

เซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์  
SOLAR TRACKING FOR MAXIMUM POWER USING MICROCONTROLLER



โดย

นายกฤดา เชาว์วัฒนาพานิช  
นายกิตติพงษ์ เชียงทอง  
นายกิตติฤทธิ์ อ่างจิต  
นายเกรียงศักดิ์ บันดาลศิริกุล

ม.ร.ว.  
ค.ม.ร.ว.  
๒๕๔๓

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 42591  
วัน, เดือน, ปี..... 4 ส.ค. 2545

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2543

เซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์  
SOLAR TRACKING FOR MAXIMUM POWER USING MICROCONTROLLER



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้จัดทำ

1. นายกฤดา เชาว์วัฒนาพานิช
2. นายกิตติพงษ์ เชียงทอง
3. นายกิตติฤทธิ์ จำจิด
4. นายเกรียงศักดิ์ บันดาลศิริกุล



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

นายกฤดา            เชาว์วัฒนาพานิช  
 นายกิตติพงษ์      เซียงทอง  
 นายกิตติฤทธิ์      จำงจิต  
 นายเกรียงศักดิ์    บันดาลศิริกุล  
 รศ.ศิริวัฒน์        โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา  
 ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

การศึกษาและการทดลองคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่นิ่ง โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 มีตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสงเป็นอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ และใช้หลักการตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสง

การตั้งกำลังงานสูงสุดออกมา โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์นี้ ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสเซลล์ขนาด 64 วัตต์ 16.5 โวลต์ จำนวน 1 แผง ซึ่งสามารถเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ทั้ง 2 แนวแกน โดยใช้ดีซีมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ต้นกำลัง และพลังงานที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์จะเก็บสะสมในแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรอัดประจุ

SOLAR TRACKING FOR MAXIMUM POWER USING MICROCONTROLLER

Kridda Chaowattanapanit

Kittipong Chiengthong

Kittirit Changchit

Kriangsak Bundalsirikul

Assc.Prof.Siriwat Potivejkul Advisor

2000

Abstract

The purpose of this thesis is to study characteristics of a solar-tracking system, results are compared with those obtained from the static cell. The tracking system is built using Light Decrease Resistance as a detection device and a programmable microcontroller MCS-51 as a CPU.

In order to obtain the maximum power from the amorphous solar cell, 64 W, 16.5 V, is derived by a DC motor is that the solar cell can be controlled to move in X-Y axis. The energy received is, then, sent to the battery via a charger with a protective mechanism to ensure maximum intake.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	1
บทที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์และเซลล์แสงอาทิตย์.....	3
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์.....	3
2.1.1 โครงสร้างของดวงอาทิตย์.....	3
2.1.2 พลังงานแสงอาทิตย์.....	3
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.2.1 การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของสารตัวนำ.....	4
2.2.2 การนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งาน.....	5
2.2.3 บายพาสไดโอด.....	6
2.2.4 บล็อกกิ้งไดโอด.....	6
2.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
2.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ.....	7
2.2.7 ผลของอุณหภูมิและการส่องสว่าง.....	7
2.3 แบตเตอรี่.....	7
2.3.1 ทฤษฎีและหลักการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่.....	8
2.3.2 การเลือกแบตเตอรี่.....	8
2.3.3 การบำรุงรักษาแบตเตอรี่.....	9
2.4 ตัวตรวจวัดความเข้มแสง.....	10

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 หลักการคำนวณและออกแบบ.....	12
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน .....	12
3.2 ส่วนโครงสร้าง .....	13
3.2.1 โครงสร้าง.....	13
3.2.2 ชุดเฟืองและมอเตอร์.....	17
3.2.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ .....	18
3.2.4 ตำแหน่งของตัวตรวจจับความเข้มแสง .....	18
3.2.5 ชุดแผงควบคุม.....	19
3.3 ส่วนวงจร.....	20
3.3.1 วงจรเรกกูเลเตอร์.....	20
3.3.2 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์.....	21
3.3.3 วงจรตัวตรวจจับความเข้มแสง.....	22
3.3.4 วงจรรีเลย์.....	23
3.3.5 วงจรดิจิทัล.....	24
3.3.6 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	26
3.3.7 วงจรอัดประจุ.....	29
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	30
4.1 การทดลองวงจร .....	30
4.1.1 การทดลองการทำงานของวงจรตรวจจับความเข้มแสง .....	30
4.1.2 การทดลองการทำงานของวงจรขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์.....	32
4.1.3 การทดลองวงจรดิจิทัล.....	32
4.1.4 การทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 .....	33
4.1.5 การทดลองวงจรอัดประจุ .....	34

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การทดลองและการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	34
4.2.1 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ แผง BP รุ่น 1255HP เปรียบเทียบกับแผง UNI รุ่น US-64 .....	34
4.2.2 การทดลองหาขนาดมุมที่ได้รับพลังงานสูงสุดของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ .....	36
4.2.3 การทดลองเปรียบเทียบการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ตั้ง อยู่ที่มุมที่ได้รับพลังงานสูงสุด.....	38
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์.....	50
5.1 บทสรุปผลการทดลอง .....	50
5.2 พลังงานที่สูญเสียในการติดตามดวงอาทิตย์.....	51
5.2 การปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม .....	53
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ .....	55
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก คุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้	
ภาคผนวก ข ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	
ภาคผนวก ค โปรแกรมที่เขียนลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	
ภาคผนวก ง ตำแหน่งการวางวงจรในตู้ฐานภายในทั้งหมด	
ภาคผนวก จ ผลการทดลอง	
กิตติกรรมประกาศ .....	XI
เอกสารอ้างอิง.....	XII

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์และสถานที่ทำการทดลอง .....	3
รูปที่ 2.2 วงจรการต่อบายพาสไดโอดและบล็อกกิงไดโอด .....	5
รูปที่ 2.3 ตัวตรวจจับความเข้มแสง .....	10
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน .....	12
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของชิ้นงาน .....	14
รูปที่ 3.3(ก) ขนาดของโครงสร้างโดยมองจากด้านข้าง .....	15
รูปที่ 3.3(ข) ขนาดของโครงสร้างโดยมองจากด้านหน้า .....	16
รูปที่ 3.4 การติดตั้งชุดเฟืองและมอเตอร์ที่ใช้หมุนในแนวแกนนอน โดยมองจากด้านหน้าและด้านบน .....	17
รูปที่ 3.5 การติดตั้งชุดเฟืองและมอเตอร์ที่ใช้หมุนในแนวแกนตั้ง .....	18
รูปที่ 3.6 แสดงแผนควบคุมการทำงาน .....	19
รูปที่ 3.7 วงจรเรกกูเลเตอร์ .....	21
รูปที่ 3.8(ก) วงจรขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์ .....	21
รูปที่ 3.8(ข) วงจรขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์ .....	22
รูปที่ 3.9(ก) วงจรตัวตรวจจับความเข้มแสง .....	22
รูปที่ 3.9(ข) วงจรตัวตรวจจับความเข้มแสง .....	23
รูปที่ 3.10 วงจรรีเลย์ .....	23
รูปที่ 3.11 วงจรคอมบินชันเซอร์กิต .....	24
รูปที่ 3.12 วงจรแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 .....	26
รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม MCS-51 .....	28
รูปที่ 3.14(ก) วงจรอัดประจุ .....	29
รูปที่ 3.14(ข) วงจรอัดประจุ .....	29
รูปที่ 4.1 กราฟสัญญาณเข้ารีเลย์เมื่อ LDR2 ได้รับแสง .....	31

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.2 กราฟสัญญาณเข้ารีเลย์เมื่อLDR2 ไม่ได้รับแสง.....	31
รูปที่ 4.3 การต่อวงจรที่ใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพของแผง.....	35
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างโหลดกับกำลังงานของ แผง BPรุ่น 1255HP เปรียบเทียบกับแผง UNI รุ่น US-64.....	36
รูปที่ 4.5 การต่อวงจรที่ใช้ในการทดลองหาขนาดมุมที่ได้รับพลังงานสูงสุด.....	36
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบพลังงานที่ได้รับที่มุมแผงต่างๆ .....	37
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 9.00 น.....	38
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับโหลดของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 9.00 น.....	39
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 10.00 น.....	39
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับโหลดของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 10.00 น.....	40
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 11.00 น.....	40
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับโหลดของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 11.00 น.....	41
รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 11.30 น.....	41
รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับโหลดของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 11.30 น.....	42
รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 12.00 น.....	42

## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับ โหลดของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 12.00 น.....	43
รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 12.30 น.....	43
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับ โหลดของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 12.30 น.....	44
รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 13.00 น.....	44
รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับ โหลดของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 13.00 น.....	45
รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 13.30 น.....	45
รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับ โหลดของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 13.30 น.....	46
รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 14.00 น.....	46
รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับ โหลดของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 14.00 น.....	47
รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 14.30 น.....	47
รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับ โหลดของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 14.30 น.....	48
รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับ โหลดของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 15.30 น.....	48

## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับ โหลดของระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ 15.30 น.....	49
--	----



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ตารางค่าความจริง .....	25
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองตัวตรวจจับความเข้มแสง .....	30
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์ .....	32
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรดิจิทัล .....	33
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลอง MCS-51 .....	33
ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานในระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตาม ดวงอาทิตย์กับระบบอยู่นิ่ง .....	53
ตารางที่ จ.1 ตารางเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด BP รุ่น 1255HP และUNI รุ่น US-64	
ตารางที่ จ.2 ตารางเปรียบเทียบมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 0,15,25 องศา	
ตารางที่ จ.3 ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ กับแผงมุมคงที่ 15 องศา	

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอย่างสูง รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาทุกๆด้านด้วยความเป็นกันเอง ทั้งด้านความรู้ หาพี่ๆ ที่มีความรู้มาช่วย การเงิน การศึกษาให้ตลอดจนเสร็จโครงการได้ และคอยตามตรวจความคืบหน้าของงานโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์เชาว์ ชมพูอินโหว ที่ให้ความเป็นกันเองและคอยถามไถ่

ขอขอบคุณพี่เอและพี่หนอม พี่ปริญญาโท ที่ศึกษาหัวข้อเดียวกันเป็นอย่างสูงในด้านการแนะนำ

ขอขอบคุณพี่เสบ ที่ช่วยหาข้อมูลให้อย่างมากมายและสำคัญยิ่ง

ขอขอบคุณพี่เอและพี่โต้ง ที่ให้ใช้คอมพิวเตอร์ในการหาข้อมูลและพิมพ์งาน

ขอขอบคุณพี่เสบ พี่ตี๋ พี่เล็ก พี่โต้ง พี่ต้า พี่อ่อง และพี่ๆที่เรียนปริญญาโท รศ.ศิริวัฒน์ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอดจนเสร็จ

ขอขอบคุณพี่ๆรุ่นที่แล้วที่ทำโปรเจกต์นี้ทั้งพี่เมย์ พี่เอก พี่ป๊อง ที่ช่วยจุดประกายให้เราอยากทำโครงการชิ้นนี้

ขอขอบคุณชิงและซี ที่ช่วยเหลืออย่างมากเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตลอดจนเสร็จ

ขอขอบคุณพี่ตัวเล็ก พี่เอ ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองของภาควิชาไฟฟ้าตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณพี่แก้ว ที่อำนวยความสะดวกในการยืมปริญญาบัตรนิพนธ์นี้ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณภาคคอมพิวเตอร์และภาคอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้ยืมอุปกรณ์ในการทำโครงการ

เพื่อนๆ ได้แก่ ชิง วิ ต้ม ชัย ทิด หำ ไก่ และคนอื่นๆ ที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องใช้ต่างๆที่จำเป็นตามอัตรภาพ(ร่วมคิมกิน นอน เล่นด้วยกันมาตลอด)

น้องๆ ได้แก่ น้องเน็ด น้องเบลท์ ที่ได้บริการน้ำและอาหารในช่วงนิทรรศน์และทุกๆคนที่ไม่ได้เอ่ยนามอีกมากมาย

ขอบคุณบุ่มด้วย ในการให้ความรู้ต่างๆ ในการจัดข้อมูลจนเสร็จและคอยถามไถ่ตลอดมา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ของเราทั้ง 4 คน( ยู กัง โชชัย แจ็ค ) ที่ให้กำเนิดเลี้ยงดูและให้กำลังใจ ตั้งแต่ลืมตาดูโลกจนได้สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. France Lasnier and Tony Fan Ang, **Photovoltaic Engineering Handbook**, Adam Hilger, Bristol and New York, 1990.
2. Tomas Markvart, **Solar Electricity**, John Wiley&Sons, England, 1994.
3. จุติเลิศ สกฤตศักดิ์และพีรสิทธิ์ ลิขิตคุชฎี เซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์ ปรินูญยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2542.
4. กองควบคุมและส่งเสริมพลังงาน สำนักงานพลังงานแห่งชาติ สถิติการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย 2519 สำนักงานพลังงานแห่งชาติ 2519.
5. ชีรวัฒน์ ประกอบผล การประยุกต์ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 2542.

# บทที่ 1

## บทนำ

ในอดีตพลังงานมีให้เลือกใช้มากมายและสามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่มีขีดจำกัด เนื่องจากการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์ยังมีอยู่ค่อนข้างน้อย แต่ในปัจจุบันพลังงานในรูปแบบต่างๆที่นำมาใช้เริ่มขาดแคลนและก่อให้เกิดมลพิษขึ้นอย่างมากมาย เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ จึงเกิดแนวความคิดที่จะหาพลังงานที่มีอยู่ค่อนข้างมากและไม่ก่อให้เกิดมลภาวะขึ้น

จึงได้มีการพัฒนาแหล่งพลังงานใหม่ๆขึ้น เพื่อที่จะได้ทดแทนพลังงานรูปอื่นๆ ซึ่งได้แก่ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น โดยจะเห็นได้ว่า พลังงานในรูปแบบที่กล่าวนี้ เริ่มมีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น แต่การนำมาใช้และการพัฒนายังค่อนข้างที่จะมีค่าใช้จ่ายที่สูงและการผลิตพลังงานยังเกิดการสูญเสียค่อนข้างมาก พลังงานในรูปแบบต่างๆที่กล่าวมาจะพบว่า พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ค่อนข้างจะบริสุทธิ์และไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ ควรที่จะนำมาพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพมากกว่าพลังงานทดแทนในรูปแบบอื่นๆ โดยมีคำกล่าวที่ว่า ถ้าในอดีต 50-60 ปีที่แล้ว ไม่มีการพัฒนาทางด้านเครื่องยนต์แล้ว พลังงานแสงอาทิตย์อาจจะมีความก้าวหน้าไปถึงระดับที่ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานในรูปแบบอื่นๆเลย

ปัจจุบัน พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้จากการแปรรูปร่างของดวงอาทิตย์ได้โดยตรงและเริ่มมีการพัฒนารูปแบบพลังงานนี้อย่างแพร่หลาย ในโครงการนี้เป็นการพัฒนาระบบของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีชุดควบคุมให้เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์ และจากแนวความคิดที่ว่าถ้าสามารถทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ ก็จะสามารเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้มากที่สุด

### 1.1 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

เน้นการพัฒนาาระบบให้มีความแน่นอนของการตรวจจับตำแหน่ง กรณีของการเกิดเหตุการณ์ที่คาดว่าจะมีผลต่อการเปลี่ยนตำแหน่งของแผงเมื่อเทียบกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ความมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพมากขึ้นจากปีที่แล้ว โดยทำการศึกษาทฤษฎีที่มีผลต่อการเก็บพลังงานและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาวงจรที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไข เช่น วงจรตรวจจับความเข้มแสง วงจรตัดต่อการทำงานของระบบเพื่อป้องกันการทำงานของระบบป้องกันทำงานซ้ำซ้อนกัน วงจรอัดประจุที่มีประสิทธิภาพในการเก็บพลังงานเข้าแบตเตอรี่ รวมถึงการพัฒนาวงจรในส่วนของการทำงานอัตโนมัติ ไม่ว่าจะเป็นวงจรดิจิทัลหรือวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 โดยสามารถทำการพัฒนาหรือนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายมากขึ้น รวมถึงความพยายามที่จะใช้คอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนเชื่อมโยงไม่ว่าจะเป็นด้านการควบคุม การแสดงผลสถานะ การทำงานในขณะนั้นๆ หรือแม้กระทั่งการเขียนโปรแกรมเข้ามาควบคุมการทำงานโดยตรง และจัดรูปแบบเก็บผลการทดลองเพื่อใช้ในการพัฒนาหรือเป็นข้อมูลที่จะพัฒนาต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

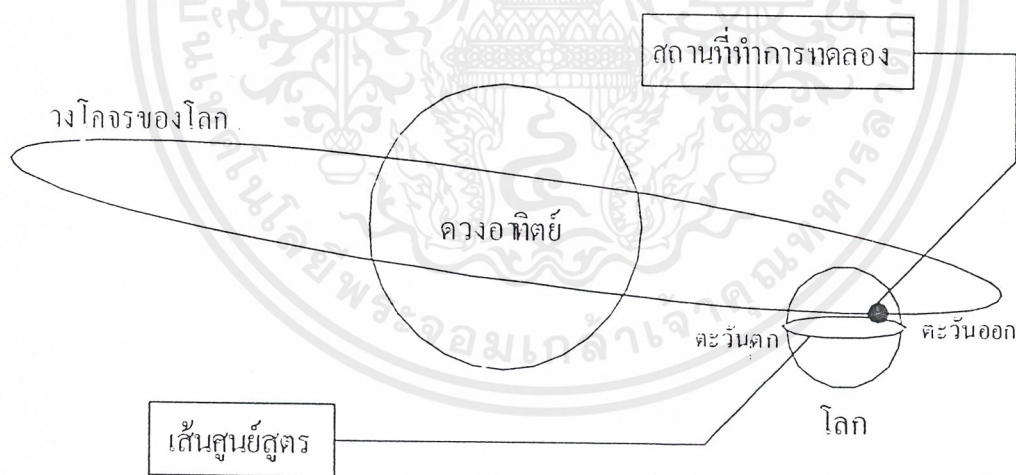
## บทที่ 2

### พลังงานแสงอาทิตย์และเซลล์แสงอาทิตย์

#### 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์

##### 2.1.1 โครงสร้างของดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ  $1.39 \times 10^6$  กิโลเมตร มีมวลรวม  $1.99 \times 10^{30}$  กิโลกรัม และมีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 1410 กิโลกรัม ลูกบาศก์เมตร ดังนั้น พบว่า เมื่อเรามองจากจุดใดจุดบนโลกไปดวงอาทิตย์จะเห็นดวงอาทิตย์ครอบคลุมขนาดประมาณ ๘ องศา และจากที่เรารู้ว่า โลกหมุนรอบตัวเองใช้เวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้นจากการคำนวณพบว่า ถ้าดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไป 1 องศา จะใช้เวลา 4 นาที เมื่อเทียบจากโลก ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์และสถานที่ทำการทดลอง

##### 2.1.2 พลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนถึง 75 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นธาตุที่มีปริมาณมากที่สุด ธาตุไฮโดรเจนสามารถเกิดพลังงานได้ 2 รูปแบบคือ ฟิวชันและฟิชชัน แต่ที่ดวงอาทิตย์เกิดพลังงานในรูปแบบปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ฟิวชันของไฮโดรเจน 4 อะตอม ซึ่งพลังงานที่เกิดขึ้น ( $E=mc^2$ ) โดยปฏิกิริยาเอกสสารเป็นเอกสสารที่ส่งผ่านไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น โดยมีผู้ให้ทุนวิจัยวิจัยและดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นมาประมาณ 4.5 พันล้านปีก่อน และคาดว่ายังมีไฮโดรเจนเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยานี้บนดวงอาทิตย์ได้อีก 4.5 พันล้านปี ซึ่งนานพอที่จะนำพลังงานมาใช้ได้อย่างไม่มีขีดจำกัด ดวงอาทิตย์มีอัตราการปลดปล่อยพลังงาน  $3.85 \times 10^{23}$  กิโลวัตต์และบรรยากาศบริเวณผิวโลกได้รับ  $1.725 \times 10^{14}$  กิโลวัตต์ เทียบเป็นพลังงานที่จะได้รับใน 1 ปี คือ  $1.51 \times 10^{18}$  กิโลวัตต์ชั่วโมง

จากข้อมูล พบว่า โลกหมุนรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี โดยช่วงเดือนธันวาคมและมกราคม ระยะห่างจะมากที่สุด ทำให้ได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ย 1,400 วัตต์ต่อตารางเมตร ขณะที่ช่วงเดือนมิถุนายนและกรกฎาคม พลังงานแสงที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ย อยู่ที่ 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังนั้นในช่วงเวลาที่เหลือจะอยู่ระหว่าง 1,367-1,400 วัตต์ต่อตารางเมตรโดยประมาณ แต่พลังงานที่เกิดขึ้นจริงอาจจะมากน้อยแตกต่างกันตามปัจจัยต่างๆ เช่น เมฆบัง ฝนตก เกิดเงาตกบนแผงเก็บพลังงานแสงอาทิตย์และอื่นๆ

## 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นส่วนที่สำคัญต่อการเก็บพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ทำหน้าที่การเปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงโดยมีองค์ประกอบจากสารกึ่งตัวนำหลายชนิด แต่ที่ใช้อย่างแพร่หลาย คือ คริสตัลไลน์ ซิลิกอนเซลล์ นอกจากนี้ยังมีอีกหลายประเภทที่นำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ประเภทที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์ มีการนำมาใช้น้อยเนื่องจากต้นทุนสูง จึงมักนำไปใช้ในงานใหญ่ เช่น นำไปติดตั้งบนดาวเทียม เป็นต้น

### 2.2.1 การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของสารตัวนำ

จากทฤษฎีควอนตัมกล่าวว่า แสงมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคที่มีพลังงาน เรียกว่า โฟตรอน ซึ่งปกติถ้าไม่มีเมฆบัง จะมีปริมาณโฟตรอนอยู่ที่  $4.4 \times 10^{17}$  โฟตรอน ตกกระทบที่พื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร บนผิวโลกทุกวินาที แต่ปัจจุบัน มีพลังงานเพียงน้อยนิดที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้สามารถแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้

การเปลี่ยนรูปของพลังงานจะเริ่มขึ้น เมื่อโฟตรอนกระทบสารกึ่งตัวนำ ทำให้วาเลนซ์อิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น อิเล็กตรอนตัวที่ได้รับพลังงานเพียงพอจะข้ามไปอยู่ยังแถบนำ เกิดเป็นอิเล็กตรอนอิสระ ส่วนตำแหน่งเดิมก็จะเกิดโฮลขึ้น เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น

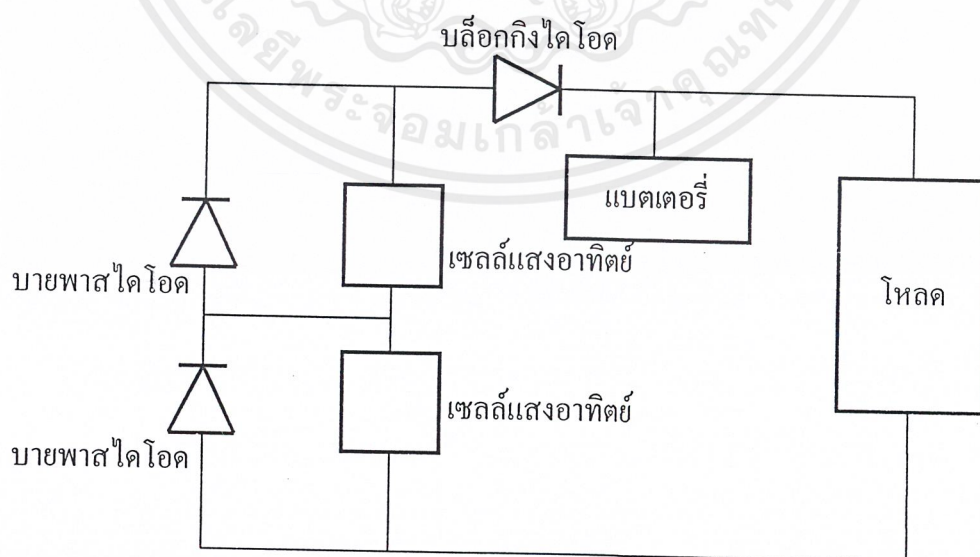
นี้ว่าการเกิดอิเล็กทรอนิกส์ทรอนโซลแพร์ การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ในรูปของแหล่งจ่ายกระแส (Current Source)

จากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น หากนำเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากมาต่อเข้าด้วยกัน เซลล์แสงอาทิตย์ก็จะมีพลังงานเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าแต่ละเซลล์ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่ จากข้อมูล ถ้าใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบคริสตอลไลน์ ซิลิกอนเซลล์ โดยแต่ละเซลล์มีขนาด  $10 \times 10$  ตารางเซนติเมตร พบว่า ใน 1 เซลล์จะได้พลังงานประมาณ 1 ถึง 1.5 วัตต์ ที่สภาวะมาตรฐาน และมีค่าศักดาไฟฟ้า 0.5-0.6 โวลต์

### 2.2.2 การนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งาน

สามารถนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกัน เพื่อให้ได้ค่าศักดาไฟฟ้าตามที่ต้องการ หรือนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่อขนานกันเพื่อให้ได้ค่ากระแสไฟฟ้าตามที่ต้องการ เมื่อได้จำนวนเซลล์ที่เหมาะสมจะนำมาประกอบเป็นแผง เรียกว่า โมดูล เมื่อนำโมดูลหลายๆอันมารวมกันจะได้พลังงานตามที่ต้องการ

แต่ในการใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ยังต้องมีอุปกรณ์ป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์ และอุปกรณ์ช่วยอื่นเพื่อช่วยในการทำงานของระบบให้เป็นไปอย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพที่สุด อุปกรณ์ที่กล่าวมา ได้แก่ บล็อกกิงไดโอด (Blocking Diode) และบายพาสไดโอด (Bypass Diode)



รูปที่ 2.2 วงจรการต่อบายพาสไดโอดและบล็อกกิงไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 บายพาสไดโอด

การต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้แรงดันตามที่ต้องการ ต้องนำเอาเซลล์มาอนุกรมกัน แต่ถ้ามีเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในระบบที่ต่ออนุกรมกันอยู่ไม่สามารถจ่ายพลังงานออกมาได้ จะมีผลให้เซลล์นั้นมีสภาพเหมือนไดโอดที่อยู่ในสภาวะรีเวอร์สไบอัส มีผลทำให้ตลอดทั้งสายไม่สามารถจ่ายพลังงานได้และตัวเซลล์เองก็จะเกิดความเสียหายขึ้น หรือบางครั้งเซลล์นั้นอาจจะไม่ได้เกิดการเสียหายขึ้น แต่ถูกเงาบังบริเวณนั้น ไม่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ก็จะเกิดกรณีเหมือนกับกรณีที่เซลล์นั้นเสียหายเช่นกัน ดังรูปที่ 2.2

เมื่อเป็นเช่นนี้ จึงแก้ไขโดยการต่อบายพาสไดโอดคร่อมเซลล์ทุกเซลล์ เพื่อเป็นการป้องกันในกรณีที่เซลล์ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ พลังงานจากเซลล์อื่นๆก็สามารถผ่านต่อบายพาสไดโอดไปได้ แต่พลังงานที่ได้จะลดลงไปบ้าง ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความเสียหายถึงขั้นเซลล์อื่นพังไปด้วย และถ้าเซลล์นั้นเพียงแค่อันเงาบังไม่ได้เสียหายแล้ว เมื่อได้รับแสงอีกครั้งมันก็จะจ่ายพลังงานได้ต่อไป

### 2.2.4 บล็อกกิงไดโอด

ระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้พลังงานที่ผลิตได้ มักจะมีการต่อระบบแบตเตอรี่เพื่อสำรองไฟฟ้าไว้สำหรับจ่ายภาระทางไฟฟ้า ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงาน ก็จะทำการจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ควบคู่กับประจุแบตเตอรี่ไปด้วย ซึ่งในช่วงที่เซลล์แสงอาทิตย์มีพลังงานมากกว่าแบตเตอรี่ก็จะไม่เกิดปัญหา สามารถจ่ายพลังงานให้โหลดและแบตเตอรี่ไปพร้อมกัน แต่ถ้าความเข้มแสงจากแสงอาทิตย์น้อยลงจนกระทั่งทำให้ความต่างศักย์ของเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าแบตเตอรี่ กระแสจากแบตเตอรี่จะไหลย้อนกลับไปยังเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์เสียหาย โดยเฉพาะเวลากลางคืนที่แสงอาทิตย์หมดหรือเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้

เมื่อเป็นเช่นนี้ จึงแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการต่อบล็อกกิงไดโอดซึ่งทำหน้าที่ป้องกันการเสียหายของแบตเตอรี่ โดยเป็นการป้องกันการไหลย้อนกลับเข้าไปยังเซลล์แสงอาทิตย์ ความเสียหายของเซลล์แสงอาทิตย์โดยตัวมันเองจะอยู่ในสภาวะรีเวอร์สไบอัส ทำให้แบตเตอรี่ต้องจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า จึงต้องมีการออกแบบเพื่อแรงดันในตัวบล็อกกิงไดโอดด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกัน ดังรูปที่ 2.2

### 2.2.5 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันกับรูปแบบของการต่อเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสง จะสามารถให้ความต่างศักย์สูงสุดเมื่อเซลล์ถูกเปิดวงจร ออกซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันขณะเปิดวงจร สำหรับเซลล์เดี่ยวจะมีค่าแรงดันขณะเปิดวงจรไม่เกิน 0.6 โวลต์ เนื่องจากค่าศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับรูปแบบของการต่อเซลล์จึงทำการต่อเซลล์แบบอนุกรมเพื่อเพิ่มศักดาไฟฟ้าให้เหมาะสม พบว่าขณะที่เซลล์ได้รับแสงจะให้กระแสมากที่สุดเมื่อเซลล์ถูกลัดวงจร ซึ่งการต่อเซลล์แบบขนานจะเป็นลักษณะของการเพิ่มกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสม

### 2.2.6 ความสัมพันธ์ของความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาในตัวเซลล์ อะตอมจะสั่นสะเทือนแรงขึ้นเมื่อมีความร้อนสูงขึ้น อิเล็กตรอนจะใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในการหลุดเป็นอิสระลดลง พร้อมกันนั้น อิเล็กตรอนและโฮลจะมีพลังงานมากพอที่จะข้ามชั้นของพลังงาน และเคลื่อนที่ในทางตรงกันข้าม ทำให้กระแสไฟฟ้าลดลง ในเวลาเดียวกันพบว่าเมื่อใช้กระแสแบบลัดวงจรจะได้กระแสไฟฟ้ามากกว่าในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่ได้รับแสง แต่เมื่อภาระทางไฟฟ้ามากขึ้น ความต้านทานมากขึ้น การสะสมประจุไฟฟ้าในตัวเซลล์ก็จะมากขึ้น มีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงและกระแสไฟฟ้าก็จะลดลงด้วย

### 2.2.7 ผลของอุณหภูมิและการส่องสว่าง

อุณหภูมิมียผลอย่างมากต่อผลลัพธ์ที่ได้จากเซลล์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ค่าศักดาไฟฟ้าของผลลัพธ์ที่ได้จากเซลล์ลดลง โดยในคริสตอลไลน์ซิลิกอนเซลล์ ค่าศักดาไฟฟ้าจะลดลงประมาณ

2.3 มิลลิโวลต์ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส แต่จะไม่ค่อยมีผลมากนักต่อค่าศักดาไฟฟ้า

## 2.3 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่

- นิกเกิล-แคดเมียม
- ตะกั่ว-กรด
- นิกเกิล-เหล็ก
- โซเดียม-กำมะถัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่ต้องการในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือ

- วงจรชีวิตดีไฟไซเคิลสูง(Deep Cycle) คือ ช่วงเวลาที่มีการประจุแทนที่ไม่เพียงพอกับจำนวนที่ใช้ไปในแต่ละวัน
- การบำรุงรักษาต่ำ
- ประสิทธิภาพการประจุสูง
- ความสามารถในการคายประจุสมบูรณ์
- อัตราการคายประจุด้วยตนเองต่ำ
- เชื้อถั่วได้
- มีการเปลี่ยนแปลงต่ำในช่วงอุณหภูมิสูง

### 2.3.1 ทฤษฎีและหลักการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่

การอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่นั้นกระทำได้โดยให้ระดับแรงดันวงจรอัดประจุสูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ การอัดประจุจะให้ขั้วบวกของวงจรอัดประจุต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ โดยกระแสที่ทำการอัดประจุจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของกระแสที่จ่ายออกมา เมื่อแรงดันแบตเตอรี่สูงกว่าแรงดันอัดประจุกระแสจะถูกจ่ายออกจากแบตเตอรี่ กระแสอัดประจุแบตเตอรี่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ซึ่งความต้านทานภายในส่วนมากจะมีน้อยเป็นหน่วยโอห์ม โดยจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงขณะที่มีการอัดประจุแบตเตอรี่ ถ้ากระแสในการอัดประจุมีปริมาณมากเกินไปแบตเตอรี่จะทนได้อาจทำให้แบตเตอรี่ชำรุดได้ การลดปริมาณกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่ให้ต่ำลง ทำได้โดยการนำความต้านทานต่ออนุกรมเข้าไปเพื่อจำกัดปริมาณกระแสไหลได้ตามต้องการ

### 2.3.2 การเลือกแบตเตอรี่

ขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้โดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับงบประมาณของผู้ใช้แต่ละบุคคล โดยแบตเตอรี่ขนาดใหญ่มีข้อได้เปรียบ คือ กำลังไฟสะสมมีมากกว่า สามารถนำมาใช้ได้กรณีที่สภาวะอากาศไม่เอื้ออำนวยต่อการประจุไฟจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ไม่มีแดดหรือมีแดดน้อยในบางช่วงเวลา โดยทั่วไปการกำหนดขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้จะขึ้นอยู่กับปริมาณไฟที่ต้องการใช้ในแต่ละวันเป็นสำคัญและต้องสัมพันธ์กับกระแสที่ได้จากแผงแสงอาทิตย์ในแต่วันด้วย โดยปกติขนาดของกระแสที่ใช้ในแต่วันโดยรวมควรจะอยู่ระหว่าง 20-25 แอมป์เซ็นต์ของขนาดแบตเตอรี่หรืออย่างสูงไม่ควรเกิน 30 แอมป์เซ็นต์ เช่น แบตเตอรี่ขนาด 100 แอมป์ ควรใช้ไฟต่อวัน

ประมาณ 20-25 แอมป์ หรืออย่างสูงไม่เกิน 30 แอมป์ต่อวัน ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ไฟมากกว่านี้จะทำให้แบตเตอรี่ มีอายุการใช้งานสั้นลงและจะต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่บ่อย การกำหนดขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม จึงต้องคำนวณปริมาณไฟที่จะใช้ในแต่ละวันก่อน เช่น

$$\text{ใช้ไฟขนาด 18 วัตต์ 4 หลอด วันละ 5 ชั่วโมง รวม} = 18 \times 4 \times 5 = 360 \text{ วัตต์ต่อวัน}$$

$$\text{คิดเป็นกระแสไฟ(ในระบบ 12 โวลต์)ได้} = 360 / 12 = 30 \text{ แอมป์}$$

$$\text{แบตเตอรี่ที่ควรใช้} = 150 \text{ แอมป์หรือ 120 แอมป์}$$

$$\text{ปริมาณการใช้ไฟคิดเป็น} = (360 \times 100) / 150 = 20 \text{ เปอร์เซ็นต์ของขนาดแบตเตอรี่}$$

เมื่อแบตเตอรี่สูญเสียกระแสวันละ 30 แอมป์ จึงต้องทำการประจุในปริมาณที่เท่ากัน เพราะฉะนั้นจะต้องใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถประจุไฟได้วันละ 30 แอมป์เป็นอย่างต่ำ เช่น ทำการเลือกรุ่นที่จ่ายกระแส 3.88 แอมป์ต่อชั่วโมง คิดเฉลี่ยแสงแดดประเทศไทยวันละ 5 ชั่วโมง จะได้ 19.4 แอมป์ต่อวัน

อย่างไรก็ตาม การติดตั้งหลอดไฟ 4 หลอด อาจจะไม่เปิดพร้อมกันทั้ง 4 หลอด ตลอด 5 ชั่วโมง เพราะฉะนั้นขนาดแบตเตอรี่และจำนวนแผงอาจเปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้ผู้ใช้จะเป็นผู้กำหนดได้ดีที่สุด อีกทั้งการกำหนดว่าแสงแดดโดยเฉลี่ยวันละ 5 ชั่วโมงก็อาจคลาดเคลื่อนได้ เพราะบางเดือนแสงแดดอาจมีมากกว่า 5 ชั่วโมง บางเดือนอาจจะน้อยกว่า ที่สำคัญการคิดคำนวณว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ากินกระแสเท่าใดนั้นเป็นการคำนวณคร่าวๆ เท่านั้น เพราะคุณภาพของตัวแปลงไฟ(Inverter) จะเป็นตัวกำหนดกระแสไฟที่ใช้จริง ตัวอย่างข้างต้นที่แสดงให้เห็นว่าไฟ 18 วัตต์ 4 หลอด ใช้ 5 ชั่วโมง กินกระแสรวม 30 แอมป์ ถ้าตัวแปลงไฟมีประสิทธิภาพเพียง 80 เปอร์เซ็นต์ กระแสไฟรวมที่จะสูญเสียก็จะเพิ่มขึ้นเป็น 36 แอมป์ต่อวัน ชนิดและคุณภาพของตัวแปลงไฟจึงมีส่วนสำคัญในการคำนวณเป็นอย่างมาก

### 2.3.3 การบำรุงรักษาแบตเตอรี่

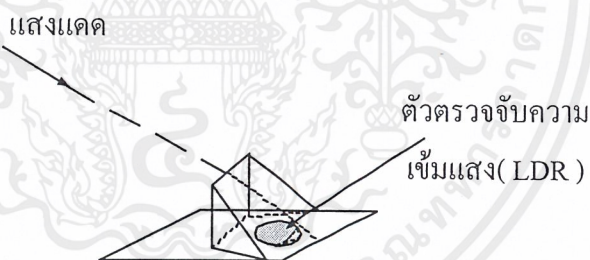
2.3.3.1 แบตเตอรี่รถยนต์โดยทั่วไป จะได้รับการประจุแบบแห้ง(Dry charge) มาจากโรงงานแล้วเมื่อนำมาใช้ ผู้ใช้เพียงเติมน้ำกรดก็จะมีไฟขึ้นมาประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ เช่น แบตเตอรี่ขนาด 100 แอมป์ เมื่อเติมน้ำกรดก็จะมีไฟ 80 แอมป์ อีก 20 เปอร์เซ็นต์ จะต้องทำการประจุหรืออัดประจุต่อ การเติมน้ำกรดจะเติมเพียงครั้งเดียว คือครั้งแรกเท่านั้น หลังจากนั้นเมื่อน้ำกรดพร่องจะต้องเติมน้ำกลั่นเท่านั้น ห้ามเติมน้ำกรดอีกเป็นอันขาด

2.3.3.2 แบตเตอรี่ควรวางอยู่บนฐานที่เรียบมั่นคง ไม่สั่นสะเทือนง่าย เพราะการสั่นสะเทือนบ่อยๆทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง สถานที่วางต้องมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก ไม่อยู่ใกล้แหล่งจ่ายความร้อนหรือสะเก็ดไฟ เช่น เตาถ่าน หรือไม่อยู่ในที่ที่ฝนสาดถึง และควรจะหาที่ที่อยู่ใกล้แผงมากที่สุด

2.3.3.3 คอยหมั่นตรวจสอบระดับน้ำกลั่นของแบตเตอรี่อยู่เสมอ การปล่อยให้แบตเตอรี่แห้ง จะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมคุณภาพ อย่างไรก็ตาม การประจุไฟด้วยระบบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการประจุแบบช้า ไม่เหมือนการประจุแบตเตอรี่ในรถยนต์ การเติมน้ำกลั่นจึงไม่บ่อยเหมือนในแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์

2.3.3.4 ต้องหมั่นตรวจสอบขั้วแบตเตอรี่ให้สะอาดอยู่เสมอ เพื่อไม่ให้ขี้เกลือจับขั้วแบตเตอรี่ ซึ่งอาจทำให้การไหลของกระแสไฟจากแผงเข้าแบตเตอรี่มีปัญหา ถ้าหากสามารถหาแหวนรองขั้วแบตเตอรี่ใส่ก็จะช่วยได้มาก

## 2.4 ตัวตรวจจับความเข้มแสง



รูปที่ 2.3 ตัวตรวจจับความเข้มแสง

การตรวจจับค่าต่างๆ เช่น อุณหภูมิ แรงดัน โวลต์ กระแส หรือแม้กระทั่งแสงสว่าง ซึ่งมีตัวตรวจจับได้หลายอย่างให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม ในการตรวจวัดแสง พบว่าควรใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสง (LDR-Light Decrease Resistor) ซึ่งมีคุณสมบัติ คือ เมื่อแสงตกกระทบจะทำให้ค่าความต้านทานของตัวตรวจจับความเข้มแสงนี้เปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ลดลง เราใช้คุณสมบัตินี้ในการตรวจจับความเข้มแสงที่ตกกระทบว่าเหมาะสมกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์

หรือไม่ ดังนั้นในการเลือกก็ควรคำนึงถึงขนาด ราคาและประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับการใช้งานให้เหมาะสม

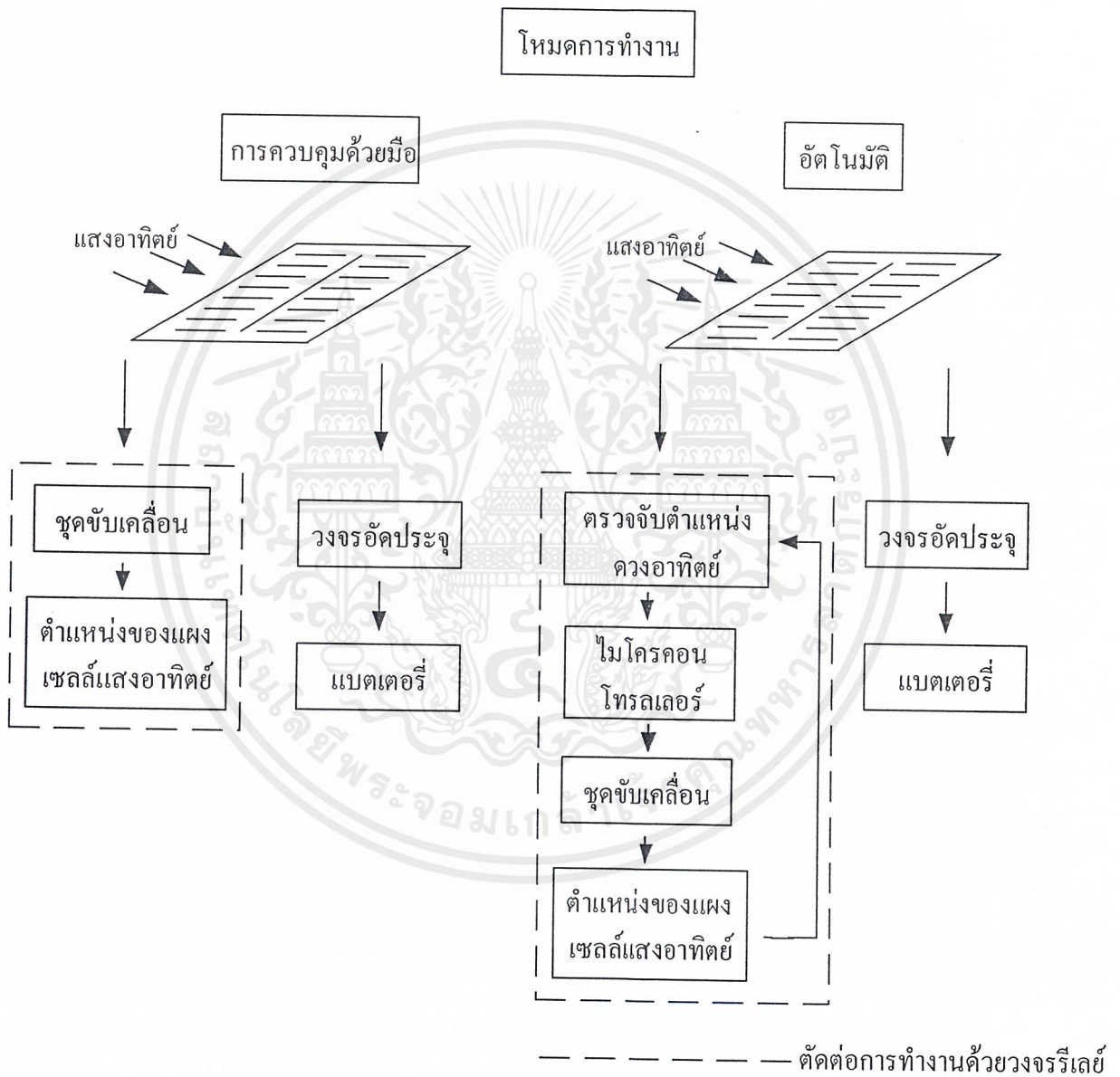


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## หลักการคำนวณและออกแบบ

### 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

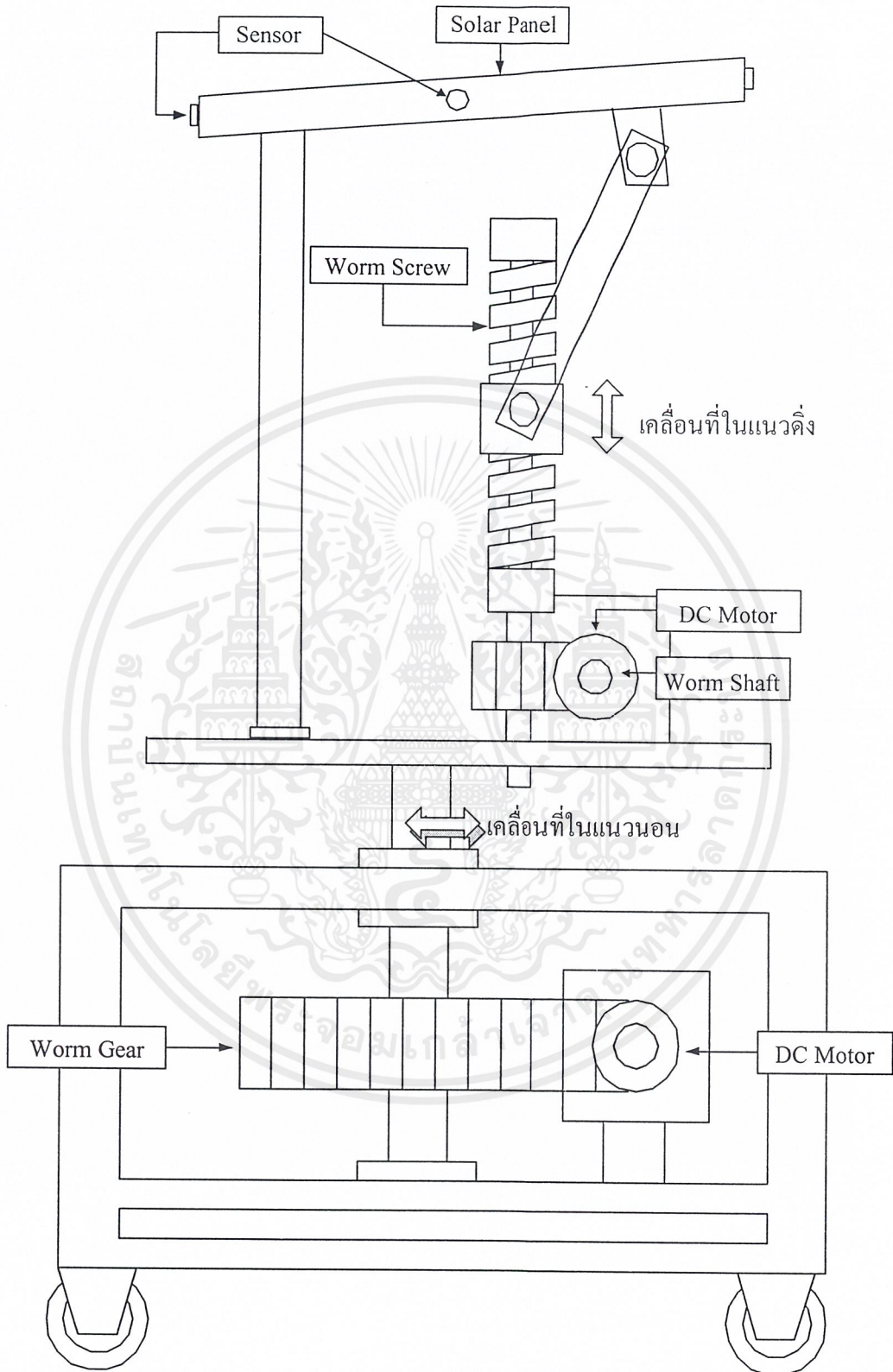
## 3.2 ส่วนโครงสร้าง

### 3.2.1 โครงสร้าง

โครงสร้างระบบประกอบด้วย คือ ส่วนฐานและส่วนขับเคลื่อน

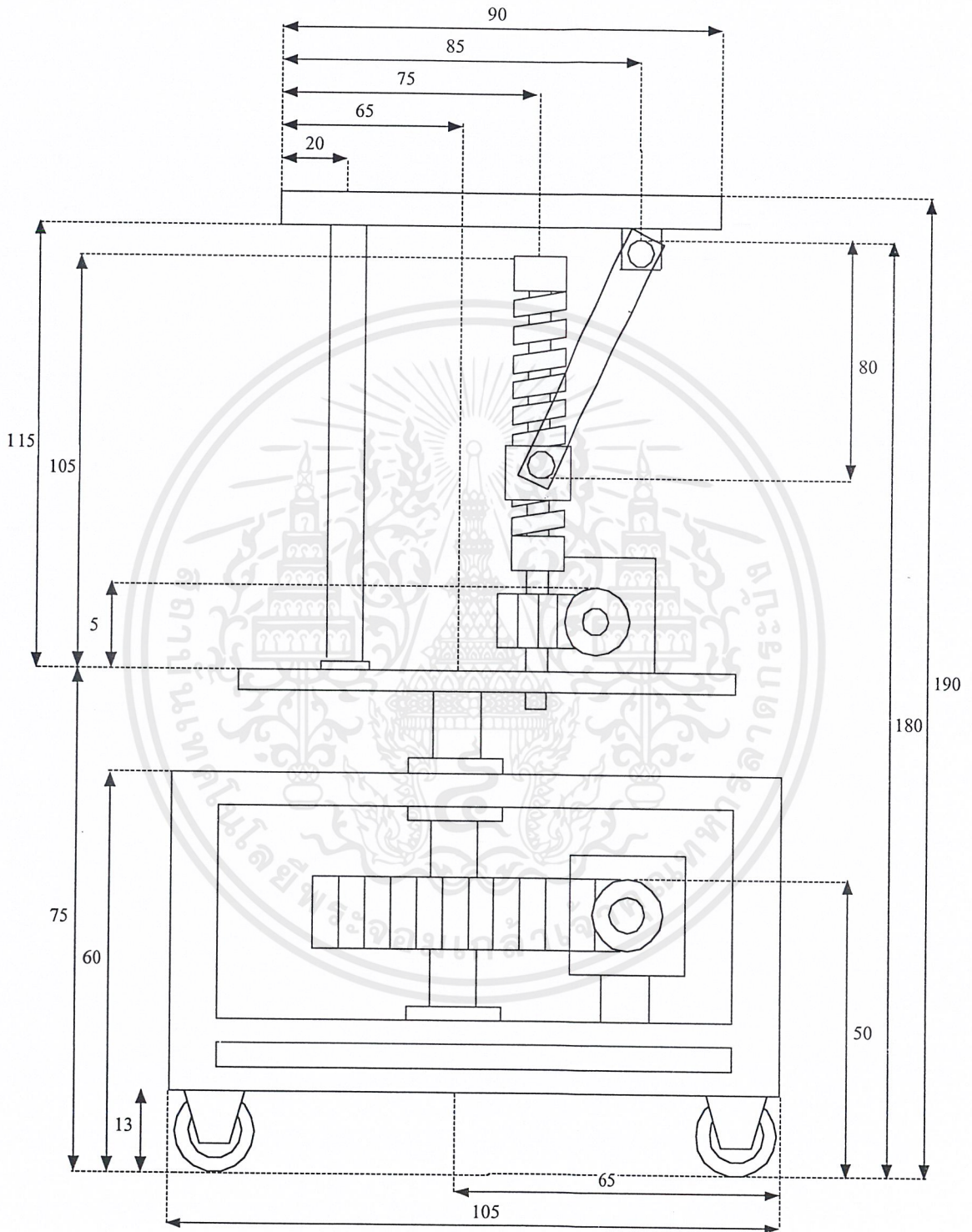
- ส่วนฐาน ประกอบด้วย แผงคอนโทรล ชุดเฟืองและมอเตอร์ขับเคลื่อนในแนวแกน-นอน ส่วนวงจร และแบตเตอรี่
- ส่วนขับเคลื่อน ประกอบด้วย ชุดเฟืองและมอเตอร์ขับเคลื่อน เฟืองรีด ฐานรองแผงตัวตรวจจับความเข้มแสง และแผงเซลล์แสงอาทิตย์





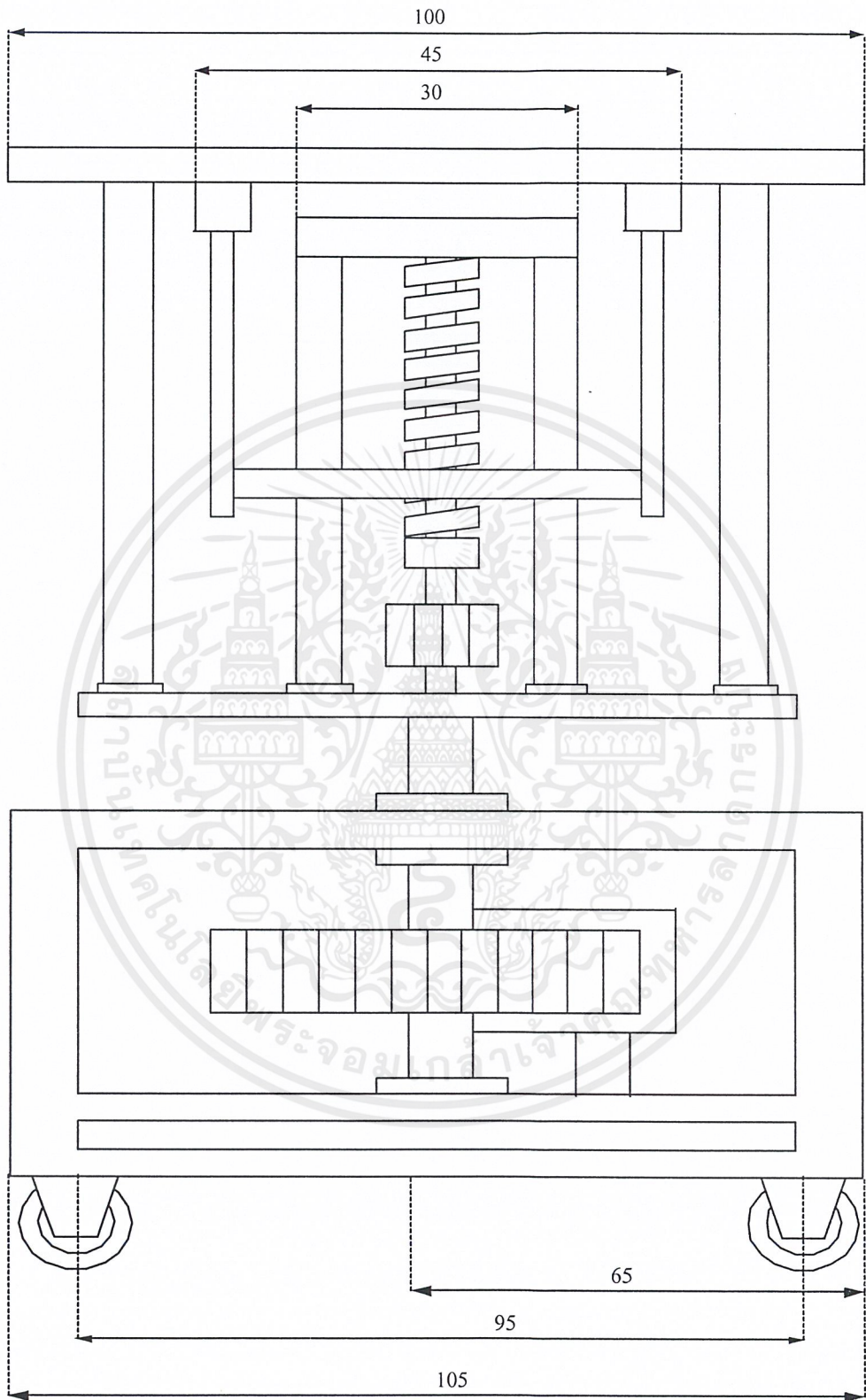
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 (ก) ขนาดของโครงสร้าง โดยมองจากด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

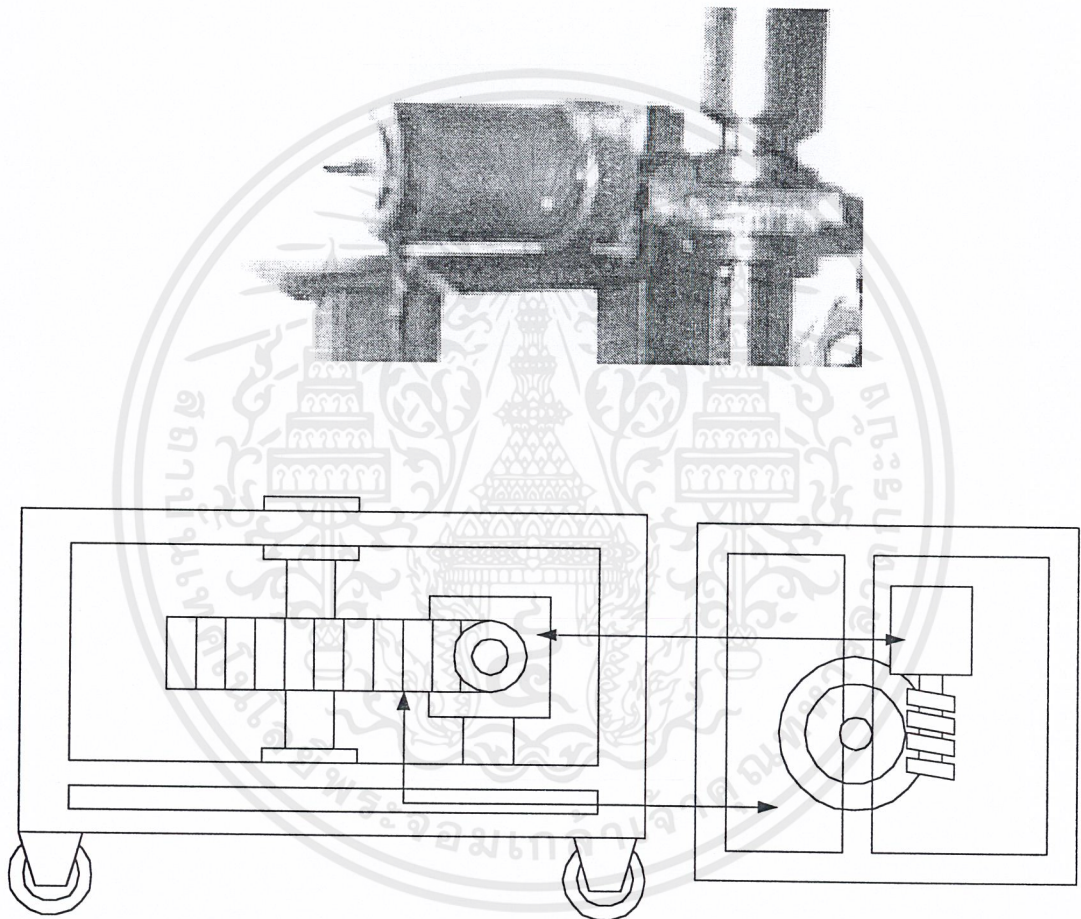


รูปที่ 3.3 (ข) ขนาดของโครงสร้าง โดยมองจากด้านหน้า

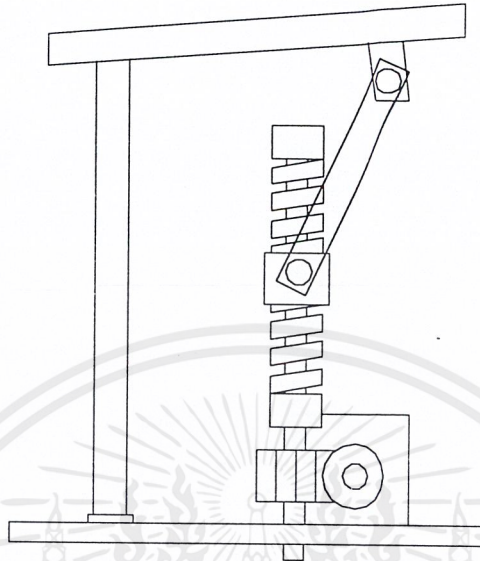
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 ชุดเฟืองและมอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้มีขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 120 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที มาใช้ในการหมุนแนวแกนนอน โดยใช้ที่พิกัดแรงดัน 12 โวลต์ ประกอบกับชุดเฟืองที่ใช้ภายนอกซึ่งมีอัตราทด 1/60 ทำการวัดอัตราการหมุนแนวแกนนอนในอัตรา 1.3 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.4 การติดตั้งชุดเฟือง และมอเตอร์ที่ใช้หมุนในแนวแกนนอน โดยมองจากด้านหน้าและด้านบน



รูปที่ 3.5 การติดตั้งชุดเฟืองและมอเตอร์ที่ใช้หมุนในแนวแกนตั้ง

ส่วนมอเตอร์ที่ใช้ในการหมุนแนวแกนตั้ง มีพิกัด 60 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ประกอบเข้ากับชุดเฟืองทดแรงที่มีอัตราทด  $1/24$  และเฟืองรีดสามารถดันให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ยกขึ้นลงในอัตรา 0.4 รอบต่อนาที

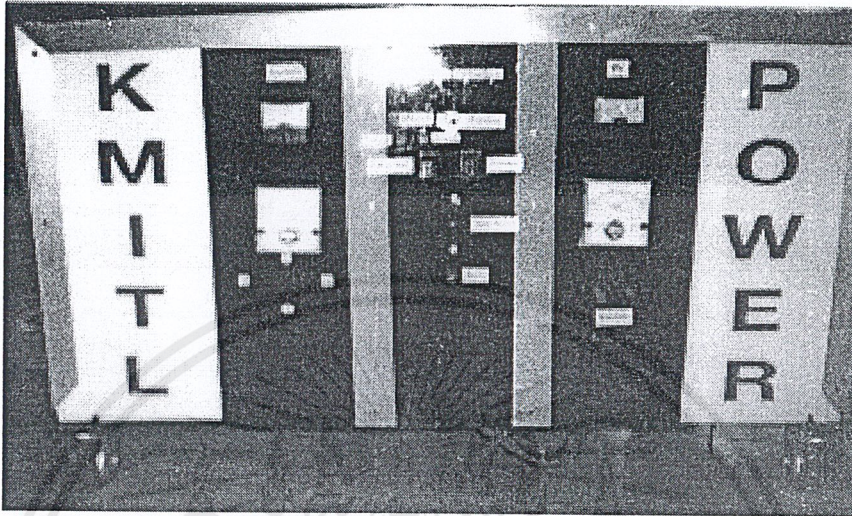
### 3.2.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

การวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำโดยการวางบนฐานรองแผงซึ่งสามารถหมุนได้ทั้ง 2 แนวแกน โดยในแนวแกนนอนสามารถหมุนแผงได้ 360 องศา และในแนวแกนตั้งสามารถหมุนแผงได้ 0-75 องศา ดังนั้น ลักษณะการหมุนของแผงจะเป็นรูปครึ่งทรงกลมบน ทำให้สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้อย่างสม่ำเสมอ

### 3.2.4 ตำแหน่งของตัวตรวจจับความเข้มแสง

การติดตั้งตำแหน่งของตัวตรวจจับความเข้มแสง 4 จุด บริเวณกึ่งกลางความยาวแต่ละด้านของฐานรองแผง และติดตั้งตำแหน่งของตัวเปรียบเทียบความเข้มแสงของชุดตัวตรวจจับความเข้มแสงที่ขอบของแต่ละด้านของฐานรองแผง ทั้งนี้ที่ตำแหน่งของตัวตรวจจับความเข้มแสงจะอาศัยหลักการบังเงา

### 3.2.5 ชุดแผงควบคุม



รูปที่ 3.6 แสดงแผงควบคุมการทำงาน

การควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งการควบคุมออกเป็น 2 ระบบ คือ การควบคุมโดยใช้การบังคับด้วยมือ (Manual) และการควบคุมแบบอัตโนมัติ (Tracking)

#### 3.2.5.1 ขั้นตอนการควบคุม

3.2.5.1.1 เปิดเบรกเกอร์หลักไปที่ตำแหน่ง Power on (สังเกตหลอด Power on จะสว่าง)

3.2.5.1.2 เลือกระบบจากปุ่มสวิตช์ 3 ทาง ดังนี้

- ระบบการควบคุมโดยใช้การบังคับด้วยมือ ดันสวิตช์ไปทางซ้าย-มือ (สังเกตหลอดไฟ Manual จะสว่าง)
- ไม่เข้าทั้ง 2 ระบบ อยู่ตรงกลาง
- ระบบการควบคุมแบบอัตโนมัติ ดันสวิตช์ไปทางขวามือ (สังเกตหลอดไฟ Tracking และหลอด A, B, C, D)

3.2.5.1.3 เลือกระบบการควบคุมโดยใช้การบังคับด้วยมือ

- กดปุ่มเลือกแกน โดยที่

กดปุ่มลงล่าง เลือกหมุนซ้าย-ขวา (สังเกตหลอด axis ดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่มขึ้นบน เลือกหมุนขึ้น-ลง (สังเกตหลอดaxis ติด)

- กดปุ่มซ้ายและขวา โดยที่

ถ้ากดปุ่มเลือกแกน โดยกดปุ่มลงล่าง

กดซ้าย หมุนไปทางซ้าย

กดขวา หมุนไปทางขวา

ถ้ากดปุ่มเลือกแกน โดยกดปุ่มขึ้นบน

กดซ้าย หมุนลงข้างล่าง

กดขวา หมุนขึ้นข้างบน

3.2.5.1.4 ถ้าเลือกกระบวนการควบคุมแบบอัตโนมัติ จะเข้าสู่ระบบอัตโนมัติ ใช้ตัวตรวจจับความเข้มแสง จับ 4 ตัว(A, B, C, D) และลิมิตสวิตช์บน-ล่าง(F,E)

3.2.5.1.5 ปุ่มรีเซ็ต (R) ได้ที่เครื่องเพื่อตั้งระบบให้เริ่มใหม่ได้ ในระบบการควบคุมแบบอัตโนมัติ

3.2.5.1.6 ปุ่ม Charger เลือกอัดประจุหรือไม่อัดประจุได้

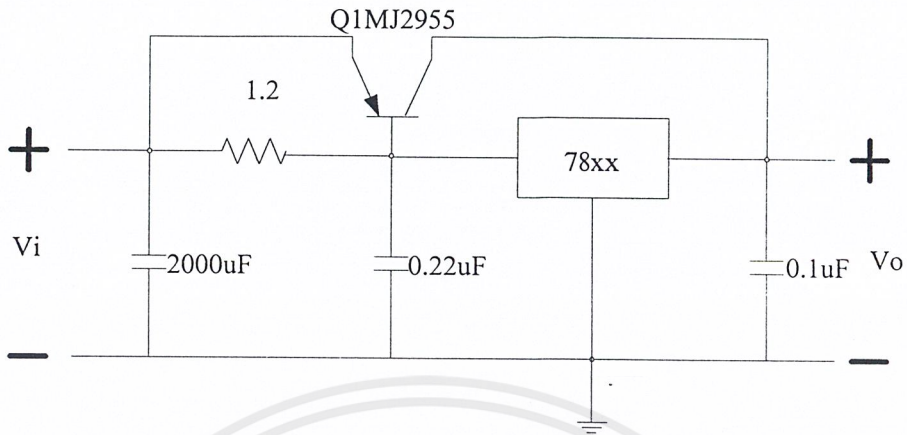
- ไม่อัดประจุ กดปุ่มลงข้างล่าง

- อัดประจุ กดปุ่มขึ้นข้างบน

### 3.3 ส่วนวงจร

#### 3.3.1 วงจรเรกกูเลเตอร์

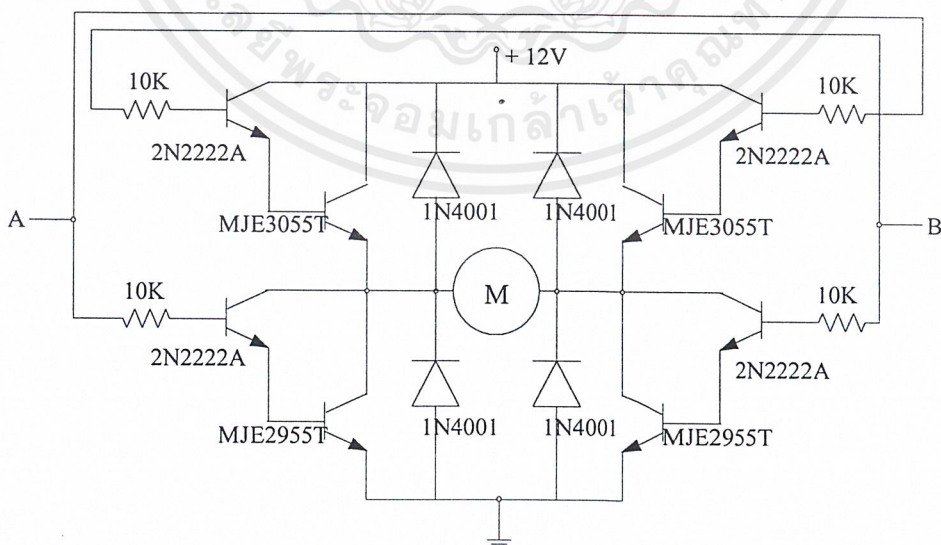
เป็นวงจรจ่ายไฟกระแสตรง ให้กับระบบ โดยใช้ไอซีเบอร์ 7812 และ 7805 ต่อเข้าไปในระบบ เพื่อผลิตแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงออกมา เป็น+12 โวลต์, +5 โวลต์ เพื่อใช้จ่ายให้กับส่วนต่างๆที่ต้องการไฟดังกล่าวไปควบคุมระบบ ลักษณะการต่อใช้งานเป็นดังรูปที่ 3.7 (ในการใช้งานใช้ทั้ง 2 เบอร์อย่างละชุด)



รูปที่ 3.7 วงจรเรกกูเลเตอร์

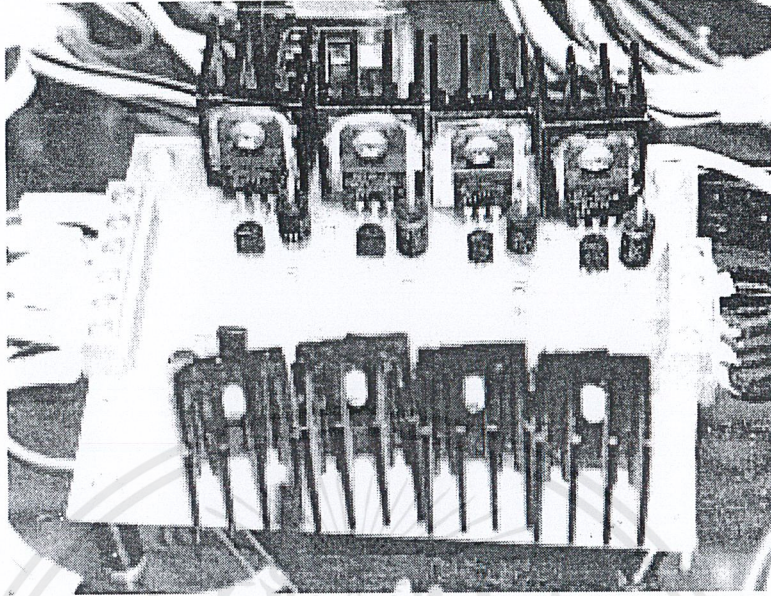
## 3.3.2 วงจรขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์

ทำงานโดยอาศัยไฟเลี้ยงมอเตอร์ที่เป็นแรงดันกระแสตรง 12 โวลต์ ป้อนเข้าวงจร ส่วนการควบคุมการหมุนซ้าย-ขวา โดยอาศัย ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ เป็นตัวส่งสัญญาณให้ทรานซิสเตอร์เปิด-ปิดวงจร การส่งสัญญาณมี 2 แบบ คือ แบบแรกเป็นการสั่งให้มอเตอร์หมุนไปข้างหน้า แบบที่สองเป็นการสั่งให้มอเตอร์หมุนทิสทางตรงข้าม (ในการใช้งานจริง เราใช้วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ 2 ชุด โดยชุดแรก ให้หมุนซ้าย-ขวาและอีกชุด ให้หมุนขึ้น-ลง)



รูปที่ 3.8(ก) วงจรขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์

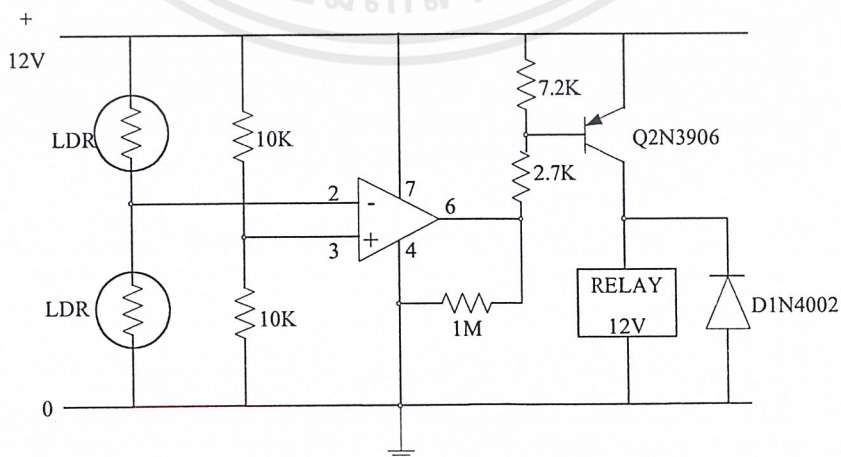
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8(ข) วงจรขับเคลื่อนคิซิมอเตอร์

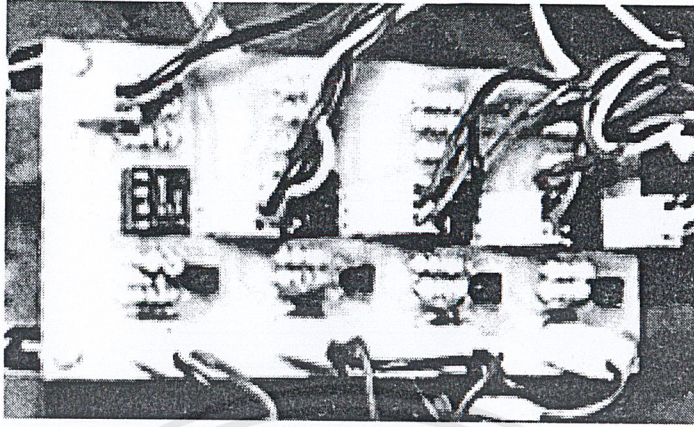
### 3.3.3 วงจรตัวตรวจจับความเข้มแสง

เป็นการเปรียบเทียบแรงดันที่ขา 2 และ 3 ของออปแอมป์เบอร์ 741 นั่นคือ แรงดันจากขา 2 เป็นแรงดันที่ตกคร่อมของตัวต้านทานปรับค่าได้ตามแสงและแรงดันที่ขา 3 เป็นแรงดันที่ตกคร่อมของความต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์ม ซึ่งหากแรงดันขา 2 และ 3 มีความแตกต่างกันในหน่วยมิลลิโวลต์ ผลลัพธ์ของออปแอมป์จะทำงาน ส่งผลให้รีเลย์ทำงาน ดังรูปที่ 3.9 (ในการใช้งานเราใช้ 4 ชุด)



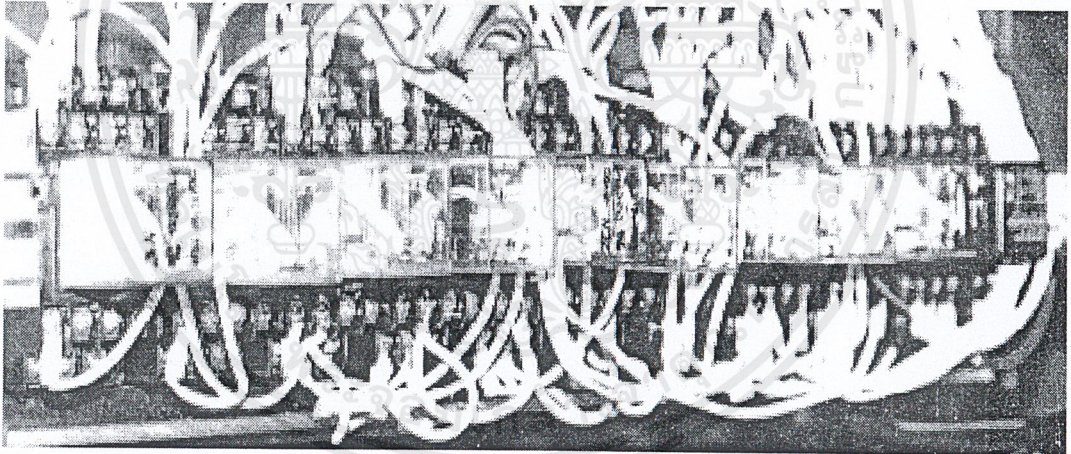
รูปที่ 3.9(ก) วงจรตัวตรวจจับความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9(ข) วงจรตัวตรวจจับความเข้มแสง

### 3.3.4 วงจรรีเลย์

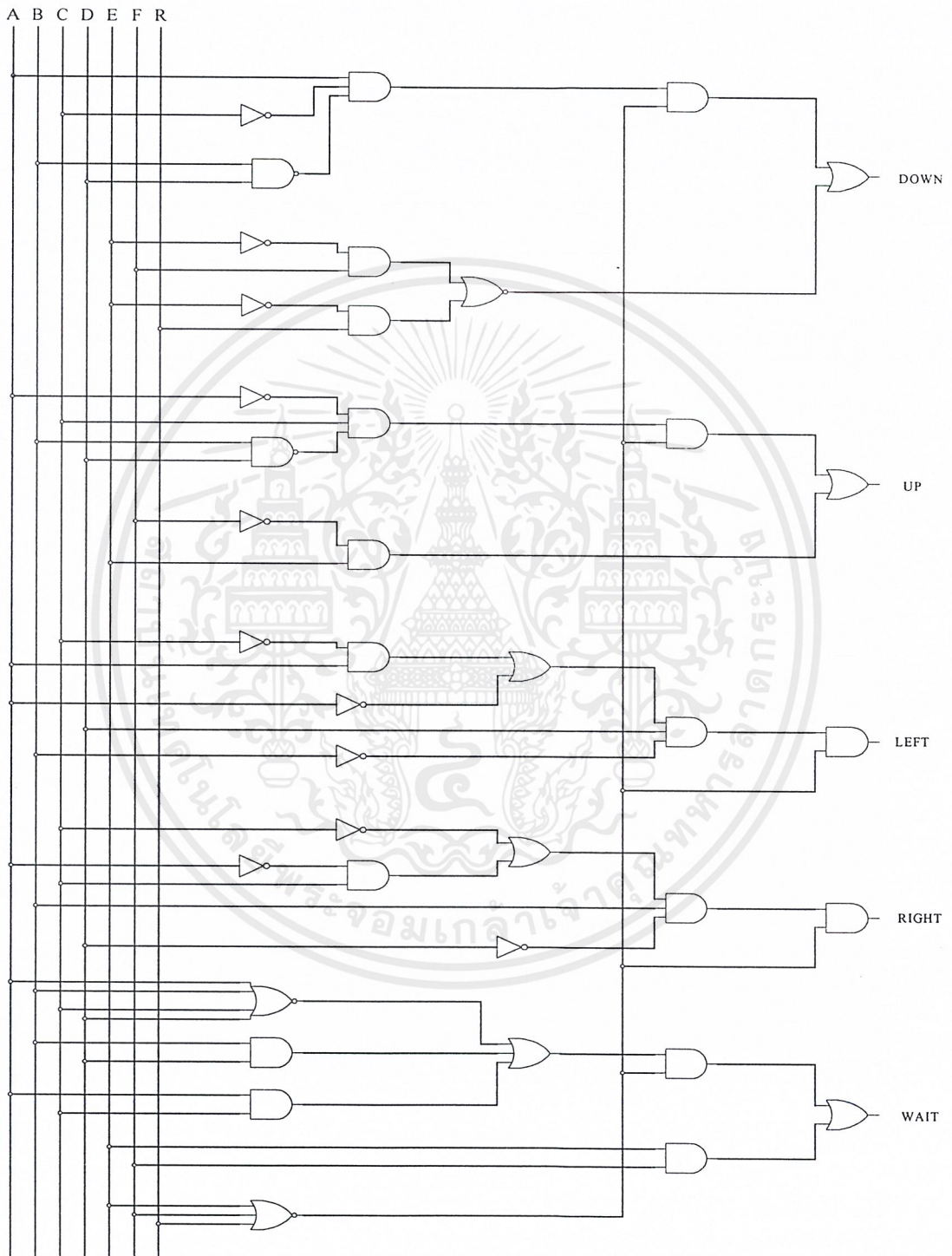


รูปที่ 3.10 วงจรรีเลย์

วงจรรีเลย์ที่ใช้เป็นการตัดต่อการทำงานระหว่างวงจรต่างๆที่ต้องทำงานร่วมกัน คือ วงจรตรวจจับความเข้มแสง วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง วงจรดิจิทัลและวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้การทำงานร่วมกันเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพเป็นขั้นตอน ไม่ทำงานขัดแย้งกันเอง การทำงานของรีเลย์ต้องใช้ไฟเลี้ยงป้อนให้รีเลย์เพื่อให้คอยล์ (Coil) เกิดการเหนี่ยวนำ เพื่อเป็นการทำงานเปิด-ปิดหน้าสัมผัสทำให้เกิดการตัดและต่อวงจรได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3.5 วงจรดิจิทัล



รูปที่ 3.11 วงจรคอมบินเนชันเซอร์กิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานอาศัยค่าของเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นทั้งหมดในทุกๆกรณีมาเขียนค่าตารางค่าความจริง(Truth Table) ดังตาราง3.1 แล้วทำการออกแบบวงจร โดยใช้ คอมบิเนชันเซอร์กิต (Combination Circuit) เพียงอย่างเดียว เพื่อทำการทดสอบระบบทำงานอัตโนมัติก่อนที่จะใช้การควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์แทน ดังรูปที่ 3.11

A	B	C	D	Up	Down	Right	Left	Wait
1	D	1	D	0	0	0	0	1
D	1	D	1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0	0
0	1	1	0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	1	1	0	0

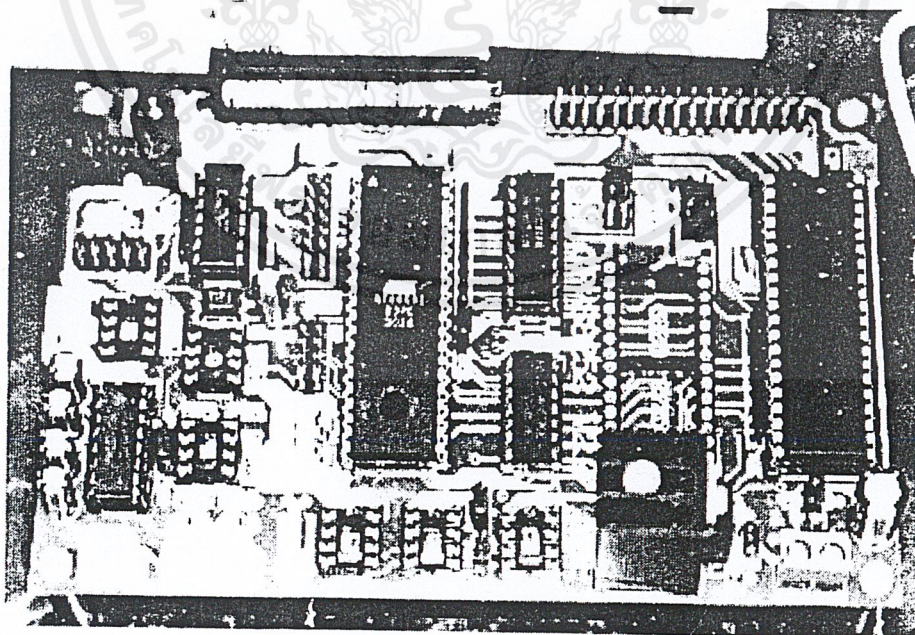
ตารางที่ 3.1 ตารางค่าความจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E	F	R	Up	Down	Right	Left	Wait
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	1
1	1	1	0	0	0	0	1

ตารางที่ 3.1(ต่อ) ตารางค่าความจริง

### 3.3.6 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



รูปที่ 3.12 แผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานอาศัยคริสตัลที่มีความถี่เป็นตัวกำหนดสัญญาณ โดยการทำงานจริงที่ใช้นี้จะใช้พอร์ต(Port) 0 และ 2 เป็นพอร์ตขาเข้า และ พอร์ตขาออก ตามลำดับ

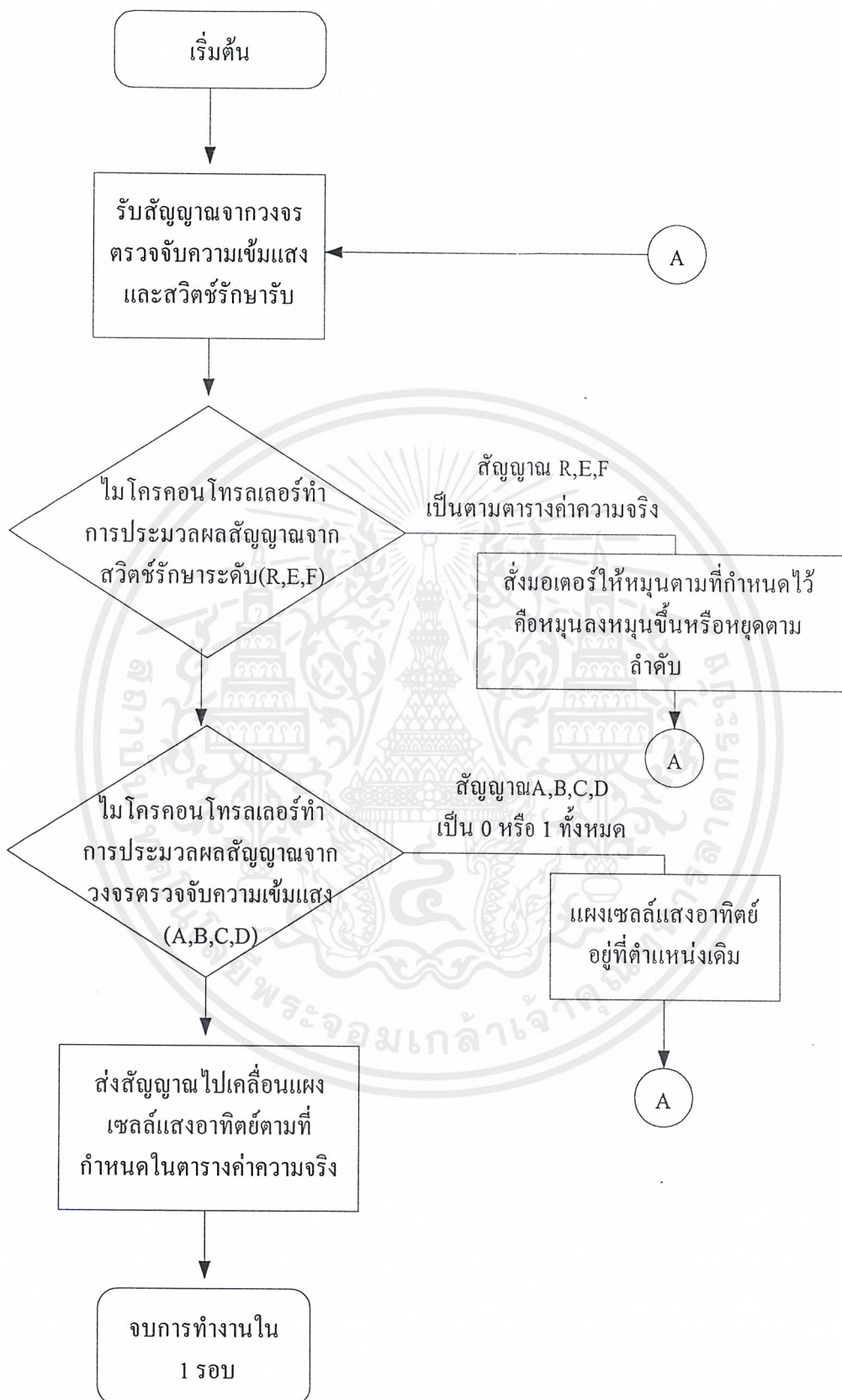
การกำหนดพอร์ตข้อมูลเข้าออกของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะกำหนดให้เป็นดังนี้

- พอร์ต P0.0 กำหนดให้เป็น ขาเข้าสัญญาณที่มาจาก R (สวิตช์รีเซต)
- พอร์ต P0.1 กำหนดให้เป็น ขาเข้าสัญญาณที่มาจาก F (ลิมิตสวิตช์ล่าง)
- พอร์ต P0.2 กำหนดให้เป็น ขาเข้าสัญญาณที่มาจาก E (ลิมิตสวิตช์บน)
- พอร์ต P0.3 กำหนดให้เป็น ขาเข้าสัญญาณที่มาจาก D (เซนเซอร์)
- พอร์ต P0.4 กำหนดให้เป็น ขาเข้าสัญญาณที่มาจาก C (เซนเซอร์)
- พอร์ต P0.5 กำหนดให้เป็น ขาเข้าสัญญาณที่มาจาก B (เซนเซอร์)
- พอร์ต P0.6 กำหนดให้เป็น ขาเข้าสัญญาณที่มาจาก A (เซนเซอร์)
- พอร์ต P2.0 กำหนดให้เป็น ขาออกสัญญาณที่มาจาก W (Wait)
- พอร์ต P2.1 กำหนดให้เป็น ขาออกสัญญาณที่มาจาก L (Left)
- พอร์ต P2.2 กำหนดให้เป็น ขาออกสัญญาณที่มาจาก R (Right)
- พอร์ต P2.3 กำหนดให้เป็น ขาออกสัญญาณที่มาจาก D (Down)
- พอร์ต P2.4 กำหนดให้เป็น ขาออกสัญญาณที่มาจาก U (Up)

ซึ่งโปรแกรมที่ออกแบบนั้นสามารถควบคุมการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์ แทนวงจรถักติดที่เราใช้ใส่เพื่อทดสอบความเข้ากันได้ของระบบทั้งหมดแล้ว และมีประสิทธิภาพสูงกว่าในเรื่องของความเร็วในการตรวจจับ หน่วยความจำที่มากพอจะเก็บข้อมูลสำคัญและการนับเวลาหรือพัฒนาขีดความสามารถในด้านต่างๆเพิ่มขึ้นได้อีกในอนาคต

การทำงานนี้จะอาศัยการตรวจจับของตัวตรวจจับความเข้มแสง(R, E, F, A, B, C, D) ส่งข้อมูลในรูปแบบของการส่งแบบขนาน เข้ามาประมวลผลตามโปรแกรมที่ได้เขียนของ MCS-51 นอกจากนี้ยังสามารถแก้ปัญหาการพันของสาย การใช้งานอย่างต่อเนื่องเมื่อพระอาทิตย์ตกดินและเมื่อขึ้นอีกครั้งก็สามารถทำงานติดต่อกันได้ โดยไม่ต้องปิดเครื่องหรือกลัวว่าสายจะพันกันจนเกิดความเสียหายขึ้น เนื่องจากปัญหาที่ไม่สามารถตรวจจับหรือเกิดการเสียของตัวตรวจจับความเข้มแสงตัวใดตัวหนึ่งได้ โดยการใช้ไมโครเมอร์หรือเคาน์เตอร์เขียน โปรแกรมแก้ปัญหาได้ โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม (Flowchart) ที่ใช้ในการทำงานของ MCS-51 ดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

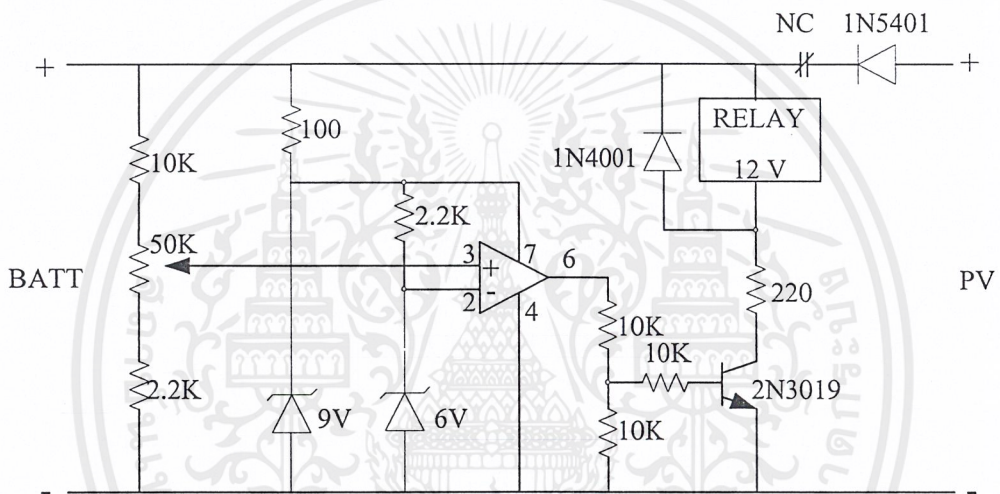


รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม MCS-51

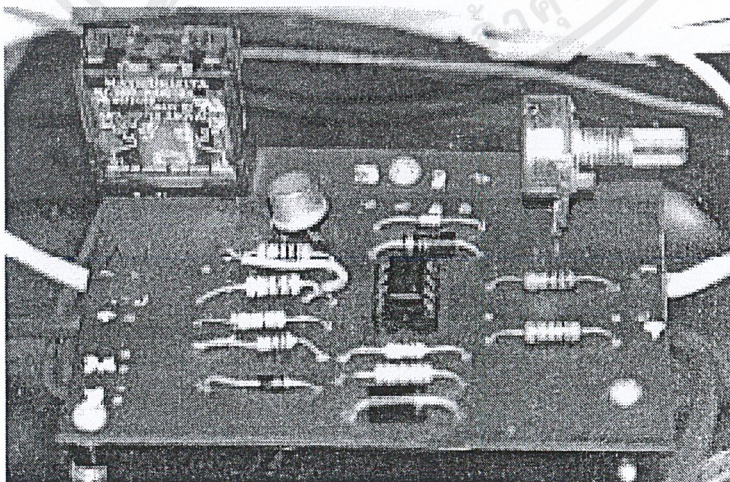
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.7 วงจรอัดประจุ

วงจรอัดประจุนี้ใช้เพื่ออัดกระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงแบตเตอรี่โดยมีการป้องกันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เริ่มจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขาออกติดไดโอดกันกระแสไหลกลับจากแบตเตอรี่ เมื่อโวลต์จากแบตเตอรี่มากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์และในวงจรนี้สามารถปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ดังรูปที่ 3.14 เพื่อกำหนดขนาดของการประจุแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับแรงดันด้านขาเข้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อีกทั้งยังมีการป้องกันการอัดประจุเกิน (Over Voltage) ของแบตเตอรี่ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายได้



รูปที่ 3.14(ก) วงจรอัดประจุ



รูปที่ 3.14(ข) วงจรอัดประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองวงจร

##### 4.1.1 การทดลองการทำงานของวงจรตรวจจับความเข้มแสง

###### 4.1.1.1 วิธีการทดลอง

4.1.1.1.1 ต่อวงจรดังรูปที่ 3.9 แล้วทำการจ่ายแรงดัน +12 โวลต์ เข้าไป

4.1.1.1.2 สังเกตการทำงานของ หน้าสัมผัสของรีเลย์ เมื่อตัวต้านทานปรับค่าตามแสง (LDR2) ได้รับความเข้มแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์และนำกระดาษแข็งมาบังไม่ให้รับแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ แล้วบันทึกผล

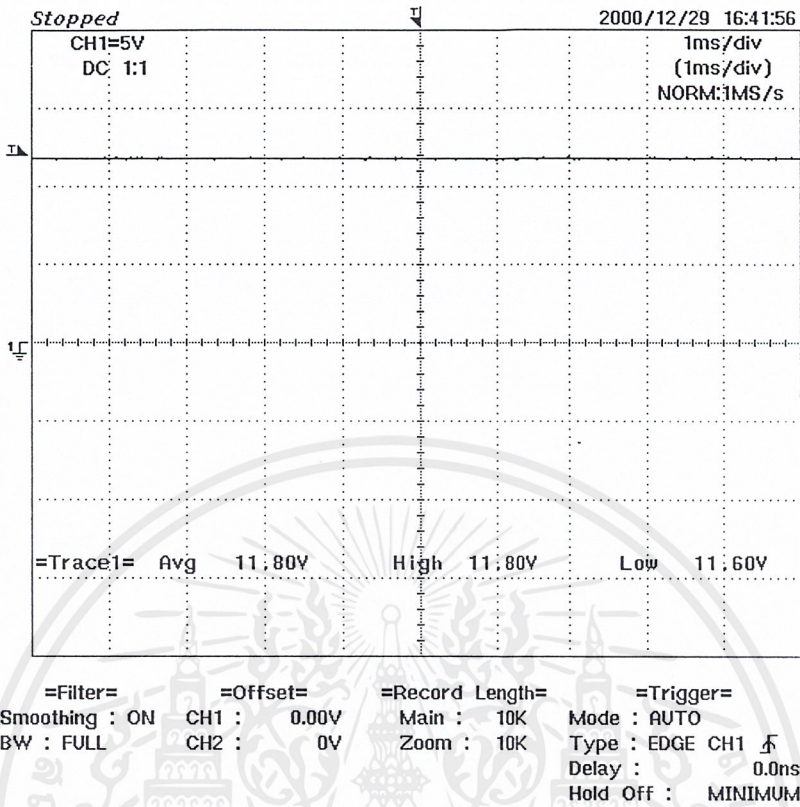
###### 4.1.1.2 ผลการทดลอง

สถานะของLDR2	สถานะของรีเลย์
1. เมื่อ ได้รับความเข้มแสง	หน้าสัมผัสของรีเลย์ไม่ทำงาน
2. เมื่อ ไม่ ได้รับความเข้มแสง(ถูกบัง)	หน้าสัมผัสของรีเลย์ทำงาน

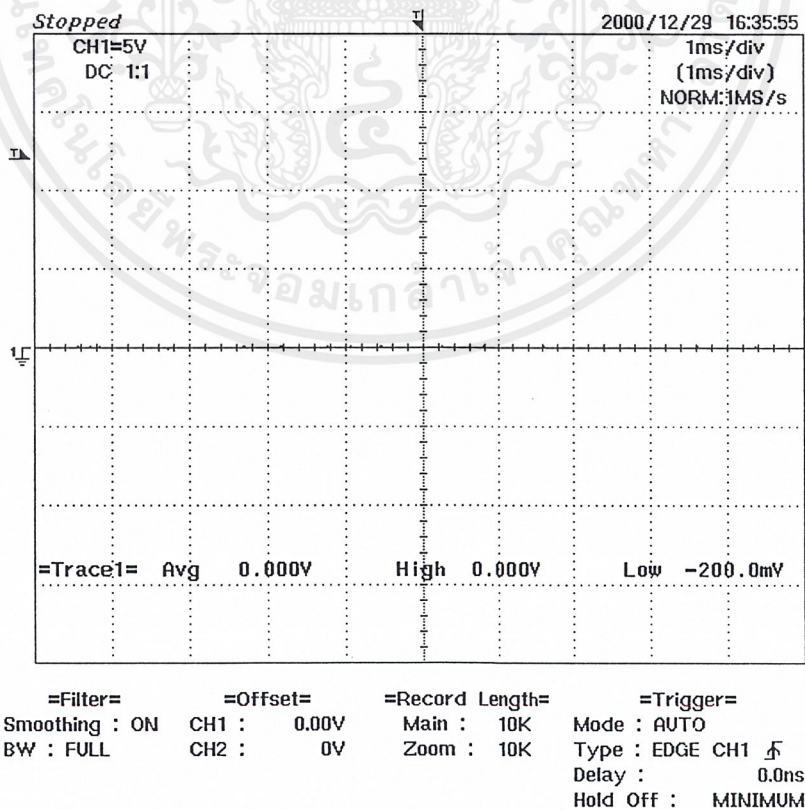
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการทำงานของวงจรตรวจจับความเข้มแสง

###### 4.1.1.3 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง รีเลย์จะเปิดวงจร(NO)เมื่อค่าความต้านทานของ LDR1 (เนื่องจากความเข้มแสงที่ตกกระทบ) เท่ากับ LDR2 และถ้ารีเลย์ต่อวงจร (NC) เมื่อความต้านทานของทั้งสองตัวไม่เท่ากัน



รูปที่ 4.1 กราฟสัญญาณเข้ารีเลย์ เมื่อ LDR2 ได้รับแสง



รูปที่ 4.2 กราฟสัญญาณเข้ารีเลย์ เมื่อ LDR2 ไม่ได้รับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้จัดทำเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 การทดลองการทำงานของวงจรขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์

##### 4.1.2.1 วิธีการทดลอง

4.1.2.1.1 ต่อวงจรดังรูปที่ 3.8(ก) แล้วทำการจ่ายแรงดัน +12 โวลต์ เข้าวงจร

4.1.2.1.2 ป้อนแรงดัน +5 โวลต์ เข้าที่ขั้วบวกและขั้วลบตามลำดับ สังเกตทิศ-

ทางการหมุนของดีซีมอเตอร์ทั้งสองกรณี บันทึกผลการทดลอง

##### 4.1.2.2 ผลการทดลอง

ขั้วของแรงดัน 5 โวลต์	ทิศทางการหมุนของดีซีมอเตอร์
บวก	ดีซีมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา
ลบ	ดีซีมอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

#### ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการทำงานของวงจรขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์

##### 4.1.2.3 สรุปผลการทดลอง

เมื่อป้อนไฟเลี้ยง +12 โวลต์ ให้วงจร วงจรจะใช้แรงดัน 5 โวลต์ เป็นตัวควบคุมทิศทางการหมุนของดีซีมอเตอร์ โดยสามารถกลับทิศทางการหมุนของดีซีมอเตอร์จากการเปลี่ยนขั้วการป้องกันสัญญาณ

#### 4.1.3 การทดลองวงจรดิจิทัล

##### 4.1.3.1 วิธีการทดลอง

4.1.3.1.1 ต่อวงจรดังรูป แล้วทำการจ่ายแรงดัน +5 โวลต์ เข้าวงจร

4.1.3.1.2 ทดสอบโดยนำแหล่งจ่าย +5 โวลต์ เป็นตัวทดลองตามค่าความจริง

4.1.3.1.3 ทดสอบโดยนำไปต่อในวงจรที่ใช้ เพื่อทดสอบการทำงานได้ของ

ระบบการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

## 4.1.3.2 ผลการทดลอง

วิธีทดสอบ	ผลที่ได้จากการทดลอง
1. ใช้แหล่งจ่าย +5 โวลต์	ตรงตามตารางค่าความจริง
2. ต่อในวงจรจริง	ขับเคลื่อนมอเตอร์ตามต้องการ

## ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรดิจิทัล

## 4.1.3.3 สรุปผลการทดลอง

เมื่อป้อนไฟจากระบบจริง วงจรสามารถทำได้ตามตารางค่าความจริงแต่ในการใช้งาน ขาที่ยังไม่ใช้เราต้องต่อลงดิน(เส้นแรงดันศูนย์) เพราะถ้าปล่อยลอย ดิจิตอลอาจแยกไม่ออก จะทำให้การประมวลผลผิดได้

## 4.1.4 การทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

## 4.1.4.1 วิธีการทดลอง

## 4.1.4.1.1 เขียนโปรแกรมลงไปใน MCS-51

## 4.1.4.1.2 ต่อบัฟเฟอร์ (Buffer) และ R-pull up ให้ MCS-51

## 4.1.4.1.3 ทดสอบโดยนำแหล่งจ่าย +5 โวลต์ เป็นตัวทดลอง

## 4.1.4.1.4 ทดสอบโดยนำไปต่อจริงในวงจรที่ใช้

## 4.1.4.2 ผลการทดลอง

วิธีทดสอบ	ผลที่ได้จากการทดลอง
1. ใช้แหล่งจ่าย +5 โวลต์	ตรงตามตารางค่าความจริง
2. ต่อในวงจรจริง	ขับเคลื่อนมอเตอร์ตามต้องการ ประสิทธิภาพเร็วกว่าวงจรดิจิทัลและสายไม่พันกัน

## ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4.3 สรุปผลการทดลอง

เมื่อป้อนไฟจากระบบจริง วงจรสามารถทำได้ตาม โปรแกรมที่ป้อน แต่ของจริง ขายังไม่ใช่เราต้องต่อลงเส้นศักร์ศูนย์ ต้องต่อบัฟเฟอร์และ R- pull up เข้าวงจรเพื่อช่วยจ่ายกระแส ในการขับมอเตอร์

#### 4.1.5 การทดลองวงจรอัจฉริยะ

##### 4.1.5.1 วิธีการทดลอง

4.1.5.1.1 ทำการป้อนแหล่งจ่ายเข้าที่ด้านอินพุตด้านแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4.1.5.1.2 นำแบตเตอรี่มาต่อที่เอาต์พุตด้านแบตเตอรี่

4.1.5.1.3 เปรียบเทียบแรงดัน ที่ขา 2 และ 3 ของ LM741

4.1.5.1.4 ตั้งค่าความต้านทานปรับค่าได้ให้เหมาะสม

##### 4.1.5.2 ผลการทดลอง

เมื่อแรงดันทางด้านแบตเตอรี่สูงถึงระดับที่ตั้งไว้ หน้าสัมผัสของวงจรรีเลย์ทำการเปิดออก

##### 4.1.5.3 สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการต่อเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า สามารถใช้งานได้ประสิทธิภาพ 94 เปอร์เซ็นต์ และแบตเตอรี่ทำการตัดเมื่อแรงดันสูงถึงระดับที่ค่าความต้านทานปรับค่าได้ตั้งไว้

## 4.2 การทดลองการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

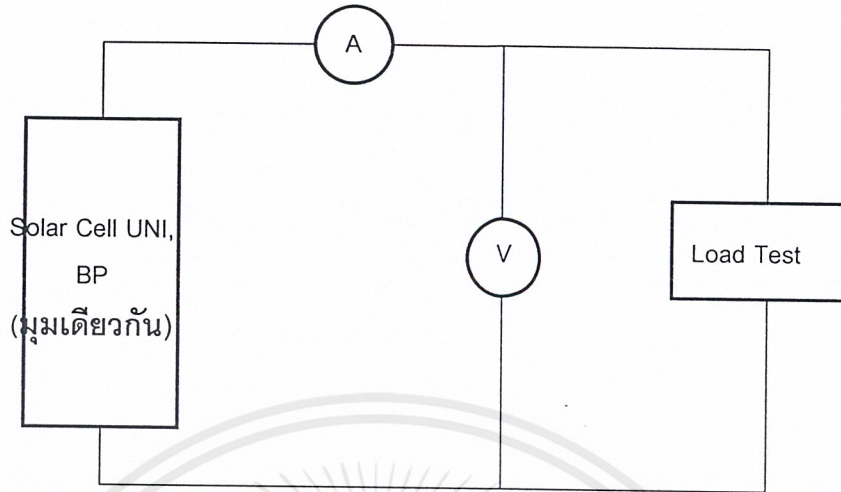
4.2.1 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ BP รุ่น 1255HP เปรียบเทียบกับแผง UNI รุ่น US-64

##### 4.2.1.1 วิธีการทดลอง

4.2.1.1.1 นำแผงทั้ง 2 มาวางในมุมเดียวกัน

4.2.1.1.2 นำโพลทดสอบมาต่อกับวงจร ดังรูปที่ 4.3

4.2.1.1.3 บันทึกผลค่าแรงดัน และกระแส



รูปที่ 4.3 การต่อวงจรที่ใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพของแฉง

#### 4.2.1.2 ผลการทดลอง

ค่าของแรงดัน กระแส และพลังงานที่ได้จากการทดลองของแฉง BP รุ่น 1255HP และแฉง UNI รุ่น US-64 มีค่าตามตารางที่ จ.1 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโหลดกับกำลังงานของแฉง BP เปรียบเทียบกับแฉง UNI ดังรูปที่ 4.3

#### 4.2.1.3 สรุปผลการทดลอง

จากกราฟพลังงานที่แฉงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด BP รุ่น 1255HP ได้รับมีค่าน้อยกว่าที่แฉงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด UNI รุ่น US-64 ได้รับ เนื่องจากแฉง UNI ในรุ่นดังกล่าวมีขนาดพิคัดที่ใหญ่กว่าและมีจำนวนเซลล์มากกว่าต่อ 1 แฉง ดังนั้น จึงเลือกใช้แฉงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด UNI รุ่น US-64 ในโครงการนี้



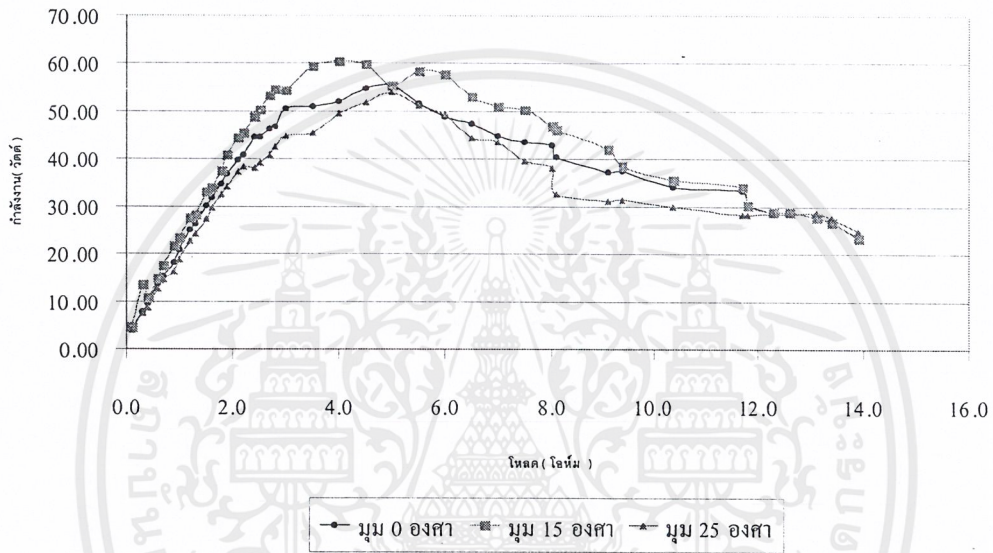
#### 4.2.2.1 วิธีทำการทดลอง

4.2.2.1.1 นำแผง UNI รุ่น US-64 มาวางในมุมต่างๆกัน 0, 15, 25 องศา

4.2.2.1.2 นำโพลดทดสอบมาต่อกับวงจร

4.2.2.1.3 บันทึกผลค่าแรงดัน และกระแส แสดงในตารางที่ จ.2

#### 4.2.2.2 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบพลังงานที่ได้รับที่มุมแผงต่างๆ

#### 4.2.2.3 สรุปผลการทดลอง

จากกราฟ พบว่า ในแต่ละมุม 0, 15, 25 องศา ต่างมีช่วงเวลาที่สามารเก็บพลังงานได้มากที่สุดต่างกัน โดยเฉพาะมุม 15 องศาพบว่า สามารถเก็บพลังงานได้สูงสุดโดยเฉลี่ยแล้วมากที่สุด แต่ในบางช่วงก็มีมุมอื่นที่มีค่าพลังงานมากกว่าที่มุม 15 องศา ดังนั้นที่มุมต่างๆกัน จะได้พลังงานสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์ได้ไม่เท่ากัน

ดังนั้นจากการทดลองนี้ เราจึงคิดว่า หากใช้ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์หมุนมาให้กระแสสูงสุดในช่วงเวลานั้น ๆ เพื่อเก็บพลังงานให้มากที่สุด ก็จะสามารถเก็บพลังงานได้สูงที่สุดในแต่ละวัน จากสมมติฐานนี้ จะทำการทดลองที่ 4.2.3 ต่อไป

#### 4.2.3 การทดลองเปรียบเทียบการรับพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยน

ตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งที่ตั้งอยู่ที่มุมที่ได้รับพลังงานสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3.1 วิธีการทดลอง

4.2.3.1.1 ทำการต่อแผง UNI รุ่น US-64 เข้ากับระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์

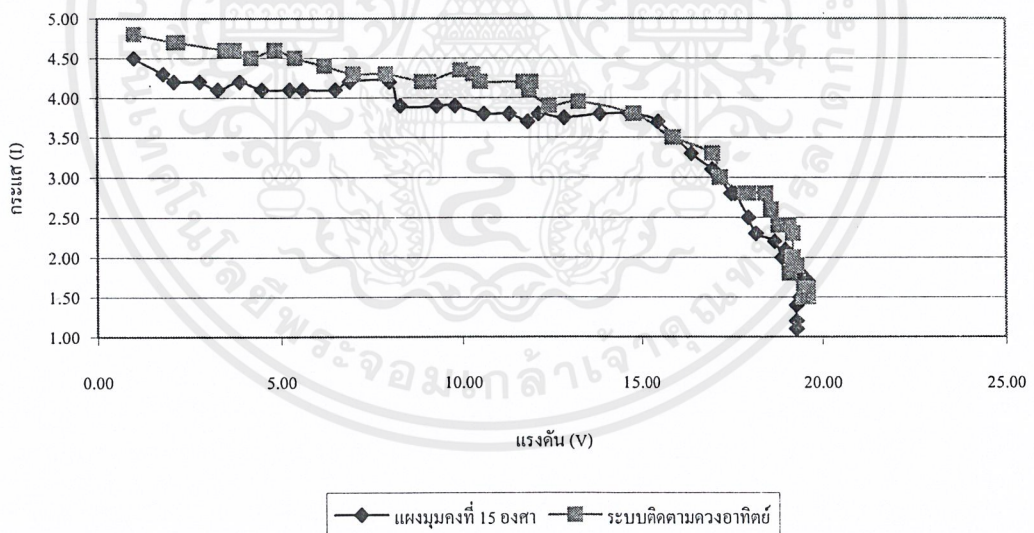
4.2.3.1.2 ทำการต่อแผง UNI รุ่น US-64 เพื่อทำการทดสอบในระบบหยุดนิ่ง ณ มุมที่ได้รับพลังงานสูงสุด

4.2.3.1.3 ต่อโพลดเพื่อทำการทดสอบหาประสิทธิภาพ

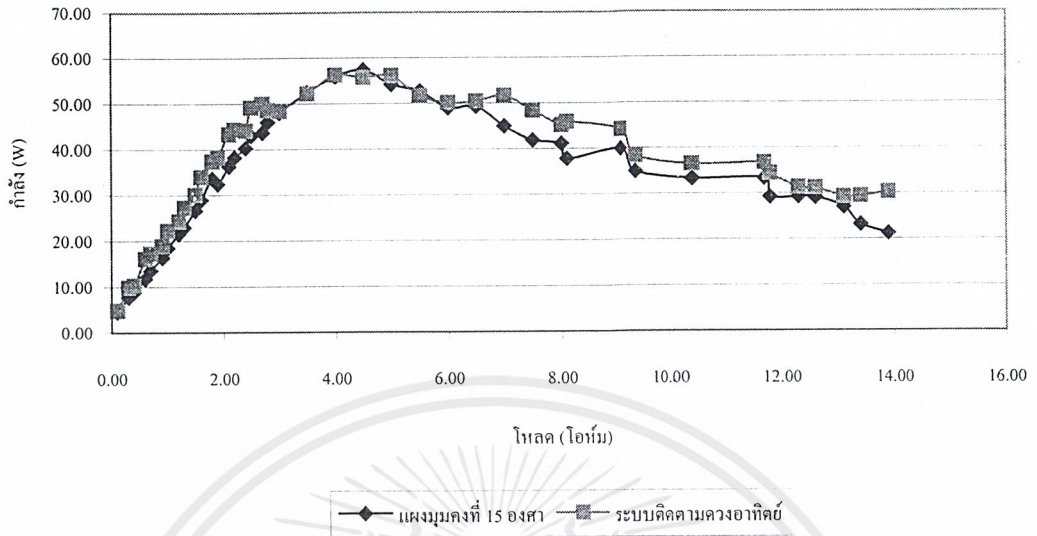
4.2.3.1.4 บันทึกผลการทดลอง

#### 4.2.3.2 ผลการทดลอง

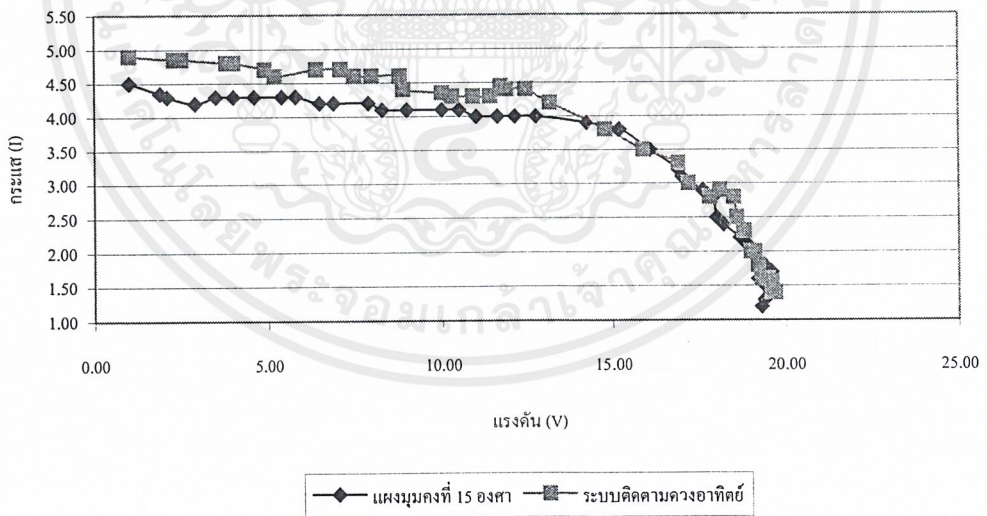
ค่าของแรงดัน กระแส และพลังงานที่ได้จากการทดลอง มีค่าตามตารางที่ ๔.2 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโพลดกับกำลังงาน และกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันกับกระแส ดังรูปที่ 4.7-4.28



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 9.00 น.

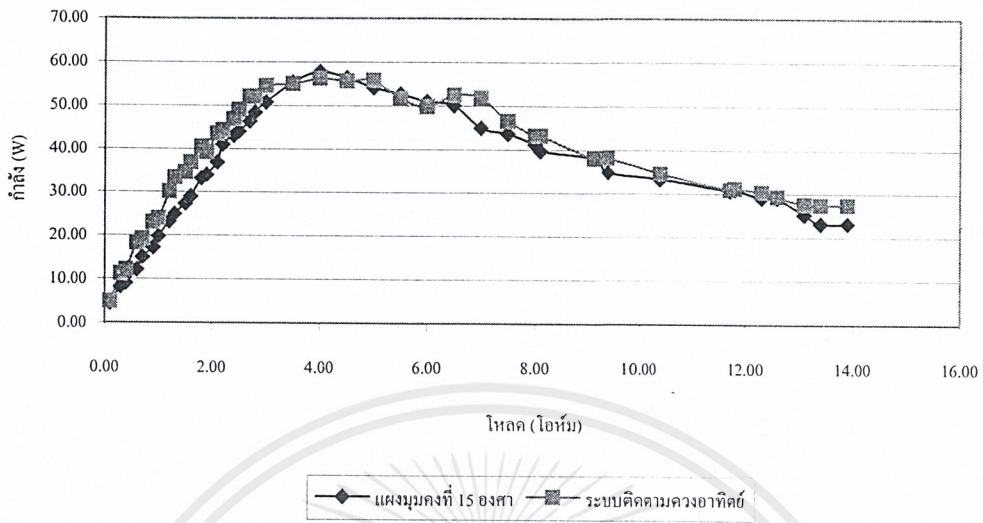


รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับโหลดของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 9.00 น.

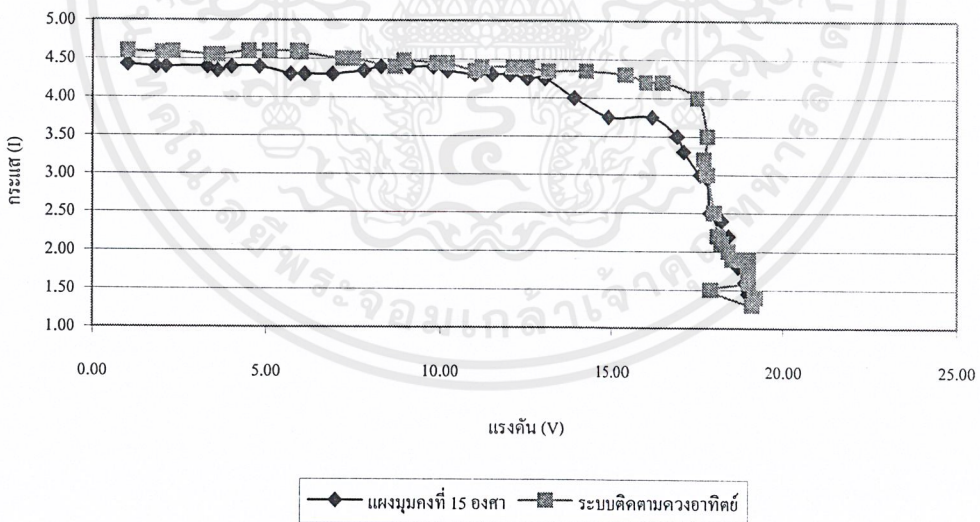


รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 10.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

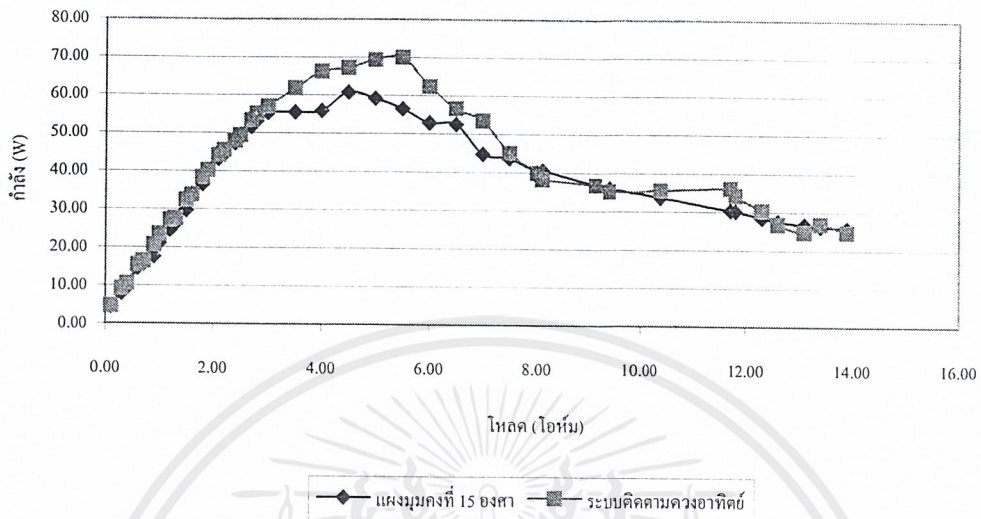


รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับทูลของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 10.00 น.

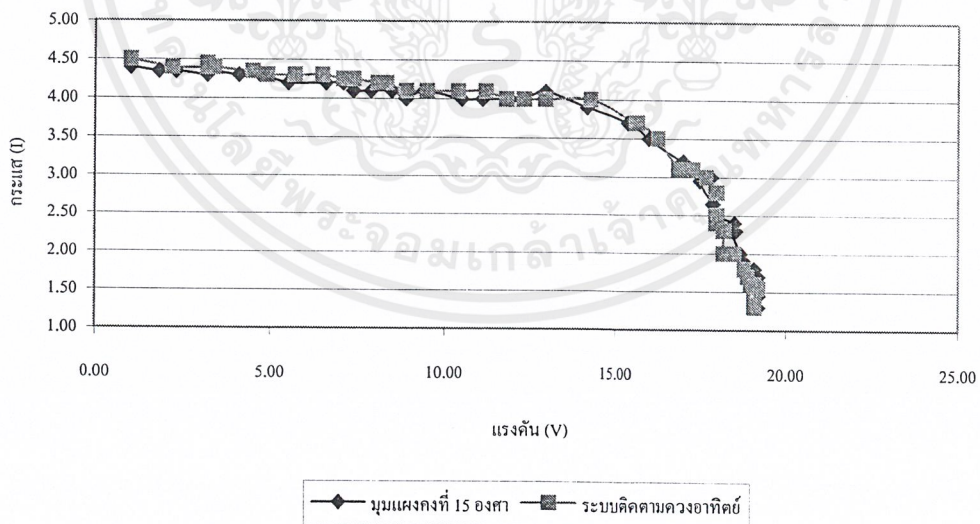


รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 11.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

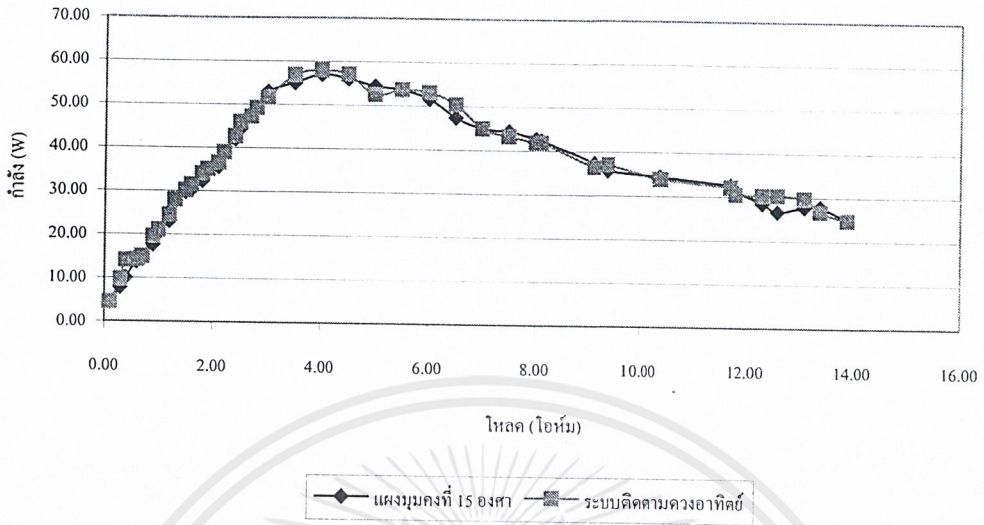


รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับ โทลคของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตาม ดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 11.00 น.

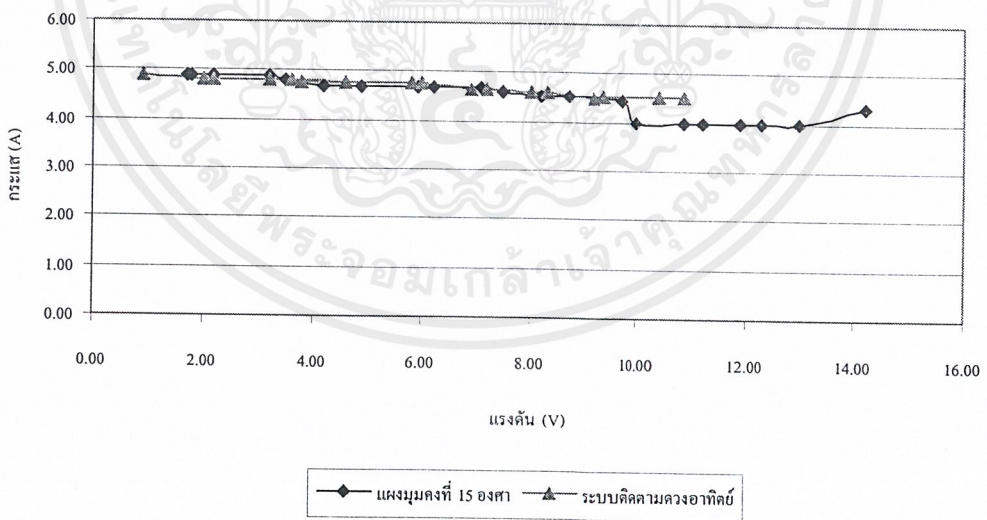


รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตาม ดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 11.30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

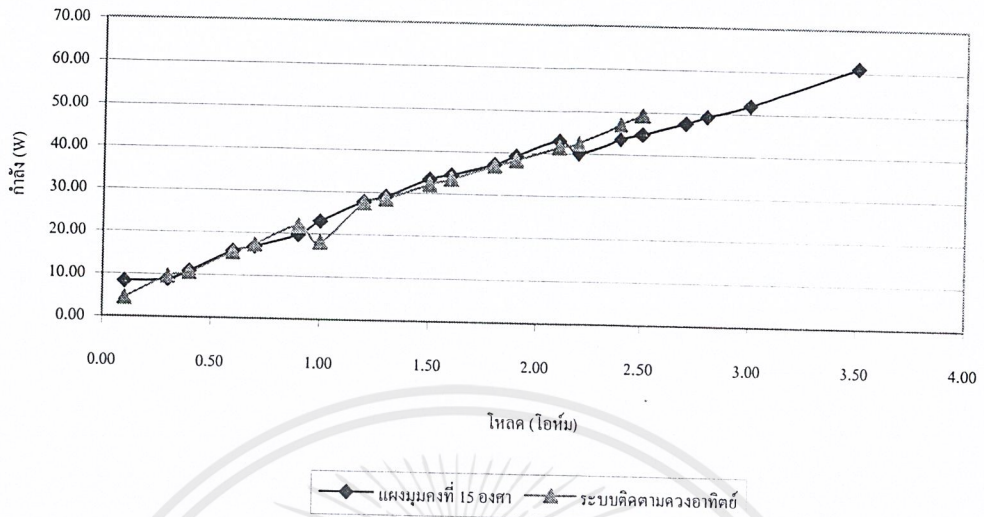


รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับโหลดของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 11.30 น.

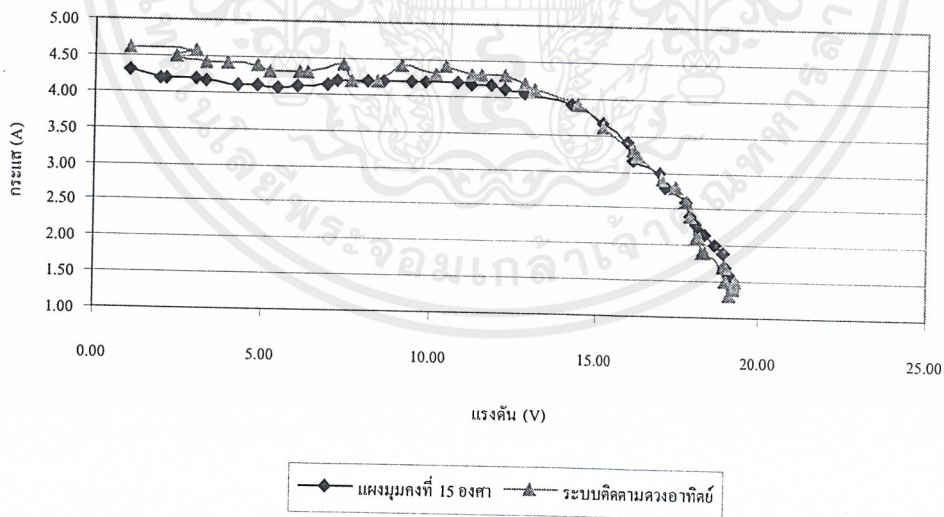


รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 12.00 น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

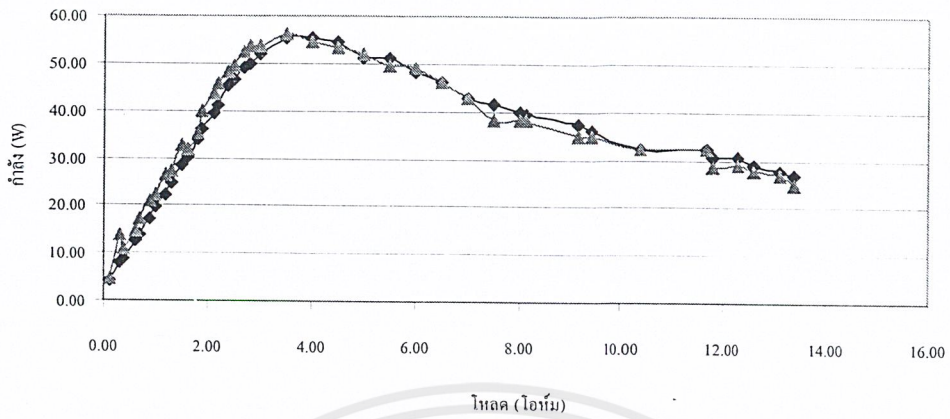


รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับโหลดของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 12.00 น

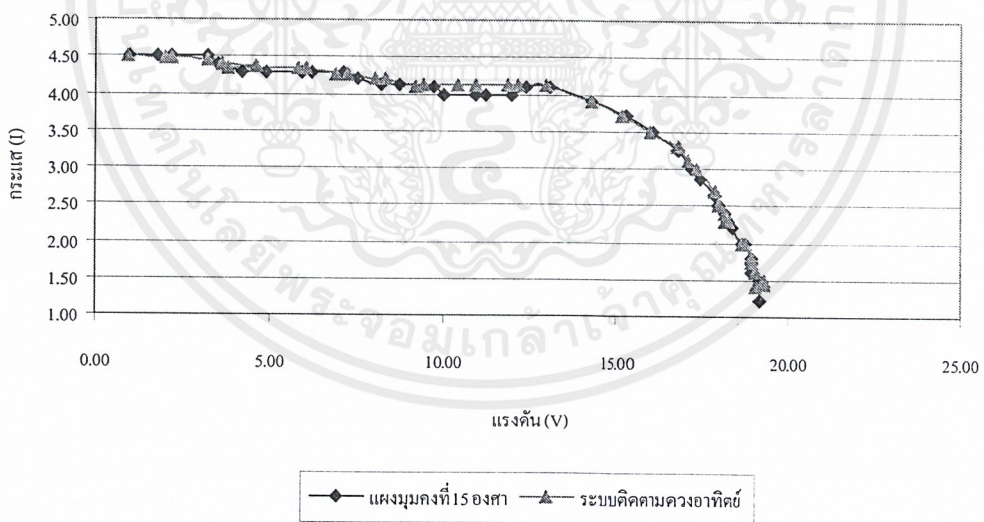


รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 12.30 น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

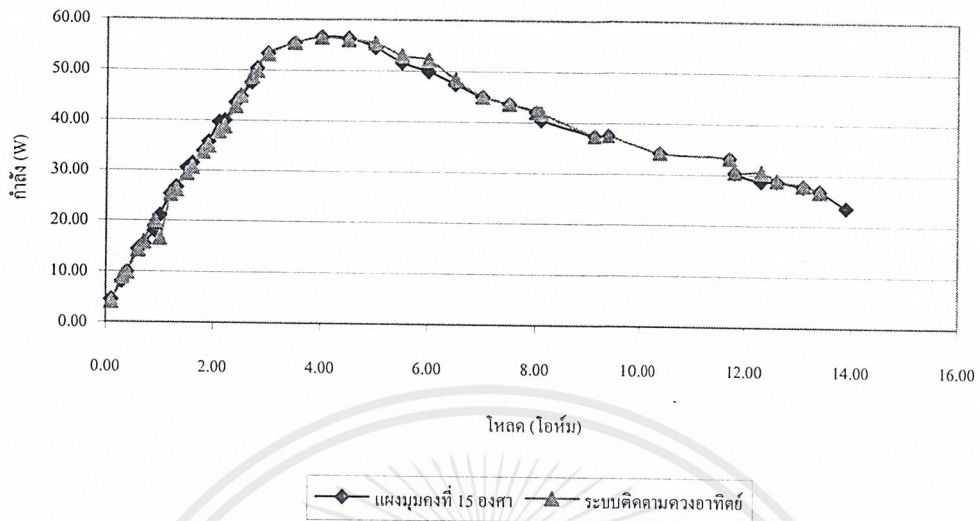


รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับโทลคของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 12.30 น.

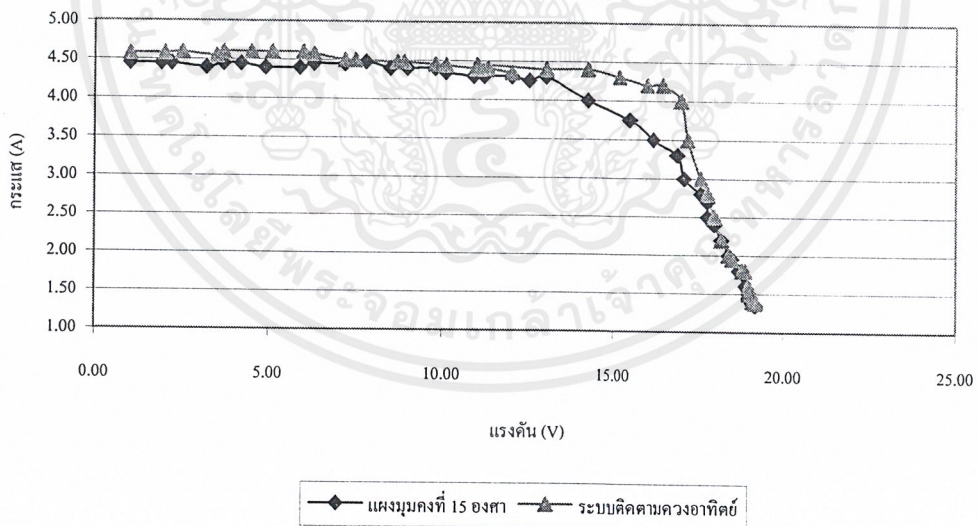


รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 13.00 น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

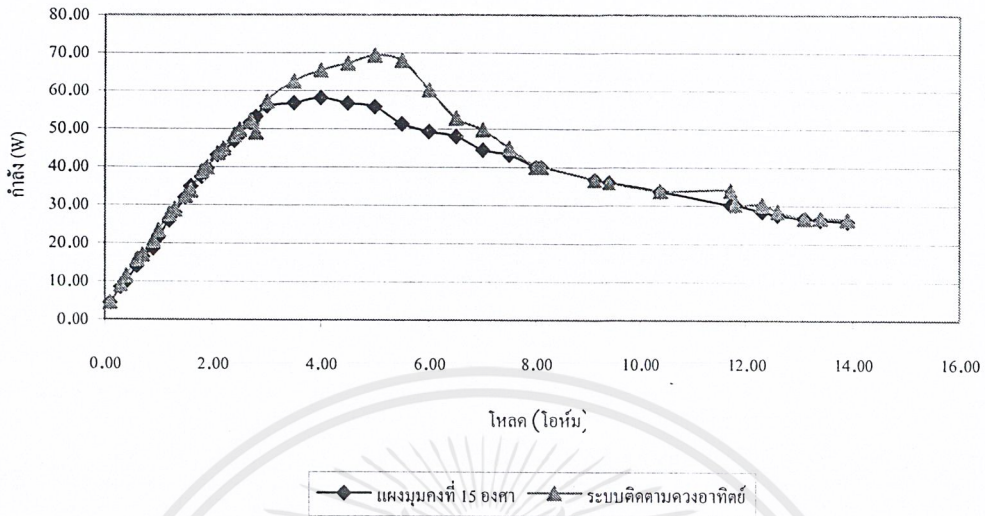


รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับ โหลดของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตาม ดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 13.00 น.

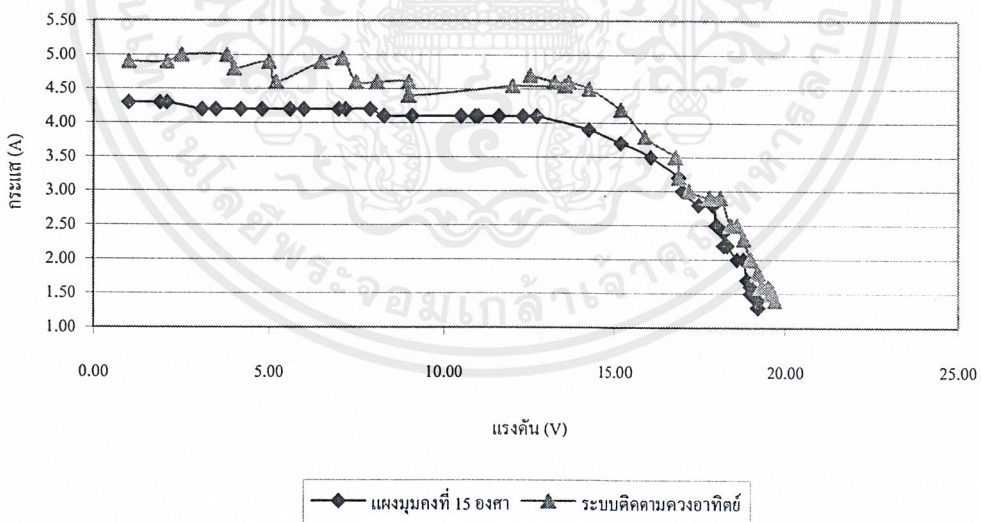


รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตาม ดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 13.30 น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

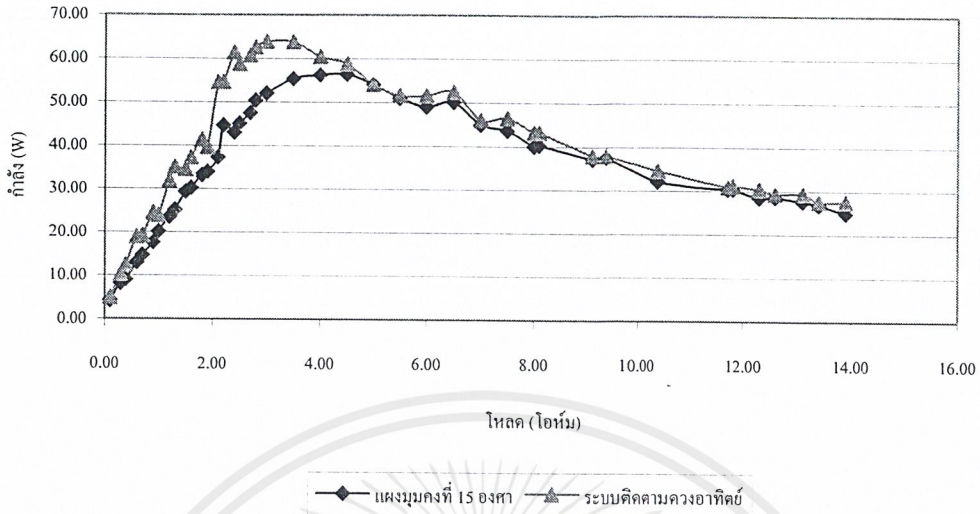


รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับโหลดของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 13.30 น.

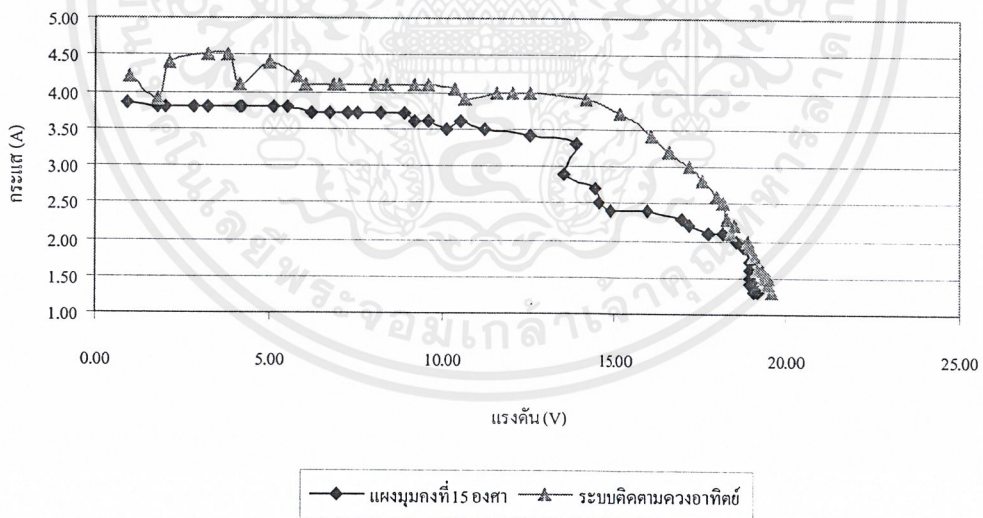


รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 14.00 น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

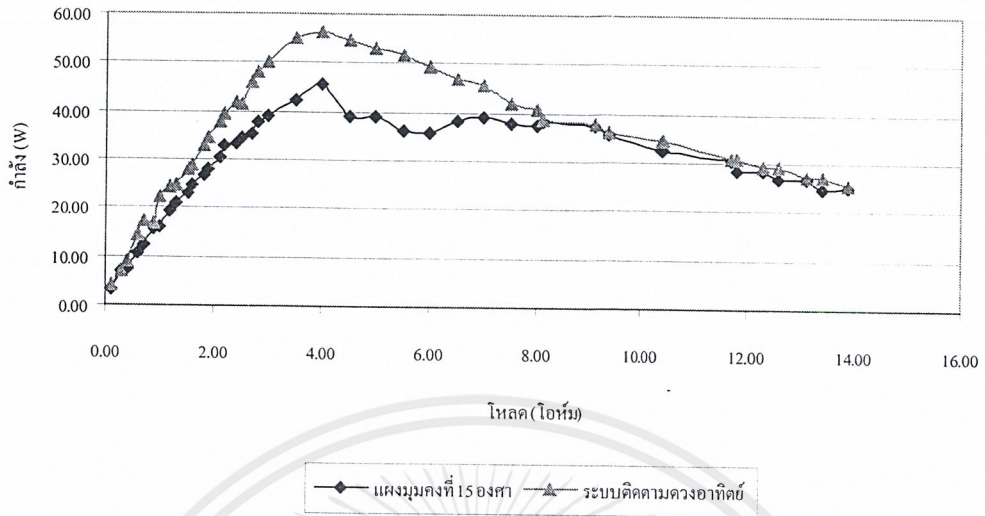


รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับ โหลดของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 14.00 น.

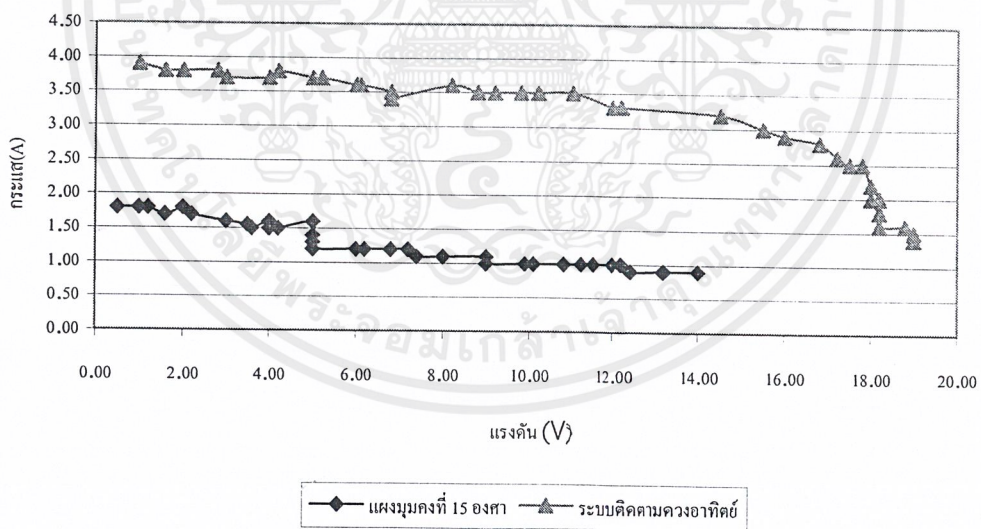


รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 14.30 น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

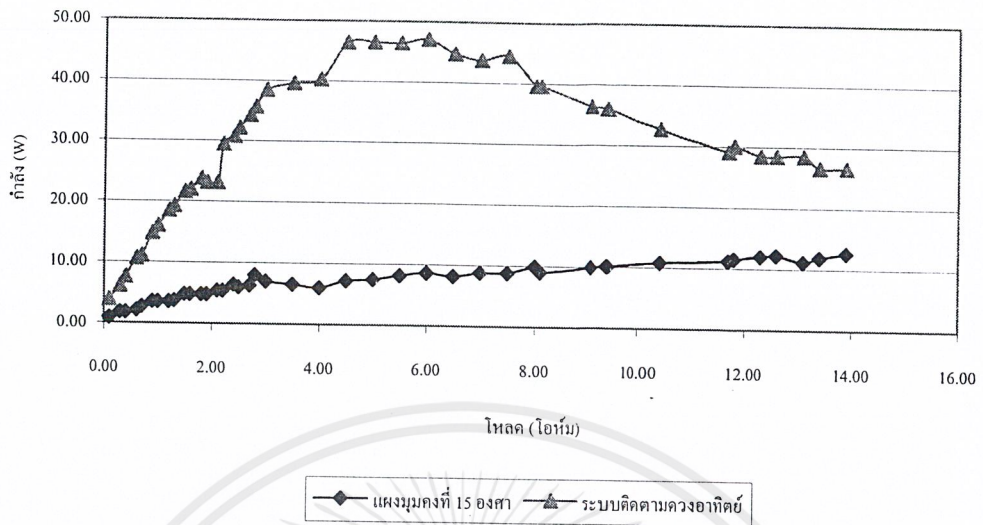


รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับโหลดของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 14.30 น.



รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 15.30 น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับ โหลตของระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่ง ที่เวลา 15.30 น.

#### 4.2.3.3 สรุปผลการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ได้จากระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบหยุดนิ่งพบว่า พลังงานที่ได้จากระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์มากกว่าระบบหยุดนิ่ง โดยเวลาในช่วงกลางวันค่าพลังงานที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนในช่วงเวลาเช้ากับเย็นจะพบว่าพลังงานที่เก็บได้จะมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด

## บทที่ 5

### บทสรุปและวิจารณ์

#### 5.1 บทสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองและผลการทดลอง พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการรับพลังงานของแสงอาทิตย์ที่ทำการทดลองที่สำคัญ มีปัจจัยดังนี้

5.1.1 แผงที่ใช้ ขึ้นอยู่กับรูปร่างของแผง ชนิดของแผง ขนาดของแผง สารที่นำมาผลิต วิธีการผลิต และประสิทธิภาพในการใช้งาน( ดังผลการทดลองที่ 4.2.1 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ )

5.1.2 การปรับตัวบังเงา เป็นปัจจัยที่สำคัญมาก ขึ้นอยู่กับการปรับมุมให้เหมาะสมทั้ง 4 ด้าน จึงจะสามารถตรวจจับได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ทำให้สามารถปรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมเข้าหาดวงอาทิตย์อย่างเหมาะสม ( ดังผลการทดลองที่ 4.2.2 การทดลองหาขนาดมุมที่ได้รับพลังงานสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ )

5.1.3 ตัวตรวจจับความเข้มแสงและวงจรตรวจจับความเข้มแสง ขึ้นอยู่กับขนาด ชนิดของตัวตรวจจับ กรรมวิธีการผลิตและประสิทธิภาพในการใช้งาน

5.1.4 พิกัดและชนิดของโหลด ขึ้นอยู่กับแผงสามารถจ่ายโวลต์ และกระแสให้กับโหลดได้ต่างกัน หากสามารถนำโหลดที่เหมาะสมมาต่อก็จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้

จากการทดลองในบทที่ 4 เราสามารถสรุปได้ว่า หากเราใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แทนการวางแบบมุมคงที่ จะสามารถเก็บพลังงานได้มากกว่า และสามารถปล่อยให้ทำงานด้วยตัวเองโดยไม่ต้องไปดูแล โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ไปเรื่อยๆ ในบางช่วงที่แผงมุมคงที่ ไม่สามารถเก็บพลังงานได้ เช่น ตอนเช้าและตอนบ่าย แผงมุมคงที่ จะหันหลังให้ดวงอาทิตย์ แต่ระบบติดตามดวงอาทิตย์ จะยังสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จนกระทั่งลับขอบฟ้าไป และแม้ว่าจะเปิดระบบทิ้งไว้เมื่อหมดแสง มันจะหยุดการทำงาน เมื่อวันใหม่ วงจรตรวจจับความเข้มแสงจับได้ ก็ จะทำงานต่อโดยอัตโนมัติ โดยใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยในการหมุนมอเตอร์ เมื่อหันจนได้ที่แล้ว ก็ จะหยุดจ่ายพลังงานให้มอเตอร์ทำให้ประหยัดพลังงานที่ใช้ ในส่วนของการเก็บพลังงานจะใช้ แบตเตอรี่เป็นตัวเก็บ โดยสามารถทำหน้าที่เป็นทั้งตัวเก็บพลังงาน และเป็นตัวจ่ายพลังงานให้กับ

ระบบไปพร้อมกัน ในที่นี้ แบตเตอรี่ได้ทำการคำนวณการคายประจุของแบตเตอรี่ เพื่อให้สามารถเปิดล้างในตอนกลางคืนได้นานพอที่ทำให้ตอนเช้าสามารถทำงานได้ทันทีรวมถึงส่วนของการออกแบบการทำงานด้วยมือ หรือพอร์ตเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานในกรณีที่ระบบติดตามดวงอาทิตย์ หรือชุดตรวจจับความเข้มแสงเสียหาย

## 5.2 พลังงานที่สูญเสียไปในการติดตามดวงอาทิตย์

การเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนซ้าย/ขวา ต้องจ่ายกระแสให้มอเตอร์	0.6	แอมป์
และในการเคลื่อนที่หมุน 1 รอบต้องใช้เวลา	50	วินาที
การปรับมุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องจ่ายกระแสให้มอเตอร์ในการดันแผงเซลล์ขึ้น	0.6	แอมป์
และในการเคลื่อนที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยกขึ้นตั้งแต่ 0 ถึง 75 องศาต้องใช้เวลา	90	วินาที
การปรับมุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องจ่ายกระแสให้มอเตอร์ในการลดแผงลง	0.6	แอมป์
และในการเคลื่อนที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ดึงลงตั้งแต่ 0 ถึง 75 องศาต้องใช้เวลา	75	วินาที
การควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องจ่ายกระแส	2	มิลลิแอมป์
ซึ่งใช้งานตั้งแต่ 8.00 ถึง 18.00 น. รวมเป็นเวลา	10	ชั่วโมง

- ขณะเริ่มต้นเวลา 8.00 น. ตำแหน่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 0 องศา กับพื้นระนาบและดวงอาทิตย์ทำมุมประมาณ 30 องศา กับพื้นระนาบ ในการตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเคลื่อนที่หมุนซ้าย/ขวาไม่เกิน 1 รอบ และจะดันแผงขึ้นประมาณ 30 องศา ซึ่งต้องใช้พลังงานเท่ากับ

$$(12 \times 0.6 \times 50 / 3600) + (12 \times 0.6 \times 36 / 3600) = 0.172 \text{ วัตต์ต่อชั่วโมง}$$

- ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 12.00 ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จากมุม 30 องศา ตะวันออก ไปที่มุมตั้งฉากกับพื้นระนาบ ในการเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์ จะดึงแผงลงจาก 30 องศา จนทำมุม 0 องศา กับพื้นระนาบ ซึ่งต้องใช้พลังงานเท่ากับ

$$(12 \times 0.6 \times 30 / 3600) = 0.1 \text{ วัตต์ต่อชั่วโมง}$$

- ช่วงเวลา 12.00 น. ถึง 17.00 น. ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่จากมุมตั้งฉากกับพื้นระนาบ ไปที่มุม 75 องศา ตะวันตก ในการเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์ แผงจะ

เคลื่อนที่หมุนครึ่งรอบ และค้นแผงขึ้นตั้งแต่ตำแหน่งที่ทำกับพื้นระนาบ 0 องศา ถึง 75 องศา ซึ่งต้องใช้พลังงานเท่ากับ

$$(12 \times 0.6 \times 25 / 3600) + (12 \times 0.6 \times 90 / 3600) = 0.23 \text{ วัตต์ต่อชั่วโมง}$$

- การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 18.00น. ต้องใช้พลังงานเท่ากับ

$$(12 \times 0.002 \times 10) = 0.24 \text{ วัตต์ต่อชั่วโมง}$$

- กระแสที่สูญเสียในวงจรทั้งหมด เท่ากับ 0.2 แอมป์ ดังนั้นพลังงานที่สูญเสียเท่ากับ

$$(12 \times 0.2 \times 10) = 24 \text{ วัตต์ต่อชั่วโมง}$$

ดังนั้น พลังงานที่สูญเสียไปในชุดควบคุมระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ

$$0.172 + 0.1 + 0.23 + 0.24 + 24 = 24.742 \text{ วัตต์ต่อชั่วโมง}$$

จากผลการทดลอง และค่าพลังงานสูญเสียที่ได้เราสามารถหาประสิทธิภาพ ในการรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์จากประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุมกับพื้นระนาบ 15 องศา ดังตารางที่ 5.3

ดังนั้นประสิทธิภาพในการรับพลังงานแสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่ เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่ทำมุมกับพื้นระนาบ 15 องศา เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองเป็นดังนี้

- ก่อนหักพลังงานที่สูญเสียในการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ 14.36 เปอร์เซ็นต์

- หลังหักพลังงานที่สูญเสียในการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ 8.43 เปอร์เซ็นต์

รายละเอียด		ผลการทดลอง	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ค่าวัดตัว-ชั่วโมงที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่มุมกับพื้นระนาบ 15 องศา(W-h)		323.31	329.53
ค่าวัดตัว-ชั่วโมงที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์(W-h)		379.07	383.25
ค่าวัดตัว-ชั่วโมงที่สูญเสียไปในระบบควบคุมการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์(W-h)		24.742	24.742
ประสิทธิภาพในการรับพลังงานแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่กับที่มุมกับพื้นระนาบ 15 องศา	ก่อนหักพลังงานที่สูญเสียในการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	14.70	14.02
	หลังหักพลังงานที่สูญเสียในการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	8.18	8.08

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานในระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์กับระบบอยู่นิ่ง

### 5.3 การปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม

ปีที่แล้ว ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบ คือ การเปิดวงจรกระแสไหลเข้าทุกวงจรทันทีโดยไม่มีกรป้องกันที่ดีพอ วงจรตรวจจับความเข้มแสงไม่สามารถตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้อย่างแน่นอน ปัญหาของสายพันซึ่งไม่สามารถแก้ไขได้ รวมถึงระบบไมโครคอนโทรลเลอร์PIC16F84 ไม่สามารถตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปีนี้ปัญหาได้กล่าวมานั้นสามารถแก้ไขได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปิดวงจรกระแสจะต้องผ่านวงจรรีเลย์ตัดต่อระบบทั้งหมด แยกระบบออกจากกันอย่างเป็นระบบ ไม่ว่าจะเป็ระบบอัตโนมัติ และระบบควบคุมด้วยมือ ซึ่งทำการตัดต่อย่อยแยกลงไปโดยระบบจะไม่แย่งกันทำงานซ้ำซ้อนกันเด็ดขาด

วงจรตรวจจับความเข้มแสงทำการเปลี่ยนวงจรที่ใช้ โดยนำเอาวงจรที่มีประสิทธิภาพ และเสถียรภาพ รวมทั้งการเปลี่ยนความต้านทานปรับค่าได้ในวงจรมาใช้ตัวตรวจจับความเข้มแสง มาตรวจจับแทน ซึ่งมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพที่สูงกว่ามาก ทำให้การทดลองจริงสามารถหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์พบและถูกต้อง

ปัญหาของสายพัน ครั้งแรกใช้วงจรดิจิทัลเข้ามาประมวลผล พบว่าสามารถหาดวงอาทิตย์พบได้ใน 1 รอบของการหมุน รวมทั้งการทำงานรวมของระบบก็เป็นที่ไปด้วยดี แต่มองว่าหากมีตัวตรวจจับความเข้มแสงตัวใดตัวหนึ่งเสีย ก็จะทำให้เกิดเหตุการณ์เดียวกับปีที่แล้ว คือสายพันกัน เนื่องจากหาตำแหน่งไม่พบ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาจึงนำไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาใช้ โดยการเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีที่เหมาะสม พบว่า สามารถหาตำแหน่งได้อย่างเหมาะสม ไม่เกิดปัญหาการพันของสายไฟเนื่องจากมีการโปรแกรมป้องกันไว้ สามารถตรวจจับได้เร็วขึ้น เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์มีความเร็วและประสิทธิภาพในการทำงานสูงมาก

วงจรอัดประจุที่สร้างขึ้น ใช้ในการป้องกันเมื่อแบตเตอรี่เต็ม ซึ่งหากทำการประจุต่อไปส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่เสื่อมลง

ในส่วนของการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาคำนวณและประมวลผลพบว่า หากมีการพัฒนาต่อไปก็สามารถทำได้ โดยผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งได้ทำพอร์ตสำรองไว้ทั้งอนุกรม และขนานสามารถนำไปใช้กับวงจรไบนารีโค้ดเดคซิมอล(BCD) แสดงตัวเลขหรือตัวอักษรในการทำงานหรือใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ โดยการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมและอาจจะใช้คอมพิวเตอร์ผ่านตรงๆโดยไม่ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ก็ได้ในอนาคต

ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเมื่อเทียบกับปีที่แล้ว พบว่า ได้มีการเปลี่ยนแปลงที่สามารถให้พลังงานต่อ 1 แผงได้มากกว่าแผงเก่า คือ เปลี่ยนจากแผง BP รุ่น 1255HP ขนาด 55 วัตต์เป็นแผง UNI รุ่น US-64 ขนาด 64 วัตต์ ทำให้สามารถจ่ายพลังงานได้มากขึ้น รวมถึงวงจรที่ใช้ ได้ทำการปรับปรุง โดยไม่ใช้พลังงานไปโดยสูญเปล่า เช่น การใช้รีเลย์ตัดต่อวงจรทำให้ส่วนที่ยังไม่ใช้พลังงานจะไม่ได้รับพลังงานจนกว่าจะถึงเวลาใช้งาน ทำให้ประหยัดพลังงาน ตัวอย่างเช่น วงจรไมโคร-

คอนโทรลเลอร์หากใช้ระบบควบคุมด้วยมืออยู่จะไม่ได้รับพลังงาน เมื่อตัดมาใช้ระบบอัตโนมัติ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะได้รับพลังงานในขณะที่ระบบควบคุมด้วยมือถูกตัดออก เป็นต้น

### 5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

5.3.1 การใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์แบบแบน อาจมีพื้นที่สัมผัสรับแสงไม่ดีพอที่จะเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดีที่สุด ซึ่งก็มีทางเลือกอีกหลายทาง คือ ใช้ในรูปแบบอื่น เช่น แบบโค้งคล้ายจานควมเทียม ซึ่งอาจทำให้แสงอาทิตย์เข้ามาแล้วเกิดการสะท้อนกลับไปมาหรือในรูปแบบอื่นๆที่อาจจะทำให้สามารถเก็บพลังงานได้สูงกว่าเดิม

5.3.2 จากแผงชุดไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 สามารถรับข้อมูลในรูปแบบอนุกรม หรือขนานได้ หากสามารถเขียนโปรแกรม หรือสั่งการทำงานผ่านทางพอร์ตคอมพิวเตอร์ได้ย่อมสามารถพัฒนาประสิทธิภาพ หรือการใช้งานให้สูงขึ้น ในที่นี้อาจจะไม่ต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมโดยตรง เช่น อาจเขียนโปรแกรมคำนวณวงจรของดวงอาทิตย์ หรือค่าต่างๆ ที่เกิดขึ้นจริงในอนาคต

5.3.3 การทำงานโดยใช้รีเลย์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางกล อาจไม่เร็วพอที่จะใช้ตัดต่อวงจรได้ทันทีทันใด หากสามารถปรับเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ทางไฟฟ้าตัวอื่นๆ ตัดต่อวงจร จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับงาน เช่น พวกรทรานซิสเตอร์

5.3.4 การเก็บพลังงานหากมีการพัฒนาโดยการเก็บพลังงาน โดยเปลี่ยนรูปพลังงานเป็นกระแสสลับให้มีความสูญเสียน้อยที่สุดได้ ก็จะสะดวกต่อการนำไปใช้งานจริง ได้มากกว่าการเก็บพลังงานผ่านแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว

5.3.5 พยายามเปลี่ยนโครงสร้างให้มีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบา และมีราคาถูก ในตอนนี้โครงสร้างส่วนใหญ่ใช้เหล็กและอลูมิเนียมซึ่งมีน้ำหนักค่อนข้างมาก หากสามารถเปลี่ยนเป็นวัสดุอื่น เช่น พลาสติกจะช่วยประหยัดพลังงานลงไปได้อีก

5.3.6 หากมีการใช้ระบบ PLC เข้ามาช่วยในการตัดต่อการทำงาน เพื่อทำให้เกิดความมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น ในระบบของการตัดต่อการทำงานโดยใช้รีเลย์กระแสตรง 12 โวลต์ จะทำการตัดต่อที่แรงดันประมาณ 7 โวลต์ หากเกิดความผิดปกติเกิดขึ้นอาจทำให้เกิดการทำงานที่ไม่ต้องการได้

5.3.7 ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าชนิดเชื่อมต่อสายส่ง (Grid-Connected Solar -Electrification System) เป็นระบบของการแปลงพลังงานไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับต่อเชื่อมเข้ากับสายไฟของการไฟฟ้าที่มาถึงบ้าน หากมีการศึกษาอย่างจริงจังจะส่งผลดีทั้งในแง่ของการประหยัด และการส่งเสริมความรู้ใหม่ๆต่อการพัฒนาประเทศ

5.3.8. ข้อเสนอแนะ ควรเก็บผลการทดลองอย่างสม่ำเสมอตั้งแต่เริ่มการศึกษา เนื่องจากสิ่งแวดล้อมอาจจะไม่เอื้ออำนวยต่อการเก็บข้อมูล เช่น ฝนตกหรือไม่มีแดด





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก.1 แผงรุ่น 1255HP ของบริษัท บีพี ไทยโซลาร์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด

กำลังสูงสุด(วัตต์)	55
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด(โวลต์)	17
กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด(แอมป์)	3.23
กระแสไฟฟ้าเมื่อลัดวงจร(แอมป์)	3.54
แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร(โวลต์)	21
จำนวนชิ้นเซลล์(ชิ้น)	36
ขนาดแผง(มิลลิเมตร)	981x447
ความหนาของกรอบ(มิลลิเมตร)	38.5
น้ำหนักโดยประมาณ(กิโลกรัม)	5.9
- ค่าคลาดเคลื่อนทางเทคนิคดังกล่าวข้างต้นอยู่ที่ $\pm 10$ เปอร์เซ็นต์	
- ตัวเลขคิดจากสภาพมาตรฐานที่ 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ความเข้มแสง ณ	

อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดัน(โวลต์)ลดลง 0.5 เปอร์เซ็นต์

### ก.2 แผงรุ่น US-64 ของบริษัท ยูไนเท็ท โซลาร์ ซิสเต็ม คอร์ปอเรชั่น จำกัด

กำลังสูงสุด(วัตต์)	64
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด(โวลต์)	16.5
กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด(แอมป์)	3.88
แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร(โวลต์)	23.8
กระแสไฟฟ้าเมื่อลัดวงจร(แอมป์)	4.8
พิคคัพิวส์(แอมป์)	8
พิคคบล็อกกิ้งไดโอดต่ำสุด(แอมป์)	8
ขนาดแผง(มิลลิเมตร)	1366.1 × 741.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาของกรอบ(มิลลิเมตร) 46.3

น้ำหนักโดยประมาณ(กิโลกรัม) 9.17

- ค่าคลาดเคลื่อนทางเทคนิคดังกล่าวข้างต้นอยู่ที่  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์
- ตัวเลขคิดจากสภาพมาตรฐานที่ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่มวลอากาศ 1.5 และที่อุณหภูมิของเซลล์ที่ 25 องศาเซลเซียส
- ในช่วง 8 – 10 สัปดาห์แรกของการใช้งาน ค่าพิคกิ้งำลังอาจมีค่าเพิ่มขึ้น 15 เปอร์เซ็นต์ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดอาจมีค่าเพิ่มขึ้น 11 เปอร์เซ็นต์ ค่ากระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุดอาจมีค่าเพิ่มขึ้น 4 เปอร์เซ็นต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข.1 โครงสร้างของระบบ

ลักษณะภายในไมโครโปรเซสเซอร์ พบว่าภายในแบ่งเป็นหน่วยย่อยต่างๆมากมายและมีการเชื่อมโยระหว่างหน่วยต่างๆโดยใช้สายสัญญาณที่เรียกว่า บัส ระบบบัสนี้จะเขียนด้วยลูกศรหนา ซึ่งจะแบ่งออกเป็น บัสทางเดียว และบัสสองทาง บัสทางเดียวจะให้ลูกศรหัวเดียว ส่วนบัสสองทางจะให้ลูกศรสองหัว ซึ่งจะส่งสัญญาณไปมาได้สองทิศทาง ระบบบัสที่เห็นเรียกว่า บัสภายใน ซึ่งเป็น การเชื่อมสัญญาณภายในซีพียู(CPU) ภายในจะประกอบด้วยโครงสร้างสำคัญสามส่วนคือ

- หน่วยคำนวณและลอจิก(Arithmetic and Logic Unit:ALU)
- รีจิสเตอร์(Register)
- ส่วนควบคุม(Control Logic)

## ข.2 รีจิสเตอร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์

หมายถึง หน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลชั่วคราว ถ้าพิจารณาเห็นว่า จะมีอยู่หลายตัวแบ่งเป็นกลุ่ม ดังนี้

### ข.2.1 รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป

กลุ่มรีจิสเตอร์นี้สามารถโปรแกรมได้ มี 6 ตัว ได้แก่ รีจิสเตอร์ B,C,D,E,H,L มีขนาด 8 บิต กลุ่มนี้ไม่สามารถติดต่อกับALU โดยตรง แต่หากต้องการติดต่อกับ ALU จะติดต่อผ่านทางรีจิสเตอร์ A ก่อน ทั้ง 6 ตัว นี้สามารถจับคู่เป็นรีจิสเตอร์แบบ 16 บิตได้

### ข.2.2 รีจิสเตอร์แอกคิวมูลเตอร์

ALU สามารถติดต่อกับรีจิสเตอร์Aได้ ดังนั้นหากต้องการนำข้อมูล มาประมวลผล จะใช้รีจิสเตอร์A เก็บข้อมูล 1 จำนวน แล้วจึงใช้รีจิสเตอร์อื่นเก็บอีกจำนวน การทำงานอีกอย่างของA คือ เคลื่อนย้ายข้อมูลที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง เรียกว่า โปรแกรมคาคาทรานเฟอร์

### ข.2.3 รีจิสเตอร์สถานะ

เป็นแบบพิเศษ เรียกว่า แฟล็ก(Flag Register) ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต จะใช้แสดงภาวะการทำงานหลังจากการทำงานของ ALU เสร็จสิ้น ซึ่งแต่ละบิตจะมีความหมายในตัวมัน ดังนี้

- บิตตัวทดหรือตัวยืม(Carry or Borrow) ถ้าในการคำนวณมีตัวทระหว่างการบวกหรือมีตัวยืมเกิดขึ้นระหว่างการลบเลขบิตนี้จะถูกเซตเป็น 1 ถ้าไม่มีจะเป็น 0

- บิตศูนย์(Zero) ถ้ารีจิสเตอร์ที่พิจารณาอยู่มีค่าเป็น 0 บิตนี้จะถูกเซตเป็น 1

- บิตลบ(Negative) หรือบิต Sign ถ้าค่าในรีจิสเตอร์ที่พิจารณาเป็นลบ บิตนี้จะถูกเซตเป็น 1

- บิตตัวช่วยทด(Intermediate Carry) บิตนี้ส่วนใหญ่จะพิจารณาในการแปลงเลข BCD เป็นเลขฐานสอง ถ้ามีการทดจากบิตที่ 4 ไปบิตที่ 5 ในระหว่างการบวกบิตนี้จะถูกเซตเป็น 1 บางครั้งเรียกว่า Half Carry

- บิตโอเวอร์โฟลว์(Overflow) ถ้าหากผลลัพธ์จากการกระทำใดกับรีจิสเตอร์มีค่าเกินกว่าที่รีจิสเตอร์จะรับได้ บิตนี้จะถูกเซตเป็น 1

- บิตพาริตี(Parity) ถ้าการประมวลผลมีเลข 1 เป็นคี่ตัวบิตนี้จะถูกเซตเป็น 1

#### ข.2.4 รีจิสเตอร์ 16 บิต

นอกจาก แบบ 8 บิตทั่วไปแล้ว ภายในยังมีแบบ 16 บิต ซึ่งจะใช้สำหรับชี้หน่วยความจำอีก 4 ตัว คือ PC-Program Counter, SP-Stack Pointer, IX-Index Register, IY-Index Register

#### ข.2.5 โปรแกรมเคาน์เตอร์(Program Counter:PC)

รีจิสเตอร์โปรแกรมเคาน์เตอร์ใช้ชี้ตำแหน่งหน่วยความจำที่จะอ่านค่าคำสั่งมาประมวลผล โดยPCนี้จะทำหน้าที่ชี้ที่อยู่ของคำสั่งที่ต้องการ Fetch จากหน่วยความจำ จากนั้นค่าของPC จะเพิ่มขึ้นอีก 1 เพื่อเตรียมอ่านคำสั่งต่อไป

#### ข.2.6 สแตกพอยน์เตอร์(Stack Pointer:SP)

ตัวรีจิสเตอร์นี้จะใช้ชี้หน่วยความจำที่เรียกว่า สแตก(Stack) สำหรับเก็บค่าตำแหน่งของโปรแกรมเคาน์เตอร์เมื่อมีการเรียกโปรแกรมย่อยเกิดขึ้น

#### ข.2.7 รีจิสเตอร์อินเดกซ์(Index Register)

รีจิสเตอร์อินเดกซ์มีสองตัวคือ IX และ IY เราสามารถเลือกใช้ตัวใดก็ได้ โดยทั่วไปแล้ว รีจิสเตอร์จะใช้เขียนโปรแกรมในลักษณะเปิดตาราง โดยใช้เป็นตัวชี้ตำแหน่งเริ่มต้นของตาราง

#### ข.2.8 รีจิสเตอร์สำรอง(Alternate Register)

รีจิสเตอร์สำรองให้ใช้ ซึ่งจะสามารถใช้ได้โดยตรง แต่มักจะใช้สำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูล ระหว่างการทำตามคำสั่งระหว่างรีจิสเตอร์ของมัน รีจิสเตอร์เหล่านี้ ได้แก่ B, C, D, E, H, L และ A

#### ข.2.9 รีจิสเตอร์ I (I Register)

รีจิสเตอร์นี้เรียกว่า Interrupt Page Address Register ใช้สำหรับเก็บค่าตำแหน่งในขณะการอินเทอร์รัพท์

#### ข.2.10 รีจิสเตอร์ R (R Register)

รีจิสเตอร์นี้เรียกว่า Memory-refresh Register ใช้สำหรับเก็บค่าตำแหน่งของหน่วยความจำไดนามิก (Dynamic RAM) เพื่อการรีเฟรชไดนามิกแรม

### ข.3 สถาปัตยกรรม

ไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 โครงสร้าง IC เป็นแบบ DIP มีขาทั้งหมด 40 ขา โดยขาต่างๆ จะใช้เป็นขาพอร์ตอินพุต, เอาต์พุต, ขาสัญญาณควบคุม, ขาตำแหน่งหน่วยความจำ และขาข้อมูล แบ่งออกเป็น 4 พอร์ตการทำงาน ดังนี้

#### ข.3.1 พอร์ต 0

พอร์ต 0 ได้แก่ ขาที่ 32-39 ของ MCS-51 สามารถใช้เป็นอินพุตเอาต์พุต ได้ นอกจากนี้ ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกยังใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus อีกด้วย

#### ข.3.2 พอร์ต 1

พอร์ต 1 ได้แก่ ขาที่ 1-8 เป็นพอร์ต 8 บิต สามารถอ้างทีละบิตได้ เช่น P1.0-1.7

#### ข.3.3 พอร์ต 2

พอร์ต 2 ได้แก่ ขาที่ 21-28 จะใช้งาน 2 หน้าที่ คือ ใช้เป็นพอร์ต 8 บิตกับใช้เป็นขา แอดเดรส 8 บิต ในการอ้างหน่วยความจำภายนอก

#### ข.3.4 พอร์ต 3

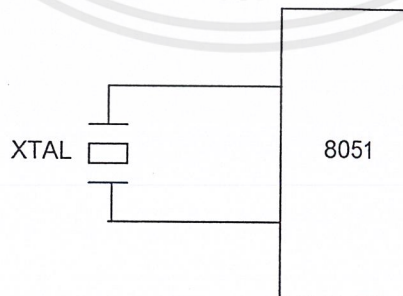
พอร์ต 3 ได้แก่ ขาที่ 10-17 จะใช้งานสองหน้าที่ คือ เป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต และใช้เป็นขาควบคุมต่างๆ

บิต	ชื่อ	หน้าที่พิเศษ
P3.0	RXD	ใช้รับข้อมูลทางพอร์ทอนุกรม
P3.1	TXD	ใช้ส่งข้อมูลทางพอร์ทอนุกรม
P3.2	INT0	อินเทอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข0
P3.3	INT1	อินเทอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข1
P3.4	T0	ตัวจับเวลา/ตัวนับ ตัวที่ 0
P3.5	T1	ตัวจับเวลา/ตัวนับ ตัวที่ 1
P3.6	WR	สัญญาณเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก
P3.7	RD	สัญญาณอ่านข้อมูลหน่วยความจำภายนอก

ตารางที่ ข.1 หน้าที่พิเศษของบิตชนิดต่างๆ

#### ข.4 ความถี่สัญญาณนาฬิกาบนชิพ

เป็นวงจร Oscillator บนชิพ ได้แก่ ขา 18-19 โดยต่อ Crystal เข้ากับขานี้ โดยปกติมักจะใช้ Crystal กับตัวเก็บประจุหรืออาจใช้สัญญาณจาก TTL Clock Source ต่อกับ XTAL1 และ XTAL2



รูปที่ ข.1 ชิพ

## ข.5 Power Connections

ใน MCS-51 จะใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ต่อเข้ากับขา Vcc (ขา 40) ส่วนขา Vss (ขา 20) จะต่อลง Ground

### ข.5.1 โครงสร้างของพอร์ตอินพุต เอาท์พุต

ขาของพอร์ตจะแสดงโครงสร้างภายในได้ โดยจะมีโครงสร้างเป็น Field-effect Transistor ต่ออยู่กับขาภายนอก Pull up อยู่สำหรับพอร์ต 1,2,3. แต่ถ้าเป็นพอร์ต 0 จะไม่มีตัวต้านทาน Pull-up ภายใน เพราะว่าต้องใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus

พอร์ตนี้สามารถใช้เป็นอินพุตกับอุปกรณ์ภายนอกได้ ในการอ่านข้อมูลจากพอร์ต จะอ่านได้สองแบบ คือ Read Latch และ Read Pin โดย Read Latch หมายถึง การอ่านข้อมูลที่ถูกลatch เอาไว้ เข้ากับภายในของ MCS-51 เช่น การทำคำสั่ง CPL P1.5 แต่ถ้าเป็นการ Read Pin จะเป็นการใช้พอร์ตเป็นอินพุต โดยจะอ่านค่าจากของไอซี เข้าสู่ภายใน โดยการอ่านแบบ Read Latch และ Read Pin จะมีสัญญาณมาควบคุมที่บัฟเฟอร์

## ข.6 โครงสร้างหน่วยความจำ

หน่วยความจำสำหรับ MCS-51 จะมี 2 ชนิด คือ หน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรม (ROM) กับ หน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลในการประมวลผล (RAM) MCS-51 บางเบอร์ เช่น 8051, 8052 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในชิพ และ MCS-51 ทุกเบอร์สามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้มากที่สุด 64 K และอ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้มากที่สุด 64 K สำหรับหน่วยความจำ RAM ภายใน จะประกอบไปด้วยพื้นที่ใช้งานทั่วไป, รีจิสเตอร์เบงค์, พื้นที่ใช้งานระดับบิต และรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ

## ข.7 หน่วยความจำใช้งานทั่วไป

จะมีหน่วยความจำใช้งานทั่วไปจำนวน 80 ไบต์ ตั้งแต่ตำแหน่ง 30 H ถึง 77FH ตำแหน่งเหล่านี้สามารถอ้างตำแหน่งแบบ Direct Addressing Mode หรือ Indirect Addressing Mode นอกจากนี้ยัง

สามารถอ่านข้อมูลโดยใช้รีจิสเตอร์ R0 หรือ R1 ในการชี้ตำแหน่งได้ เรียกว่าการอ้างตำแหน่งแบบ Indirect Addressing Mode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ORG 0000

JMP MAIN

MAIN: MOV 0032H,P0
      MOV A,0032H
      CLR ACC.7
      CLR ACC.6
      CLR ACC.5
      CLR ACC.4
      CLR ACC.3
      MOV 0031H,A
      SUBB A,#00000111B
      JNZ SKIP1
      LJMP LOOP1
SKIP1: CLR A
      MOV A,0031H
      SUBB A,#00000110B
      INC A
      JNZ SKIP2
      LJMP LOOP2
SKIP2: CLR A

      MOV A,0031H
      SUBB A,#00000101B
      INC A
      JNZ SKIP3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LJMP LOOP3
SKIP3: CLR A

MOV A,0031H
SUBB A,#00000100B
INC A
JNZ SKIP4
LJMP LOOP4
SKIP4: CLR A

MOV A,0031H
SUBB A,#00000011B
INC A
JNZ SKIP5
LJMP LOOP5
SKIP5: CLR A

MOV A,0031H
SUBB A,#00000010B
INC A
JNZ SKIP6
LJMP LOOP6
SKIP6: CLR A

MOV A,0031H
SUBB A,#00000001B
INC A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	JNZ	SKIP7
	LJMP	LOOP7
SKIP7:	CLR	A
	MOV	A,0032H
	CLR	ACC.0
	CLR	ACC.1
	CLR	ACC.2
	CLR	ACC.7
	MOV	0031H,A
	CLR	ACC.3
	CLR	ACC.5
	SUBB	A,#01010000B
	INC	A
	JNZ	SKIP8
	LJMP	LOOP8
SKIP8:	CLR	A
	MOV	A,0031H
	CLR	ACC.4
	CLR	ACC.6
	SUBB	A,#00101000B
	INC	A
	JNZ	SKIP9
	LJMP	LOOP9
SKIP9:	CLR	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV      A,0031H
SUBB     A,#00011000B
INC      A
JNZ      SKIP10
LJMP     LOOP10
SKIP10: CLR  A
```

```
MOV      A,0031H
SUBB     A,#00110000B
JNZ      SKIP11
LJMP     LOOP11
SKIP11: CLR  A
MOV      A,0031H
SUBB     A,#01001000B
JNZ      SKIP12
LJMP     LOOP12
SKIP12: CLR  A
```

```
MOV      A,0031H
SUBB     A,#01100000B
JNZ      SKIP13
LJMP     LOOP13
SKIP13: CLR  A
```

```
MOV      A,0031H
```

```
SUBB    A,#0100000B
INC     A
JNZ     SKIP14
LJMP    LOOP14
SKIP14: CLR    A
```

```
MOV     A,0031H
SUBB    A,#0010000B
INC     A
JNZ     SKIP15
LJMP    LOOP15
SKIP15: CLR    A
```

```
MOV     A,0031H
SUBB    A,#0001000B
INC     A
JNZ     SKIP16
LJMP    LOOP16
SKIP16: CLR    A
```

```
MOV     A,0031H
SUBB    A,#0000100B
INC     A
JNZ     SKIP17
LJMP    LOOP17
SKIP17: CLR    A
```

```
MOV A,0031H
SUBB A,#00000000B
INC A
JNZ SKIP18
LJMP LOOP18
SKIP18: CLR A
```

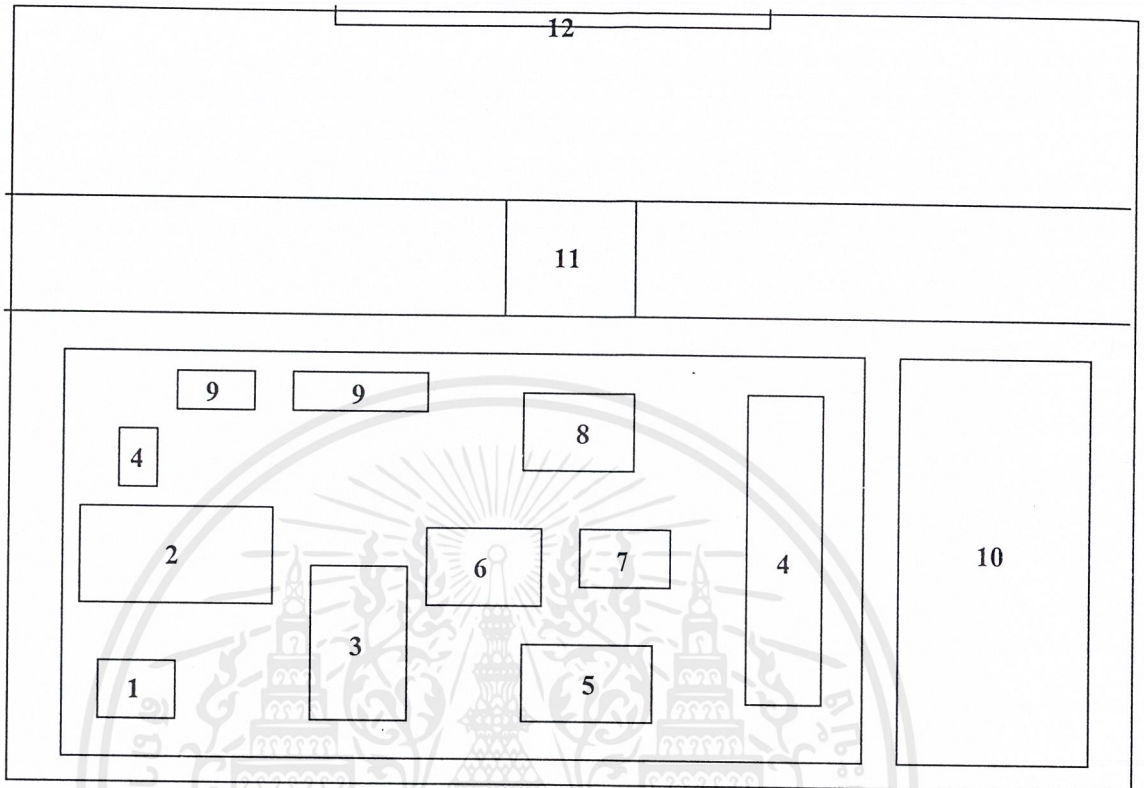
```
JMP MAIN
LOOP1: MOV P2,#00000001B
JMP MAIN
LOOP2: MOV P2,#00000001B
JMP MAIN
LOOP3: MOV P2,#00010000B
JMP MAIN
LOOP4: MOV P2,#00010000B
JMP MAIN
LOOP5: MOV P2,#00001000B
JMP MAIN
LOOP6: MOV P2,#00001000B
JMP MAIN
LOOP7: MOV P2,#00001000B
JMP MAIN
LOOP8: MOV P2,#00000001B
JMP MAIN
LOOP9: MOV P2,#00000001B
JMP MAIN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LOOP10: MOV     P2,#00010010B
          JMP     MAIN
LOOP11: MOV     P2,#00010100B
          JMP     MAIN
LOOP12: MOV     P2,#00001010B
          JMP     MAIN
LOOP13: MOV     P2,#00001100B
          JMP     MAIN
LOOP14: MOV     P2,#00001000B
          JMP     MAIN
LOOP15: MOV     P2,#00000100B
          JMP     MAIN
LOOP16: MOV     P2,#00010000B
          JMP     MAIN
LOOP17: MOV     P2,#00000010B
          JMP     MAIN
LOOP18: MOV     P2,#00000001B
          JMP     MAIN
END
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 ตำแหน่งการวางวงจรในตัวฐานภายในทั้งหมด

จากรูป แสดงข้างใน โครงสร้างส่วนฐาน

- |                                  |                             |
|----------------------------------|-----------------------------|
| 1. วงจรเรกกูเลเตอร์              | 7. ตัวเชื่อมต่อ MCS8051     |
| 2. วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์         | 8. วงจรอัดประจุ             |
| 3. วงจรตรวจจับความเข้มแสง        | 9. ตัวเชื่อมต่อสายไฟและวงจร |
| 4. วงจรรีเลย์                    | 10. ที่วางแบตเตอรี่         |
| 5. วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS8051 | 11. เฟืองและมอเตอร์แกนนอน   |
| 6. วงจรบัฟเฟอร์และR-pull up      | 12. ชุดคอนโทรล              |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค  
ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผง BP			
โหลด( $\Omega$ )	แรงดัน(V)	กระแส(I)	กำลังงาน (W)
0.10	0.8	3.2	2.56
0.30	1.5	3.16	4.74
0.40	2.1	3.16	6.636
0.60	3	3.15	9.45
0.70	3.5	3.14	10.99
0.90	3.8	3.12	11.856
1.00	4.4	3.12	13.728
1.20	5.8	3.12	18.096
1.30	6.4	3.1	19.84
1.50	7	3.1	21.7
1.60	7.3	3	21.9
1.80	7.8	2.8	21.84
1.90	8.3	2.75	22.825
2.10	9.5	2.73	25.935
2.20	10.2	2.6	26.52
2.40	10.6	2.4	25.44
2.50	11.2	2.2	24.64
2.70	11.5	2.11	24.265
2.80	11.6	1.85	21.46
3.00	11.6	1.4	16.24
3.50	11.6	1.2	13.92
4.00	11.8	1.1	12.98
4.50	11.9	1.05	12.495

ตารางที่ จ.1 ตารางเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด BP กับ UNI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผง BP			
โหลด( $\Omega$ )	แรงดัน(V)	กระแส(I)	กำลังงาน (W)
5.00	11.9	1.02	12.138
5.50	12	1.01	12.12
6.00	12	0.95	11.4
6.50	12.2	0.93	11.346
7.00	12.2	0.93	11.346
7.50	12.2	0.9	10.98
8.00	12.2	0.9	10.98
8.10	12.2	0.89	10.858
9.10	12.5	0.89	11.125
9.40	12.5	0.88	11
10.40	12.8	0.88	11.264
11.70	13.8	0.88	12.144
11.80	13.9	0.85	11.815
12.30	13.9	0.85	11.815
12.60	13.9	0.83	11.537
13.10	13.9	0.83	11.537
13.40	14	0.83	11.62
13.90	14	0.8	11.2
5.00	11.9	1.02	12.138
5.50	12	1.01	12.12
6.00	12	0.95	11.4

ตารางที่ จ.1( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด BP กับ UNI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผง UNI			
โหลด( $\Omega$ )	แรงดัน(V)	กระแส(I)	กำลังงาน (W)
0.10	1.00	4.50	4.50
0.30	1.80	4.50	8.10
0.40	2.20	4.50	9.90
0.60	3.20	4.50	14.40
0.70	3.50	4.40	15.40
0.90	4.20	4.30	18.06
1.00	4.90	4.30	21.07
1.20	5.90	4.30	25.37
1.30	6.20	4.30	26.66
1.50	7.10	4.30	30.53
1.60	7.50	4.20	31.50
1.80	8.20	4.13	33.87
1.90	8.70	4.11	35.76
2.10	9.70	4.09	39.67
2.20	10.00	4.00	40.00
2.40	10.90	4.00	43.60
2.50	11.20	4.00	44.80
2.70	11.90	4.00	47.60
2.80	12.30	4.10	50.43
3.00	13.00	4.10	53.30
3.50	14.20	3.90	55.38
4.00	15.30	3.70	56.61
4.50	16.10	3.50	56.35

ตารางที่ จ.1( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด BP กับ UNI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผง UNI			
โหลด( $\Omega$ )	แรงดัน(V)	กระแส(I)	กำลังงาน (W)
5.00	16.80	3.25	54.60
5.50	17.20	3.00	51.60
6.00	17.50	2.85	49.88
6.50	17.90	2.65	47.44
7.00	18.00	2.50	45.00
7.50	18.20	2.40	43.68
8.00	18.30	2.30	42.09
8.10	18.40	2.20	40.48
9.10	18.70	2.00	37.40
9.40	18.80	2.00	37.60
10.40	19.00	1.80	34.20
11.70	19.00	1.75	33.25
11.80	19.00	1.60	30.40
12.30	19.20	1.50	28.80
12.60	19.20	1.50	28.80
13.10	19.20	1.45	27.84
13.40	19.20	1.40	26.88
13.90	19.20	1.23	23.62

ตารางที่ จ.1( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด BP กับ UNI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลด( $\Omega$ )	0 องศา		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลัง (W)
0.1	1.00	4.32	4.32
0.3	1.80	4.31	7.76
0.4	2.20	4.31	9.48
0.6	3.20	4.31	13.79
0.7	3.50	4.31	15.09
0.9	4.20	4.30	18.06
1.0	4.90	4.28	20.97
1.2	5.90	4.26	25.13
1.3	6.20	4.25	26.35
1.5	7.10	4.25	30.18
1.6	7.50	4.25	31.88
1.8	8.20	4.24	34.77
1.9	8.70	4.23	36.80
2.1	9.70	4.10	39.77
2.2	10.00	4.10	41.00
2.4	10.90	4.10	44.69
2.5	11.20	4.00	44.80
2.7	11.90	3.90	46.41
2.8	12.30	3.80	46.74
3.0	13.00	3.90	50.70
3.5	14.20	3.60	51.12
4.0	15.30	3.40	52.02
4.5	16.10	3.40	54.74

ตารางที่ จ.2 ตารางเปรียบเทียบมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 0,15,25 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลด( $\Omega$ )	0 องศา		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลัง (W)
5.0	16.80	3.30	55.44
5.5	17.20	3.00	51.60
6.0	17.50	2.80	49.00
6.5	17.90	2.65	47.44
7.0	18.00	2.50	45.00
7.5	18.20	2.40	43.68
8.0	18.30	2.35	43.01
8.1	18.40	2.20	40.48
9.1	18.70	2.00	37.40
9.4	18.80	2.00	37.60
10.4	19.00	1.80	34.20
11.7	19.00	1.75	33.25
11.8	19.00	1.60	30.40
12.3	19.20	1.50	28.80
12.6	19.20	1.50	28.80
13.1	19.20	1.45	27.84
13.4	19.20	1.40	26.88
13.9	19.20	1.23	23.62

ตารางที่ จ.2( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 0,15,25 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลด( $\Omega$ )	15 องศา		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลัง (W)
0.1	1.00	4.65	4.65
0.3	3.00	4.50	13.50
0.4	2.40	4.52	10.85
0.6	3.30	4.50	14.85
0.7	3.90	4.50	17.55
0.9	4.80	4.51	21.65
1.0	5.20	4.49	23.35
1.2	6.10	4.52	27.57
1.3	6.30	4.47	28.16
1.5	7.40	4.47	33.08
1.6	7.60	4.47	33.97
1.8	8.40	4.46	37.46
1.9	9.10	4.50	40.95
2.1	10.10	4.40	44.44
2.2	10.40	4.38	45.55
2.4	11.20	4.37	48.94
2.5	11.50	4.38	50.37
2.7	12.20	4.38	53.44
2.8	12.80	4.26	54.53
3.0	13.10	4.16	54.50
3.5	14.40	4.13	59.47
4.0	15.20	3.98	60.50
4.5	16.20	3.70	59.94

ตารางที่ จ.2( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 0,15,25 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลด( $\Omega$ )	15 องศา		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลัง (W)
5.0	16.30	3.40	55.42
5.5	17.10	3.42	58.48
6.0	17.50	3.30	57.75
6.5	17.80	2.99	53.22
7.0	17.90	2.85	51.02
7.5	18.10	2.78	50.32
8.0	18.10	2.60	47.06
8.1	18.20	2.54	46.23
9.1	18.30	2.30	42.09
9.4	18.40	2.10	38.64
10.4	18.90	1.88	35.53
11.7	19.00	1.80	34.20
11.8	19.00	1.60	30.40
12.3	19.30	1.50	28.95
12.6	19.20	1.50	28.80
13.1	19.20	1.45	27.84
13.4	19.10	1.40	26.74
13.9	19.10	1.23	23.49

ตารางที่ จ.2( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 0,15,25 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลด( $\Omega$ )	25 องศา		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลัง (W)
0.1	1.00	3.99	3.99
0.3	1.90	3.95	7.51
0.4	2.20	3.95	8.69
0.6	3.20	3.95	12.64
0.7	3.70	3.94	14.58
0.9	4.20	3.89	16.34
1.0	4.90	3.85	18.87
1.2	5.90	3.85	22.72
1.3	6.30	3.84	24.19
1.5	7.20	3.82	27.50
1.6	7.80	3.82	29.80
1.8	8.50	3.81	32.39
1.9	9.00	3.80	34.20
2.1	9.80	3.80	37.24
2.2	10.10	3.80	38.38
2.4	10.90	3.50	38.15
2.5	11.20	3.50	39.20
2.7	12.00	3.40	40.80
2.8	12.50	3.40	42.50
3.0	13.00	3.45	44.85
3.5	14.20	3.20	45.44
4.0	15.50	3.19	49.45
4.5	16.20	3.20	51.84

ตารางที่ จ.2( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 0,15,25 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลด( $\Omega$ )	25 องศา		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลัง (W)
5.0	16.90	3.20	54.08
5.5	17.10	3.00	51.30
6.0	17.60	2.80	49.28
6.5	17.80	2.50	44.50
7.0	17.80	2.45	43.61
7.5	18.00	2.20	39.60
8.0	18.20	2.10	38.22
8.1	18.20	1.80	32.76
9.1	18.40	1.70	31.28
9.4	18.50	1.70	31.45
10.4	18.70	1.60	29.92
11.7	18.90	1.50	28.35
11.8	18.90	1.50	28.35
12.3	19.00	1.50	28.50
12.6	19.00	1.50	28.50
13.1	19.10	1.50	28.65
13.4	19.10	1.45	27.70
13.9	19.20	1.30	24.96

ตารางที่ จ.2( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 0,15,25 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 09.00น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมุงคังที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
0.10	1.00	4.50	4.50	1.00	4.80	4.80
0.30	1.80	4.30	7.74	2.10	4.70	9.87
0.40	2.10	4.20	8.82	2.20	4.70	10.34
0.60	2.80	4.20	11.76	3.50	4.60	16.10
0.70	3.30	4.10	13.53	3.75	4.60	17.25
0.90	3.90	4.20	16.38	4.20	4.50	18.90
1.00	4.50	4.10	18.45	4.85	4.60	22.31
1.20	5.25	4.10	21.53	5.40	4.50	24.30
1.30	5.60	4.10	22.96	6.20	4.40	27.28
1.50	6.50	4.10	26.65	7.00	4.30	30.10
1.60	6.90	4.20	28.98	7.90	4.30	33.97
1.80	8.00	4.20	33.60	8.90	4.20	37.38
1.90	8.30	3.90	32.37	9.10	4.20	38.22
2.10	9.30	3.90	36.27	9.95	4.35	43.28
2.20	9.80	3.90	38.22	10.30	4.30	44.29
2.40	10.60	3.80	40.28	10.50	4.20	44.10
2.50	11.30	3.80	42.94	11.70	4.20	49.14
2.70	11.80	3.70	43.66	11.90	4.20	49.98
2.80	12.10	3.80	45.98	11.85	4.10	48.59
3.00	12.80	3.75	48.00	12.40	3.90	48.36
3.50	13.80	3.80	52.44	13.20	3.95	52.14

ตารางที่ จ.3 ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมุงคังที่ 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 09.00น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมูมคองที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
4.00	14.70	3.80	55.86	14.80	3.80	56.24
4.50	15.50	3.70	57.35	15.90	3.50	55.65
5.00	16.40	3.30	54.12	17.00	3.30	56.10
5.50	17.00	3.10	52.70	17.20	3.00	51.60
6.00	17.50	2.80	49.00	17.90	2.80	50.12
6.50	17.60	2.80	49.28	18.00	2.80	50.40
7.00	18.00	2.50	45.00	18.45	2.80	51.66
7.50	18.20	2.30	41.86	18.60	2.60	48.36
8.00	18.70	2.20	41.14	18.80	2.40	45.12
8.10	18.90	2.00	37.80	19.10	2.40	45.84
9.10	19.00	2.10	39.90	19.20	2.30	44.16
9.40	19.40	1.80	34.92	19.20	2.00	38.40
10.40	19.60	1.70	33.32	19.20	1.90	36.48
11.70	19.60	1.70	33.32	19.30	1.90	36.67
11.80	19.50	1.50	29.25	19.10	1.80	34.38
12.30	19.50	1.50	29.25	19.60	1.60	31.36
12.60	19.40	1.50	29.10	19.50	1.60	31.20
13.10	19.30	1.40	27.02	19.50	1.50	29.25
13.40	19.30	1.20	23.16	19.60	1.50	29.40
13.90	19.30	1.10	21.23	19.50	1.55	30.23

ตารางที่ จ.3 ( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมูมคองที่ 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 10.00น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมูมคองที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
0.10	1.00	4.50	4.50	1.00	4.90	4.90
0.30	1.90	4.35	8.27	2.30	4.85	11.16
0.40	2.10	4.30	9.03	2.50	4.85	12.13
0.60	2.90	4.20	12.18	3.80	4.80	18.24
0.70	3.50	4.30	15.05	4.00	4.80	19.20
0.90	4.00	4.30	17.20	4.90	4.70	23.03
1.00	4.60	4.30	19.78	5.20	4.60	23.92
1.20	5.40	4.30	23.22	6.40	4.70	30.08
1.30	5.80	4.30	24.94	7.10	4.70	33.37
1.50	6.50	4.20	27.30	7.50	4.60	34.50
1.60	6.90	4.20	28.98	8.00	4.60	36.80
1.80	7.90	4.20	33.18	8.80	4.60	40.48
1.90	8.30	4.10	34.03	8.90	4.40	39.16
2.10	9.00	4.10	36.90	10.00	4.35	43.50
2.20	10.00	4.10	41.00	10.30	4.30	44.29
2.40	10.50	4.10	43.05	10.90	4.30	46.87
2.50	11.00	4.00	44.00	11.40	4.30	49.02
2.70	11.60	4.00	46.40	11.70	4.45	52.07
2.80	12.10	4.00	48.40	11.85	4.40	52.14
3.00	12.70	4.00	50.80	12.40	4.40	54.56
3.50	14.20	3.90	55.38	13.10	4.20	55.02

ตารางที่ จ.3(ต่อ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมูมคองที่

15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 10.00น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมุ่มคงที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
4.00	15.20	3.80	57.76	14.80	3.80	56.24
4.50	16.10	3.50	56.35	15.90	3.50	55.65
5.00	16.90	3.20	54.08	16.90	3.30	55.77
5.50	17.00	3.10	52.70	17.20	3.00	51.60
6.00	17.60	2.90	51.04	17.80	2.80	49.84
6.50	17.90	2.80	50.12	18.10	2.90	52.49
7.00	18.00	2.50	45.00	18.50	2.80	51.80
7.50	18.20	2.40	43.68	18.60	2.50	46.50
8.00	18.70	2.20	41.14	18.80	2.30	43.24
8.10	18.90	2.10	39.69	18.80	2.30	43.24
9.10	19.00	2.00	38.00	19.00	2.00	38.00
9.40	19.40	1.80	34.92	19.10	2.00	38.20
10.40	19.60	1.70	33.32	19.20	1.80	34.56
11.70	19.20	1.60	30.72	19.30	1.60	30.88
11.80	19.30	1.60	30.88	19.50	1.60	31.20
12.30	19.40	1.50	29.10	19.60	1.55	30.38
12.60	19.40	1.50	29.10	19.60	1.50	29.40
13.10	19.40	1.30	25.22	19.70	1.40	27.58
13.40	19.30	1.20	23.16	19.60	1.40	27.44
13.90	19.30	1.20	23.16	19.60	1.40	27.44

ตารางที่ จ.3 ( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมุ่มคงที่

15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 11.00น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมวมคังที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
0.10	1.00	4.43	4.43	1.00	4.60	4.60
0.30	1.80	4.40	7.92	2.00	4.58	9.16
0.40	2.10	4.40	9.24	2.30	4.59	10.56
0.60	3.30	4.40	14.52	3.40	4.55	15.47
0.70	3.60	4.35	15.66	3.60	4.55	16.38
0.90	4.00	4.40	17.60	4.50	4.60	20.70
1.00	4.80	4.40	21.12	5.10	4.60	23.46
1.20	5.70	4.30	24.51	5.90	4.60	27.14
1.30	6.10	4.30	26.23	6.00	4.58	27.48
1.50	6.90	4.30	29.67	7.20	4.50	32.40
1.60	7.80	4.35	33.93	7.50	4.50	33.75
1.80	8.30	4.40	36.52	8.70	4.40	38.28
1.90	9.10	4.40	40.04	8.95	4.48	40.10
2.10	9.80	4.40	43.12	9.90	4.45	44.06
2.20	10.20	4.35	44.37	10.20	4.45	45.39
2.40	11.00	4.30	47.30	11.00	4.35	47.85
2.50	11.50	4.30	49.45	11.20	4.40	49.28
2.70	12.00	4.30	51.60	12.10	4.40	53.24
2.80	12.50	4.25	53.13	12.50	4.40	55.00
3.00	13.00	4.25	55.25	13.10	4.35	56.99
3.50	13.85	4.00	55.40	14.20	4.35	61.77

ตารางที่ จ.3(ต่อ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมวมคังที่

15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 11.00น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมอดคังที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
4.00	14.90	3.75	55.88	15.40	4.30	66.22
4.50	16.20	3.75	60.75	16.00	4.20	67.20
5.00	16.90	3.50	59.15	16.50	4.20	69.30
5.50	17.10	3.30	56.43	17.50	4.00	70.00
6.00	17.60	3.00	52.80	17.80	3.50	62.30
6.50	17.80	2.95	52.51	17.70	3.20	56.64
7.00	17.90	2.50	44.75	17.80	3.00	53.40
7.50	18.20	2.40	43.68	18.00	2.50	45.00
8.00	18.20	2.20	40.04	18.10	2.20	39.82
8.10	18.40	2.20	40.48	18.20	2.10	38.22
9.10	18.40	2.00	36.80	18.40	2.00	36.80
9.40	18.50	1.95	36.08	18.50	1.90	35.15
10.40	18.70	1.80	33.66	18.70	1.90	35.53
11.70	19.00	1.60	30.40	19.00	1.90	36.10
11.80	18.90	1.60	30.24	19.00	1.80	34.20
12.30	19.00	1.50	28.50	19.00	1.60	30.40
12.60	19.00	1.45	27.55	17.90	1.50	26.85
13.10	19.10	1.40	26.74	19.10	1.30	24.83
13.40	19.10	1.38	26.36	19.20	1.40	26.88
13.90	19.10	1.35	25.79	19.10	1.30	24.83

ตารางที่ จ.3 ( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมอดคังที่

15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 11.30น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมูมคองที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
0.10	1.00	4.40	4.40	1.00	4.50	4.50
0.30	1.80	4.35	7.83	2.20	4.40	9.68
0.40	2.30	4.35	10.01	3.20	4.40	14.08
0.60	3.20	4.30	13.76	3.20	4.45	14.24
0.70	3.30	4.35	14.36	3.40	4.40	14.96
0.90	4.10	4.30	17.63	4.50	4.35	19.58
1.00	4.70	4.30	20.21	4.90	4.30	21.07
1.20	5.50	4.20	23.10	5.70	4.30	24.51
1.30	6.60	4.20	27.72	6.50	4.30	27.95
1.50	7.10	4.20	29.82	7.10	4.25	30.18
1.60	7.40	4.10	30.34	7.40	4.25	31.45
1.80	7.90	4.10	32.39	8.10	4.20	34.02
1.90	8.50	4.10	34.85	8.35	4.20	35.07
2.10	8.90	4.00	35.60	8.90	4.10	36.49
2.20	9.40	4.10	38.54	9.50	4.10	38.95
2.40	10.50	4.00	42.00	10.40	4.10	42.64
2.50	11.10	4.00	44.40	11.20	4.10	45.92
2.70	11.90	4.00	47.60	11.80	4.00	47.20
2.80	12.30	4.00	49.20	12.30	4.00	49.20
3.00	12.90	4.10	52.89	12.90	4.00	51.60
3.50	14.10	3.90	54.99	14.20	4.00	56.80

ตารางที่ จ.3( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมูมคองที่

15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 11.30น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมวมคงที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
4.00	15.40	3.70	56.98	15.65	3.70	57.91
4.50	16.00	3.50	56.00	16.30	3.50	57.05
5.00	17.00	3.20	54.40	16.90	3.10	52.39
5.50	17.85	3.00	53.55	17.30	3.10	53.63
6.00	17.50	2.95	51.63	17.70	3.00	53.10
6.50	17.90	2.65	47.44	18.00	2.80	50.40
7.00	18.00	2.50	45.00	18.00	2.50	45.00
7.50	18.50	2.40	44.40	18.00	2.40	43.20
8.00	18.55	2.30	42.67	18.20	2.30	41.86
8.10	18.40	2.30	42.32	18.20	2.30	41.86
9.10	18.70	2.00	37.40	18.20	2.00	36.40
9.40	18.80	1.90	35.72	18.50	2.00	37.00
10.40	19.10	1.80	34.38	18.80	1.80	33.84
11.70	19.20	1.70	32.64	18.90	1.70	32.13
11.80	19.10	1.65	31.52	19.10	1.60	30.56
12.30	19.10	1.50	28.65	19.00	1.60	30.40
12.60	19.10	1.40	26.74	19.00	1.60	30.40
13.10	19.20	1.45	27.84	19.20	1.55	29.76
13.40	19.20	1.45	27.84	19.10	1.40	26.74
13.90	19.20	1.30	24.96	19.10	1.30	24.83

ตารางที่ จ.3 ( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมวมคงที่

15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 12.00น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมวมคกที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
0.10	1.70	4.90	8.33	0.90	4.90	4.41
0.30	1.80	4.90	8.82	2.00	4.80	9.60
0.40	2.20	4.90	10.78	2.20	4.80	10.56
0.60	3.20	4.90	15.68	3.20	4.80	15.36
0.70	3.50	4.80	16.80	3.60	4.79	17.24
0.90	4.20	4.70	19.74	4.60	4.76	21.90
1.00	4.90	4.70	23.03	3.80	4.75	18.05
1.20	5.90	4.70	27.73	5.80	4.75	27.55
1.30	6.20	4.70	29.14	6.00	4.75	28.50
1.50	7.10	4.60	33.37	6.90	4.65	32.09
1.60	7.50	4.53	34.50	7.20	4.65	33.48
1.80	8.20	4.51	37.15	8.00	4.60	36.80
1.90	8.70	4.43	39.24	8.30	4.60	38.18
2.10	9.70	4.40	42.97	9.20	4.50	41.40
2.20	10.00	4.40	44.00	9.40	4.52	42.49
2.40	10.90	4.40	47.96	10.40	4.52	47.01
2.50	11.20	4.40	49.28	10.90	4.52	49.27
2.70	11.90	4.40	52.36	11.80	4.52	53.34
2.80	12.30	4.40	54.12	12.10	4.52	54.69
3.00	13.00	4.30	57.20	12.90	4.52	58.31
3.50	14.20	4.10	61.06	14.20	4.30	61.06

ตารางที่ จ.3(ต่อ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมวมคกที่ 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 12.00น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมมคกที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
4.00	15.30	4.10	62.73	15.20	4.12	62.62
5.00	16.80	3.65	61.32	16.80	3.70	62.16
5.50	17.20	3.40	58.48	17.10	3.50	59.85
6.00	17.50	3.25	56.88	17.40	3.40	59.16
6.50	17.90	3.05	54.60	17.90	3.10	55.49
7.00	18.00	2.90	52.20	18.00	2.90	52.20
7.50	18.20	2.80	50.96	18.20	2.80	50.96
8.00	18.30	2.70	49.41	18.30	2.70	49.41
8.10	18.40	2.60	47.84	18.20	2.70	49.14
9.10	18.70	2.40	44.88	18.70	2.40	44.88
9.40	18.80	2.40	45.12	18.80	2.40	45.12
10.40	19.00	2.20	41.80	19.00	2.20	41.80
11.70	19.00	2.05	38.95	19.00	2.15	40.85
11.80	19.00	2.00	38.00	19.10	2.00	38.20
12.30	19.20	1.90	36.48	19.10	2.00	38.20
12.60	19.20	1.90	36.48	19.30	1.90	36.67
13.10	19.20	1.85	35.52	19.30	1.85	35.71
13.40	19.20	1.80	34.56	19.10	1.80	34.38
13.90	19.20	1.63	31.30	19.10	1.80	34.38

ตารางที่ จ.3 ( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมมคกที่

15 □□□□

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 12.30น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมุ่มคงที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
0.10	1.00	4.30	4.30	1.00	4.60	4.60
0.30	1.90	4.20	7.98	3.00	4.58	13.74
0.40	2.10	4.20	8.82	2.40	4.50	10.80
0.60	3.00	4.18	12.54	3.30	4.40	14.52
0.70	3.30	4.15	13.70	3.90	4.40	17.16
0.90	4.20	4.10	17.22	4.80	4.38	21.02
1.00	4.80	4.10	19.68	5.20	4.30	22.36
1.20	5.40	4.08	22.03	6.10	4.30	26.23
1.30	6.00	4.10	24.60	6.30	4.30	27.09
1.50	6.90	4.12	28.43	7.40	4.40	32.56
1.60	7.20	4.18	30.10	7.60	4.20	31.92
1.80	8.10	4.18	33.86	8.40	4.20	35.28
1.90	8.60	4.20	36.12	9.10	4.40	40.04
2.10	9.40	4.20	39.48	10.10	4.30	43.43
2.20	9.80	4.20	41.16	10.40	4.40	45.76
2.40	10.80	4.18	45.14	11.20	4.30	48.16
2.50	11.20	4.15	46.48	11.50	4.30	49.45
2.70	11.80	4.15	48.97	12.20	4.30	52.46
2.80	12.20	4.10	50.02	12.80	4.20	53.76
3.00	12.80	4.50	51.84	13.10	4.10	53.71
3.50	14.20	3.90	55.38	14.40	3.90	56.16

ตารางที่ จ.3(ต่อ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมุ่มคงที่ 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 12.30น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมวมคกที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
4.00	15.20	3.65	55.48	15.20	3.60	54.72
4.50	16.00	3.40	54.40	16.20	3.30	53.46
5.00	16.20	3.15	51.03	16.30	3.20	52.16
5.50	17.00	3.00	51.00	17.10	2.90	49.59
6.00	17.20	2.80	48.16	17.50	2.80	49.00
6.50	17.80	2.60	46.28	17.80	2.60	46.28
7.00	17.90	2.40	42.96	17.90	2.40	42.96
7.50	18.10	2.30	41.63	18.10	2.10	38.01
8.00	18.20	2.20	40.04	18.10	2.10	38.01
8.10	18.20	2.15	39.56	18.20	2.10	38.22
9.10	18.30	2.00	37.40	18.30	1.90	34.77
9.40	18.90	1.90	35.91	18.40	1.90	34.96
10.40	19.00	1.70	32.30	18.90	1.70	32.13
11.70	19.00	1.70	32.30	19.00	1.70	32.30
11.80	19.10	1.60	30.56	19.00	1.50	28.50
12.30	19.10	1.60	30.56	19.30	1.50	28.95
12.60	19.20	1.50	28.80	19.20	1.45	27.84
13.10	19.20	1.45	27.84	19.20	1.40	26.88
13.40	19.20	1.40	26.88	19.10	1.30	24.83
13.90				19.10	1.30	24.83

ตารางที่ จ.3 ( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมวมคกที่

15 □□□□

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 13.00น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมูมคองที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
0.10	1.00	4.50	4.50	0.90	4.50	4.05
0.30	1.80	4.50	8.10	2.00	4.48	8.96
0.40	2.20	4.50	9.90	2.20	4.48	9.86
0.60	3.20	4.50	14.40	3.20	4.44	14.21
0.70	3.50	4.40	15.40	3.60	4.39	15.80
0.90	4.20	4.30	18.06	4.60	4.36	20.06
1.00	4.90	4.30	21.07	3.80	4.35	16.53
1.20	5.90	4.30	25.37	5.80	4.35	25.23
1.30	6.20	4.30	26.66	6.00	4.35	26.10
1.50	7.10	4.30	30.53	6.90	4.25	29.33
1.60	7.50	4.20	31.50	7.20	4.25	30.60
1.80	8.20	4.13	33.87	8.00	4.20	33.60
1.90	8.70	4.11	35.76	8.30	4.20	34.86
2.10	9.70	4.09	39.67	9.20	4.10	37.72
2.20	10.00	4.00	40.00	9.40	4.12	38.73
2.40	10.90	4.00	43.60	10.40	4.12	42.85
2.50	11.20	4.00	44.80	10.90	4.12	44.91
2.70	11.90	4.00	47.60	11.80	4.12	48.62
2.80	12.30	4.10	50.43	12.10	4.12	49.85
3.00	13.00	4.10	53.30	12.90	4.12	53.15
3.50	14.20	3.90	55.38	14.20	3.90	55.38

ตารางที่ จ.3( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมูมคองที่

15 □□□□

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 13.00น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมอดคังที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
4.00	15.30	3.70	56.61	15.20	3.72	56.54
4.50	16.10	3.50	56.35	16.00	3.50	56.00
5.00	16.80	3.25	54.60	16.80	3.30	55.44
5.50	17.20	3.00	51.60	17.10	3.10	53.01
6.00	17.50	2.85	49.88	17.40	3.00	52.20
6.50	17.90	2.65	47.44	17.90	2.70	48.33
7.00	18.00	2.50	45.00	18.00	2.50	45.00
7.50	18.20	2.40	43.68	18.20	2.40	43.68
8.00	18.30	2.30	42.09	18.30	2.30	42.09
8.10	18.40	2.20	40.48	18.20	2.30	41.86
9.10	18.70	2.00	37.40	18.70	2.00	37.40
9.40	18.80	2.00	37.60	18.80	2.00	37.60
10.40	19.00	1.80	34.20	19.00	1.80	34.20
11.70	19.00	1.75	33.25	19.00	1.75	33.25
11.80	19.00	1.60	30.40	19.10	1.60	30.56
12.30	19.20	1.50	28.80	19.10	1.60	30.56
12.60	19.20	1.50	28.80	19.30	1.50	28.95
13.10	19.20	1.45	27.84	19.30	1.45	27.99
13.40	19.20	1.40	26.88	19.10	1.40	26.74
13.90	19.20	1.23	23.62			

ตารางที่ จ.3 ( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมอดคังที่

15 □□□□

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 13.30น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมูมคองที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
0.10	1.00	4.45	4.45	1.00	4.58	4.58
0.30	1.90	4.45	8.46	2.00	4.58	9.16
0.40	2.20	4.45	9.79	2.50	4.59	11.48
0.60	3.20	4.40	14.08	3.50	4.55	15.93
0.70	3.70	4.45	16.47	3.70	4.60	17.02
0.90	4.20	4.45	18.69	4.50	4.60	20.70
1.00	4.90	4.40	21.56	5.10	4.60	23.46
1.20	5.90	4.40	25.96	6.00	4.60	27.60
1.30	6.30	4.45	28.04	6.30	4.58	28.85
1.50	7.20	4.45	32.04	7.20	4.50	32.40
1.60	7.80	4.48	34.94	7.50	4.50	33.75
1.80	8.50	4.40	37.40	8.70	4.48	38.98
1.90	9.00	4.40	39.60	8.90	4.48	39.87
2.10	9.80	4.40	43.12	9.80	4.45	43.61
2.20	10.10	4.35	43.94	10.10	4.44	44.84
2.40	10.90	4.30	46.87	11.00	4.40	48.40
2.50	11.20	4.30	48.16	11.30	4.40	49.72
2.70	12.00	4.30	51.60	12.00	4.35	52.20
2.80	12.50	4.25	53.13	11.00	4.45	48.95
3.00	13.00	4.30	55.90	13.00	4.40	57.20
3.50	14.20	4.00	56.80	14.20	4.40	62.48

ตารางที่ จ.3( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมูมคองที่

15 □□□□

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 13.30น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมอดคังที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
4.00	15.50	3.75	58.13	15.20	4.30	65.36
4.50	16.20	3.50	56.70	16.00	4.20	67.20
5.00	16.90	3.30	55.77	16.50	4.20	69.30
5.50	17.10	3.00	51.30	17.00	4.00	68.00
6.00	17.60	2.80	49.28	17.20	3.50	60.20
6.50	17.80	2.70	48.06	17.60	3.00	52.80
7.00	17.80	2.50	44.50	17.80	2.80	49.84
7.50	18.00	2.40	43.20	18.00	2.50	45.00
8.00	18.20	2.20	40.04	18.20	2.20	40.04
8.10	18.20	2.20	40.04	18.20	2.20	40.04
9.10	18.40	2.00	36.80	18.40	2.00	36.80
9.40	18.50	1.95	36.08	18.50	1.95	36.08
10.40	18.70	1.80	33.66	18.80	1.80	33.84
11.70	18.90	1.60	30.24	18.90	1.80	34.02
11.80	18.90	1.60	30.24	19.00	1.60	30.40
12.30	19.00	1.50	28.50	19.00	1.60	30.40
12.60	19.00	1.45	27.55	19.00	1.50	28.50
13.10	19.10	1.40	26.74	19.10	1.40	26.74
13.40	19.10	1.38	26.36	19.20	1.40	26.88
13.90	19.20	1.35	25.92	19.20	1.38	26.50

ตารางที่ จ.3 ( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมอดคังที่

15 □□□□

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 13.30น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมอดคองที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)
0.10	1.00	4.45	4.45	1.00	4.58	4.58
0.30	1.90	4.45	8.46	2.00	4.58	9.16
0.40	2.20	4.45	9.79	2.50	4.59	11.48
0.60	3.20	4.40	14.08	3.50	4.55	15.93
0.70	3.70	4.45	16.47	3.70	4.60	17.02
0.90	4.20	4.45	18.69	4.50	4.60	20.70
1.00	4.90	4.40	21.56	5.10	4.60	23.46
1.20	5.90	4.40	25.96	6.00	4.60	27.60
1.30	6.30	4.45	28.04	6.30	4.58	28.85
1.50	7.20	4.45	32.04	7.20	4.50	32.40
1.60	7.80	4.48	34.94	7.50	4.50	33.75
1.80	8.50	4.40	37.40	8.70	4.48	38.98
1.90	9.00	4.40	39.60	8.90	4.48	39.87
2.10	9.80	4.40	43.12	9.80	4.45	43.61
2.20	10.10	4.35	43.94	10.10	4.44	44.84
2.40	10.90	4.30	46.87	11.00	4.40	48.40
2.50	11.20	4.30	48.16	11.30	4.40	49.72
2.70	12.00	4.30	51.60	12.00	4.35	52.20
2.80	12.50	4.25	53.13	11.00	4.45	48.95
3.00	13.00	4.30	55.90	13.00	4.40	57.20
3.50	14.20	4.00	56.80	14.20	4.40	62.48

ตารางที่ จ.3(ต่อ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมอดคองที่ 15 □□□□

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 15.30น						
โหลด( $\Omega$ )	แผงมวมกที่ 15 องศา			ระบบติดตามดวงอาทิตย์		
	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน (W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน(W)
4.00	5.00	1.20	6.00	12.20	3.30	40.26
4.50	6.00	1.20	7.20	14.50	3.20	46.40
5.00	6.20	1.20	7.44	15.50	3.00	46.50
5.50	6.80	1.20	8.16	16.00	2.90	46.40
6.00	7.20	1.20	8.64	16.80	2.80	47.04
6.50	7.40	1.10	8.14	17.20	2.60	44.72
7.00	8.00	1.10	8.80	17.50	2.50	43.75
7.50	8.00	1.10	8.80	17.80	2.50	44.50
8.00	9.00	1.10	9.90	18.00	2.20	39.60
8.10	9.00	1.00	9.00	18.00	2.20	39.60
9.10	9.90	1.00	9.90	18.20	2.00	36.40
9.40	10.10	1.00	10.10	18.00	2.00	36.00
10.40	10.80	1.00	10.80	18.20	1.80	32.76
11.70	11.20	1.00	11.20	18.20	1.60	29.12
11.80	11.50	1.00	11.50	18.80	1.60	30.08
12.30	12.00	1.00	12.00	19.00	1.50	28.50
12.60	12.20	1.00	12.20	19.00	1.50	28.50
13.10	12.40	0.90	11.16	19.00	1.50	28.50
13.40	13.20	0.90	11.88	19.00	1.40	26.60
13.90	14.00	0.90	12.60	19.00	1.40	26.60

ตารางที่ จ.3( ต่อ ) ตารางเปรียบเทียบการรับพลังงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์กับแผงมวมกที่

15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้