 4 เมษายน 2555

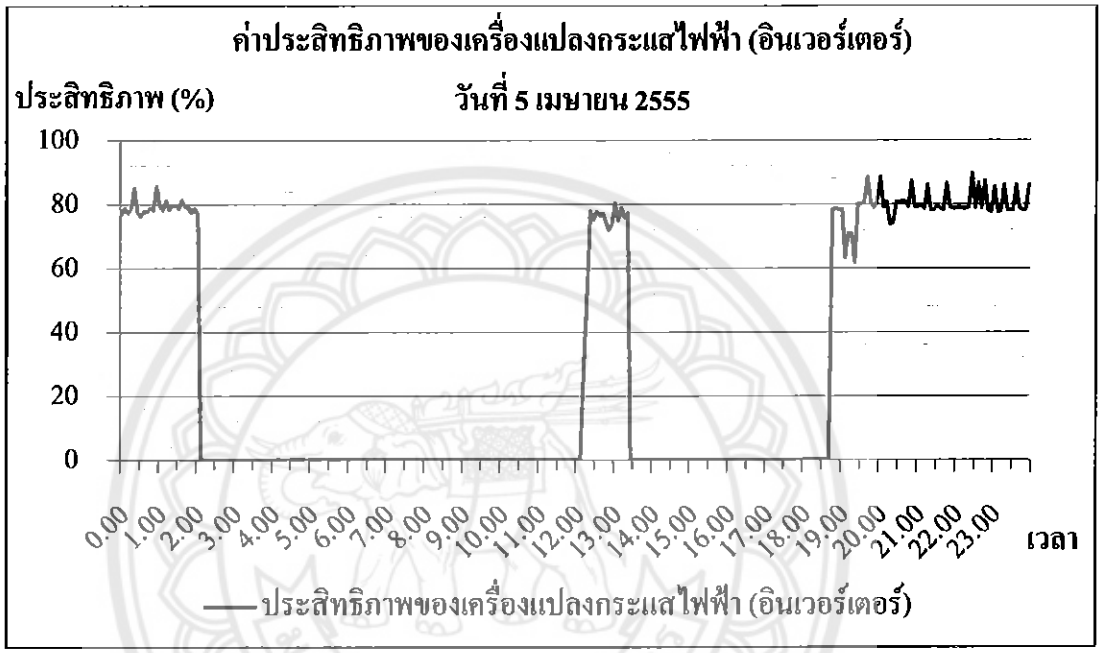
จากรูปที่ 4.39 เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าทำงาน โดยไม่นำช่วงที่เส้นกราฟเป็นศูนย์มาพิจารณา เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไม่ทำงาน พบว่ามีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยเท่ากับ 73.01% ซึ่งประสิทธิภาพที่กำหนดจากโรงงานมีค่า 90% พบว่าค่าประสิทธิภาพน้อยลง



รูปที่ 4.39 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ในวันที่ 4 เมษายน 2555

4.5.4.2 ผลการวิเคราะห์ในวันที่ 5 เมษายน 2555

จากรูปที่ 4.40 เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าทำงาน โดยไม่นำช่วงที่เส้นกราฟเป็นศูนย์มาพิจารณา เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไม่ทำงาน พบว่ามีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยเท่ากับ 78.29% ซึ่งประสิทธิภาพที่กำหนดจากโรงงานมีค่า 90% พบว่าค่าประสิทธิภาพน้อยลง



รูปที่ 4.40 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ในวันที่ 5 เมษายน 2555

4.5.5 ผลการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ในช่วงเวลากลางวัน พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จะถูกส่งผ่านเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ไปยังภาระไฟฟ้าต่าง ๆ ดังนั้นประสิทธิภาพรวมของระบบในช่วงเวลากลางวันหาได้จากการนำค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามารวมกัน พบว่าระบบมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 57.43%

ในช่วงเวลากลางคืน ภาระไฟฟ้าของระบบได้รับพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่โดยผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายให้กับภาระไฟฟ้า ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบในช่วงเวลากลางคืนหาได้จากค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 75.65%

4.6 ผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากในแต่ละวันระบบมีการทำงานที่แตกต่างกัน ดังนั้นการวิเคราะห์การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ จะยกตัวอย่างการทำงานของระบบในวันที่ 4 เมษายน 2555 ซึ่งมีการใช้ภาระไฟฟ้าอย่างหลากหลาย โดยนำข้อมูลจากภาคผนวก ซ มาทำการวิเคราะห์ในแต่ละช่วงเวลาดังนี้

4.6.1 ช่วงเวลา 00:00 น. ถึง 00:35 น.

ในช่วงเวลา 00:00 น. ถึง 00:35 น. เป็นเวลากลางคืน เซลล์แสงอาทิตย์จึงไม่ผลิตกำลังไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่ระบบ ดังนั้นแบตเตอรี่จึงจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าระบบส่องสว่าง โดยผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบส่องสว่างนั้น มีค่าประมาณ 1 แอมแปร์ แสดงค่าต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 00:00 น. ถึง 00:35 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
0:00	0	0	0	0	0	0	46.6	5.8	270.31	218	1
0:05	0	0	0	0	0	0	46.6	5.8	270.31	218	1
0:10	0	0	0	0	0	0	46.6	5.9	274.97	218	1
0:15	0	0	0	0	0	0	46.4	5.9	273.79	218	1
0:20	0	0	0	0	0	0	46.2	5.9	272.60	218	1
0:25	0	0	0	0	0	0	46.2	5.9	272.60	218	1
0:30	0	0	0	0	0	0	45.8	6	274.81	218	1
0:35	0	0	0	0	0	0	44.8	6.2	277.75	218	1

4.6.2 ช่วงเวลา 00:40 น. ถึง 06:30 น.

ในเวลา 00:40 น. เป็นช่วงเวลาที่แบตเตอรี่มีพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอในการจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าระบบส่องสว่าง เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจึงตัดการทำงานด้วยตัวเอง และระบบควบคุมเปลี่ยนไปใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อจ่ายให้ระบบส่องสว่างทำงานได้ต่อไป จนกระทั่งถึงเวลา 06:30 น. สวิตช์ตรวจจับด้วยลำแสงตรวจจับได้ว่ามีความสว่างเพียงพอ จึงทำการตัดการทำงานของภาระไฟฟ้าระบบส่องสว่าง แสดงค่าต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 00:40 น. ถึง 06:30 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
0:40	0	0	0	0	0	0	47.2	0	0	0	0
0:45	0	0	0	0	0	0	47.4	0	0	0	0
0:50	0	0	0	0	0	0	47.6	0	0	0	0
0:55	0	0	0	0	0	0	47.6	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	47.6	0	0	0	0
1:05	0	0	0	0	0	0	47.6	0	0	0	0
1:10	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
1:15	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
1:20	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
1:25	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
1:30	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
↓											
6:15	40.6	0	42.8	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:20	45.6	0	56.6	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:25	63.6	0	67.6	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:30	73.3	0	47.8	0	0	0	47.8	0	0	0	0

4.6.3 ช่วงเวลา 06:35 น. ถึง 07:05 น.

ในช่วงเวลา 06:35 น. ถึง 07:05 น. เป็นช่วงเวลาที่เริ่มมีแสงอาทิตย์ ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบเพื่อทำการประจุแบตเตอรี่ แต่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ายังไม่ทำงาน เนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ยังไม่ถึงค่าที่กำหนดให้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าทำงาน แสดงค่าต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 06:35 น. ถึง 07:05 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
6:35	63.6	0.1	73.1	0.1	0	0.1	48.0	0	0	0	0
6:40	65.0	0.2	73.6	0.2	0.2	0.2	48.0	0	0	0	0
6:45	65.0	0.4	60.2	0.3	0.4	0.3	48.4	0	0	0	0
6:50	71.0	0.4	50.6	0.5	0.5	0.5	48.8	0	0	0	0
6:55	65.0	0.6	69.0	0.5	0.7	0.7	49.0	0	0	0	0
7:00	64.1	0.8	69.0	0.7	1.0	0.9	49.2	0	0	0	0
7:05	73.3	1.1	80.9	0.9	1.5	1.4	49.4	0	0	0	0

4.6.4 ช่วงเวลา 07:10 น. ถึง 10:45 น.

ในช่วงเวลา 07:10 น. ถึง 10:45 น. ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบเพื่อทำการประจุแบตเตอรี่ และมีแรงดันเพียงพอให้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าทำงาน มีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ด้านขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า 218 – 219 โวลต์ แต่ยังไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ เนื่องจากภาระไฟฟ้าของระบบไม่มีการทำงาน แสดงค่าต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 07:10 น. ถึง 10:45 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
7:10	72.8	1.4	75.0	1.2	1.8	1.7	49.0	0	0	219	0
7:15	77.4	1.6	77.3	1.5	2.0	2.0	49.0	0	0	218	0
7:20	77.4	1.8	75.0	1.7	2.2	2.4	49.2	0	0	218	0
↓											
10:45	92.6	8.8	80.9	10.6	12.9	14.9	55.8	0	0	218	0

4.6.5 ช่วงเวลา 10:50 น. ถึง 12:40 น.

ในช่วงเวลา 10:50 น. ถึง 12:40 น. มีการทำงานของภาระไฟฟ้าเครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจึงทำงาน โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 218 โวลต์ และจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ประมาณ 1 แอมแปร์ ให้กับเครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ และในขณะเดียวกัน ระบบยังทำการประจุแบตเตอรี่จากพลังงานที่ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้อีกด้วย แสดงค่าต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 10:50 น. ถึง 12:40 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
10:50	84.3	10.7	86.5	10.7	14.8	14.9	55.2	9.4	519.29	218	1.2
10:55	84.8	12.3	94.3	10.2	16.8	15.3	56.0	9.1	510.03	218	1
↓											
12:35	88.9	9.7	105.3	1.9	13.8	2.0	55.2	7.4	408.80	218	1.1
12:40	83.4	12.2	99.8	6.7	17.1	10.1	54.6	8.7	475.38	219	1.1

4.6.6 ช่วงเวลา 12:45 น. ถึง 14:55 น.

ในช่วงเวลา 12:45 น. ถึง 14:55 น. เป็นช่วงที่ภาระไฟฟ้าของระบบไม่มีการทำงาน แต่แบตเตอรี่ยังคงจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เนื่องจากวงจรภายในของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าต้องการกระแสไฟฟ้ากระแสตรงในการทำงานให้มีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านขาออก 218 โวลต์ และระบบยังคงทำการประจุแบตเตอรี่จากพลังงานไฟฟ้าที่ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ แสดงค่าต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 12:45 น. ถึง 14:55 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
12:45	94.0	7.4	103.9	1.6	10.9	1.2	55.0	0	0	218	0
12:50	95.9	5.8	104.4	1.2	7.8	0.8	55.8	0	0	218	0
12:55	96.3	5.8	103.9	1.2	8.8	0.9	55.0	0	0	218	0
↓											
14:50	72.4	6	100.7	1.8	7.4	1.9	54.8	0	0	218	0
14:55	74.2	8.2	102.5	3.1	10.3	3.4	54.8	0	0	218	0

4.6.7 ช่วงเวลา 15:00 น. ถึง 15:35 น.

ในช่วงเวลา 15:00 น. ถึง 15:35 น. ภาระไฟฟ้าต่าง ๆ ของระบบมีการทำงาน โดยทำงานสลับกัน เช่น ในเวลา 15:00 น. มีการทำงานของเครื่องสูบน้ำเข้าถังเก็บน้ำ ใช้กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 5 แอมแปร์ ในเวลา 15:10 น. และ 15:20 น. มีการทำงานของเครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ ใช้กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 1.1 – 1.2 แอมแปร์ ในเวลา 15:15 น. มีการทำงานของเครื่องสูบน้ำเข้าถังเก็บน้ำร่วมกับเครื่องสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ ใช้กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 6.5 แอมแปร์ และในช่วงเวลา 15:30 น. ถึง 15:35 น. ได้มีการจำลองให้ระบบส่องสว่างทำงาน โดยการจำลองให้สวิตช์ตรวจจับด้วยลำแสงตรวจจับว่ามีแสงสว่างไม่เพียงพอ ซึ่งระบบส่องสว่างใช้กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 1 แอมแปร์ แสดงค่าต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 15:00 น. ถึง 15:35 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
15:00	81.1	9.4	86.0	9.4	14.0	14.0	49.2	27.3	1343.63	218	5
15:05	94.9	4.3	80.5	8.1	6.7	11.4	56.2	0	0	218	0
15:10	97.7	4.1	75.9	8.3	6.0	11.2	55.2	7.8	430.90	218	1.1
15:15	79.3	9	84.6	9	13.0	13.1	51.0	34.7	1770.58	217	6.5
15:20	78.8	8.3	76.8	9.3	12.2	12.4	51.2	9.5	486.65	218	1.2
15:25	100.9	1	74.5	7.1	1.6	9.5	55.4	0	0	218	0
15:30	83.0	7.5	82.3	7.9	11.1	11.3	50.2	7.8	391.73	218	1
15:35	89.9	8	86.9	7.9	10.2	11.3	52.4	7.8	408.97	218	1

4.6.8 ช่วงเวลา 15:40 น. ถึง 18:15 น.

ในช่วงเวลา 15:40 น. ถึง 18:15 น. เป็นช่วงที่ภาระไฟฟ้าของระบบไม่มีการทำงาน แต่แบตเตอรี่ยังคงจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เนื่องจากวงจรภายในของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าต้องการกระแสไฟฟ้ากระแสตรงในการทำงานให้มีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านขาออก 218 โวลต์ และระบบทำการประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสค่าต่ำ เนื่องจากแบตเตอรี่เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าไว้ใกล้เต็มแล้ว ส่วนในเวลา 18:15 น. เป็นเวลาที่แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอให้ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ แสดงค่าต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 15:40 น. ถึง 18:15 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
15:40	92.2	7.2	91.1	7	9.8	9.9	52.8	0	0	218	0
15:40	92.2	7.2	91.1	7	9.8	9.9	52.8	0	0	218	0
15:45	85.3	5.6	83.7	5.4	7.2	7.3	53.2	0	0	218	0
↓											
18:15	47.0	0	0.0	0	0	0	49.4	0	0	218	0

4.6.9 ช่วงเวลา 18:20 น. ถึง 23:55 น.

ในช่วงเวลา 18:20 น. ถึง 23:55 น. เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงเนื่องจากเป็นช่วงเวลากลางคืน จึงไม่ผลิตกำลังไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่ระบบ ระบบจึงใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จ่ายผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไปยังภาระไฟฟ้าของระบบ คือ ระบบส่องสว่าง ซึ่งเริ่มทำงานในเวลา 18:20 น. เนื่องจากสวิตช์ตรวจจับด้วยลำแสงตรวจจับพบว่ามีแสงสว่างไม่เพียงพอ และระบบส่องสว่างใช้กระแสไฟฟ้ากระแสสลับประมาณ 1 แอมแปร์ แสดงค่าต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 18:20 น. ถึง 23:55 น. ในวันที่ 4 เมษายน 2555

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
18:20	33.6	0	38.6	0	0	0	49.2	3.3	162.42	218	0.7
18:25	9.2	0	13.8	0	0	0	48.8	5.8	283.13	218	1
18:30	8.3	0	11.0	0	0	0	48.8	5.7	278.25	218	1
↓											
23:50	0.0	0	0.5	0	0	0	47.2	5.9	278.53	218	1
23:55	0.5	0	0.5	0	0	0	47.2	5.9	278.53	218	1

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินโครงงานสามารถสรุปผล ชี้แจงปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินงาน รวมทั้งเสนอแนวทางแก้ปัญหา พร้อมให้ข้อเสนอแนะในการนำโครงงานไปพัฒนาแก้ไขและปรับปรุงต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

ในโครงงานนี้ได้มีออกแบบ และติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.85 กิโลวัตต์ พร้อมทั้งวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเริ่มต้นจากการสำรวจพื้นที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้า ในกรณีนี้พื้นที่ตัวอย่างคือโรงเรียนบ้านเนินทอง ต.บ้านดง อ.ชาติตระการ จ.พิษณุโลก ซึ่งพบว่ามีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้กับภาระทางไฟฟ้าใน 4 ระบบ ได้แก่ระบบสูบน้ำใช้เข้าถังเก็บน้ำ ระบบอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร ระบบสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ และระบบส่องสว่างนอกอาคารในเวลากลางคืน หลังจากนั้นได้มีการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการใช้หลักการและทฤษฎีที่ถูกต้อง เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

คณะผู้จัดทำโครงการได้ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นระบบแบบอิสระ (PV Stand Alone System) ที่มีขนาดของกำลังผลิตติดตั้ง 2.85 กิโลวัตต์ ซึ่งมีขั้นตอนการติดตั้งดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ทำการสำรวจพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการวางโครงสร้างเหล็กเพื่อติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 60 แผง หลังจากนั้นทำการปรับพื้นที่ พร้อมทั้งขุดหลุมวางตอม่อเสาปูนที่ใช้เป็นฐานของโครงเหล็ก หลังจากปูนบริเวณตอม่อฐานเสาปูนแห้งและมีความแข็งแรงเพียงพอแล้ว จึงทำการเชื่อมโครงเหล็กลงบนเสาปูนเพื่อรองรับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และติดตั้งชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ขั้นตอนที่ 2 ติดตั้งห้องควบคุม

พื้นที่ที่เหมาะสมของห้องควบคุมจะอยู่บริเวณเดียวกันกับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้ระยะทางของสายไฟจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีระยะสั้น เป็นการประหยัดงบประมาณและลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายส่ง ซึ่งภายในห้องควบคุมจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญต่อการทำงานของระบบนั่นคือ เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ตู้ควบคุมการทำงานของระบบ และเครื่องวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ จุดต่าง ๆ ในระบบ

ขั้นตอนที่ 3 ติดตั้งภาระทางไฟฟ้าตามความต้องการของพื้นที่ตัวอย่าง

ทำการติดตั้งภาระทางไฟฟ้าในโรงเรียนบ้านเนินทองทั้งหมด 4 ระบบ ได้แก่ 1) ระบบสูบน้ำใช้เข้าถังเก็บน้ำ ซึ่งติดตั้งเครื่องสูบน้ำบริเวณบ่อน้ำหลังโรงเรียน เพื่อใช้สูบน้ำมาเก็บไว้ที่ถังเก็บน้ำ 2) ระบบสูบน้ำดื่มอัตโนมัติ ซึ่งติดตั้งไว้ภายในห้องกรองน้ำดื่ม เพื่อใช้สูบน้ำดื่มที่ผ่านการกรองส่งจ่ายไปยังอาคารเรียนต่าง ๆ ของโรงเรียน 3) ระบบอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร ซึ่งติดตั้งเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ภายในสถานีอัดประจุแบตเตอรี่บริเวณข้างห้องควบคุม เพื่อให้บริการอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับเกษตรกร และ 4) ระบบส่องสว่างนอกอาคารในเวลากลางคืน ซึ่งติดตั้งโคมไฟรอบบริเวณโรงเรียน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและลดความเสี่ยงต่อการเกิดการโจรกรรมทรัพย์สินของโรงเรียน

ขั้นตอนที่ 4 ติดตั้งเครื่องวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบ

คณะผู้จัดทำโครงการได้ติดตั้งเครื่องวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าไว้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น นอกจากนั้นได้ติดตั้งกล่องที่รวมหน้าจอแสดงผลการวัดทั้งหมดไว้ที่ผนังภายในห้องควบคุม เพื่อความสะดวกในการอ่านค่าเพื่อวิเคราะห์ผลและการซ่อมบำรุง

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ

หลังจากได้ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว คณะผู้จัดทำได้ทำการบันทึกค่าจากหน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดที่ติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้งหมด โดยเก็บข้อมูลทุก 5 นาที เป็นเวลา 2 วัน และนำมาวิเคราะห์โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้

1. **กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ระบบรับจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์**

หลังจากทำการวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ระบบรับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวัน พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบรับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลานั้น มีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์และความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบ ซึ่งพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถเก็บค่าไว้ได้ อยู่ในวันที่ 4 เมษายน 2555 เวลา 12:10 น. มีค่า 2.2 กิโลวัตต์ ซึ่งไม่เท่ากับกำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.85 กิโลวัตต์ อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์มีค่าต่ำ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูง มีฝุ่นละอองเกาะบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการเสื่อมสภาพตามระยะเวลาใช้งาน ส่วนค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบรับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยระหว่างวันที่ 4 - 5 เมษายน 2555 พบว่ามีค่าประมาณ 9.78 กิโลวัตต์ชั่วโมง

2. ประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 1

หลังจากคำนวณหาประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยทั้ง 2 วัน ของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 1 พบว่าประสิทธิภาพที่ได้คือ 77.63% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าในทางทฤษฎี 90% มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 13.74% ซึ่งอาจเกิดมาจากการใช้งานมานาน และผ่านการซ่อมบำรุงมาแล้ว

3. ประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 2

หลังจากคำนวณหาประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยทั้ง 2 วัน ของเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เครื่องที่ 2 จะพบว่าประสิทธิภาพที่ได้คือ 74.21% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าในทางทฤษฎี 90% มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 17.54% ซึ่งอาจเกิดมาจากการใช้งานมานาน และผ่านการซ่อมบำรุงมาแล้ว

4. ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

หลังจากคำนวณหาประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยทั้ง 2 วัน ของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะพบว่าประสิทธิภาพที่ได้คือ 75.65% มีค่าน้อยกว่าในทางทฤษฎี 90% มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 15.94% ซึ่งอาจเกิดมาจากการใช้งานมานาน และผ่านการซ่อมบำรุงมาแล้วเช่นเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 6 วิเคราะห์การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.85 กิโลวัตต์ ในแต่ละวันนั้นจะแตกต่างกัน คือ การผลิตไฟฟ้าขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ส่วนการใช้ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับการทำงานของภาระไฟฟ้าแต่ละระบบ ในช่วงเวลากลางวัน ภาระไฟฟ้าของระบบจะไม่แน่นอนเนื่องจากมีการควบคุมให้ทำงานด้วยระบบอัตโนมัติ อาจเป็นการทำงานของระบบใดก็ได้ ยกเว้นระบบไฟส่องสว่าง ส่วนในช่วงเวลากลางคืน ไม่มีการเรียนการสอน จึงมีการใช้งานภาระไฟฟ้าเพียงระบบเดียว คือ ระบบไฟส่องสว่าง

จากข้อมูลระบบในแต่ละวัน พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีการทำงานเป็นวัฏจักร คือ เมื่อเริ่มมีแสงอาทิตย์ในช่วงเช้า ระบบจะเริ่มทำการประจุแบตเตอรี่และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะเริ่มทำงาน มีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 218 โวลต์ ที่ด้านขาออก เตรียมพร้อมสำหรับจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าของระบบ เมื่อมีการเปิดใช้งานภาระไฟฟ้า ระบบจะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าและทำการประจุแบตเตอรี่ไปควบคู่กัน เมื่อถึงช่วงเย็นที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์จะหยุดผลิตไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่ระบบ และระบบไฟส่องสว่างจะเริ่มทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ จนกระทั่งพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่หมดลง เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะตัดการทำงาน และระบบควบคุมจะเปลี่ยนไปใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อจ่ายให้กับระบบไฟส่องสว่างทำงานต่อเนื่องไปจนถึงช่วงเช้า

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1) จากการติดตั้งและใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.85 กิโลวัตต์ เป็นระยะเวลาประมาณ 1 ปี พบว่ามีอุปกรณ์ในระบบชำรุดเสียหายตามระยะเวลาการใช้งาน และจากผลกระทบจากภายนอก เช่น เกิดฟ้าผ่าในบริเวณเดียวกันกับสถานที่ติดตั้งระบบ จึงทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และคณะผู้จัดทำโครงงานไม่สามารถเก็บค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าในระบบขณะที่ระบบทำงานปกติได้ ส่งผลให้การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นไปอย่างล่าช้า แนวทางแก้ไขปัญหานี้ คือ ทำการส่งอุปกรณ์ที่ชำรุดเข้าซ่อมที่ศูนย์บริการอย่างรวดเร็ว

2) ปัญหาที่คณะผู้จัดทำโครงงานพบเกี่ยวกับการทำงานของระบบ คือ พลังงานไฟฟ้าที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่ไม่เพียงพอต่อการจ่ายให้กับระบบส่องสว่างในเวลากลางคืน ไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้หลอดไฟมีแสงสว่างจนถึงเช้าได้ เนื่องจากหลังจากการติดตั้งระบบเสร็จสิ้น ผู้ใช้ได้มีการต่อภาระไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบ เช่น หลอดไฟ พัดลม เป็นต้น ซึ่งเป็นการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่มากเกินกว่าที่ออกแบบไว้ แนวทางแก้ไขคือ จัดการการใช้พลังงานของภาระไฟฟ้าในระบบใหม่ โดยคำนึงถึงพลังงานที่ต้องการใช้ในเวลากลางคืนซึ่งมากขึ้นกว่าเดิมเป็นหลัก และเนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีขนาดที่จำกัดในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า อาจมีความจำเป็นต้องเพิ่มแบตเตอรี่เข้าไปในระบบอีก 1 ชุด เพื่อเก็บสำรองพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในตอนกลางวัน ไว้ใช้ในตอนกลางคืนให้มากขึ้น

3) การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของอุปกรณ์ในระบบ มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องวัดแรงดันที่มีค่าแรงดันพิกัด 55 - 200 โวลต์กระแสตรงขึ้นไป แต่คณะทำงานได้เลือกใช้เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบดิจิตอลซึ่งมีค่าแรงดันพิกัดเพียง 0 - 50 โวลต์ ดังนั้นจึงเกิดปัญหาขึ้น คือ หากนำเครื่องวัดนี้ไปใช้ จะส่งผลให้เกิดความเสียหายเนื่องจากแรงดันเกินได้ ดังนั้นคณะจัดทำโครงงานจึงพบแนวทางแก้ไข คือ การนำวงจรแบ่งแรงดันเข้ามาใช้ โดยใช้ตัวต้านทาน 2 ตัวต่ออนุกรมกันเพื่อแบ่งแรงดัน ก่อนที่จะนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานเพียง 1 ตัว ส่งให้กับเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และการอ่านค่าแรงดันจากจอแสดงผลดิจิตอล จะต้องนำค่าที่อ่านได้ไปคูณกับค่าอัตราส่วนการลดแรงดันเพื่อให้ได้ค่าที่แท้จริง

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่ในปัจจุบัน สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าได้อย่างจำกัดตามที่ออกแบบไว้เท่านั้น ไม่สามารถต่อภาระไฟฟ้าเพิ่มเข้ามาในระบบได้ เนื่องจากจะทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของภาระไฟฟ้า แต่ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้มีมากขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นจึงควรติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า

เพิ่มเติมเพื่อช่วยระบบเดิมในการผลิตพลังงานไฟฟ้ากักเก็บไว้ในแบตเตอรี่และจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้อย่างเพียงพอ อีกทั้งยังสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโครงการเพื่อประโยชน์ของเด็กนักเรียน เช่น โครงการเลี้ยงหมูเพื่อพัฒนาวิชาชีพและเพื่ออาหารกลางวัน และโครงการเพาะเห็ดเพื่ออาหารกลางวัน ซึ่งกำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบันได้อีกด้วย โดยระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าที่จะติดตั้งเพิ่มเติมนั้น อาจเป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ หรืออาจเป็นระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังน้ำขนาดเล็ก หรือระบบผลิตไฟฟ้าจากแก๊สมูลสุกร ควบคู่กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอยู่เดิมก็เป็นได้

การวัดและเก็บค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ จุดต่าง ๆ ของระบบผลิตไฟไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่ในปัจจุบัน ใช้วิธีการติดตั้งเครื่องมือวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าแบบแสดงผลทางหน้าจอดิจิตอล และทำการตั้งกล้องถ่ายวีดีโอหน้าจอแสดงผลไว้ โดยตั้งค่าให้โปรแกรมบันทึกไฟล์วีดีโอที่ถ่ายไว้ลงในฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อการเปิดย้อนอ่านค่าข้อมูลในภายหลังได้ เมื่อเปิดดูไฟล์วีดีโอที่ถ่ายไว้จะพบว่าโปรแกรมมีการแสดงวันที่ เวลา และข้อมูลกระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ จุดต่าง ๆ ของระบบอย่างครบถ้วน แต่การจะนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์จะไม่สะดวกนัก จำเป็นต้องอ่านค่าและบันทึกตัวเลขเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตนเอง ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาระบบวัดและเก็บค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ จุดต่าง ๆ ของระบบ โดยใช้เครื่องมือวัดที่มีการเก็บข้อมูลอัตโนมัติ ชนิดบันทึกข้อมูลเป็นตัวเลขพร้อมทั้งบันทึกวันที่และเวลาขณะวัดค่านั้น ๆ เพื่อความสะดวกในการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] นายสัญญา พรหมภาสิต. (2552). **การหามุมเอียงที่เหมาะสมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์แบบอิสระในจังหวัดพิษณุโลก.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

[2] นายถิรวัฒน์ หงษ์บิน. (2547). **การวิเคราะห์สมรรถนะระบบจ่ายไฟอิสระแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานน้ำ.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

[3] สมชาย สุวราห์วรรณ. (2543). **เซลล์แสงอาทิตย์และการประยุกต์.** พิษณุโลก: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[4] Richard J. Komp, Ph.D. (2001). **Practical Photovoltaic Electricity from Solar Cells.** Ann Arbor, Michigan: aatec publications.

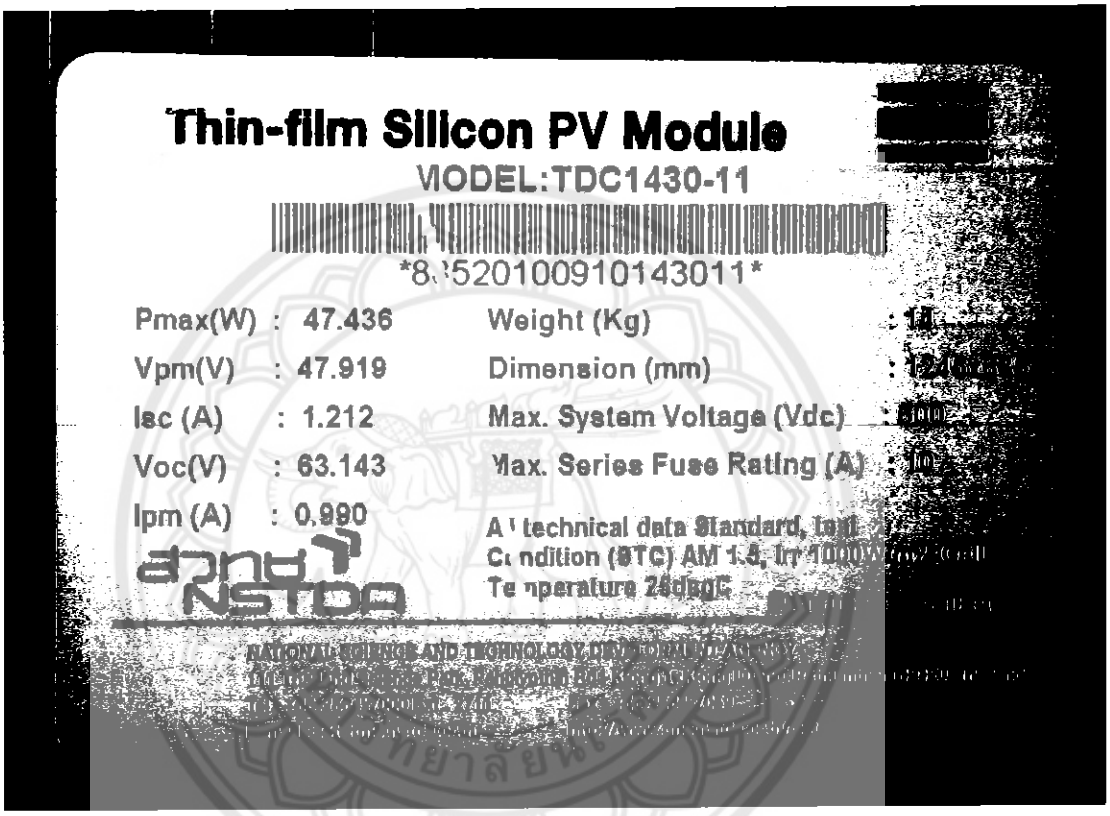
[5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ร่วมกับภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2548). **คู่มือข้อมูลมาตรฐานด้านภูมิอากาศและแสงอาทิตย์ สำหรับใช้งานด้านพลังงานทดแทน.** กรุงเทพฯ: บริษัท จิรังรัชต์ จำกัด.

[6] สุเทพ แก้วนัย. (2554). **คู่มือปั๊ม.** กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด.

[7] พิบูลย์ ดิษฐอุดม. (2521). **การออกแบบระบบแสงสว่าง.** กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลทางเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)


Thin-film Silicon PV Module
MODEL:TDC1430-11
8[illegible]520100910143011
Pmax(W) : 47.436
Vpm(V) : 47.919
Isc (A) : 1.212
Voc(V) : 63.143
Ipm (A) : 0.990
Weight (Kg)
Dimension (mm)
Max. System Voltage (Vdc)
Max. Series Fuse Rating (A)
NSTDA

ภาคผนวก ข

รายละเอียดของเครื่องควบคุมการประจะแบตเตอรี่ ยี่ห้อ LEONICS

รุ่น SOLARCON SPT-4830

LEONICS

SOLARCON SPT-series SOLAR CHARGE CONTROLLER WITH MPPT AND DC LOAD TIMER 10A

N14951

SPECIFICATIONS

	Maximum input power (W)	80 W	160 W	240 W	400 W	320 W	520 W	800 W	520 W	1000 W	1600 W
	Maximum open circuit voltage (V_{oc})	96Vcc							192 Vdc		
	MPPT tracking voltage range (V_{mp})	25 - 75 Vdc				30 - 75 Vdc			65 - 150 Vdc		
	Nominal battery voltage	12 Vdc				24 Vdc			48 Vdc		
	Boost charging voltage* (LA / VRLA)	15.0 V ± 0.2 / 14.2 V ± 0.2				30.0 V ± 0.4 / 28.4 V ± 0.4			60.0 V ± 0.8 / 56.8 V ± 0.8		
	Float charging voltage* (LA / VRLA)	13.8 V ± 0.2 / 13.5 V ± 0.2				27.6 V ± 0.4 / 27.0 V ± 0.4			55.2 V ± 0.8 / 54.0 V ± 0.8		
	Low battery disconnect voltage	10.8 V ± 0.2				21.6 V ± 0.4			43.2 V ± 0.8		
	Battery reconnection voltage	12.5 V ± 0.2				25.0 V ± 0.4			50.0 V ± 0.8		
	Maximum charging current (A)	6 A	12 A	20 A	30 A	12 A	20 A	30 A	12 A	20 A	30 A
	Nominal voltage	12 V				24 V			48 V		
	Maximum current	10 A									
	Protection	Over voltage disconnected and short circuit (Type electronics switch no: moving parts and no contact surface)									
		Hight battery voltage / Overcharge and overdischarge									
		PV transient voltage surge									
		PV reverse polarity / Battery reverse polarity									
	Approx. Power Consumption	less than 25 mA							less than 35 mA		
	LED	Charging (green), Battery status (yellow),Low battery / Low voltage disconnect (red)									
	Type (Selectable)	Deep Cycle Lead Acid (LA) or Sealed Lead Acid (VRLA)									
	Automatic cooling fan (outside enclosure)	no	no	no	yes	no	no	yes	no	yes	yes
	Temperature	0 - 45°C									
	Relative humidity	0 - 95 % (non-condensing)									
	W x H x D (mm.)	160 x 92 x 65			192 x 210 x 115						
	Approximate in kg.	0.9	2.8		3.0	2.8		3.0	2.8	3.0	

* The default charge voltage setting are based on typical deep cycle lead acid battery system. To change these setting for sealed lead acid battery system, please follow the instruction in user's guide.
Continuous product development is our commitment. In that manner, the above specifications may be changed without prior notice.

Authorized Distributor:

LEO ELECTRONICS CO.,LTD.

119/50-51 MOO 3 BANGNA-TRAD RD., BANGNA, BANGNA, BANGKOK 10260 THAILAND.
Tel. 66-2746-9500, 66-2745-8708 Fax 66-2746-8712
http://www.leonics.com • e-mail : RNE@leonics.com

Authorized Dealer:

ภาคผนวก ค

รายละเอียดของแบตเตอรี่ ยี่ห้อ 3K รุ่น EBB 125

EBB 100 Electric Battery

Model	Volt	Capacity at 20hr (Ah)	Battery Dimension (mm) L	W	H	TH	Approx Weight WithOut acid (Kgs)	Approx With Acid (Kgs)	Approx Acid Batt. (l)	Terminals Directions (n)
EBB100T	12	100	406	170	213	243	22.5	32.5	7.8	-
EBB100V	12	100	406	170	213	262	22.5	32.5	7.8	-
EBB100L	12	100	406	170	213	245	22.5	32.5	7.8	1
EBB100R	12	100	406	170	213	245	22.5	32.5	7.8	2

EBB 125 Electric Battery

Model	Volt	Capacity at 20hr (Ah)	Battery Dimension (mm) L	W	H	TH	Approx Weight WithOut acid (Kgs)	Approx With Acid (Kgs)	Approx Acid Batt. (l)	Terminals Directions (n)
EBB125T	12	125	406	170	213	243	24.0	34.8	8.4	-
EBB125V	12	125	406	170	213	262	24.0	34.8	8.4	-
EBB125L	12	125	406	170	213	245	24.0	34.8	8.4	1
EBB125R	12	125	406	170	213	245	24.0	34.8	8.4	2

EBB 130 Electric Battery

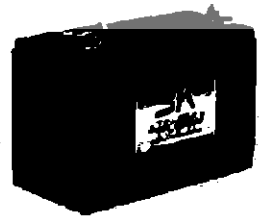
Model	Volt	Capacity at 20hr (Ah)	Battery Dimension (mm) L	W	H	TH	Approx Weight WithOut acid (Kgs)	Approx With Acid (Kgs)	Approx Acid Batt. (l)	Terminals Directions (n)
EBB130T	12	130	500	181	208	255	32.0	42.8	8.4	-
EBB130V	12	130	500	181	208	258	32.0	42.8	8.4	-
EBB130L	12	130	500	181	208	255	32.0	42.8	8.4	3
EBB130R	12	130	500	181	208	255	32.0	42.8	8.4	4

EBB 160 Electric Battery

Model	Volt	Capacity at 20hr (Ah)	Battery Dimension (mm) L	W	H	TH	Approx Weight WithOut acid (Kgs)	Approx With Acid (Kgs)	Approx Acid Batt. (l)	Terminals Directions (n)
EBB160T	12	160	506	219	208	255	38.5	51.5	10.2	-
EBB160V	12	160	506	219	208	258	38.5	51.5	10.2	-
EBB160L	12	160	506	219	208	255	38.5	51.5	10.2	3
EBB160R	12	160	506	219	208	255	38.5	51.5	10.2	4

EV 65 Electric Battery

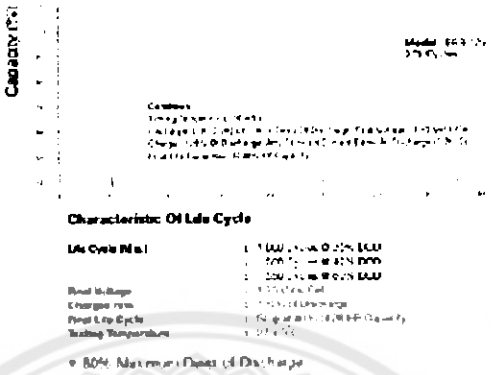
Model	Volt	Capacity at 5hr (Ah)	Capacity at 20hr (Ah)	Reserve Capacity Minutes at 75 Amps.	Battery Dimensions (mm) L	W	H	TH	Initial Charge Before Use Charging Rate (Amps.)	Charging Time (Hrs.)	Approx With Acid (Kgs.)
EV65	12	45	60	55	224	201	303	250	6	10	24.8



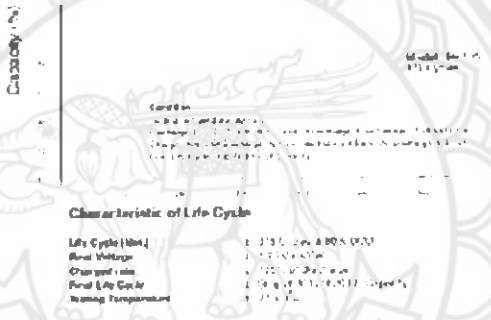
EV 130 X Electric Battery

Model	Volt	Capacity at 5hr (Ah)	Capacity at 20hr (Ah)	Reserve Capacity Minutes at 75 Amps.	Battery Dimensions (mm) L	W	H	TH	Initial Charge Before Use Charging Rate (Amps.)	Charging Time (Hrs.)	Approx With Acid (Kgs.)
EV130X	12	104	130	87	329	171	211	251	13	10	28.4

EBB 125



EB 130



Qualification of Electric Battery

1. Suitable for Electric Vehicle
2. Suitable for Solar Energy Power Supply System
3. Low Current Recharge
4. Environmental Friendly

The Advantage of Electric Battery

1. Extra Longer and Continuous Current Supply
2. Larger and Thicker Plate means less internal corrosion
3. Lower distilled water consumption
4. More Power and Longer Life

MEGACELL INTERNATIONAL CO., LTD.

ภาคผนวก ง

รายละเอียดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ยี่ห้อ LEONICS รุ่น APOLLO S - 210C

LEONICS®

APOLLO S-210 series BIDIRECTIONAL INVERTER

SPECIFICATIONS

INPUT																
	Nominal voltage	12 Vdc		24 Vdc								48 Vdc				
	Voltage range	10.5 - 14.5 Vdc		21 - 29 Vdc								40 - 58 Vdc				
	Nominal voltage	220 Vac														
	Voltage range	176 - 265 Vac														
OUTPUT																
	Power continuous (PF. = 1)	150 VA / 150 W	300 VA / 300 W	500 VA / 500 W	800 VA / 800 W	1 kVA / 1 kW	1.5 kVA/ 1.5 kW	2 kVA / 2 kW	500 VA / 500 W	1 kVA / 1 kW	1.5 kVA / 1.5 kW	2 kVA / 2 kW	2.7 kVA / 2.7 kW	3.5 kVA / 3.5 kW	5 kVA / 5 kW	
	Max. surge power	200%														
	Voltage	220 Vac ± 1%														
	Frequency	50/60 Hz ± 0.1% (crystal control)														
	Wave form	Pure sine wave														
	Total harmonic distortion	< 3%														
	Nominal Charging current	12 Vdc				24 Vdc						48 Vdc				
		7 A	14 A	12 A	20 A	24 A	30 A	40 A	6 A	12 A	18 A	24 A	32 A	38 A	52 A	
SYSTEM																
		> 80%				> 82 %				> 85%		> 90%			> 92%	
		Over current / Overload / Over temperature / Short circuit / Under voltage														
INDICATOR																
		Status / Battery level / Overload / Fault		Load level / Over load / Battery level / Low battery / Fault / Over temperature / Charger status / Inverter status												
	Buzzer	Low battery / Over load / Short circuit / Over temperature														
OPERATING CONDITION																
		0 - 45°C														
		0 - 95 % (Non - condensing)														
PHYSICAL																
	Wall mount	18.2 x 36 x 12.1		26 x 36 x 16		29 x 51.5 x 22.5			26 x 36 x 16		29 x 51.5 x 22.5		58 x 35.4 x 21.8		60x86.5x46	
	Rack mount	-				48.2 x 22 x 50		-	48.2 x 14 x 50				-			
	Wall mount	8	8.5	18.5	20.5	20.5	27		18.5	20.5	26	27	40.5		90	
	Rack mount	-				24	28	-	23	25			-			
CONFORMANCE																
	Safety regulation	AS 3100														

Continuous product development is our commitment. In that manner, the above specifications may be changed without prior notice.

Authorized Distributor:

LEO ELECTRONICS CO., LTD.

119/50-51 MOO 8 BANGNA-TRAD RD., BANGNA, BANGNA, BANGKOK 10260 THAILAND.
Tel. 66-2746-9500, 66-2746-8708 Fax. 66-2746-8712
http://www.leonics.com • e-mail : RNE@leonics.com

Authorized Dealer:

ภาคผนวก จ

รายละเอียดของหลอดไฟ ยี่ห้อ PHILIPS ขนาด 23 วัตต์

Philips Tornado
Spiral energy saving bulb

23 W (103 W)
Normal cap Warm white

871016321195410

Powerful

High performance and small in size

The Tornado is Philips' latest and most powerful energy saver. This brilliant little energy saver is super compact, has more light and saves up up to 85% energy. And the beauty is, it will fit almost any luminair in your home!

Better focus during your activities
- Very high light output

Long-lasting
- Up to 12 years lifetime

PHILIPS
sense and simplicity

Spiral energy saving bulb
23 W (103 W) Normal cap Warm white

871016321195410

Specifications

Technical specifications
- Starting time: 0.2 s
- Power factor: 0,6
- Mercury content: 1,5 mg
- Lifetime of lamp: 8 year(s)
- Rated lifetime: 8 year(s)
- Rated power: 23 W
- Wattage: 23 W
- Lamp dimension (width): 62 mm
- Color rendering index (CRI): 80
- Wattage equivalent: 103 W
- Lamp dimension (height): 126 mm
- Lamp current: 170 mA
- Lumen: 1450
- Rated luminous flux: 1450 lm
- Number of switch cycles: 5000
- Color temperature: 6500 K
- Lifetime of lamp: 8000 hour(s)
- Rated lifetime: 8000 hour(s)
- Lumen maintenance factor: 0.7 (at the end of the nominal lifetime) %
- Voltage: 220-240 V
- Warm up time 60% light output: 5 - 30 s
- Energy efficiency label: A
- Color: Cool Daylight
- Fitting/Cap: E27
- Dimmable: No
- Shape: Spiral
- Light effect / finish: White
- Wattage standard bulb: 103 W

Cleaning by breakage/disposal
- Cleaning: Follow the advice for proper clean up*
- Disposal: Follow the instruction for disposal as special waste**

Highlights

Very high light output
The light output of these lamps is higher than of most standard energy saving lamp. It gives you a high amount of light you want for activities, such as reading your favourite book or helping your kids with their homework.

Up to 12 years lifetime
Modern techNologies have a longer lifetime than standard bulbs. With 12 years lifetime, one lamp replaces 12 standard bulbs. So they save money and last longer, year after year. The lifetime is based on the average usage of 2,7 hrs per day or 1.000 hrs a year. This average is influenced by the usage during different seasons (dark winter vs light summer), the weather conditions (sunny vs rainy dark day) and on the room where the lamp is used (short usage in bathroom vs long usage in living room).

Issue date 2011-04-27

Version: 1.0.0

12NC: 9296 896 17601
EAN: 87 10163 21195 4

© 2011 Koninklijke Philips Electronics N.V.
All Rights reserved

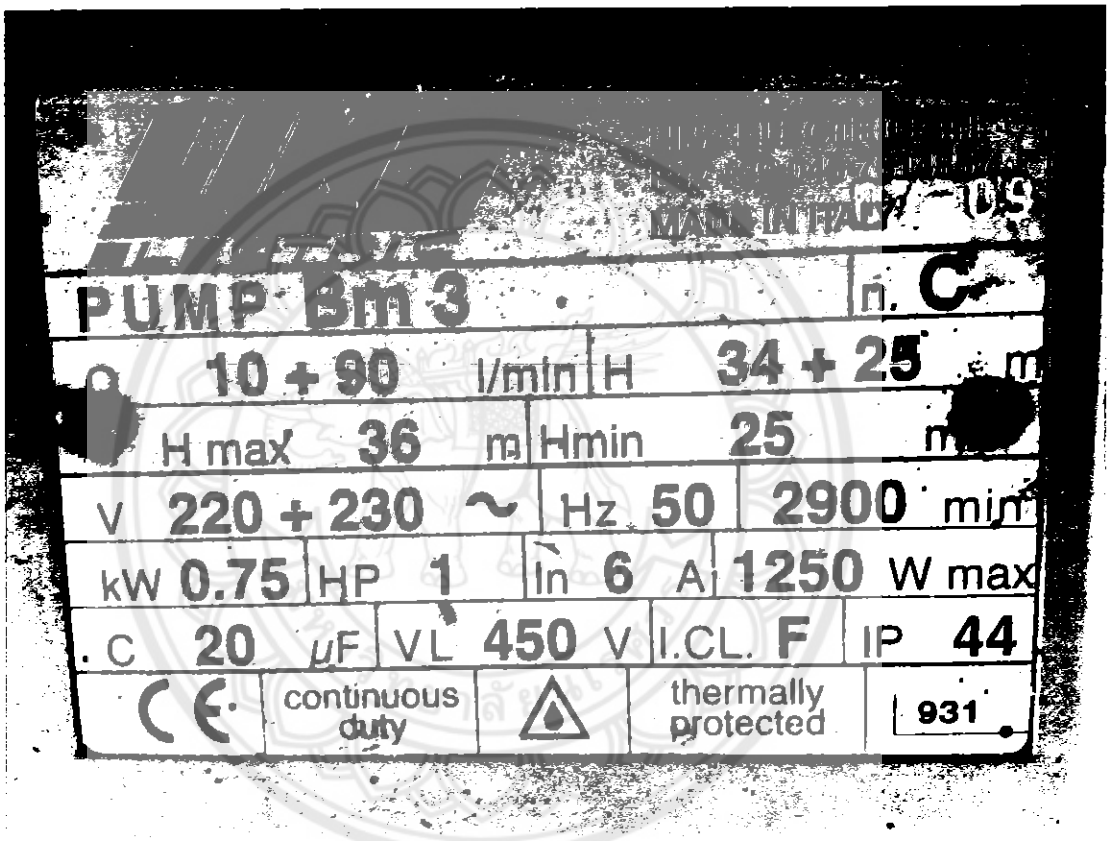
Specifications are subject to change without notice. Trademarks are the property of Koninklijke Philips Electronics N.V. or their respective owners.

www.philips.com

* Breaking a lamp is extremely unlikely to have any impact on your health. If a lamp brakes, ventilate the room for 30 minutes and remove the parts, preferably with gloves. Put them in a closed plastic bag and offer it to the local waste facilities for recycling. Do not use a vacuum cleaner.
** Compact fluorescent lamps have to be treated as special waste, they must be offered to the local waste facilities for recycling. The European Lighting Industry has set up an infrastructure, capable of recycling mercury, other metals, glass, etc.

ภาคผนวก ฉ

รายละเอียดของเครื่องสูบน้ำ ยี่ห้อ LINZ 1 เฟส 1 แรงม้า


MADE IN ITALY
PUMP Bm 3
n.
Q 10 + 90 l/min H 34 + 25 m
H max 36 m Hmin 25 m
V 220 + 230 ~ Hz 50 2900 min
kW 0.75 HP 1 In 6 A 1250 W max
C 20 µF VL 450 V I.CL. F IP 44
CE
continuous duty
thermally protected
931

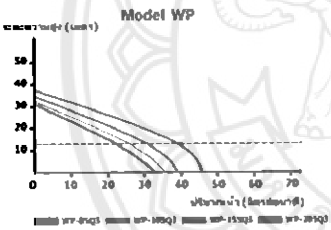
ภาคผนวก ช

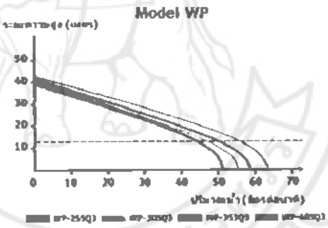
รายละเอียดของเครื่องสูบน้ำอัตโนมัติ ยี่ห้อ มิตซูบิชิ อีเล็คทริค รุ่น WP – 85Q3

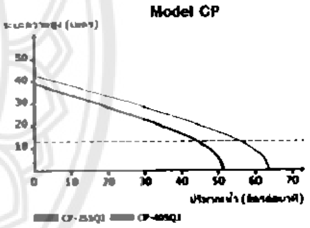
รายละเอียดของปั๊มน้ำ มิตซูบิชิ อีเล็คทริค

ประเภท	รุ่น	มอเตอร์ (วัตต์)	ระยะส่ง (เมตร)	ปริมาณน้ำ(ลิตร/นาที) สูงสุด	ปริมาณน้ำ(ลิตร/นาที) ระยะ 12 ม.	จุดที่ใช้น้ำ (จำนวนก๊อก)	สวิตช์ความดัน (กก./ซม.²) เปิด	สวิตช์ความดัน ปิด	สวิตช์ความดัน แรงดันสูงสุด**	ท่อดูด มม.(นิ้ว)	ท่อจ่าย มม.(นิ้ว)	น้ำหนัก (กก.)	ขนาด (มม.) (ฐาน) กว้างxลึก	ขนาด (มม.) (รวม) สูง	ลักษณะบ้าน
[illegible]	WP-85Q3	80	8	29	21	1-3	1.3	1.9	-	20(3/4)	20(3/4)	13	365x365	530	1-2 ชั้น
	WP-105Q3	100	11	31	24	1-3	1.3	1.9	-	20(3/4)	20(3/4)	13	365x365	530	
	WP-155Q3	150	12	37	30	1-4	1.3	1.9	-	25(1)	25(1)	13	365x365	530	
	WP-205Q3	200	16	46	38	1-5	2.1	2.8	-	25(1)	25(1)	19	425x425	580	2-3 ชั้น
	WP-255Q3	250	19	48	42	1-6	2.1	2.8	-	25(1)	25(1)	19	425x425	580	
	WP-305Q3	300	19	55	46	1-7	2.1	2.8	-	25(1)	25(1)	19	425x425	580	
	WP-355Q3	350	20	58	50	1-8	2.4	2.8	-	35(1¼)	35(1¼)	21	425x425	650	บ้านขนาดใหญ่
	WP-405Q3	400	22	63	55	1-9	2.4	2.8	-	35(1¼)	35(1¼)	21	425x425	650	
[illegible]	CP-255Q3	250	27	48	42	-	-	-	-	25(1)	25(1)	11	335x300	335	อาคารสูง
	CP-405Q3	400	30	63	55	-	-	-	-	35(1¼)	35(1¼)	11	335x300	335	
แบบอัตโนมัติ แรงดันคงที่	EP-155Q3	150	12	37	30	1-4	1.3	1.9	2.9	25(1)	25(1)	10	380x320	340	2-3 ชั้น
	EP-205Q3	200	16	46	38	1-5	2.1	2.8	4.0	25(1)	25(1)	12	380x320	340	
	EP-305Q3	300	19	55	46	1-7	2.1	2.8	4.0	25(1)	25(1)	13	380x320	340	
	EP-405Q3	400	22	63	55	1-9	2.3	2.8	4.0	35(1¼)	35(1¼)	13	380x320	340	บ้านขนาดใหญ่
[illegible]	IP-505Q3	500	[illegible] / 26เมตร	70	58	1-10	LOW 2.7	HIGH 3.0	-	35(1¼)	35(1¼)	12	380x320	340	

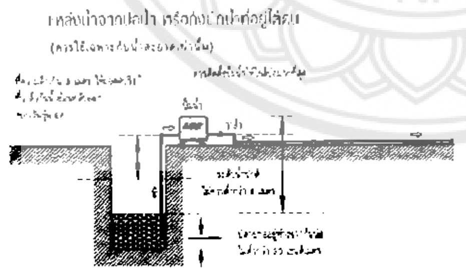
หมายเหตุ [illegible]

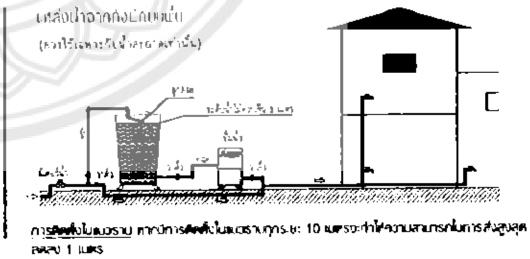






ตัวอย่างรูปแบบการใช้งานปั๊มน้ำมิตซูบิชิ





บริษัท มิตซูบิชิ อีเล็คทริค กันยงวัฒนา จำกัด
MITSUBISHI ELECTRIC KANG YONG WATANA CO.,LTD.
http://www.mitsubishi-kyw.co.th

06 2009

ภาคผนวก ซ

ข้อมูลค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.85 กิโลวัตต์ วันที่ 4 เมษายน 2555

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
0:00	0	0	0	0	0	0	46.6	5.8	270.31	218	1
0:05	0	0	0	0	0	0	46.6	5.8	270.31	218	1
0:10	0	0	0	0	0	0	46.6	5.9	274.97	218	1
0:15	0	0	0	0	0	0	46.4	5.9	273.79	218	1
0:20	0	0	0	0	0	0	46.2	5.9	272.60	218	1
0:25	0	0	0	0	0	0	46.2	5.9	272.60	218	1
0:30	0	0	0	0	0	0	45.8	6	274.81	218	1
0:35	0	0	0	0	0	0	44.8	6.2	277.75	218	1
0:40	0	0	0	0	0	0	47.2	0	0	0	0
0:45	0	0	0	0	0	0	47.4	0	0	0	0
0:50	0	0	0	0	0	0	47.6	0	0	0	0
0:55	0	0	0	0	0	0	47.6	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	47.6	0	0	0	0
1:05	0	0	0	0	0	0	47.6	0	0	0	0
1:10	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
1:15	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
1:20	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
1:25	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
1:30	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
1:35	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
1:40	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
1:45	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
1:50	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
1:55	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
2:05	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
2:10	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
2:15	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
2:20	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
2:25	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
2:30	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
2:35	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
2:40	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
2:45	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
2:50	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
2:55	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:05	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:10	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:15	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:20	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:25	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:30	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:35	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:40	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:45	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:50	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:55	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:05	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
4:10	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:15	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:20	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:25	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:30	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:35	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:40	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:45	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:50	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:55	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:05	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:10	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:15	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:20	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:25	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:30	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:35	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:40	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:45	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:50	0.5	0	0.5	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:55	1.4	0	1.8	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:00	3.7	0	5.5	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:05	10.6	0	13.3	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:10	26.7	0	27.6	0	0	0	47.8	0	0	0	0

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
6:15	40.6	0	42.8	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:20	45.6	0	56.6	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:25	63.6	0	67.6	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:30	73.3	0	47.8	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:35	63.6	0.1	73.1	0.1	0	0.1	48.0	0	0	0	0
6:40	65.0	0.2	73.6	0.2	0.2	0.2	48.0	0	0	0	0
6:45	65.0	0.4	60.2	0.3	0.4	0.3	48.4	0	0	0	0
6:50	71.0	0.4	50.6	0.5	0.5	0.5	48.8	0	0	0	0
6:55	65.0	0.6	69.0	0.5	0.7	0.7	49.0	0	0	0	0
7:00	64.1	0.8	69.0	0.7	1.0	0.9	49.2	0	0	0	0
7:05	73.3	1.1	80.9	0.9	1.5	1.4	49.4	0	0	0	0
7:10	72.8	1.4	75.0	1.2	1.8	1.7	49.0	0	0	219	0
7:15	77.4	1.6	77.3	1.5	2.0	2.0	49.0	0	0	218	0
7:20	77.4	1.8	75.0	1.7	2.2	2.4	49.2	0	0	218	0
7:25	72.8	2.2	86.5	1.8	2.9	2.6	49.4	0	0	218	0
7:30	66.4	2.2	75.9	2.1	2.8	3.0	49.4	0	0	219	0
7:35	72.8	2.8	83.7	2.2	3.2	3.2	49.6	0	0	218	0
7:40	68.2	2.8	86.9	2.9	3.4	3.5	49.6	0	0	218	0
7:45	68.2	3	90.1	2.8	3.8	3.9	49.8	0	0	218	0
7:50	68.7	3.2	87.8	2.8	4.2	4.3	49.8	0	0	218	0
7:55	68.7	4	89.2	3.8	4.7	4.8	50.0	0	0	218	0
8:00	77.9	4.6	78.6	4.9	5.0	5.2	50.0	0	0	218	0
8:05	86.6	4.9	76.8	4.2	5.2	5.4	50.0	0	0	218	0
8:10	77.9	5	71.3	4.9	5.9	6.0	50.2	0	0	218	0
8:15	87.1	5	84.6	4.8	6.0	6.2	50.2	0	0	218	0

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
8:20	84.8	5.9	77.3	5.8	6.8	7.0	50.4	0	0	218	0
8:25	86.6	5.9	85.5	5.8	7.2	6.8	50.4	0	0	218	0
8:30	84.3	6.1	86.9	6.3	7.8	7.7	50.6	0	0	218	0
8:35	87.1	5.8	74.5	5.9	7.9	6.8	50.6	0	0	218	0
8:40	84.3	6.3	99.8	5.8	8.8	8.9	50.8	0	0	218	0
8:45	84.3	6.8	76.3	7.2	9.2	8.9	51.0	0	0	218	0
8:50	84.3	8.9	99.8	8	8.3	9.0	51.2	0	0	218	0
8:55	83.4	5.9	99.8	5.8	8.2	8.0	51.4	0	0	218	0
9:00	97.2	6.8	86.5	6.9	10.2	10.3	51.4	0	0	218	0
9:05	86.6	7.8	86.9	8.2	10.7	10.8	51.6	0	0	218	0
9:10	74.7	8.9	86.0	8.8	11.9	11.4	51.8	0	0	218	0
9:15	97.2	8.8	86.5	8.8	11.7	11.8	51.8	0	0	218	0
9:20	73.7	8.6	85.5	8.8	11.6	11.1	52.0	0	0	218	0
9:25	87.1	8.4	86.0	8.8	11.4	10.9	52.2	0	0	218	0
9:30	84.8	6.8	100.2	6.8	8.8	10.1	52.2	0	0	218	0
9:35	84.8	8.8	100.2	8.8	10.8	9.8	52.6	0	0	218	0
9:40	74.7	9.8	86.5	9.8	13.2	13.4	52.8	0	0	218	0
9:45	96.8	9.8	86.9	6.8	6.8	8.9	52.2	0	0	218	0
9:50	75.1	7.8	75.4	8.2	10.6	10.6	52.4	0	0	218	0
9:55	87.1	7.9	85.5	7.8	10.1	10.2	52.6	0	0	218	0
10:05	77.4	9.3	86.5	9.9	10.8	9.8	52.8	0	0	219	0
10:05	97.2	9.3	86.9	9.8	8.8	9.8	52.6	0	0	219	0
10:10	87.1	7.8	75.9	8.9	10.9	10.8	53.0	0	0	218	0
10:15	96.8	6.8	86.9	8.8	8.7	10.9	53.4	0	0	218	0
10:20	83.9	8.8	85.5	8.8	11.8	11.9	53.6	0	0	218	0

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
10:25	84.8	8.8	76.8	8.8	10.4	12.0	53.6	0	0	218	0
10:30	86.6	8.8	79.6	9.2	12.1	12.2	54.0	0	0	218	0
10:35	75.1	10.8	75.9	11.2	14.4	14.6	54.8	0	0	218	0
10:40	97.2	6.9	87.4	9.8	11.7	13.8	55.0	0	0	218	0
10:45	92.6	8.8	80.9	10.6	12.9	14.9	55.8	0	0	218	0
10:50	84.3	10.7	86.5	10.7	14.8	14.9	55.2	9.4	519.29	218	1.2
10:55	84.8	12.3	94.3	10.2	16.8	15.3	56.0	9.1	510.03	218	1
11:00	81.6	10.2	105.3	1.9	13.4	1.9	53.2	7.1	377.97	218	1
11:05	73.7	10.7	98.9	7.2	13.9	10.3	54.8	7.9	433.25	218	1
11:10	97.2	6.4	103.5	3.8	9.1	5.3	54.2	6.4	347.13	218	1
11:15	62.2	12.6	104.4	3.1	14.2	3.5	55.0	7.2	396.31	218	1
11:20	96.8	6	101.2	4.6	8.2	6.3	54.4	6.8	370.19	218	0.9
11:25	73.3	9.5	99.8	5.7	12.0	7.7	54.6	7.5	409.81	218	1
11:30	75.6	11.3	105.3	2	14.8	2.2	54.6	7.1	387.95	218	0.9
11:35	74.2	12.2	105.3	2	15.4	2.3	55.2	7.1	392.23	218	0.9
11:40	84.3	11	104.4	2	15.2	2.4	54.4	7.2	391.97	218	0.9
11:45	89.9	9.8	105.8	1.9	14.0	2.0	55.2	7.9	436.43	217	0.9
11:50	85.7	10.3	104.8	1.9	14.4	2.1	54.8	7	383.89	218	0.9
11:55	84.3	9.9	104.4	1.9	13.6	2.0	55.2	6.9	381.18	217	0.9
12:00	77.4	6.9	93.4	5.5	8.7	7.1	54.8	6.7	367.44	218	0.9
12:05	77.4	8.3	101.6	4.2	10.7	5.5	54.8	7.7	422.28	218	1.1
12:10	79.7	13.6	82.3	13.6	19.0	19.5	53.8	10.5	565.30	218	1.2
12:15	102.8	1.4	76.3	13.8	2.5	18.0	57.5	3.3	189.60	218	0.8
12:20	101.8	1.3	76.8	12.3	2.4	17.1	54.0	5.5	297.21	218	1.2
12:25	101.4	0.7	92.9	8	1.0	12.3	56.7	1.9	107.64	218	0.45

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
12:30	94.0	7.6	104.4	1.8	8.8	1.0	55.0	2	110.09	218	0.5
12:35	88.9	9.7	105.3	1.9	13.8	2.0	55.2	7.4	408.80	218	1.1
12:40	83.4	12.2	99.8	6.7	17.1	10.1	54.6	8.7	475.38	219	1.1
12:45	94.0	7.4	103.9	1.6	10.9	1.2	55.0	0	0	218	0
12:50	95.9	5.8	104.4	1.2	7.8	0.8	55.8	0	0	218	0
12:55	96.3	5.8	103.9	1.2	8.8	0.9	55.0	0	0	218	0
13:00	95.9	6.2	105.3	1.4	9.2	1.1	55.0	0	0	218	0
13:05	95.9	6.8	103.9	1.2	9.2	1.1	55.0	0	0	218	0
13:10	97.7	4.9	103.9	1	6.2	0.6	54.6	0	0	218	0
13:15	95.9	6.8	103.9	1.9	8.8	0.8	55.8	0	0	218	0
13:20	92.6	6.8	103.9	1.9	8.7	1.2	55.2	0	0	218	0
13:25	95.9	6.8	103.9	1.9	8.8	0.9	55.0	0	0	218	0
13:30	95.9	5.3	104.4	1.2	7.3	0.8	55.2	0	0	218	0
13:35	93.1	6.3	104.8	1.4	9.2	1.1	54.8	0	0	218	0
13:40	93.5	5.9	103.9	1.4	8.8	1.1	55.0	0	0	218	0
13:45	93.5	6.3	103.9	1.4	9.0	1.1	55.0	0	0	218	0
13:50	92.6	6.5	104.4	1.5	9.2	0.9	55.2	0	0	218	0
13:55	93.1	6.8	104.8	1.5	9.4	1.0	55.0	0	0	218	0
14:00	93.1	7	103.9	1.5	9.8	1.1	54.8	0	0	218	0
14:05	92.2	7.2	103.9	1.6	10.0	1.2	55.0	0	0	218	0
14:10	91.2	7.8	103.9	1.6	10.4	1.3	55.2	0	0	218	0
14:15	93.5	6.4	103.9	1.4	9.2	1.1	54.8	0	0	218	0
14:20	93.1	6.4	103.9	1.4	9.2	1.0	54.8	0	0	218	0
14:25	92.6	6.2	103.9	1.4	9.2	1.1	55.0	0	0	218	0
14:30	93.1	6.1	103.9	1.3	9.2	1.0	54.4	0	0	218	0

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
14:35	92.6	6	103.0	1.4	8.5	1.0	55.2	0	0	218	0
14:40	92.6	5.9	103.0	1.2	7.7	0.8	55.2	0	0	218	0
14:45	92.2	6	103.0	1.2	8.0	0.8	55.2	0	0	218	0
14:50	72.4	6	100.7	1.8	7.4	1.9	54.8	0	0	218	0
14:55	74.2	8.2	102.5	3.1	10.3	3.4	54.8	0	0	218	0
15:00	81.1	9.4	86.0	9.4	14.0	14.0	49.2	27.3	1343.63	218	5
15:05	94.9	4.3	80.5	8.1	6.7	11.4	56.2	0	0	218	0
15:10	97.7	4.1	75.9	8.3	6.0	11.2	55.2	7.8	430.90	218	1.1
15:15	79.3	9	84.6	9	13.0	13.1	51.0	34.7	1770.58	217	6.5
15:20	78.8	8.3	76.8	9.3	12.2	12.4	51.2	9.5	486.65	218	1.2
15:25	100.9	1	74.5	7.1	1.6	9.5	55.4	0	0	218	0
15:30	83.0	7.5	82.3	7.9	11.1	11.3	50.2	7.8	391.73	218	1
15:35	89.9	8	86.9	7.9	10.2	11.3	52.4	7.8	408.97	218	1
15:40	92.2	7.2	91.1	7	9.8	9.9	52.8	0	0	218	0
15:45	85.3	5.6	83.7	5.4	7.2	7.3	53.2	0	0	218	0
15:50	80.6	5.2	78.2	5	6.0	6.2	54.2	0	0	218	0
15:55	75.1	4.9	69.0	4.7	5.4	5.5	55.0	0	0	218	0
16:00	74.7	9.8	68.5	3.7	4.9	4.6	54.6	0	0	218	0
16:05	84.8	3.9	89.2	2.6	4.0	3.8	54.2	0	0	218	0
16:10	86.6	3.2	90.1	2.9	3.8	3.8	54.0	0	0	218	0
16:15	64.1	3	78.6	2.9	3.5	3.7	53.8	0	0	218	0
16:20	86.6	2.9	86.5	2.6	3.2	3.4	53.6	0	0	218	0
16:25	86.2	2	86.5	2.2	2.6	2.8	53.4	0	0	218	0
16:30	62.7	2.1	74.0	2.8	2.4	2.6	52.8	0	0	218	0
16:35	65.9	1.6	67.6	1.4	1.8	1.8	52.0	0	0	218	0

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
16:40	71.4	1.5	81.9	1.3	1.8	1.9	51.8	0	0	218	0
16:45	77.4	1.5	73.6	1.4	1.8	1.9	51.6	0	0	218	0
16:50	71.9	1.5	86.9	1.3	1.8	1.9	51.6	0	0	218	0
16:55	65.4	1.5	79.1	1.3	1.8	1.9	51.6	0	0	218	0
17:00	77.4	1.4	77.3	1.3	1.8	1.9	51.6	0	0	218	0
17:05	59.0	1.3	68.1	1.2	1.4	1.5	51.2	0	0	218	0
17:10	66.4	1.1	80.5	0.9	1.4	1.4	51.0	0	0	218	0
17:15	71.0	0.9	63.9	0.8	1.2	1.0	50.6	0	0	218	0
17:20	77.9	0.9	73.6	0.8	1.1	1.1	50.4	0	0	218	0
17:25	59.0	0.7	67.6	0.6	0.8	0.8	49.8	0	0	218	0
17:30	64.5	0.6	63.5	0.5	0.8	0.6	49.8	0	0	218	0
17:35	71.9	0.4	73.1	0.4	0.6	0.6	49.6	0	0	218	0
17:40	57.1	0.5	61.6	0.4	0.6	0.5	49.2	0	0	218	0
17:45	64.5	0.4	60.7	0.4	0.4	0.4	49.6	0	0	218	0
17:50	53.0	0.4	62.1	0.3	0.3	0.4	49.6	0	0	218	0
17:55	77.0	0.1	53.3	0.2	0.1	0.2	49.4	0	0	218	0
18:00	47.5	0.3	49.7	0.2	0.2	0.2	49.4	0	0	218	0
18:05	57.6	0.2	70.4	0.1	0.1	0.1	49.4	0	0	218	0
18:10	58.1	0.2	62.1	0.1	0.1	0.1	48.8	0	0	218	0
18:15	47.0	0	0.0	0	0	0	49.4	0	0	218	0
18:20	33.6	0	38.6	0	0	0	49.2	3.3	162.42	218	0.7
18:25	9.2	0	13.8	0	0	0	48.8	5.8	283.13	218	1
18:30	8.3	0	11.0	0	0	0	48.8	5.7	278.25	218	1
18:35	4.6	0	6.4	0	0	0	48.6	9	437.53	218	1.9
18:40	2.3	0	3.2	0	0	0	48.8	5.7	278.25	218	1

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
18:45	0.5	0	0.9	0	0	0	48.8	5.7	278.25	218	0.8
18:50	1.4	0	0.9	0	0	0	48.8	5.7	278.25	218	0.6
18:55	0.5	0	0.5	0	0	0	48.8	5.7	278.25	218	0.8
19:00	0	0	0	0	0	0	48.8	5.7	278.25	218	0.8
19:05	0	0	0	0	0	0	48.6	5.7	277.10	218	1
19:10	0	0	0	0	0	0	48.6	5.7	277.10	218	1
19:15	0	0	0	0	0	0	48.6	5.7	277.10	218	1
19:20	0	0	0	0	0	0	48.6	5.8	281.96	218	1
19:25	0	0	0	0	0	0	48.6	5.6	272.24	218	1
19:30	0	0	0	0	0	0	48.6	5.6	272.24	218	0.8
19:35	0	0	0	0	0	0	48.4	5.6	271.12	218	0.9
19:40	0	0	0	0	0	0	48.4	5.6	271.12	218	0.9
19:45	0	0	0	0	0	0	48.4	5.6	271.12	218	0.8
19:50	0	0	0	0	0	0	48.4	5.7	275.96	218	1
19:55	0	0	0	0	0	0	48.4	5.6	271.12	218	1
20:00	0	0	0	0	0	0	48.4	5.6	271.12	218	1
20:05	0	0	0	0	0	0	48.4	5.7	275.96	218	1
20:10	0	0	0	0	0	0	48.4	5.6	271.12	218	1
20:15	0	0	0	0	0	0	48.4	5.5	266.28	218	0.9
20:20	0	0	0	0	0	0	48.2	5.5	265.17	218	0.9
20:25	0	0	0	0	0	0	48.2	5.6	269.99	218	1
20:30	0	0	0	0	0	0	48.2	5.6	269.99	218	1
20:35	0	0	0	0	0	0	48.2	5.6	269.99	218	0.8
20:40	0	0	0	0	0	0	48.2	5.6	269.99	218	1
20:45	0	0	0	0	0	0	48.2	5.7	274.81	218	1

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
20:50	0	0	0	0	0	0	48.2	5.7	274.81	218	1
20:55	0	0	0	0	0	0	48.2	5.7	274.81	218	1
21:00	0	0	0	0	0	0	48.2	5.7	274.81	218	1
21:05	0	0	0	0	0	0	48.0	5.7	273.67	218	1
21:10	0	0	0	0	0	0	48.0	5.8	278.47	218	1
21:15	0	0	0	0	0	0	48.0	5.8	278.47	218	1
21:20	0	0	0	0	0	0	48.0	5.8	278.47	218	1
21:25	0	0	0	0	0	0	48.0	5.8	278.47	218	1
21:30	0	0	0	0	0	0	48.0	5.7	273.67	218	1
21:35	0	0	0	0	0	0	48.0	5.8	278.47	218	1
21:40	0	0	0	0	0	0	48.0	5.8	278.47	218	1
21:45	0	0	0	0	0	0	48.0	5.8	278.47	218	1
21:50	0	0	0	0	0	0	47.8	5.8	277.30	218	1
21:55	0	0	0	0	0	0	47.8	5.8	277.30	218	1
22:00	0	0	0	0	0	0	47.8	5.8	277.30	218	1
22:05	0	0	0	0	0	0	47.8	5.8	277.30	218	1
22:10	0	0	0	0	0	0	47.8	5.8	277.30	218	1
22:15	0	0	0	0	0	0	47.8	5.8	277.30	218	1
22:20	0	0	0	0	0	0	47.8	5.8	277.30	218	1
22:25	0	0	0	0	0	0	47.4	10.3	488.32	218	1.6
22:30	0	0	0	0	0	0	47.6	5.8	276.14	218	1
22:35	0	0	0	0	0	0	47.6	5.8	276.14	218	1
22:40	0	0	0	0	0	0	47.6	5.8	276.14	218	1
22:45	0	0	0	0	0	0	47.6	5.8	276.14	218	1
22:50	0	0	0	0	0	0	47.6	5.9	280.90	218	1

วันที่...4... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
22:55	0	0	0	0	0	0	47.6	5.9	280.90	218	1
23:00	0	0	0	0	0	0	47.6	5.9	280.90	218	1
23:05	0	0	0	0	0	0	47.6	5.9	280.90	218	1
23:10	0	0	0	0	0	0	47.4	5.9	279.71	218	1
23:15	0	0	0	0	0	0	47.4	5.9	279.71	218	1
23:20	0	0	0	0	0	0	47.4	5.9	279.71	218	1
23:25	0	0	0	0	0	0	47.4	5.9	279.71	218	1
23:30	0	0	0	0	0	0	47.2	5.9	278.53	218	1
23:35	0	0	0.5	0	0	0	47.2	5.9	278.53	218	1
23:40	0	0	0.5	0	0	0	47.2	5.9	278.53	218	1
23:45	0.5	0	0.5	0	0	0	47.2	5.9	278.53	218	1
23:50	0.0	0	0.5	0	0	0	47.2	5.9	278.53	218	1
23:55	0.5	0	0.5	0	0	0	47.2	5.9	278.53	218	1

ภาคผนวก ฌ

ข้อมูลค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.85 กิโลวัตต์ วันที่ 5 เมษายน 2555

วันที่...5... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
0:00	0	0	0	0	0	0	47.2	6.0	283.25	218	1.0
0:05	0	0	0	0	0	0	47.0	5.9	277.34	218	1.0
0:10	0	0	0	0	0	0	47.0	6.0	282.05	218	1.0
0:15	0	0	0	0	0	0	47.0	5.9	277.34	218	1.0
0:20	0	0	0	0	0	0	47.0	6.0	282.05	218	1.1
0:25	0	0	0	0	0	0	47.0	6.0	282.05	218	1.0
0:30	0	0	0	0	0	0	46.8	6.1	285.52	218	1.0
0:35	0	0	0	0	0	0	46.8	6.0	280.84	218	1.0
0:40	0	0	0	0	0	0	46.8	6.0	280.84	218	1.0
0:45	0	0	0	0	0	0	46.8	5.9	276.16	218	1.0
0:50	0	0	0	0	0	0	46.6	6.0	279.63	218	1.0
0:55	0	0	0	0	0	0	46.6	6.0	279.63	218	1.1
1:00	0	0	0	0	0	0	46.6	5.9	274.97	218	1.0
1:05	0	0	0	0	0	0	46.4	6.0	278.43	218	1.0
1:10	0	0	0	0	0	0	46.4	5.8	269.15	218	1.0
1:15	0	0	0	0	0	0	46.4	6.0	278.43	218	1.0
1:20	0	0	0	0	0	0	46.4	5.9	273.79	218	1.0
1:25	0	0	0	0	0	0	46.4	5.9	273.79	218	1.0
1:30	0	0	0	0	0	0	46.2	6.0	277.22	218	1.0
1:35	0	0	0	0	0	0	46.2	5.8	267.98	218	1.0
1:40	0	0	0	0	0	0	45.8	6.0	274.81	218	1.0
1:45	0	0	0	0	0	0	45.2	6.1	275.72	218	1.0
1:50	0	0	0	0	0	0	44.0	6.4	281.56	218	1.0
1:55	0	0	0	0	0	0	44.0	6.3	277.16	218	1.0
2:00	0	0	0	0	0	0	43.6	6.5	283.35	218	1.0

วันที่...5... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
2:05	0	0	0	0	0	0	45.2	0	0	0	0
2:10	0	0	0	0	0	0	46.6	0	0	0	0
2:15	0	0	0	0	0	0	46.8	0	0	0	0
2:20	0	0	0	0	0	0	47.2	0	0	0	0
2:25	0	0	0	0	0	0	47.4	0	0	0	0
2:30	0	0	0	0	0	0	47.4	0	0	0	0
2:35	0	0	0	0	0	0	47.6	0	0	0	0
2:40	0	0	0	0	0	0	47.6	0	0	0	0
2:45	0	0	0	0	0	0	47.6	0	0	0	0
2:50	0	0	0	0	0	0	47.6	0	0	0	0
2:55	0	0	0	0	0	0	47.6	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	47.6	0	0	0	0
3:05	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:10	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:15	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:20	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:25	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:30	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:35	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:40	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:45	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:50	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
3:55	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:05	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0

วันที่...5... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
4:10	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:15	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:20	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:25	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:30	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:35	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:40	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:45	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:50	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
4:55	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:05	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:10	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:15	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:20	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:25	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:30	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:35	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:40	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:45	0	0	0	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:50	0.5	0	0.5	0	0	0	47.8	0	0	0	0
5:55	1.4	0	1.8	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:00	1.8	0	2.8	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:05	6.0	0	8.3	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:10	12.4	0	15.6	0	0	0	47.8	0	0	0	0

วันที่...5... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
6:15	25.3	0.1	30.4	0	0	0	47.6	0	0	0	0
6:20	44.7	0	47.4	0	0	0	47.6	0	0	0	0
6:25	55.3	0	47.4	0	0	0	47.6	0	0	0	0
6:30	63.6	0	47.4	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:35	59.0	0.1	74.5	0	0	0	47.8	0	0	0	0
6:40	77.4	0	60.2	0.1	0.1	0	48.0	0	0	0	0
6:45	80.2	0	91.1	0.1	0	0	47.8	0	0	0	0
6:50	83.0	0	73.1	0.1	0	0.1	48.0	0	0	0	0
6:55	59.0	0.3	61.2	0.2	0.3	0.3	48.4	0	0	0	0
7:00	59.4	0.4	59.8	0.3	0.4	0.3	48.6	0	0	0	0
7:05	65.4	0.4	61.2	0.4	0.5	0.5	49.4	0	0	0	0
7:10	65.0	0.5	66.7	0.5	0.7	0.7	49.2	0	0	0	0
7:15	77.0	0.7	72.7	0.6	0.8	0.8	49.2	0	0	0	0
7:20	71.4	1.1	76.3	0.9	1.4	1.3	49.4	0	0	0	0
7:25	74.7	2.2	78.6	2.0	2.7	2.9	49.4	2.3	113.66	219	0
7:30	75.1	3.6	78.2	3.8	4.2	4.9	49.8	2.8	139.50	218	0
7:35	73.3	4.0	84.6	3.6	4.6	4.8	49.8	2.8	139.50	218	0
7:40	87.1	2.3	91.1	1.8	2.8	2.6	49.4	2.9	143.31	218	0
7:45	66.8	3.0	81.9	2.6	3.9	3.8	49.6	2.6	129.01	219	0
7:50	66.8	3.5	70.4	3.2	4.0	4.3	49.8	2.7	134.51	218	0
7:55	68.7	4.0	89.2	3.8	4.7	4.8	50.0	2.8	140.06	218	0
8:00	87.1	2.8	80.9	2.6	3.9	3.7	49.4	2.5	123.55	219	0
8:05	67.3	3.5	81.9	2.8	4.1	4.2	49.6	2.7	133.97	218	0
8:10	74.7	4.2	91.5	3.8	4.8	5.0	49.8	2.8	139.50	219	0
8:15	89.4	2.8	81.4	2.8	3.8	4.0	49.6	2.5	124.05	218	0

วันที่...5... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
8:20	91.2	2.0	93.4	1.8	2.8	2.6	49.4	2.2	108.72	219	0
8:25	87.6	2.8	91.5	2.9	3.0	3.3	49.4	2.1	103.78	219	0
8:30	77.4	2.8	70.8	2.7	3.6	3.7	49.6	2.5	124.05	218	0
8:35	69.1	4.7	72.7	4.2	5.2	5.4	50.0	2.2	110.05	218	0
8:40	86.6	5.8	75.9	6.0	7.2	7.4	50.4	2.1	105.89	218	0
8:45	74.2	5.4	82.8	5.1	6.2	6.6	50.2	2.3	115.51	218	0
8:50	96.8	5.8	87.4	6.2	7.3	7.8	50.2	2.1	105.47	219	0
8:55	74.2	6.3	76.3	6.8	7.8	8.0	50.4	2.5	126.06	218	0
9:00	87.1	6.8	75.9	6.8	8.5	8.8	50.6	2.2	111.37	218	0
9:05	95.9	9.2	97.0	6.8	8.9	6.9	50.6	2.1	106.31	218	0
9:10	86.2	7.8	87.8	7.8	10.9	10.4	51.2	2.6	133.19	218	0
9:15	84.8	7.0	88.3	7.8	9.9	9.6	51.0	2.4	122.46	218	0
9:20	84.8	8.8	77.7	8.8	11.6	11.1	52.0	2.3	119.67	219	0
9:25	97.2	8.7	99.8	8.8	10.4	11.4	51.8	2.1	108.84	218	0
9:30	86.2	8.7	97.5	8.8	11.5	11.9	52.2	2.2	114.91	218	0
9:35	87.1	8.4	99.8	7.8	12.1	10.9	52.2	2.1	109.68	218	0
9:40	97.2	8.8	86.9	10.9	12.2	11.9	52.4	2.1	110.11	219	0
9:45	86.2	10.8	86.0	11.8	16.2	16.4	52.8	2.1	110.95	218	0
9:50	75.6	11.9	86.0	11.8	16.2	16.9	53.0	2.2	116.68	218	0
9:55	97.2	8.9	87.4	8.3	11.8	11.4	52.8	2.3	121.52	218	0
10:05	97.2	8.8	87.8	8.9	10.4	11.4	53.2	2.1	111.79	219	0
10:05	85.7	10.7	88.3	11.2	16.8	16.7	53.6	2.2	118.00	219	0
10:10	83.0	10.9	99.8	8.3	15.6	12.3	53.8	2.1	113.06	218	0
10:15	87.1	10.9	75.9	10.9	14.6	14.7	53.4	2.3	122.90	218	0
10:20	88.9	8.9	86.5	9.0	12.4	12.8	53.6	2.1	112.64	218	0

วันที่...5... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
10:25	79.7	10.2	85.1	10.8	14.3	14.4	54.0	2.2	118.88	218	0
10:30	82.0	11.8	86.5	10.8	14.9	14.9	54.2	2.2	119.33	218	0
10:35	88.5	8.9	97.9	8.8	13.8	12.9	54.0	2.4	129.69	219	0
10:40	97.2	6.9	87.4	9.8	11.7	13.8	55.0	2.1	115.59	218	0
10:45	89.4	9.8	100.2	8.1	14.9	13.8	54.8	2.3	126.14	218	0
10:50	83.0	10.1	91.5	8.6	14.8	12.8	54.6	2.1	114.75	218	0
10:55	102.3	5.9	86.5	12.3	8.0	18.2	55.4	2.3	127.52	218	0
11:00	101.4	4.9	75.0	13.3	7.9	17.9	55.0	2.1	115.59	218	0
11:05	78.3	13.3	106.7	1.9	17.5	2.4	55.0	2.1	115.59	219	0
11:10	82.5	12.6	105.8	1.9	17.2	2.3	55.2	2.1	116.01	218	0
11:15	87.1	11.5	105.8	1.9	16.3	2.2	55.4	2.2	121.98	218	0
11:20	88.9	10.8	105.3	1.9	15.5	2.1	55.2	2.3	127.06	218	0
11:25	90.3	10.2	104.8	1.8	14.8	2.0	55.2	2.3	127.06	218	0
11:30	97.7	6.2	100.2	6.9	9.3	9.2	54.8	2.2	120.65	218	0
11:35	92.2	9.2	104.8	1.8	13.3	1.8	55.2	2.1	116.01	219	0
11:40	92.2	9.5	104.8	1.8	13.8	1.9	55.2	2.5	138.11	218	0
11:45	97.2	6.9	105.3	1.3	9.9	1.0	54.8	2.8	153.56	218	0
11:50	93.5	8.8	105.3	1.7	13.0	1.7	54.8	2.1	115.17	218	0
11:55	97.2	6.9	104.8	1.9	9.3	1.0	54.6	2.6	142.07	218	0
12:00	97.2	6.8	104.4	1.2	8.8	0.8	54.4	2.8	152.43	218	0
12:05	97.2	5.9	104.4	1.2	8.8	0.8	54.4	2.5	136.10	219	0
12:10	96.3	8.8	104.8	1.9	10.8	1.1	54.6	2.8	153.00	219	0.2
12:15	94.0	7.9	105.3	1.6	11.3	1.9	55.4	3.1	171.88	218	0.4
12:20	106.0	0.6	105.3	9.1	0.9	10.2	54.0	26.4	1426.62	218	5.1
12:25	106.9	0.8	104.4	8.2	1.2	11.8	56.7	26.6	1506.89	218	5.2

วันที่...5... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
12:30	111.1	0.7	103.0	8.1	1.1	12.0	55.0	27.0	1486.16	218	5.3
12:35	93.1	0.9	102.1	7.8	1.3	12.1	55.2	24.3	1342.43	219	4.7
12:40	83.9	0.8	104.4	8.2	0.8	12.5	54.6	25.0	1366.03	219	4.8
12:45	97.2	0.7	100.7	7.7	0.9	12.6	55.0	25.9	1425.61	218	4.9
12:50	94.9	7.9	106.2	0.9	11.9	1.0	55.8	26.1	1457.60	219	4.8
12:55	95.9	8.3	105.3	0.8	12.1	1.5	55.0	24.7	1359.56	218	4.6
13:00	92.6	8.6	103.0	0.8	12.3	1.1	55.0	24.1	1326.54	218	4.9
13:05	97.7	8.2	100.7	1.1	12.5	1.3	55.0	25.3	1392.59	218	4.8
13:10	92.2	7.8	99.8	1.2	12.6	1.6	54.6	24.8	1355.10	218	4.9
13:15	88.9	8.2	97.9	0.9	12.1	1.5	55.8	24.7	1379.41	218	4.8
13:20	89.4	7.9	98.9	1.0	12.3	1.4	55.2	25.0	1381.10	218	4.9
13:25	90.3	0.9	99.3	5.9	1.2	8.6	55.0	2.8	154.12	218	0
13:30	91.2	1.1	100.7	5.8	1.3	7.0	55.2	2.9	160.21	219	0
13:35	90.8	1.4	102.5	6.1	1.5	8.9	54.8	2.8	153.56	218	0
13:40	92.6	1.3	98.4	6.0	1.7	8.7	55.0	2.8	154.12	219	0
13:45	89.9	1.4	100.7	6.3	1.7	8.5	55.0	2.9	159.62	219	0
13:50	88.9	1.5	99.3	6.1	2.0	8.9	55.2	2.8	154.68	218	0
13:55	88.5	1.7	99.3	6.0	2.1	9.5	55.0	2.8	154.12	218	0
14:00	92.6	1.3	97.9	6.2	1.9	9.7	54.8	2.9	159.04	219	0
14:05	87.1	2.1	98.9	6.5	1.8	9.9	55.0	2.9	159.62	218	0
14:10	92.6	1.3	99.8	7.0	1.9	10.1	55.2	3.0	165.73	219	0
14:15	96.8	1.7	98.9	6.9	2.0	9.2	54.8	2.9	159.04	218	0
14:20	98.2	1.9	101.6	6.3	2.1	9.2	54.8	2.9	159.04	218	0
14:25	96.3	1.2	96.1	6.5	2.0	9.2	55.0	3.1	170.63	219	0
14:30	94.0	1.3	100.7	6.7	1.9	9.2	54.4	3.2	174.21	218	0

วันที่...5... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
14:35	91.7	1.3	99.8	6.6	1.8	8.5	55.2	2.9	160.21	218	0
14:40	93.5	1.6	94.7	6.2	1.9	7.7	55.2	2.7	149.16	218	0
14:45	91.2	6.5	100.7	1.2	8.0	2.0	55.2	2.8	154.68	219	0
14:50	99.1	7.0	94.3	1.8	7.4	2.0	54.8	2.8	153.56	218	0
14:55	98.6	8.2	98.4	2.1	10.3	3.4	54.8	2.6	142.59	218	0
15:00	96.8	8.9	98.9	8.0	14.0	14.0	49.2	2.2	108.28	218	0
15:05	97.7	7.9	93.4	8.5	6.7	11.4	56.2	3.3	185.62	218	0
15:10	91.2	7.8	92.9	8.7	6.0	11.2	55.2	2.8	154.68	218	0
15:15	83.9	8.9	92.4	8.4	13.0	13.1	51.0	2.1	107.15	217	0
15:20	83.0	8.1	91.5	9.1	12.2	12.4	51.2	2.7	138.31	218	0
15:25	83.4	1.7	86.0	7.9	1.6	9.5	55.4	2.7	149.70	218	0
15:30	89.4	7.6	84.6	6.9	11.1	11.3	50.2	2.6	130.58	218	0
15:35	92.6	7.7	89.7	7.2	10.2	11.3	52.4	2.6	136.32	218	0
15:40	89.9	8.7	89.7	7.4	9.8	9.9	52.8	2.1	110.95	218	0
15:45	84.8	8.3	83.2	5.9	7.2	7.3	53.2	2.8	149.06	219	0
15:50	83.4	4.5	80.5	5.4	6.0	6.2	54.2	3.0	162.72	219	0
15:55	73.3	6.5	80.0	5.2	5.4	5.5	55.0	2.9	159.62	218	0
16:00	71.9	7.2	75.0	4.1	5.2	4.6	54.6	2.7	147.53	218	0
16:05	80.2	5.9	83.7	3.2	4.0	3.8	54.2	2.5	135.60	219	0
16:10	83.9	6.4	83.2	2.8	3.8	3.8	54.0	2.5	135.10	218	0
16:15	65.0	5.7	85.1	2.7	3.5	3.7	53.8	2.5	134.59	218	0
16:20	71.9	5.1	83.7	2.5	3.2	3.4	53.6	2.4	128.73	218	0
16:25	77.0	4.6	82.3	2.7	2.6	2.8	53.4	2.2	117.56	218	0
16:30	65.4	3.2	76.8	2.2	2.4	2.6	52.8	2.2	116.23	218	0
16:35	67.3	3.1	72.2	2.0	1.8	1.8	52.0	2.0	104.06	219	0

วันที่...5... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
16:40	68.7	2.5	83.2	1.6	1.8	1.9	51.8	2.1	103.66	218	0
16:45	73.3	2.2	80.0	1.7	1.8	1.9	51.6	2.2	103.26	218	0
16:50	71.0	2.9	88.8	1.5	1.8	1.9	51.5	2.3	103.26	218	0
16:55	69.6	2.5	74.0	1.9	1.8	1.9	51.7	2.1	103.26	218	0
17:00	74.7	2.9	76.3	1.6	1.8	1.9	51.6	2.4	103.26	219	0
17:05	61.8	2.6	73.1	1.5	1.4	1.5	51.2	2.0	102.45	218	0
17:10	62.7	2.4	75.0	1.4	1.4	1.4	51.0	1.9	96.95	218	0
17:15	65.9	2.6	77.7	1.1	1.2	1.0	50.6	1.8	96.18	218	0
17:20	79.3	1.9	74.5	1.2	1.1	1.1	50.4	2.0	95.80	218	0
17:25	61.8	1.8	69.4	0.9	0.8	0.8	49.8	2.2	94.66	218	0
17:30	57.6	1.6	65.8	0.6	0.8	0.6	49.8	2.3	94.66	219	0
17:35	56.7	1.0	73.6	0.5	0.6	0.6	49.6	2.5	94.28	219	0
17:40	55.8	0.7	65.3	0.6	0.6	0.5	49.2	2.4	93.51	218	0
17:45	60.8	0.4	64.8	0.6	0.4	0.4	49.6	2.2	89.31	218	0
17:50	56.7	0.5	59.3	0.7	0.3	0.4	49.6	2.1	89.31	219	0
17:55	54.8	0.3	51.0	0.3	0.1	0.2	49.4	2.0	88.95	218	0
18:00	51.2	0.3	52.0	0.3	0.2	0.2	49.4	2.3	84.01	218	0
18:05	53.9	0.2	67.6	0.2	0.1	0.1	49.4	2.2	84.01	219	0
18:10	55.8	0.3	54.7	0.2	0.1	0.1	48.8	2.3	82.99	219	0
18:15	52.5	0.3	53.3	0.3	0.1	0.1	49.4	2.1	88.95	218	0
18:20	38.7	0.4	40.9	0.2	0.1	0.1	49.2	2.3	88.59	218	0
18:25	39.2	0.3	34.5	0.3	0.1	0.1	48.8	2.5	87.87	218	0
18:30	38.2	0.2	37.7	0.3	0.1	0.1	48.8	2.4	87.87	218	0
18:35	27.7	0.3	37.2	0.4	0.1	0.1	48.6	2.5	87.51	219	0
18:40	24.9	0.4	36.3	0.2	0.1	0.1	48.8	2.3	87.87	218	0

วันที่...5... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
18:45	2.8	0	3.2	0	0	0	48.8	5.6	273.37	218	1.0
18:50	1.8	0	1.8	0	0	0	48.8	5.5	268.49	219	1.0
18:55	0.9	0	1.4	0	0	0	48.8	5.7	278.25	218	1.0
19:00	0	0	0	0	0	0	48.8	5.9	288.01	218	1.0
19:05	0	0	0	0	0	0	48.6	5.7	277.10	219	0.8
19:10	0	0	0	0	0	0	48.6	5.8	281.96	218	0.9
19:15	0	0	0	0	0	0	48.6	5.5	267.38	218	0.9
19:20	0	0	0	0	0	0	48.6	5.4	262.52	218	0.8
19:25	0	0	0	0	0	0	48.6	5.9	286.83	218	1.0
19:30	0	0	0	0	0	0	48.6	5.9	286.83	218	1.0
19:35	0	0	0	0	0	0	48.4	6.1	295.32	219	1.0
19:40	0	0	0	0	0	0	48.4	6.3	305.01	218	1.1
19:45	0	0	0	0	0	0	48.4	5.6	271.12	218	1.0
19:50	0	0	0	0	0	0	48.4	5.7	275.96	218	1.0
19:55	0	0	0	0	0	0	48.4	5.6	271.12	219	1.0
20:00	0	0	0	0	0	0	48.4	5.8	280.80	218	1.1
20:05	0	0	0	0	0	0	48.4	5.7	275.96	218	1.0
20:10	0	0	0	0	0	0	48.4	5.6	271.12	219	1.0
20:15	0	0	0	0	0	0	48.4	5.8	280.80	218	0.9
20:20	0	0	0	0	0	0	48.2	5.6	269.99	218	0.9
20:25	0	0	0	0	0	0	48.2	5.5	265.17	218	1.0
20:30	0	0	0	0	0	0	48.2	5.6	269.99	218	1.0
20:35	0	0	0	0	0	0	48.2	5.8	279.63	219	1.0
20:40	0	0	0	0	0	0	48.2	5.4	260.35	218	1.0
20:45	0	0	0	0	0	0	48.2	5.4	260.35	218	1.0

วันที่...5... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
20:50	0	0	0	0	0	0	48.2	5.5	265.17	218	1.1
20:55	0	0	0	0	0	0	48.2	5.6	269.99	218	1.0
21:00	0	0	0	0	0	0	48.2	5.7	274.81	218	1.0
21:05	0	0	0	0	0	0	48.0	5.6	268.87	218	1.0
21:10	0	0	0	0	0	0	48.0	5.8	278.47	219	1.0
21:15	0	0	0	0	0	0	48.0	5.9	283.27	218	1.1
21:20	0	0	0	0	0	0	48.0	5.9	283.27	218	1.0
21:25	0	0	0	0	0	0	48.0	5.8	278.47	218	1.0
21:30	0	0	0	0	0	0	48.0	5.7	273.67	218	1.0
21:35	0	0	0	0	0	0	48.0	5.7	273.67	219	1.0
21:40	0	0	0	0	0	0	48.0	5.8	278.47	218	1.0
21:45	0	0	0	0	0	0	48.0	5.5	264.07	219	1.1
21:50	0	0	0	0	0	0	47.8	5.4	258.18	219	1.0
21:55	0	0	0	0	0	0	47.8	5.4	258.18	218	1.0
22:00	0	0	0	0	0	0	47.8	5.5	262.96	218	1.0
22:05	0	0	0	0	0	0	47.8	5.4	258.18	219	1.0
22:10	0	0	0	0	0	0	47.8	5.6	267.74	218	1.0
22:15	0	0	0	0	0	0	47.8	5.8	277.30	218	1.0
22:20	0	0	0	0	0	0	47.8	5.8	277.30	219	1.0
22:25	0	0	0	0	0	0	47.4	10.3	488.32	219	2.0
22:30	0	0	0	0	0	0	47.6	5.7	271.38	218	1.0
22:35	0	0	0	0	0	0	47.6	5.8	276.14	218	1.1
22:40	0	0	0	0	0	0	47.6	5.9	280.90	218	1.0
22:45	0	0	0	0	0	0	47.6	5.8	276.14	219	1.1
22:50	0	0	0	0	0	0	47.6	5.9	280.90	219	1.0

วันที่...5... เดือน...เมษายน... พ.ศ. 2555 สภาพแวดล้อม ...ปกติ...											
เวลา (น.)	PV1		PV2		Ch1	Ch2	Battery			Inverter	
	V_{DC1} (V)	I_{DC1} (A)	V_{DC2} (V)	I_{DC2} (A)	I_{DC3} (A)	I_{DC4} (A)	V_{DC3} (V)	I_{DC5} (A)	P (W)	V_{AC} (V)	I_{AC} (A)
22:55	0	0	0	0	0	0	47.6	5.7	271.38	218	1.0
23:00	0	0	0	0	0	0	47.6	5.6	266.62	218	1.1
23:05	0	0	0	0	0	0	47.6	5.9	280.90	218	1.0
23:10	0	0	0	0	0	0	47.4	5.7	270.23	218	1.0
23:15	0	0	0	0	0	0	47.4	5.5	260.75	219	1.1
23:20	0	0	0	0	0	0	47.4	5.8	274.97	219	1.0
23:25	0	0	0	0	0	0	47.4	5.9	279.71	219	1.0
23:30	0	0	0	0	0	0	47.2	5.4	254.93	218	1.0
23:35	0	0	0	0	0	0	47.2	5.6	264.37	218	1.1
23:40	0	0	0	0	0	0	47.2	5.7	269.09	219	1.0
23:45	0	0	0	0	0	0	47.2	5.8	273.81	218	1.0
23:50	0	0	0	0	0	0	47.2	5.8	273.81	218	1.0
23:55	0	0	0	0	0	0	47.2	5.9	278.53	218	1.1