

ชุดสาธิตการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่

THE DEMONSTRATION ELETRICAL PRODUCE BY OF MOVING SOLAR CELL

21 ส.ย. 2544



นาย ชัยโชติ	บัวสุขสุคนธ์
นาย วสันต์	สมุทรเจริญชัย
นาย สมยศ	พินม่วง

โครงการนิสิตวิศวกรรมศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2543

หัวข้อโครงการวิศวกรรมศาสตร์

โดย

ภาควิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ชุดสาริตการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์
แบบเคลื่อนที่

นาย ชัยโชติ บัวสุขสุคนธ์

นาย วสันต์ สมุทรเจริญชัย

นาย สมยศ พันม่วง

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้นับโครงการ
วิศวกรรมศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ กองสุวรรณ)

คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรมศาสตร์

(อาจารย์ ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์)

ประธานกรรมการ

(อาจารย์ มนัส แป้งใส)

กรรมการ

(อาจารย์ เกียรติชัย รักษาชาติ)

กรรมการ

(อาจารย์ ประชา บุญขวานิชกุล)

กรรมการ

ชุดสาธิตการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่

ปีการศึกษา 2543

โดย

นายชัยโชติ บัวสุขสุคนธ์

นายวสันต์ สมุทรเจริญชัย

นายสมยศ พันม่วง

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ประชาสันติ ไครยสุทธิ

บทคัดย่อ

โครงงานวิศวกรรมฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแปรพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ และแบบอยู่กับที่ โดยออกแบบสร้างระบบขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โครงงานนี้กล่าวถึง ทฤษฎีหลักการทำงาน และการคำนวณออกแบบระบบขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมทั้งเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานระบบขับเคลื่อน และ การคำนวณหามุมในการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ คือ การคำนวณและควบคุมการเคลื่อนที่จะใช้โปรแกรม Visual Basic เวอร์ชัน 6 ไปควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนในการขับเคลื่อนแผงแสงอาทิตย์ โดยใช้ชุดควบคุมความเร็วจะใช้ไฟ 12 V จากแบตเตอรี่ การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ 15 องศา ต่อชั่วโมง ทำมุมกับระนาบพื้นโลกที่ ± 23.5 องศา

ผลการทดลองที่ได้ คือ ประสิทธิภาพในการแปรพลังงาน แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์จะสูงกว่าแบบอยู่กับที่ ประมาณ 42.38 %

THE DEMONSTRATION ELECTRICAL PRODUCE BY OF MOVING SOLAR CELL

Academic Year 2000

By

Mr. Chaichote Buasooksukon

Mr. Vasan Samudcharoenchai

Mr. Somyos Puenmouang

Project Report Advisor

Mr. Prachasanti Thaiyasuit

ABSTRACT

The aim of this project is to compare the energy conversion efficiency of the solar cell panel of the moving and stationary types. The theme of the study is to design and construction of the solar cell panels include the write computer program for control operation of transmission system and calculate find the angle of move of the sun which a principle thus is calculation and control motor as used mechanisms driver in the transanital a move by used a Visual Basic version 6 control the angular velocitice by used the control unit has 12V. DC from battery. A move of the sun will be 15° degree per hour do angle with plane $\pm 23.5^{\circ}$ degree

From the test results The efficiency of the moving type is higher than the stationary type about 42.38 %

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไข จนทำให้โครงงานวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสำเร็จได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอขอบพระคุณ อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจนบรรลุถึงจุดหมายปลายทาง

อนึ่ง หากหนังสือโครงงานวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตเล่มนี้มีคุณค่าและเกิดประโยชน์อยู่บ้าง ขอมอบคุณงามความดีนี้ แด่ บิดา มารดา ผู้บังเกิดเกล้าที่ให้การอบรมสั่งสอนแก่ลูก ส่วนข้อบกพร่องผู้เขียนจะรับผิดชอบเพียงผู้เดียว

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

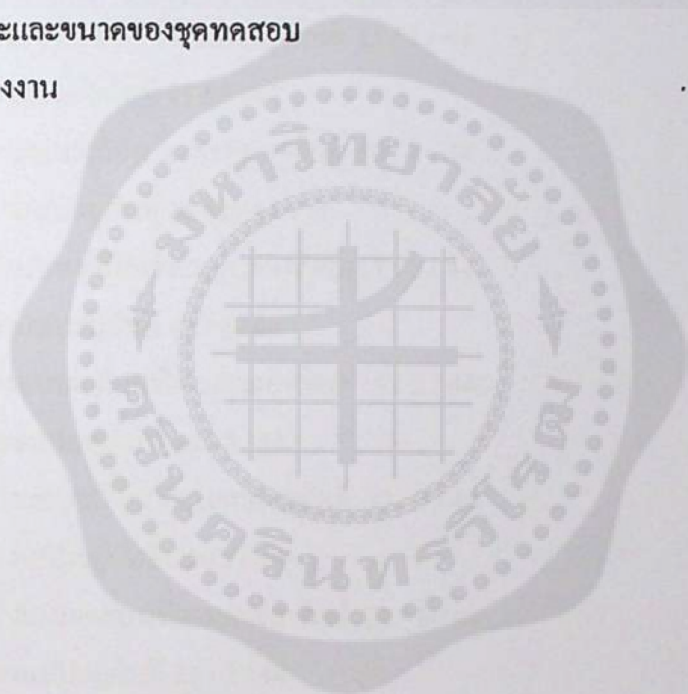
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
ขอบเขตของโครงการ	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎี	3
ดวงอาทิตย์	3
อุปกรณ์และการวัดแสงอาทิตย์	4
ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า	8
ทางโคจรของดวงอาทิตย์เทียบกับผู้สังเกตบนโลก	10
เวลาสุริยะและสมการของเวลา	10
ผลกระทบจากมุมเคคลิเนชัน	12
โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์	17
ลักษณะสมบัติและพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	18
วงจรสมบูร์นของเซลล์แสงอาทิตย์	19
การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนานและแบบอนุกรม	20
หลักการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยขบวนการโฟโตโวลตาอิก	22
การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	25
การติดตั้งอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต	26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตขนาน	28
การนำพอร์ตขนานไปใช้งาน	29
การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตขนานด้วย Visual Basic	29
3. การคำนวณและการออกแบบ	31
การคำนวณการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก	31
การคำนวณหาจำนวนพื้นผิวและจำนวนรอบ	31
การคำนวณการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวทิศเหนือ-ทิศใต้	33
การหาแรงบิดของมอเตอร์เพื่อใช้ในการหมุนสกรู	34
การหาแรงบิดของมอเตอร์เพื่อใช้ในการหมุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์	35
การออกแบบการคำนวณหามุมในการตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตามดวงอาทิตย์	36
4. อุปกรณ์ วิธีการทดลอง และผลการทดลอง	39
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลอง	41
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	45
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวกที่ 1	
ตารางบันทึกผลการทดลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่และแบบอยู่กับที่	48
ภาคผนวกที่ 2	
ตารางการตั้งมุมชั่วโมงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ของแต่ละวัน	69
ภาคผนวกที่ 3	
คุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	71
ภาคผนวกที่ 4	
นิยามศัพท์ของดาราศาสตร์	73
ภาคผนวกที่ 5	
โปรแกรมชุดสถิติการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่	75

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวกที่ 6	
วงจรควบคุม	92
ภาคผนวกที่ 7	
แสดงหน้าจอของโปรแกรมชุดสถิติการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์	98
ภาคผนวกที่ 8	
แสดงลักษณะและขนาดของชุดทดสอบ	103
ประวัติผู้จัดทำโครงการ	113



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 แสดงค่ามุมเคกลินชั้นของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนตามฤดูกาล	13
2.2 แสดงอคเตรีจิสเตอร์ของพอร์คขนาน	26
ตารางภาคผนวกที่ 1	
1.1 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 14/2/44	49
1.2 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 14/2/44	50
1.3 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 15/2/44	51
1.4 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 15/2/44	52
1.5 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 16/2/44	53
1.6 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 16/2/44	54
1.7 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 17/2/44	55
1.8 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 17/2/44	56
1.9 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 19/2/44	57
1.10 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 19/2/44	58
1.11 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 20/2/44	59
1.12 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 20/2/44	60
1.13 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 21/2/44	61
1.14 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 21/2/44	62
1.15 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 22/2/44	63
1.16 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 22/2/44	64
1.17 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 23/2/44	65
1.18 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 23/2/44	66
1.19 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 24/2/44	67
1.20 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 24/2/44	68
ตารางภาคผนวกที่ 2	
2.1 การตั้งมุมชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตามดวงอาทิตย์ของแต่ละวัน	70

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ	4
2.2 แสดงไพราโนมิเตอร์ของ Employ ชนิด Spectral	4
2.3 แสดงไพราโนมิเตอร์ของ Employ ชนิด Black and White	5
2.4 แสดงรูปของ Employ ไพเฮลิโอมิเตอร์ ที่ใช้วัดพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรังสีตรง	7
2.5 แสดงรูปของ Employ ไพเฮลิโอมิเตอร์ ซึ่งมีระบบอะซิมูตติคตามดวงอาทิตย์	7
2.6 แสดงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรอบปี	8
2.7 แสดงการเปลี่ยนฤดูกาล ณ ตำแหน่งต่างๆ สี่ตำแหน่ง	9
2.8 แสดงสมการเวลา , E ในหน่วยนาทีย	11
2.9 แสดงระนาบสุริยวิถีกับระนาบเส้นศูนย์สูตร	12
2.10 แสดงมุมต่างๆ ที่เกี่ยวกับการคำนวณรังสีตรงตกกระทบบังนาค	14
2.11 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในฤดูกาลต่างๆ	14
2.12 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในฤดูกาลต่างๆแบบสามมิติ	15
2.13 แสดงตำแหน่งต่างๆที่ดวงอาทิตย์ขึ้นในเวลาหนึ่งปี	15
2.14 แสดงตำแหน่งต่างๆที่ดวงอาทิตย์ตกในเวลาหนึ่งปี	16
2.15 แสดงเส้นรุ้งและเส้นแวงของตำแหน่งกรุงเทพมหานคร (14° เหนือ)	16
2.16 แสดงลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นแบบรอยต่อ พี-เอ็น	17
2.17 แสดงเส้นลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	18
2.18 แสดงวงจรสมบูรณของเซลล์แสงอาทิตย์	20
2.19 แสดงการต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม ขนาน และ 2 แบบผสมกัน	21
2.20 แสดงการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็น Standard Modules ต่อมาเป็นระบบ	22
2.21 แสดงองค์ประกอบต่างๆของระบบโฟโตโวลตาอิก	23
2.22 แสดงวงจรสมบูรณของ P-Board บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ดขนาน	28
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์ปกติกกับความเข้มของแสงของวันที่ 14 กพ. 44	41
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์ลัดวงจรกับความเข้มของแสงของวันที่ 14 กพ. 44	41
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสปกติกับความเข้มของแสงของวันที่ 14 กพ. 44	42
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสลัดวงจรกับความเข้มของแสงของวันที่ 14 กพ. 44	42

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิได้แสงกับความเข้มของแสงของวันที่ 14 กพ. 44	43
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับประสิทธิภาพของวันที่ 14 กพ. 44	43
4.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพแบบเคลื่อนที่และแบบอยู่กับที่	44
4.8 กราฟเปรียบเทียบอัตราส่วนประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นระหว่างแบบเคลื่อนที่กับอยู่กับที่	44

รูปภาคผนวกที่ 5

5.1 แสดง FOLWCHART การทำงานของโปรแกรม	76
5.2 แสดง FOLWCHART การทำงานของโปรแกรมหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์	77
5.3 แสดง FOLWCHART การทำงานของโปรแกรมตามดวงอาทิตย์	78
5.4 แสดง FOLWCHART การทำงานของโปรแกรมกลับสู่ตำแหน่งปกติ	79

รูปภาคผนวกที่ 6

6.1 แสดงการทำงานของชุดควบคุมมอเตอร์	93
6.2 แสดงวงจรควบคุมมอเตอร์	94
6.3 แสดงวงจรควบคุมความเร็ว	95
6.4 แสดงชุดแปลงไฟ 12 V เป็น 5 V	96
6.5 แสดงการวัดค่ากระแสไฟและค่าแรงดัน	97

รูปภาคผนวกที่ 7

7.1 แสดงหน้าจอของโปรแกรมชุดสถิติการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ ก่อนการทดสอบ	99
7.2 แสดงหน้าจอของโปรแกรมชุดสถิติการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ ขณะใส่วันที่	100
7.3 แสดงหน้าจอของโปรแกรมชุดสถิติการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ เมื่อกำหนดวันที่เสร็จแล้ว	101
7.4 แสดงหน้าจอของโปรแกรมชุดสถิติการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ ขณะทำงาน	102

รูปภาคผนวกที่ 8

8.1 แสดงชุดควบคุม	104
-------------------	-----

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
8.2 แสดงรูปด้านหน้าของชุดขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์	105
8.3 แสดงแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่	106
8.4 แสดงชุดทดสอบของการเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก	107
8.5 แสดงชุดทดสอบของการเคลื่อนที่ตามแนวทิศเหนือ-ทิศใต้	108



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่ในการรับแสง	m ²
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง	m
E	สมการเวลา	min
F.F.	ค่าฟิลแฟกเตอร์	-
I	ความเข้มของแสง	W/m ²
I _{sc}	กระแสไฟลัดวงจร	A.
I _m	กระแสขณะต่อโหลด	A.
L	ความยาว	mm
L _{st}	เมริเดียนมาตรฐานสำหรับบอกเวลาท้องถิ่น	degree
L _{loc}	ลองจิจูดของตำแหน่งที่สังเกต	degree
m	มวล	kg
N _d	จำนวนวันของปี	day
N	จำนวนรอบ	rpm
P _{in}	กำลังงานที่ป้อนเข้า	W/m ²
P	กำลังของมอเตอร์	W
T	แรงบิดที่มอเตอร์	N-m
T _d	ความยาววัน	hour
V _{oc}	แรงเคลื่อนวงจรเปิด	V.
V _m	แรงเคลื่อนขณะต่อโหลด	V:
W	น้ำหนัก	N
Z	จำนวนฟันของเฟือง	-
η	ประสิทธิภาพการแปรพลังงาน	%
φ	เส้นรุ้ง	degree
δ	มุมเดคลิเนชัน	degree
ω _s	มุมชั่วโมง	degree
α	มุมฮิลิกซ์	degree

บทที่ 1

บทนำ

ในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา ชาวโลกได้ให้ความสนใจ ที่จะหาพลังงานทดแทนอื่นมาใช้แทนพลังงานที่ใช้กับน้ำมัน ซึ่งนับวันจะมีราคาสูงขึ้น และมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนในอนาคตอันใกล้ พลังงานทดแทนดังกล่าวมีหลายประเภท เช่น พวกที่เป็นทรัพยากรของโลกเอง ได้แก่ ถ่านหินและหินน้ำมัน ซึ่งพบมานานแล้ว แต่ไม่ได้รับความสนใจที่จะนำมาใช้ เพราะในอดีตยังหาได้ง่ายราคาถูกและยังนำมาใช้ได้สะดวกกว่าสารกับมันดภาพรังสี ซึ่งเดิมก็นำมาใช้บ้าง แต่ประสบปัญหาทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ และจากธรรมชาติ เช่น พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ มาจากดวงอาทิตย์แหล่งพลังงานใหญ่ ซึ่งให้พลังงานแก่โลกมานานหลายพันล้านปี และยังคงให้พลังงานในอัตรานี้ต่อไปอีกหลายพันล้านปี จริงอยู่พลังงานแสงอาทิตย์ที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้ มีไม่มากพอที่จะใช้ทดแทนพลังงานที่ได้จากน้ำมันทั้งหมดก็ตามแต่เมื่อนำมาใช้พร้อมพลังงานอื่นๆ ก็จะช่วยการขาดแคลนพลังงานลงไปได้ในอนาคต

เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าจะถูกจ่ายไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อต่อเซลล์แสงอาทิตย์นั้นกับโหลดที่เหมาะสม

ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ในภาวะปัจจุบันเทคโนโลยีได้เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็วมากซึ่งมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่จะนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าลดน้อยลงทุกที ฉะนั้นจึงมีความคิดที่จะนำพลังงานธรรมชาติที่มาจากแสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้าแทน นั่นคือการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รับแสงอาทิตย์ ดังนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องวางตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ เพื่อที่จะได้รับแสงจากดวงอาทิตย์เพื่อที่จะผลิตไฟฟ้าออกมาได้อย่างสูงสุด ดังนั้นเพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์วางตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา จะต้องมีตัวขับเคลื่อนระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ขึ้นเพื่อที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1 ศึกษาการรับรังสีจากดวงอาทิตย์ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์
- 2 ศึกษา และออกแบบชุดปรับมุมให้มีประสิทธิภาพเพื่อนำมาใช้งานกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้ทำมุมตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลาเพื่อที่จะได้เปลี่ยนแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและปริมาณสูงสุด
- 3 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวัน

ขอบเขตของโครงการ

- 1 โครงการวิศวกรรมนี้ใช้การควบคุม แบบ 2 แกน เพราะโลกมีแนวการหมุนไม่คงที่แล้วแต่ฤดูกาล ถ้าใช้การควบคุมแบบแกนเดียว จะต้องมีการหมุนปรับเซลล์แสงอาทิตย์ให้ไปอยู่ในทิศทางที่พระอาทิตย์ขึ้นและตก (คำนวณเคลลิเนชัน) ดังนั้นจึงใช้การควบคุม 2 แกน
- 2 สร้างชุดขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 w โดยใช้ Soft ware ในการควบคุมการทำงานของชุดขับเคลื่อน
- 3 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า ที่ได้ระหว่าง แบบเคลื่อนที่ และแบบอยู่นิ่ง ที่เวลาเดียวกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ชุดปรับมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ เพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด
- เป็นต้นแบบใช้งานเพื่อการพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎี

ดวงอาทิตย์ (Sun)

แหล่งกำเนิดพลังงานที่สำคัญในระบบสุริยะจักรวาล คือ ดวงอาทิตย์ โดยที่ดวงอาทิตย์นั้นปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งได้จากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ นั่นคือก๊าซไฮโดรเจน 4 อะตอม รวมตัวกันเป็นก๊าซฮีเลียม 1 โมเลกุล โดยที่ก๊าซฮีเลียม 1 โมเลกุล ที่ได้นั้นมีมวลน้อยกว่าไฮโดรเจน 4 อะตอม มวลส่วนหนึ่งจึงหายไป มวลที่หายไปนั้นจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นพลังงาน

ดวงอาทิตย์มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.39×10^9 เมตร และโลกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.27×10^7 เมตร ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ 1.495×10^{11} เมตร รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลกในอัตรา 1.79×10^{14} กิโลวัตต์ เมื่อมองจากโลกดวงอาทิตย์จะรองรับมุม 32 ลิปดา ดวงอาทิตย์มีการปลดปล่อยพลังงานในอัตรา 3.85×10^{23} กิโลวัตต์ และบรรยากาศบริเวณผิวโลกได้รับ 1.73×10^{14} กิโลวัตต์

พลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม (Total or Global Solar Radiation) คือพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสี (Beam Radiation) และแบบรังสีกระจาย (Diffused Radiation) ที่ได้รับบนระนาบระดับ (Horizontal Surface) หน่วยเวลาต่อหน่วยพื้นที่

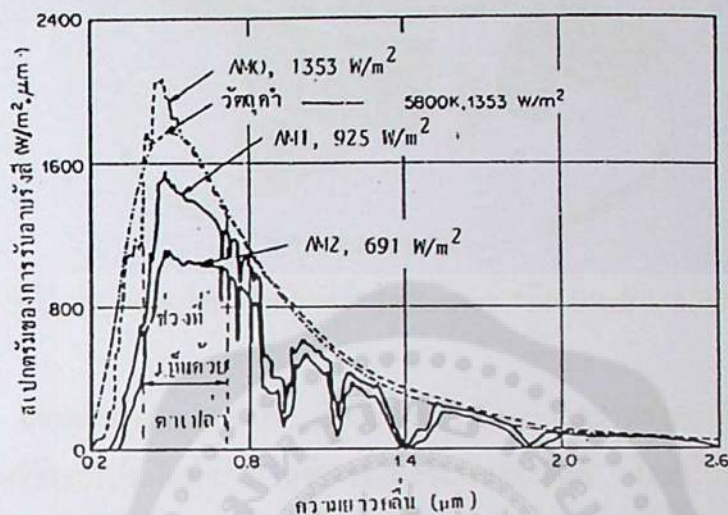
พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง คือ พลังงานที่ได้รับได้โดยตรงจากดวงอาทิตย์โดยทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์ถึงหน่วยรับบนพื้นโลกไม่เปลี่ยนแปลง

พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย คือ พลังงานที่ไม่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่รับจากตัวกลางที่ขวางกั้นแสงอาทิตย์ไว้ ตัวอย่างเช่น ในวันที่มีเมฆหนาแน่น เราไม่เห็นดวงอาทิตย์แต่รู้สึกร้อน เพราะเมฆซึ่งบังแสงจะดูดและส่งพลังงานต่อมาให้เรา

บรรยากาศของโลกที่ประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด เช่น ก๊าซ O_2 , N_2 , ไอน้ำและฝุ่นละออง ที่ทำให้พลังงานที่ได้รับบนพื้นโลกน้อยกว่าที่รับได้นอกบรรยากาศ พลังงานที่หายไปเนื่องจากเหตุผล สองประการ ด้วยกัน

ประการแรกเนื่องจากแสงอาทิตย์บางส่วนเปลี่ยนทิศทาง (Scattering) เมื่อผ่านบรรยากาศ

ประการที่สองแสงบางส่วนจะถูกดูดไว้โดยก๊าซในบรรยากาศทำให้กระจาย
สเปกตรัมของแสงมีการเปลี่ยนแปลงไม่สม่ำเสมอดังรูปที่ 2.1

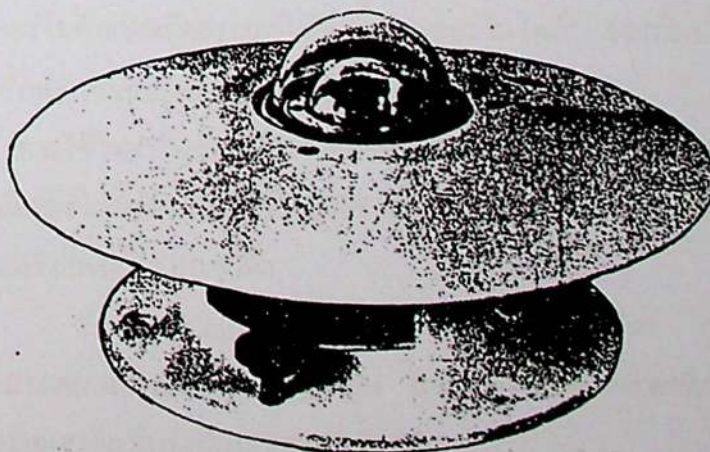


รูปที่ 2.1 แสดงความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

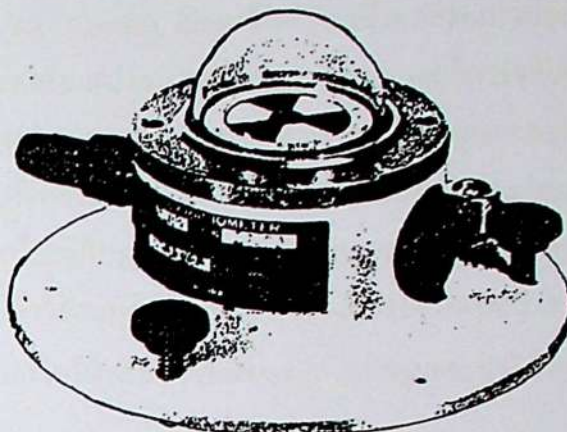
อุปกรณ์และการวัดแสงอาทิตย์

เครื่องมือหลักที่ใช้วัดพลังงานแสงอาทิตย์มีชนิดที่ใช้วัดรังสีรวม, รังสีกระจาย, รังสีตรงและชั่วโมงที่มีแดด

1 เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ วัดรังสีรวมเครื่องมือชนิดนี้คือ ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) แบบที่นิยมใช้กันในอเมริกาคือ เอ็มพลไพรานมิเตอร์ (Employ Pyranometer) รูปร่างภายนอกของเครื่องมือนี้แสดงในรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 แสดงไพราโนมิเตอร์ของ Employ ชนิด Spectral



รูปที่ 2.3 แสดงไพราโนมิเตอร์ของ Employ ชนิด Black and White

ลักษณะภายนอกของไพราโนมิเตอร์เป็น โคมแก้วครึ่งทรงกลมมี 2 ชั้น ทำด้วยแก้วพิเศษหรือควอทซ์ซึ่งจะโปร่งใสต่อรังสีในช่วงสเปกตรัมแสงอาทิตย์ โคมนี้ป้องกันตัวรับแสงจากฝุ่นและลมและป้องกันไม่ให้ตัวรับแสงสูญเสียความร้อน เนื่องจากการพาและการแผ่รังสีความร้อนได้ โคมมีจานกลม (Gard) สีขาวสวมอยู่โดยรอบ มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้โคมได้รับรังสีสะท้อนจากพื้นดิน และสิ่งแวดล้อม รังสีแสงอาทิตย์ที่เข้าโคมจะเป็นรังสีที่มาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้า ส่วนมากจะใช้วัดรังสีในช่วงความยาวคลื่น 280-2800 nm

โดยทั่วไปแล้วไพราโนมิเตอร์ประกอบด้วยตัวรับแสง (Receiver , Detector) ที่ประกอบด้วยเทอร์โมไพล์ (Thermopile) หลายชุดต่ออนุกรมกันโดยที่ตัวรับแสงบรรจุอยู่ในโคมแก้วครึ่งวงกลม

เทอร์โมไพล์ประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) จำนวน 10-50 รอยต่อ โดยอาศัยหลักการว่า "ความต่างกันของอุณหภูมิ ระหว่างผิวดำกับผิวขาว ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างปลายของเทอร์โมคัปเปิลเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในเทอร์โมไพล์" จากนั้นปรับเทียบความต่างศักย์เป็นความเข้มหรือฟลักซ์ของรังสีแสงอาทิตย์

2 การใช้ไพราโนมิเตอร์วัดรังสีกระจาย ในการวัดรังสีกระจายในแนวนอนนั้นสามารถใช้ไพราโนมิเตอร์ชนิดเดียวกับที่ใช้วัดรังสีรวม แต่ต้องมีอุปกรณ์บังรังสีตรงไม่ให้ตกลงบนผิวรับแสง อุปกรณ์บังรังสีตรงมี 2 แบบ คือ

2.1 Shading Disc เป็นจานกลมเล็กซึ่งขับเคลื่อนโดย อุปกรณ์ติดตามดวงอาทิตย์ เงาของจานจะตกบนผิวรับแสงตลอดทั้งวัน และขนาดของเงาจะพอดีกับขนาดผิวรับแสง รังสีที่ตกกระทบผิวรับแสงจึงเป็นรังสีกระจายเท่านั้น

2.2 Shading Ring เป็นส่วนหนึ่งของวงแหวนกลม โดยที่วงแหวนนี้จะวางเอียงเท่ากับค่าเส้นรุ้งของตำแหน่งสถานที่ของการวัด และมีการขยับตามฤดูกาลให้เงาของวงแหวนตกลงบนผิวรับแสงอยู่เสมอ เนื่องจากวงแหวนมีขนาดใหญ่ นอกจากจะบังรังสีตรงแล้วยังบังรังสีกระจายบางส่วนไม่ให้ตกกระทบผิวรับแสงจึงต้องมีการชดเชยด้วยค่าชดเชย (Correction Factor) โดยที่ค่าชดเชยจะขึ้นอยู่กับรูปทรงทางเรขาคณิตของวงแหวน, สถานที่ตั้ง และฤดูกาล

ถ้าใช้สมมุติฐานว่า "รังสีกระจายจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้ามีลักษณะสม่ำเสมอตลอดท้องฟ้าแบบไอโซทรอปิก (Isotropic)" ค่าชดเชยจะหาได้จากสมการ

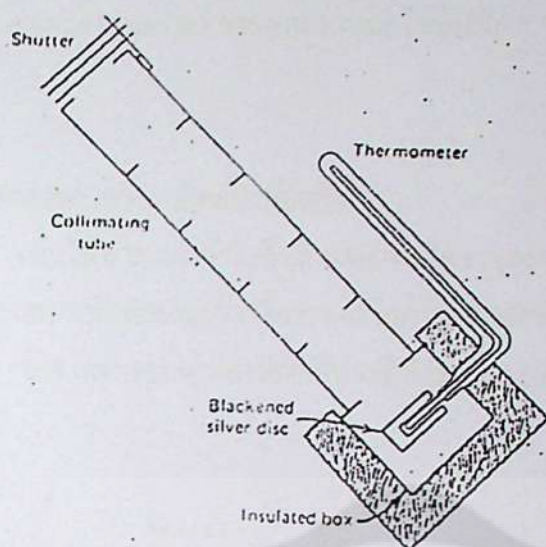
$$x = \frac{(2xb)}{(rx\pi)} x (\cos\delta)^3 x (\omega_s x \sin\phi x \sin\delta x \cos\phi x \cos\delta x \sin\omega_s) \quad (2.1)$$

โดยที่

- x คือ สัดส่วนของรังสีจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้าที่ถูวงแหวนบัง
- b คือ ความกว้างของวงแหวน
- r คือ รัศมีของวงแหวน
- δ คือ มุมเคลินชั้นดวงอาทิตย์ (องศา)
- ϕ คือ เส้นรุ้งของสถานที่วัด (องศา)
- ω_s คือ มุมชั่วโมงดวงอาทิตย์ตก (sunset hour angle) , (องศา)

3 เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรังสีตรง เครื่องมือที่ใช้คือไพเรลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ไพเรลิโอมิเตอร์มีหลักการทำงานคล้ายกับไพราโนมิเตอร์ มีชุดขับเคลื่อนตามดวงอาทิตย์ทำให้ผิวรับแสงตั้งฉากกับลำแสงตลอดเวลา ผิวรับแสงติดอยู่ส่วนกันของช่องท่อให้แสงเข้า (Collimator) มุมรับแสงที่ปากกล้อง 5.7 องศา สำหรับอุปกรณ์ของ Employ มีหน่วยแสดงค่าเป็นงานสีค่า และ สีขาวและลวดเทอร์โมคัปเปิลเชื่อมติดกับงานค่าที่แสดงออกมาเป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าซึ่งเกิดจากอุณหภูมิที่ต่างกันของงานสีค่าและงานสีขาว ซึ่งแปลงค่าเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ได้ รูปที่ 2.5 แสดงรูปทรงภายนอกของไพเรลิโอมิเตอร์ของ Employ

เครื่องไพเรลิโอมิเตอร์และไพราโนมิเตอร์จะต่อเข้ากับเครื่องนับอินทิเกรเตอร์ เพื่อที่จะสามารถนับปริมาณรังสีติดต่อกันตลอดวัน สามารถอ่านความเข้มของรังสีในระยะเวลาใดๆ หรือ อินทิเกรตรวมแต่ละชั่วโมงหรือตลอดวัน



รูปที่ 2.4 แสดงรูปของ Employ ไพเรลิโอมิเตอร์ ที่ใช้วัดพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรังสีตรง



รูปที่ 2.5 แสดงรูปของ Employ ไพเรลิโอมิเตอร์ ซึ่งมีระบบอะซินโครติคตามดวงอาทิตย์

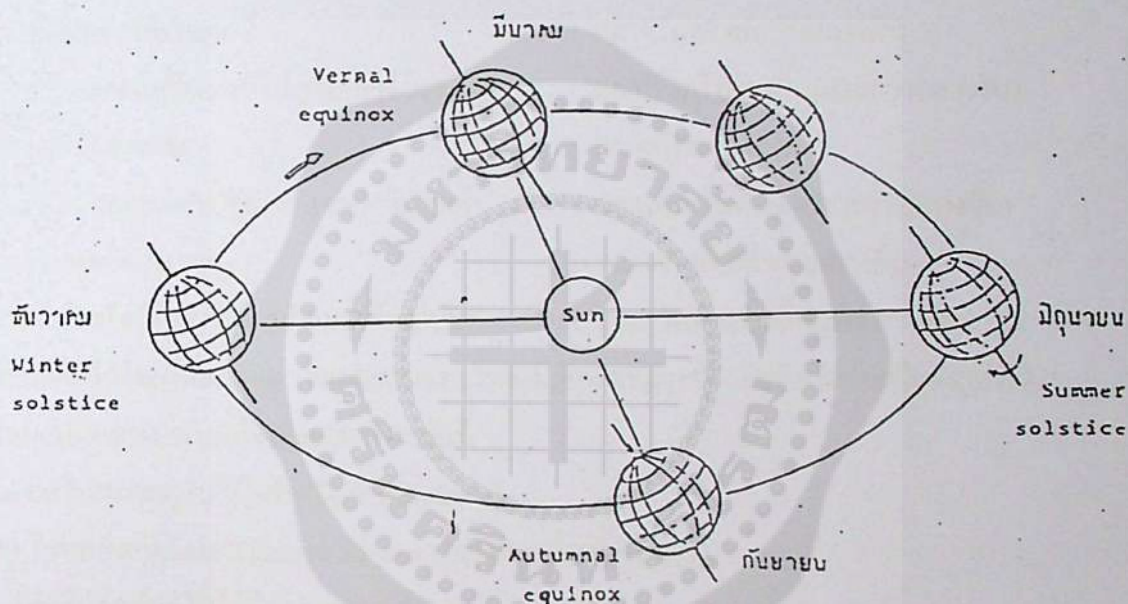
4 เครื่องบันทึกแดด (Sunshine Recorder) เครื่องบันทึกแดด ที่นิยมใช้เป็นชนิดแคมป์เบลล์-สโตกส์ (Campbell - Stokes Sunshine Recorder) เครื่องบันทึกแดดชนิดนี้ประกอบด้วยลูกแก้วทรงกลมขัดผิวเรียบมีแกนขนานกับแกนโลกทรงกลมแก้วจะรวมรังสีแสงอาทิตย์ให้ตกกระทบบนกระดาษพิเศษ ซึ่งมีช่วงเวลากำกับอยู่บนกระดาษแบ่งสเกลขีดละ $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง เมื่อดวงอาทิตย์เปลี่ยนตำแหน่งจุดโฟกัสของแสงที่ตกบนกระดาษจะเปลี่ยนตำแหน่งตามไปด้วย ถ้ามีแสงความเข้มสูงพอที่จะทำให้กระดาษไหม้เป็นแถบ ความยาวของรูไหม้บนกระดาษจะสมนัยกับช่วง

เวลาที่มีแดด (Sunshine Duration) กระจาย 1 แผ่น ใช้บันทึก 1 วัน และชนิดของกระจายขึ้นกับฤดูกาล

ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า

เพื่อให้สามารถเข้าใจถึงลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์เทียบกับผู้สังเกตบนโลก ก่อนอื่นก็ควรที่จะทราบถึงลักษณะการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรอบปี



รูปที่ 2.6 แสดงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรอบปี

นอกจากการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์จะเป็นวงรีแล้ว แกนหมุนของโลกซึ่งเป็นแกนที่ผ่านขั้วเหนือ-ใต้ของโลกยังเอียงมุมกับระนาบวงโคจรนี้เองที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดฤดูกาล ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงทางโคจรของดวงอาทิตย์เทียบกับผู้สังเกตบนโลกตามฤดูกาล ตำแหน่งของโลกในวงโคจรที่สำคัญมี 4 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งที่ 1 และ 2 เป็นตำแหน่งที่การเอียงของแกนหมุนของโลกมีผลต่อแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบมากที่สุด คือตำแหน่ง โซลสติส (Solstice) ตำแหน่งที่ 1 ตรงกับประมาณวันที่ 21 มิถุนายน ซึ่งซีกโลกทางด้านเหนือจะหันเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด เรียกว่า ซัมเมอร์โซลสติส (Summer Solstice) โดยที่แกนเหนือ-ใต้ (แกนที่ผ่านขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้) ทำมุมกับแนวที่ตั้งฉากกับแนวโคจรเป็นมุม 23.5 องศา ตำแหน่งที่ 2 คือ ตำแหน่งวินเตอร์โซลสติส (Winter Solstice) เป็นตำแหน่งที่โลกหันขั้วโลกเหนือออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุดตรง

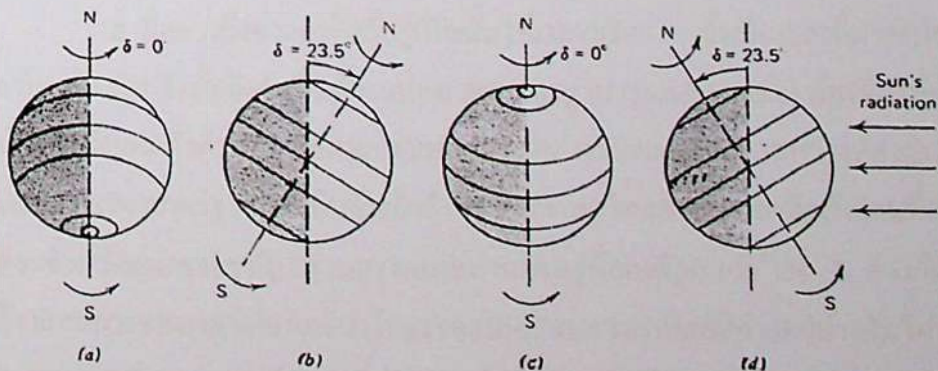
กับประมาณวันที่ 21 ธันวาคม ส่วนตำแหน่งที่ 3 และ 4 เป็นตำแหน่งบนวงโคจรซึ่งการเอียงของแกนหมุนของโลกไม่มีผลต่อแสงอาทิตย์ คือ ตำแหน่ง อิกวินอกซ์ (Equinox) ซึ่งตรงกับประมาณวันที่ 21 มีนาคม เรียกว่าสปริง (Spring) หรือเวอร์นอล อิกวินอกซ์ (Vernal Equinox) และอีกตำแหน่งหนึ่งตรงกับประมาณวันที่ 21 กันยายน เรียกว่าฟอล (Fall) หรือ ออร์ทมนอล อิกวินอกซ์ (Autumnal Equinox)

ในซีกโลกเหนือช่วงความยาวของกลางวันและกลางคืนจะเป็นดังนี้

ซัมเมอร์โซลสติส	: กลางวันยาวที่สุด
ซัมเมอร์โซลสติสไปสู่ออร์ทมนอลอิกวินอกซ์	: กลางวันเริ่มสั้นลง(มากกว่ากลางคืน)
ออร์ทมนอลอิกวินอกซ์	: กลางวันยาวเท่ากับกลางคืน
ออร์ทมนอลอิกวินอกซ์ไปสู่วินเตอร์โซลสติส	: กลางคืนเริ่มยาวขึ้น(มากกว่ากลางวัน)
วินเตอร์โซลสติส	: กลางคืนยาวที่สุด
วินเตอร์โซลสติสไปสู่เวอร์นอลอิกวินอกซ์	: กลางคืนเริ่มสั้นลง(มากกว่ากลางวัน)
เวอร์นอลอิกวินอกซ์	: กลางวันยาวเท่ากับกลางคืน
เวอร์นอลอิกวินอกซ์ไปสู่ซัมเมอร์โซลสติส	: กลางวันเริ่มยาวขึ้น(มากกว่ากลางคืน)

ส่วนในซีกโลกใต้สภาพความยาวนานของวันจะมีลักษณะตรงข้ามกับซีกโลกเหนือดังรูปที่ 2.7 แสดงตำแหน่งการเปลี่ยนฤดูกาลต่างๆดังนี้

- อิกวินอกซ์ฤดูใบไม้ผลิ (Spring Equinox)
- โซลสติสฤดูร้อน (Summer Solstice) [ฤดูหนาวในซีกโลกใต้]
- อิกวินอกซ์ฤดูใบไม้ร่วง (Fall Equinox)
- โซลสติสฤดูหนาว (Winter Solstice) [ฤดูร้อนในซีกโลกใต้]



รูปที่ 2.7 แสดงการเปลี่ยนฤดูกาล ณ ตำแหน่งต่างๆ สี่ตำแหน่ง

ทางโคจรของดวงอาทิตย์เทียบกับผู้สังเกตบนโลก

ในการศึกษาดาราศาสตร์มีการสมมุติทรงกลมท้องฟ้าขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการอธิบาย และคำนวณข้อมูลทางดาราศาสตร์ สามารถใช้เป็นพื้นฐานหลักการออกแบบอุปกรณ์วัดตามดวงอาทิตย์หรืออุปกรณ์แสงอาทิตย์ เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แผงรับแสงแดด เป็นต้น สำหรับข้อกำหนดคุณสมบัติพื้นฐานของทรงกลมท้องฟ้ามีดังนี้

ถ้าถือว่าทรงกลมท้องฟ้ามีรัศมีเป็นอนันต์ (Infinity) ดังนั้นไม่ว่าผู้สังเกตการณ์จะไปอยู่ ณ ตำแหน่งใด จะเป็นตำแหน่งใดบนผิวโลก หรือที่จุดใจกลางของโลก หรือในอวกาศภายนอกโลก เขารู้สึกเหมือนว่าเขายังคงอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมท้องฟ้าเสมอ ให้ถือว่าดาวเคราะห์ ดาวฤกษ์ ดวงอาทิตย์ และอื่นๆ เป็นสิ่งที่ติดอยู่บนผิวภายในของทรงกลมท้องฟ้าสำหรับดวงจันทร์ ดวงอาทิตย์ ดาวเคราะห์ และดาวหาง นั้นมีการเคลื่อนที่ไปบนผิวทรงกลม

ทรงกลมท้องฟ้าหมุนไปรอบแกน ซึ่งผ่านจุดศูนย์กลางของทรงกลมซึ่งเป็นตำแหน่ง ผู้สังเกตการณ์ ด้วยอัตราวันละรอบเป็นผลเนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของโลก ดังนั้นวัตถุท้องฟ้าต่างๆจะปรากฏหมุนไปรอบผู้สังเกตการณ์บนโลกวันละรอบเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเคลื่อนที่ประจำวัน ผู้สังเกตการณ์ซึ่งอยู่บนละตำแหน่ง ถ้าชี้หรือเล็งไปยังดวงเดียวกัน แนวที่ชี้หรือเล็งนั้นจะเป็นเส้นตรงที่ขนานกัน ผลนี้สืบเนื่องมาจากข้อ ก. และหลักการเรขาคณิตที่ว่าเส้นตรงที่ขนานกันจะไปพบกันที่อนันต์ ถ้าต่อเส้นที่โยงระหว่างแนวเหนือใต้ของแกนหมุนของโลกตัดกับทรงกลมท้องฟ้าสองจุด คือขั้วเหนือท้องฟ้า หรือ N.C.P (North Celestial Pole) และขั้วท้องฟ้าใต้ หรือ S.C.P ถ้าขยายระยะของเส้นศูนย์สูตรโลกออกไปตัดกับทรงกลมท้องฟ้าจะได้เส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า (Celestial Equator) ถ้าขยายระยะทางโคจรของโลกให้ตัดกับทรงกลมท้องฟ้าจะเกิดวงกลมใหญ่ เรียกว่า (Ecliptic)

เวลาสุริยะและสมการของเวลา (Solar time and equation of time)

เวลาที่กล่าวถึงดวงอาทิตย์อยู่ที่ไหนใช้เวลาสุริยะ ซึ่งเป็นเวลาที่ต่างไปจากเวลาตามนาฬิกาในท้องถิ่น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแปลงเวลามาตรฐาน (standard time) ที่ท้องถิ่นให้เป็นเวลาสุริยะโดยใช้ตัวแก้สอง ตัวตัวแรก คือค่าแก้จากความแตกต่างของลองจิจูด ระหว่างท้องถิ่นกับ เมริเดียน (Meridian) ที่เวลามาตรฐานท้องถิ่นอ้างอิงสำหรับประเทศไทยอ้างอิงเวลาที่เมริเดียนที่ลองจิจูด 105° E (ผ่านจังหวัดอุบลราชธานี) ส่วนกรุงเทพมหานครอยู่ที่ลองจิจูด $100^{\circ} 30'$ E ค่าแก้ตัวที่สองคือค่าที่ได้จากสมการของเวลาเนื่องจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์มีค่าแตกต่างกันไปทั้งปี จึงทำให้อัตราการหมุนมีผลกระทบต่อเวลาที่ปรากฏแก่เมริเดียนของผู้สังเกตเกิดความแตกต่างระหว่างเวลาเฉลี่ยกับเวลาที่ปรากฏในแต่ละเดือนของปี ดังนั้นเวลาสุริยะจึงมีค่าตามความสัมพันธ์

$$\text{เวลาสุริยะ} = \text{เวลามาตรฐานท้องถิ่น} + E \pm 4(L_{st} - L_{loc}) \quad (2.2)$$

โดยที่

L_{st} = เเมริเดียนมาตรฐานสำหรับบอกเวลาที่ท้องถิ่น, องศา

L_{loc} = ลองติจูดของตำแหน่งที่ตั้งเกิด, องศา

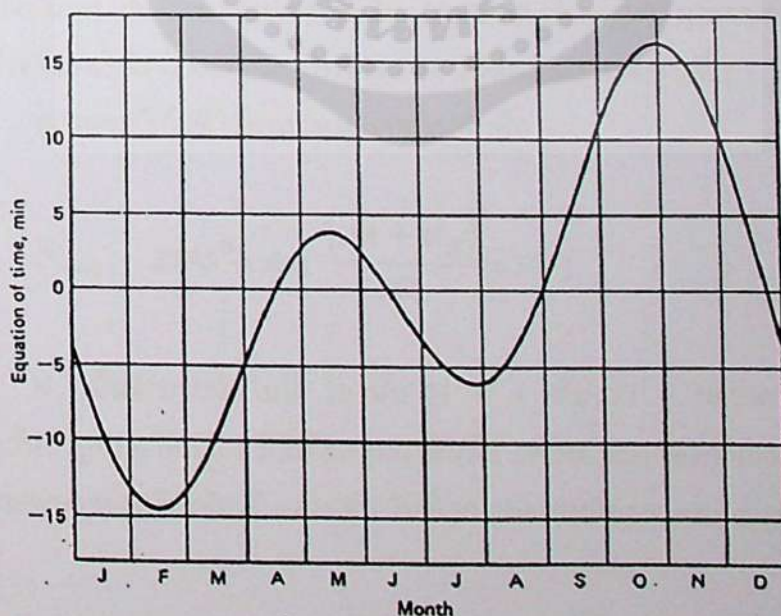
E = ค่าสมการเวลาหาได้จากการคำนวณหรือจากกราฟสมการเวลาใน

รูปที่ 2.8 หน่วยนาที

ค่า $\pm$ นั้นถ้าตำแหน่งที่ตั้งเกิดอยู่ลองติจูดตะวันออกได้ค่าลบ ถ้าอยู่ลองติจูดตะวันตกได้ค่าบวก เป็นที่น่าสังเกตว่าดวงอาทิตย์จะใช้เวลา 4 นาทีในการเคลื่อนที่ผ่านแต่ละลองติจูด 1 องศา

$$E = [9.87 \times \sin(2 \times B) - (7.53 \times \cos B) - (1.5 \times \sin B)] \quad (2.3)$$

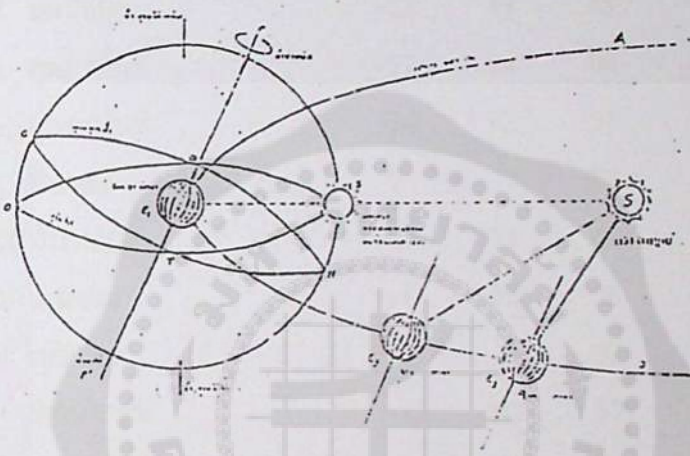
$$B = \frac{[360 \times (N_d - 81)]}{364} \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.8 แสดงสมการเวลา, E ในหน่วยนาที

ผลกระทบจากมุมเดคลิเนชัน

การแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลกมีการเปลี่ยนแปลงมากเนื่องจากต่างฤดูกาลทางเดินของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏในท้องฟ้าจะเปลี่ยนไป แกนหมุนของโลกทำมุมเอียง 23.45 องศา กับแกนซึ่งตั้งฉากกับระนาบการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ คือระนาบซึ่งดวงอาทิตย์ ปรากฏเคลื่อนที่ไปรอบโลกนั่นเอง มีชื่อเรียกว่า ระนาบสุริยวิถี (ecliptic plane) ระนาบเส้นศูนย์สูตร (equatorial plane) ของโลกจึงเอียงเป็นมุม 23.45 องศา กับระนาบสุริยวิถี ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงระนาบสุริยวิถีกับระนาบเส้นศูนย์สูตร

การเอียงปรากฏของแกนหมุนของโลกเข้าหาดวงอาทิตย์เทียบกับแกนตั้งฉากของระนาบสุริยวิถีเป็นมุม δ เรียกว่ามุมเดคลิเนชัน (declination angle) มุมเดคลิเนชันนี้จะเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง +23.45 ถึง -23.45 องศา ในช่วง 1 รอบปีดังแสดงในตารางที่ 2.1

สูตรเอมพิริกัลที่ใช้คำนวณมุมเดคลิเนชันคือ

$$\delta_{(\text{องศา})} = 23.45^\circ \times \sin \left[\frac{(284 + N_d)}{365} \times 360 \right] \quad (2.5)$$

N_d เป็นจำนวนวันในปี โดยนับ $N = 1$ เริ่มจาก 1 มกราคม (สำหรับเดือนกุมภาพันธ์ 28 วัน ทุกๆ 4 ปีจะมี 1 ปีที่เดือนกุมภาพันธ์มี 29 วัน, leap year) สำหรับซีกโลกใต้ให้กลับเครื่องหมายของมุมเดคลิเนชัน ตัวอย่างเช่น วันที่ 30 มกราคมมีค่า $N_d=30$ เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 แสดงค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนตามฤดูกาล

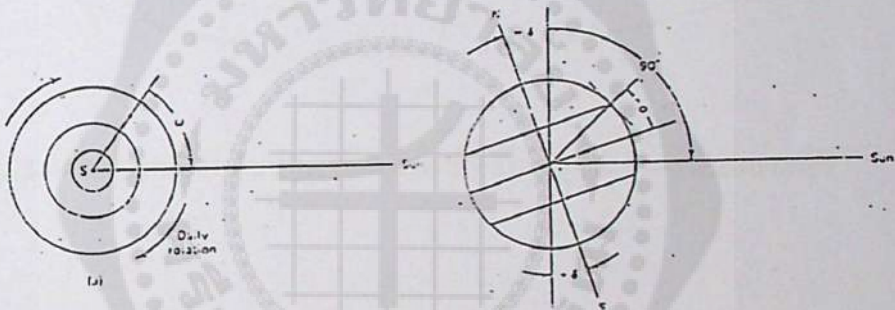
วันที่	มุมเดคลิเนชัน		
	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา
1 มกราคม	-23	05	11
4 มกราคม	-22	49	45
1 กุมภาพันธ์	-17	24	08
12 กุมภาพันธ์	-14	02	51
1 มีนาคม	-7	37	00
20 มีนาคม	-0	11	42
1 เมษายน	+4	30	26
4 เมษายน	+5	39	32
1 พฤษภาคม	+15	02	57
14 พฤษภาคม	+18	36	18
1 มิถุนายน	+22	02	27
21 มิถุนายน	+23	26	24
1 กรกฎาคม	+23	06	54
3 กรกฎาคม	+22	58	07
1 สิงหาคม	+18	02	30
1 กันยายน	+8	18	55
23 กันยายน	-0	02	08
1 ตุลาคม	-3	09	00
5 ตุลาคม	-4	41	46
1 พฤศจิกายน	-14	24	01
3 พฤศจิกายน	-15	02	01
1 ธันวาคม	-21	47	19
22 ธันวาคม	-23	26	22

มุมที่พระอาทิตย์ขึ้นสามารถหาได้จากสมการการหามุมชั่วโมงโดยที่ ณ เวลาเที่ยง : สุริยะ (Solar noon) คำนุมชั่วโมงจะมีค่าเท่ากับ 0° และแต่ละชั่วโมงจะมีค่าเท่ากับ 15° ของเส้นแวง คำนุมชั่วโมงจะมีค่าเป็นบวกในเวลาเช้า และมีค่าเป็นลบในเวลาบ่ายซึ่งคำนุมชั่วโมง สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.6) และความยาววันสมการ (2.7)

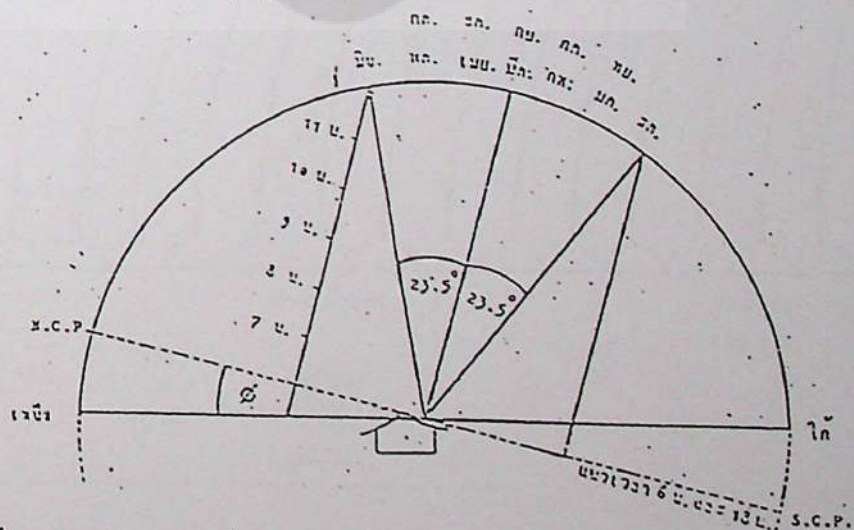
$$\cos(W)_s = -\tan \phi \times \tan \delta \quad (2.6)$$

$$T_d = \frac{(2)}{15} \times \cos^{-1} (-\tan \phi \times \tan \delta) \quad (2.7)$$

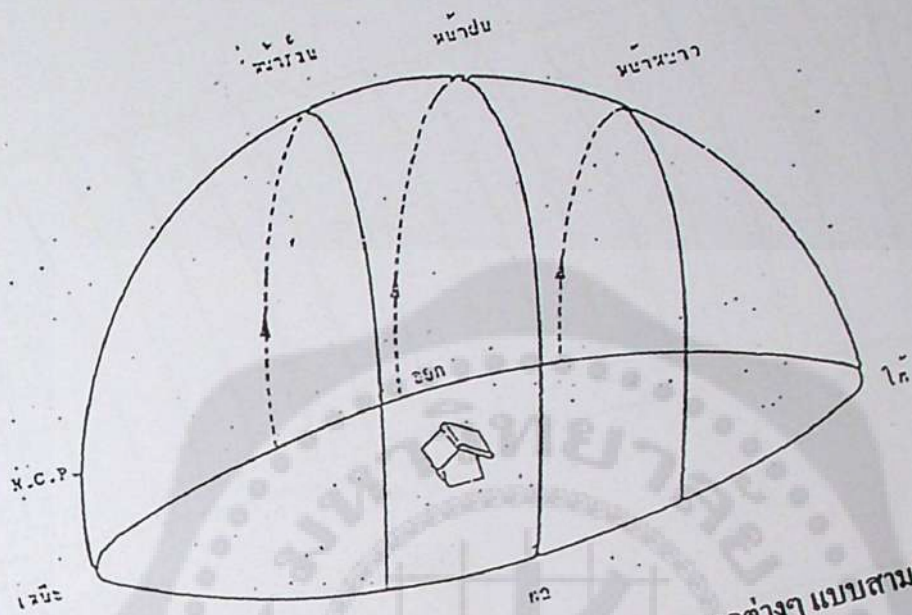
ค่าความยาววันนี้ คือจำนวนชั่วโมงนับตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นจนถึงพระอาทิตย์ตก



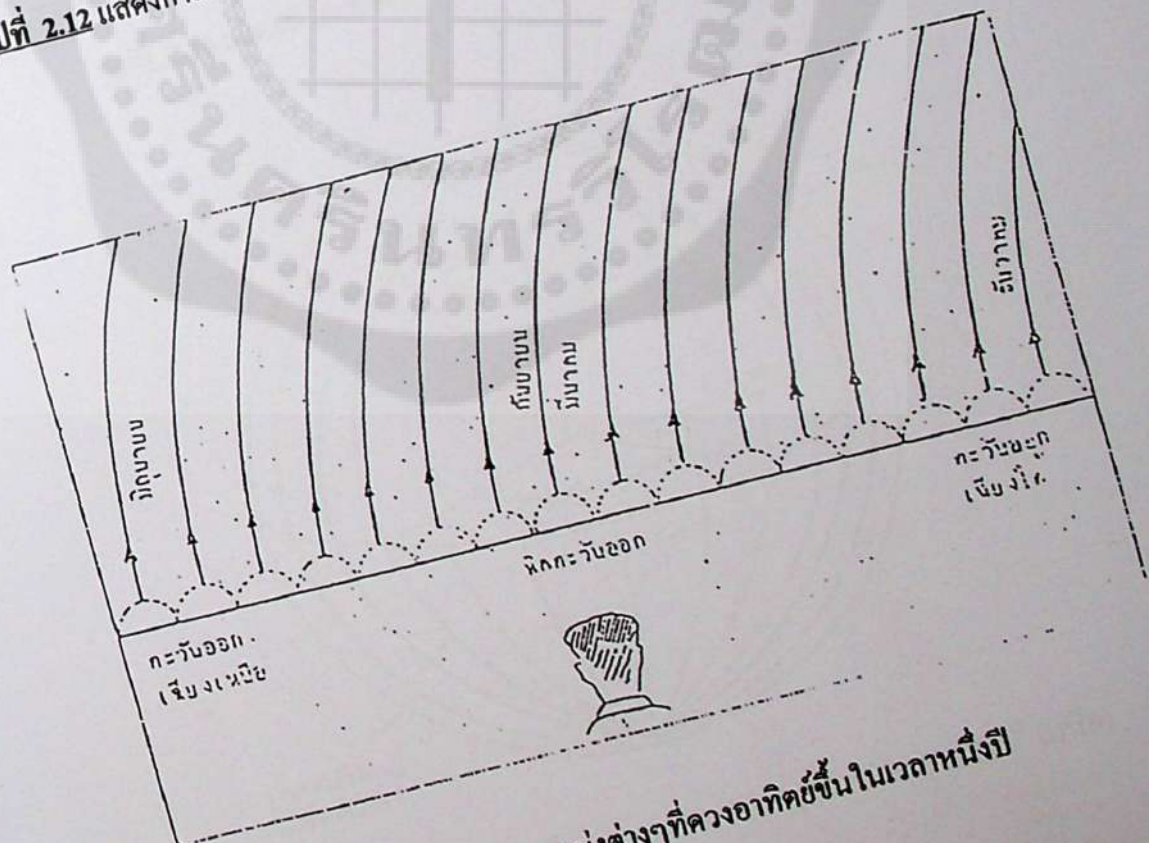
รูปที่ 2.10 แสดงมุมต่างๆ ที่เกี่ยวกับการคำนวณรังสีตรงตกกระทบบังจากมองจากขั้วโลกใต้ในการแสดงมุมชั่วโมง (กระดานไม้จำเป็นต้องอยู่ในระนาบการโคจรของโลก) แสดงส่วนสัมพันธ์ของมุมเส้นรุ้ง ϕ และมุมเคคไลน์ชัน δ



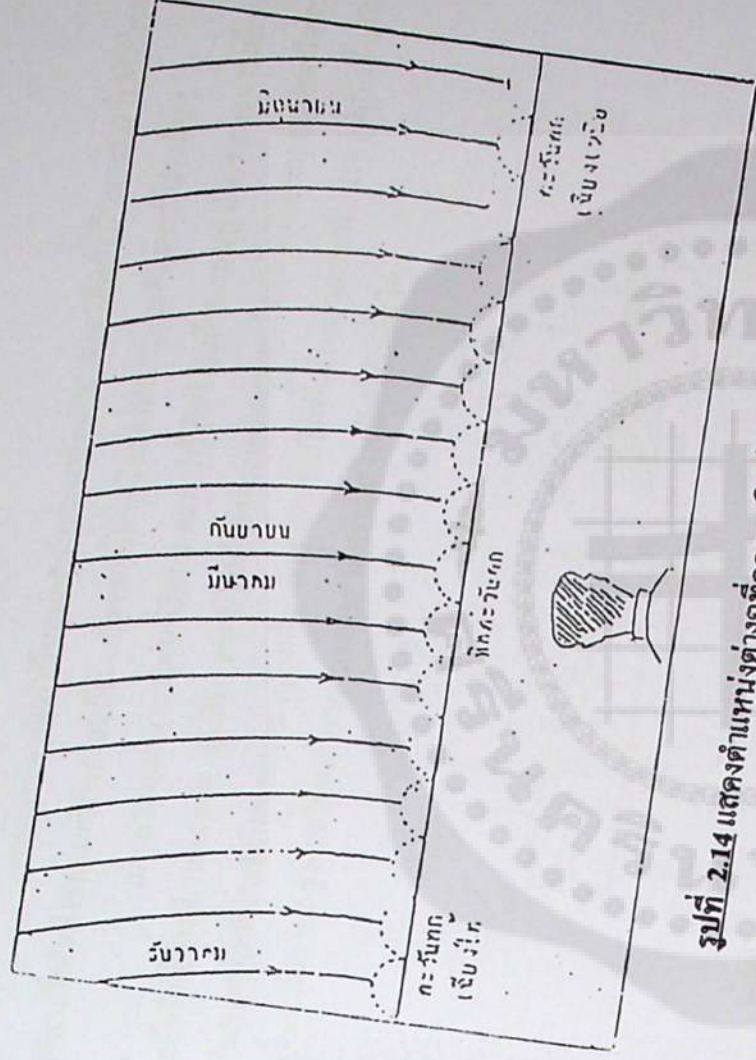
รูปที่ 2.11 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในฤดูกาลต่างๆ



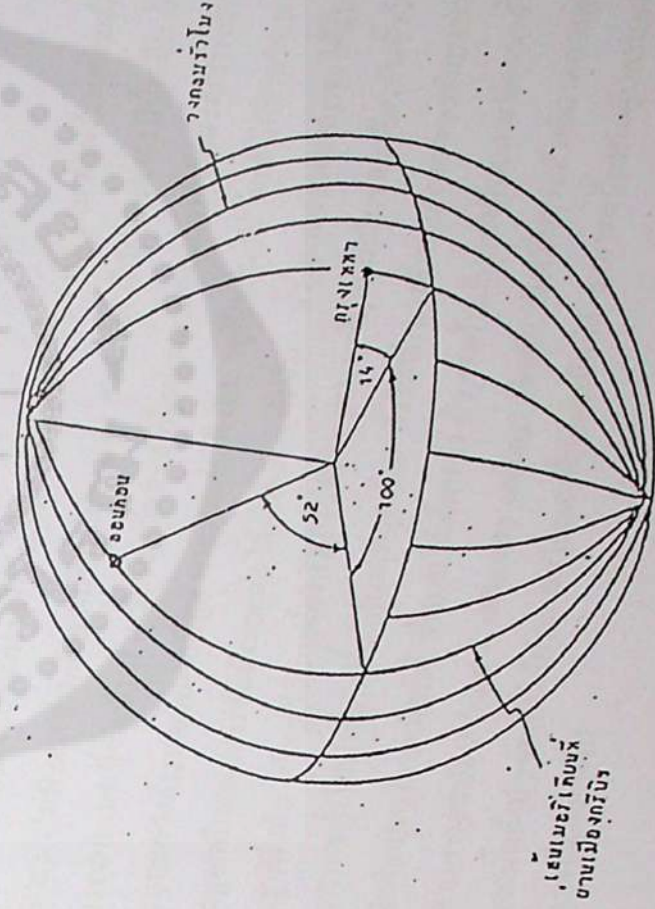
รูปที่ 2.12 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในฤดูกาลต่างๆ แบบตามมิติ



รูปที่ 2.13 แสดงตำแหน่งต่างๆที่ดวงอาทิตย์ขึ้นในเวลาหนึ่งปี



รูปที่ 2.14 แสดงตำแหน่งต่างๆที่ควรวางปล่องควันในเวลาหนึ่งปี

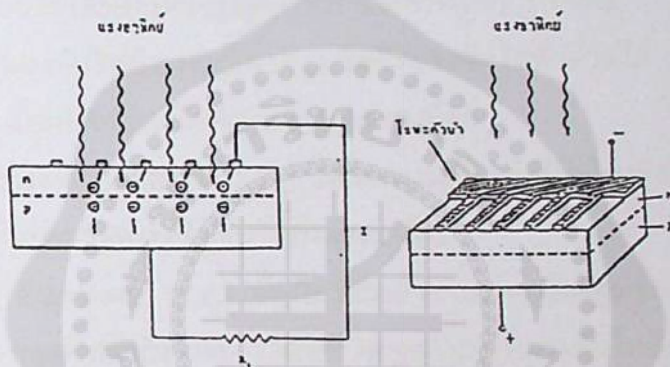


รูปที่ 2.15 แสดงเส้นรุ้งและเส้นแวงของตำแหน่งกรุงเทพมหานคร (14° เหนือ)

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรง ใช้สารกึ่งตัวนำจำพวกซิลิกอนเปลี่ยนแปลงทางโฟโตโวลตาอิก เหมาะที่สุดกว่าสารอื่นๆ

เมื่อแสงตกกระทบบนแผ่นซิลิกอน จะทำให้เกิดโฮลเมียมรอนคู่ ถ้าปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นใกล้กับบริเวณรอยต่อ พี-เอ็น สนามไฟฟ้าตรงรอยต่อจะแยกโฮลจากอิเล็กตรอนโดยโฮลจะอยู่ในสารชนิดพีและอิเล็กตรอนจะอยู่ในเอ็น ถ้าเราต่อสายไฟทั้งด้านเอ็นและพี ประจุที่เกิดขึ้นโดยโปรตอน ก็จะไหลลู่วงจรไหลค เราสามารถจะวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นแบบรอยต่อ พี-เอ็น

แผ่นผลึกซิลิกอนที่ใช้จะมีความหนาประมาณ $0.2 \mu\text{m}$ ด้านรับแสงจะมีชั้นแพร์ซึมที่มีชนิดการนำไฟฟ้าตรงข้ามกับฐานที่หนาประมาณ $300 \mu\text{m}$ ด้านรับแสงจะมีชั้นเอ็น ซึ่งมีค่าดังนี้ๆ นี่เป็นการออกแบบที่จำเป็นสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์เพราะต้องการให้แสงตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ทะลุทะลวงถึงรอยต่อมากที่สุด หากรอยต่อ พี-เอ็น อยู่ลึกเกินไป จะทำให้จำนวนพาหะที่เกิดขึ้นจากการดูดกลืนแสงแพร์ซึมถึงรอยต่อได้น้อยลง ดังนั้น ขั้วโลหะรับแสงมักจะได้รับการออกแบบให้เป็นรูปนิ้วมือ หรือรูปอื่นๆ เพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุดและในขณะเดียวกันขั้วไฟฟ้านั้นสามารถรวมพาหะนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดด้วย ขั้วไฟฟ้าทางด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องเป็นผิวสัมผัสแบบโอห์มมิกที่ดี ซึ่งฉาบไว้เต็มหน้า ผิวทางด้านรับแสงที่นอกเหนือจากขั้วโลหะแล้ว ยังมีขั้วด้านการสะท้อน (Anti - reflection coating) ปิดทับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงอีกด้วย จากนั้นจึงนำเซลล์ที่ได้ประกอบในแผงที่ห่อหุ้มมิดชิด สามารถป้องกันฝุ่นละออง เพื่อให้เซลล์มีคุณภาพที่ดีตลอดไป

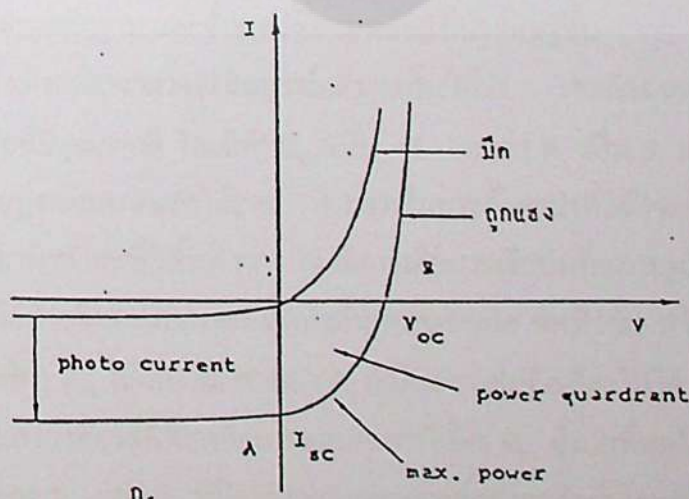
ลักษณะสมบัติและพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ หัวต่อ พี-เอ็น มีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับไดโอดทั่วไป กล่าวคือ มีความสามารถในการจัดกระแสไฟฟ้า (Current Rectification) ได้ ดังนั้น เซลล์แสงอาทิตย์จึงมีลักษณะสมบัติ กระแส - แรงดัน ดังเส้นประในรูปในสภาพที่ไม่ถูกแสง เมื่อมีการฉายแสงตกกระทบบหัวต่อ จะเกิดปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกขึ้น ลักษณะสมบัติ กระแส - แรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปเป็นเส้นเต็ม พื้นที่ภายใต้เส้นโค้งที่แรงงคือ กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์นั้นผลิตได้ แต่กำลังไฟฟ้าที่จะนำไปใช้งานจริงๆ นั้นจะกำหนดได้จากการต่อโหลดที่เหมาะสม เพื่อให้กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าค่าสูงสุด สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ จึงตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์หลักๆ 3 ตัวคือ

1 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc}) ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดมีค่าสูงมาก เมื่อเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ของแสงอาทิตย์

2 ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ของแสงอาทิตย์

3 ค่าฟิลแฟกเตอร์ (F.F.) ซึ่งเป็นอัตราส่วน ระหว่างผลคูณของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (ได้แก่ ผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าสูงสุด V_m และกระแสไฟฟ้าสูงสุด I_m) ซึ่งกำหนดได้จากการต่อกับโหลดที่มีค่าเหมาะสม



รูปที่ 2.17 แสดงเส้นลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

$$F.F. = \frac{(V_m \times I_m)}{(V_{oc} \times I_{sc})} \quad (2.8)$$

พารามิเตอร์ทั้งสามตัวนี้ จะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพ และเงื่อนไขการต่อวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์หรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน จึงเขียนแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\eta = \frac{(V_{oc} \times I_{sc} \times F.F. \times 100)}{(P_{in} \times A)} \quad (2.9)$$

โดยที่ค่า P_{in} ได้แก่ ค่าอินพุตที่ป้อนให้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งกำหนดได้จากความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีหน่วยคิดเป็นวัตต์ต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย

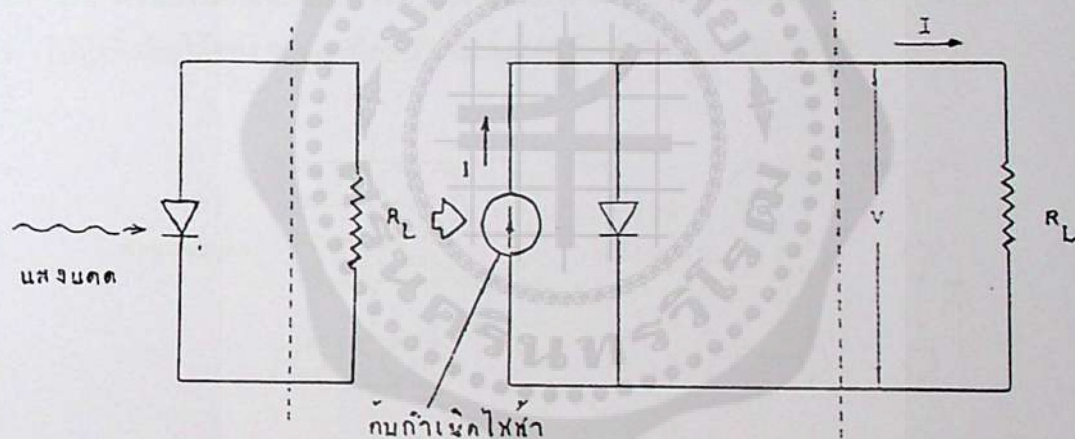
วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะที่ใช้งานสามารถเขียนแสดงได้ดังรูปที่ 2.18 กระแสโฟโตแทนตัวกำหนดกระแส I_{ph} ซึ่งได้กระแสไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสไบอัสตามไดโอด ค่าความต้านทานซึ่งเขียนแสดงด้วย R_{sh} ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่กำหนดค่าได้จากสภาพของหัวต่อที่สร้างขึ้น เช่น การเกิดกระแสรั่วตามขอบเซลล์ ความไม่สม่ำเสมอของหัวต่อ ได้แก่ การมีดีฟฟิวชัน สไปซ์ เนื่องจากความบกพร่องทางผลึกต่างๆ ค่าความต้านทานอนุกรมเขียนแสดงด้วย R_s กำหนดได้จากค่าความต้านทานของผิวสัมผัสทั้งหมด ทั้งทางด้านหน้าและด้านหลัง รวมกับค่าต้านทานของผลึกฐาน และชั้นแพร่ซึมของเซลล์ที่ประดิษฐ์ขึ้น

เมื่อพิจารณาจากวงจรสมมูลแล้วจะเห็นได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคตินั้นเป็นไดโอดที่มีหัวต่อที่มีคุณภาพดี โดยมีค่า R_{sh} เป็น ∞ และค่า R_s เป็น 0 แต่ในทางปฏิบัติแล้ว การสร้างหัวต่อที่สมมูลแบบนั้นทำได้ยาก เพราะผลึกสารกึ่งตัวนำที่ใช้มีจุดบกพร่องทางผลึกอยู่ก่อนแล้ว และเมื่อมาทำหัวต่อที่มีพื้นที่กว้าง โดยมีการเติมสารเจือปนที่อุณหภูมิสูงก็จะได้หัวต่อที่มีความสม่ำเสมอที่ได้ด้วยขีดจำกัดขนาดหนึ่งเท่านั้นเพราะจะเกิด ดีฟฟิวชัน สไปซ์ ขึ้น เป็นสาเหตุของกระแสรั่ว ทำให้ค่า R_{sh} ไม่เป็น ∞ ส่วนค่า R_s ก็เป็นส่วนที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงมีค่าไม่เป็น 0 ดังนั้น การออกแบบแสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดคือการพยายามทำให้ค่า R_{sh} มีมากที่สุดในขณะที่ค่า R_s มีค่าน้อยที่สุด อิทธิพลของ R_{sh} และ R_s ที่มีต่อลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์อาจทดสอบดูได้โดยการต่อตัวต้านทานและอนุกรมที่มีค่าต่างๆกับเซลล์แสงอาทิตย์นั้นๆ

การฉายแสงด้วยหลอดไฟทั้งสแตนท์ที่มีความเข้มแสง 100 W/m^2 จะเห็นว่าค่ากระแสลัดวงจรมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ค่าแรงดันแสดงถึงอิทธิพลของความต้านทานอนุกรม ซึ่งมีผลกระทบต่อค่าฟิลต์แฟคเตอร์ของเซลล์เป็นอย่างมากในขณะที่ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดคงที่ และส่งผลให้ค่ากระแสลัดวงจรมีค่าต่ำกว่ากระแสโฟโตเนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าส่วนหนึ่งตกคร่อมความต้านทานอนุกรมจึงมีกระแสไฟฟ้ามีค่าน้อยขึ้นสวนทางกระแสโฟโต

สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แสงอาทิตย์ มีความเข้มสูงตั้งแต่ 1 Sun ค่าความต้านทานชั้นจะมีค่าสูงพอกับที่อิทธิพลของมันตัดทิ้งได้แต่เมื่อใช้กับแสงความเข้มต่ำ หรือที่อุณหภูมิค่าความชื้นจึงเริ่มมีบทบาทสำคัญขึ้น ส่วนค่าความต้านทานอนุกรมกลับมีบทบาทสำคัญต่อการใช้งานกับแสงมีความเข้มขึ้นสูง หรืออุณหภูมิ ดังนั้นในการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความต้านทานอนุกรมต่ำ จึงเป็นสิ่งจำเป็น เช่น การสร้างทำด้วยต่อที่บางแต่มีความเข้มข้นของสารเจือปนสูงหรือออกแบบรูปนิ้วมือโลหะที่เหมาะสม



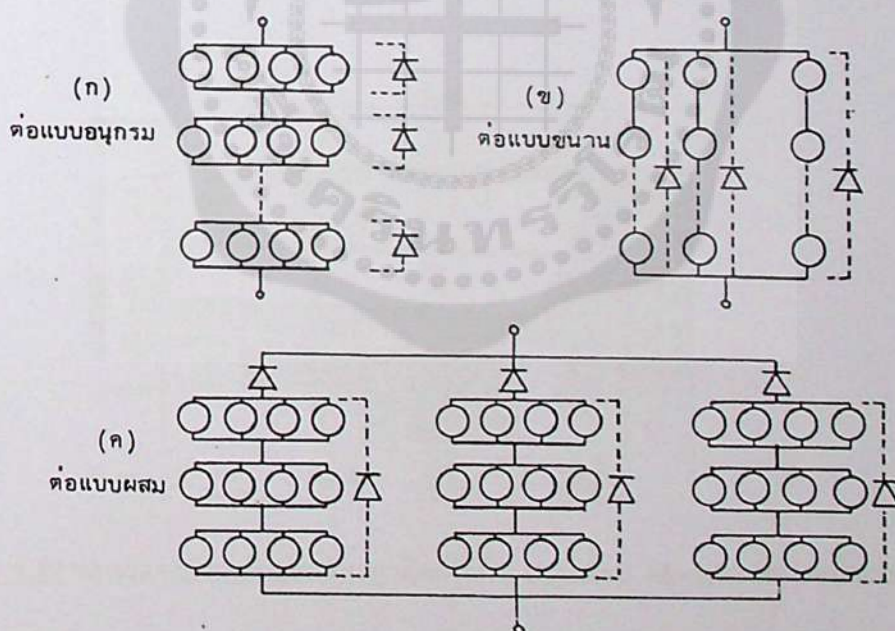
รูปที่ 2.18 แสดงวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนานและแบบอนุกรม

เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละตัวมีแรงดันไฟฟ้าเพียง 0.5 v (สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน) และ 1 v (สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกเลียมอาเซนไนด์) ส่วนปริมาณกระแสไฟฟ้านั้นขึ้นกับพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์และกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง เพื่อการใช้งานที่เหมาะสมกับโหลดจึงจำเป็นต้องนำเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากมาต่ออนุกรมและขนาน เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าตามปริมาณที่ต้องการ นอกจากจะมีจุดประสงค์ในการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีลักษณะสมบัติการใช้งานตามต้องการแล้ว การต่อเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งแบบอนุกรมและขนาน หรือทั้งสองแบบผสม

กัน ยังมีความหมายต่อการป้องกันข้อผิดพลาดของระบบด้วย ดังจะพิจารณาจากรูปลักษณะการต่อ เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ ดังรูปที่ 2.19

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อแบบ รูปที่ 2.19 (ก) เป็นการต่อแบบขนาน เพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าตามต้องการ แล้วจึงนำมาต่อแบบอนุกรมให้ได้แรงดันไฟฟ้าตามต้องการ ส่วนการต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบรูปที่ 2.19 (ข) เป็นการต่อแบบอนุกรมก่อนแล้วจึงต่อขนานกันทีหลัง ซึ่งเป็นการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่ให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกันกับแบบแรกในทางอุดมคติ แต่หากเกิดเงื่อนไขที่ผิดปกติขึ้น การต่อเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแบบนี้จะให้ผลลัพธ์ต่างกัน กล่าวคือถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ตัวหนึ่งเกิดลัดวงจรในลักษณะการต่อแบบรูปที่ 2.19 (ก) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหลือจะป้อนกระแสไฟฟ้าให้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดลัดวงจรนั้น ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดลัดวงจรในรูปที่ 2.19 (ข) จะได้รับอิทธิพลน้อยกว่าแบบแรก แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ตัวหนึ่งเกิดวงจรเปิดการต่อแบบขนานดังรูปที่ 2.19 (ก) จะได้รับอิทธิพลจากข้อผิดพลาดดังกล่าว น้อยกว่า ส่วนการต่อแบบอนุกรมดังรูปที่ 2.19 (ข) นั้นถ้าเกิดมีเซลล์แสงอาทิตย์ตัวหนึ่งวงจรเปิด กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของ String ที่ต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์ตัวนั้นจะสูญเสียไป



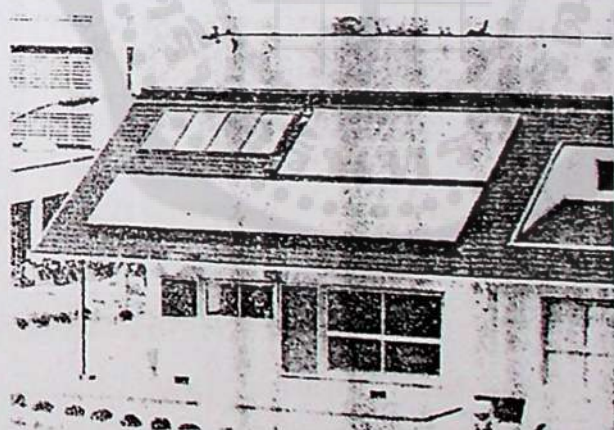
รูปที่ 2.19 แสดงการต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม ขนาน และ 2 แบบผสมกัน

เมื่อนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อกันในลักษณะที่เหมาะสมไปใช้งาน จะต้องติดตั้งในสถานที่ที่จะไม่เกิดเงาได้ง่าย เพราะการเกิดเงา (Shading) บนตัวเซลล์แสงอาทิตย์มีผลกระทบต่อการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เกิด Hot Spot ขึ้นในแผงเนื่องจากการป้อนกลับของ

กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ และเป็นสาเหตุให้เกิดการร้อนไหม้ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังเงานั้นได้ ดังนั้นการใช้ By-pass Diode ต่อคร่อมตัวเซลล์แสงอาทิตย์จะช่วยลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจาก Hot Spot นี้ได้ โดยการยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอดดังกล่าวแทนการไหลผ่านตัวเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังเงานั้น

การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมดังรูปที่ 2.19 (ค) จึงเป็นแบบ Optimum ที่สุดในการป้องกันข้อผิดพลาดต่างๆที่เกิดจากการบังเงา (Shading) เซลล์ลัดวงจร (Short Circuited Cell) เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไม่เท่ากัน การได้รับแสงสว่างบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความเข้มไม่สม่ำเสมอ การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้ยังช่วยลดจำนวน By-pass Diode ที่ใช้ให้น้อยที่สุดและเป็นแบบที่มี Reliability สูงที่สุดด้วย

และเพื่อป้องกันความเสียหายทางด้านไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการบังเงาจึงมักมีการออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็น Modules ย่อยๆขนาดเล็กแยกเป็นอิสระจากกัน โดยมี Block Diode ต่อไว้แต่ละชุด การออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงมักกระทำในรูปของ Standard Modules ที่มีกำลังไฟฟ้าที่แน่นอน จากนั้นจึงนำเอา Standard Modules เหล่านั้นมาต่อเข้าด้วยกันอีกทีหนึ่ง



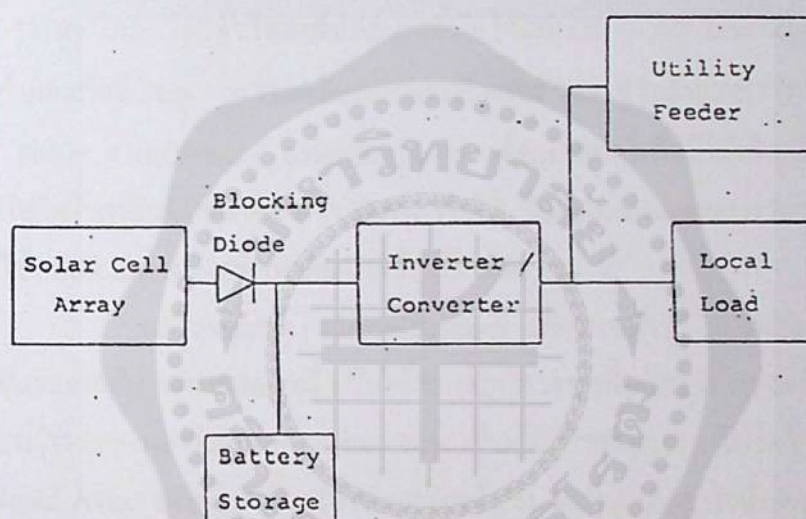
รูปที่ 2.20 แสดงการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็น Standard Modules ต่อมาเป็นระบบ

หลักการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยขบวนการโฟโตโวลตาอิก

พลังงานแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แต่มีขีดจำกัดเนื่องจากรังสีของแสงอาทิตย์ครึ่งหนึ่ง จะปรากฏอยู่ในช่วงของรังสีอินฟราเรด ซึ่งเป็นช่วงพลังงานแสงไม่เพียงพอ ในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยวิธีการโฟโตโวลตาอิก ให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ต่ำ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการ

ค้นคว้าวิจัยและพัฒนาต่อไป การจะนำเอาพลังงานไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ทางด้านต่าง ๆ นั้นจะต้องทำให้การไหลของไฟฟ้าเกิดขึ้นการทำให้เกิดกระแสไฟฟ้านั้น จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากถูกทำให้เคลื่อนที่ในสายตัวนำในทิศทางเดียวกัน

1 ระบบโฟโตโวลตาอิกอาจออกแบบได้ทั้งแบบที่ใช้งานในสถานที่ที่แยกอิสระจากแหล่งพลังงานอื่นๆ (Stand Alone System) เช่น ในหมู่บ้านที่อยู่ห่างไกลจากความเจริญ การใช้งานบนภูเขาสูงหรือในทะเล หรือเป็นระบบที่สามารถต่อเข้ากับระบบสายส่ง (Utility Grid) ที่มีอยู่แล้ว การออกแบบระบบโฟโตโวลตาอิกทั้ง 2 แบบมีลักษณะร่วมดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงองค์ประกอบต่างๆของระบบโฟโตโวลตาอิก

องค์ประกอบใหญ่ๆของระบบโฟโตโวลตาอิกมีดังต่อไปนี้

1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Arrays) ซึ่งมีขนาดโตพอที่จะสามารถแปรพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าตามปริมาณที่ต้องการ การคำนวณออกแบบขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้จะต้องคำนึงถึงปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ณ สถานที่ติดตั้งระบบ และขนาดของโหลดที่ใช้

1.2 Blocking Diode ทำหน้าที่ยอมให้กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่หรือโหลดเพียงทางเดียว เพราะหากไม่มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าที่เก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่จะถูกป้อนกลับสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถ้าไม่มีการต่อ Blocking Diode เอาไว้

1.3 แบตเตอรี่ ทำหน้าที่เก็บสะสมกำลังไฟฟ้า ที่เกิดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับระบบโฟโตโวลตาอิกขนาดเล็กที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ (Portable Photovoltaic System) มักใช้แบตเตอรี่แห้งนิเกิล-แคดเมียม หากเป็นขนาดระบบที่โตขึ้นมักใช้แบตเตอรี่ Lead - Acid ขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ต้องเพียงพอสำหรับการป้อนให้แก่โหลดเมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ เช่น ในเวลากลางคืนหรือวันที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ประคิมักอาจออกแบบให้มีขนาดพอที่จะเก็บสะสมพลังงานเพื่อใช้ 2-3 วัน แล้วแต่ความต้องการใน Reliability ของระบบนั้นๆ

1.4 Inverter / Converter ทำหน้าที่ แปลไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีความถี่และเฟสตามต้องการหรือเหมาะสมกับการต่อเข้ากับ Utility Grid โดยทั่วไปองค์ประกอบนี้มักได้แก่ DC - AC Inverter ที่ทำด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และอาจมี Step - up Transformer วงจรฟิวเจอร์ วงจรสำหรับแก้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ วงจรสำหรับ Power Conditioning (เพื่อควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่เพื่อมิให้เกิด Overcharging) สำหรับระบบโฟโตโวลตาอิกที่มีขนาดต่ำกว่า 25 Kw มักใช้ Transistor Inverter ส่วนระบบที่มีขนาดโต 1 Mw จะใช้ SCR Inverter สามารถพัฒนาได้สูงถึง 88-93 %

1.5 Switches / Circuit Breakers เพื่อทำหน้าที่ แยกองค์ประกอบของระบบให้เป็นอิสระจากกัน เช่น แบตเตอรี่ หรือใช้สำหรับตัดวงจรเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดแก่ระบบ เช่น ระหว่าง Inverter Output กับ Utility Grid เป็นต้น สำหรับระบบโฟโตโวลตาอิกที่ใช้งานแบบอิสระ (Stand Alone System) นั้นจะไม่มี การต่อเข้ากับ Utility Grid ดังนั้นการคำนวณขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่จึงต้องกระทำโดยคำนึงถึงขนาดของโหลดเป็นอย่างมาก ตาม Degree of Reliability ของระบบนั้น ในบางกรณีโหลดอาจต้องการแต่ไฟฟ้ากระแสตรงจึงไม่จำเป็นต้องใช้ Inverter ทำให้ระบบง่ายขึ้น

ปัญหาหนึ่งในการใช้งานในระบบโฟโตโวลตาอิก ได้แก่ การควบคุมให้ระบบทำงานที่ Maximum Power Point อยู่เสมอ แต่ในทางปฏิบัติ Maximum Power Point นี้จะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสงและเงื่อนไขแวดล้อมในขณะที่ใช้งาน ดังนั้นในการควบคุมให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่ Maximum Power Point ตลอดเวลาจะต้องมี Maximum Power Tracker ซึ่งเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีราคาแพง ดังนั้นในการออกแบบระบบโฟโตโวลตาอิกจะใช้องค์ประกอบนี้หรือไม่นั้นจึงเป็นปัญหาทางด้านการลงทุนว่าจะคุ้มค่าเพียงใดในการใช้องค์ประกอบดังกล่าวนี้

2 เงื่อนไขที่ใช้พิจารณา ในการเลือกสถานที่ตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก เมื่อจะมีการติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกควรพิจารณาถึงเงื่อนไขในการเลือกสถานที่ดังต่อไปนี้ เพื่อให้ระบบนั้นทำงานอย่างได้ผลดีที่สุดควรเป็นสถานที่ที่หันรับแสงไปทางด้านทิศใต้ (ในกรณีของประเทศไทย)

ควรระมัดระวังการเกิดเงาที่อาจเกิดจากอาคารข้างเคียง ต้นไม้หรือวัตถุอื่นๆ ปัญหานี้มักเกิดขึ้นเมื่อติดตั้งในเมือง หากเกิดการบังเงาขึ้นแล้วจะเกิด Hot Spot ขึ้นที่ตัวเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกบังเงานั้นอาจเกิดความเสียหายขึ้นได้ควรเลือกสถานที่ติดตั้งที่ไม่แด่นาเกินไปและทำลายนี้อย่างเหมาะสม ควรเลือกสถานที่ที่มีฝุ่นละอองหรือเศษผงน้อยควรเลือกติดตั้งบริเวณที่ห่างไกลจากแหล่งที่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) มาก เช่น ตั้งให้ห่างจากโรงงานที่ใช้การเผาถ่านหิน เป็นต้น ควรตั้งอยู่ในระยะที่ใกล้กับศูนย์โหลดพอสมควรไม่ควรเป็นสถานที่ที่มีฟ้าผ่าบ่อยไม่ควรเป็นสถานที่ที่มีนกอาศัยอยู่หนาแน่นควรเป็นสถานที่ที่สามารถป้องกันลมที่พัดแรงได้ควรเป็นสถานที่ที่มีพื้นฐานแข็งแรงในการยึดติดตั้งระบบเท่าที่กล่าวไปแล้วนั้นเป็นเพียงหลักเกณฑ์ใหญ่ๆ ในทางปฏิบัติจริงๆ แล้วจะต้องพิจารณาในรายละเอียดมากกว่านี้ ทั้งทางด้านอื่นๆ ที่ไม่ใช่เทคโนโลยี เช่น เงื่อนไขทางเศรษฐกิจ เงื่อนไขทางสังคม การยอมรับเทคโนโลยีใหม่ๆ ของผู้ใช้ในท้องถิ่นนั้นๆ ตลอดจนลักษณะภูมิประเทศและอากาศของสถานที่ที่จะติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก

การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการเสื่อมคุณภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ก่อนที่จะนำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานนั้น จำเป็นต้องนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมาทดสอบสมรรถนะเสียก่อน ซึ่งอาจกระทำได้ในระดับของห้องปฏิบัติการวิจัยในสองลักษณะคือ

1 การทดสอบด้วยแสงอาทิตย์จริงๆ ลักษณะของสเปกตรัมจะใกล้เคียงกับของ AM1 หากทำการทดสอบในวันที่มีท้องฟ้าแจ่มใสปราศจากเมฆหมอกใดๆ ทั้งสิ้น การทดสอบกับแสงอาทิตย์จริงๆ เช่นนี้จะให้ข้อมูลต่างๆ ที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงๆ แต่การวัดข้อมูลต่างๆ กระทำได้ยากเพราะแสงอาทิตย์มักมีความเข้มไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากเมฆหมอกและการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามเวลา นอกจากนี้การควบคุมอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังกระทำได้ยากด้วย

2 การทดสอบด้วยแสงอาทิตย์เทียม เป็นการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการวิจัย โดยสร้างเซลล์แสงอาทิตย์เทียมขึ้นด้วยหลอดไฟทั้งสแตนด์บายของไอโอไดนและใช้แก้วควอทซ์เป็นตัวหลอด การใช้แสงอาทิตย์เทียมนี้สะดวกมากต่อการวัดหาข้อมูลต่างๆ เพราะสามารถควบคุมความเข้มของแสงอาทิตย์เทียมได้แน่นอนและคงที่ ตลอดจนสามารถเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ตามต้องการ เมื่อนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานแล้ว มักเกิดการเสื่อมคุณภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น เราจึงควรรู้ถึงสาเหตุและสามารถตรวจสอบเพื่อป้องกันความเสียหายให้น้อยที่สุด การเสื่อมคุณภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์พอสรุปได้ดังนี้

2.1 การมีฝุ่นละออง หรือเศษผงต่างๆสะสมอยู่บน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นจำนวนมาก จึงควรมีการล้างทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระยะเวลาที่เหมาะสม

2.2 การเสื่อมคุณภาพด้านการยอมให้แสงผ่าน (Transmittivity) ของแก้ว หรือวัสดุที่ใช้ห่อหุ้มตัวเซลล์เนื่องจากแสงอุลตราไวโอเลต

2.3 การเกิดรอยแตก หรือร้าวของแผงที่ใช้ ห่อหุ้มตัวเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ความชื้นเข้าไปถึงตัวเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ฉะนั้นหากใช้ระบบ Pressurized Encapsulation จะช่วยในการตรวจสอบและป้องกันสาเหตุนี้ได้เป็นอย่างดี

2.4 การเกิด Corrosion ที่ผิวสัมผัสของตัวเซลล์แสงอาทิตย์

2.5 การเกิดการร่อน ของโลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากการสันตะเทียนหรือการขยายตัวเนื่องจากความร้อนและความเย็นในขณะใช้งาน

2.6 การเกิดสายขาด ระหว่างการต่อตัวเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เซลล์บางตัวเกิดความเสียหายขึ้น

2.7 การเกิด Hot spot เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ถูกบังเงา

การติดต่ออุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต

การติดต่ออุปกรณ์ภายนอกสามารถแบ่งรีจิสเตอร์ขนานออกเป็น 3 รีจิสเตอร์ คือ

1 รีจิสเตอร์ Data ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต

2 รีจิสเตอร์ Status ทำหน้าที่เป็นอินพุต

3 รีจิสเตอร์ Control ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต

ดังนั้นถ้าต้องการส่งค่าออกเอาต์พุตก็ต้องใช้รีจิสเตอร์ Data หรือรีจิสเตอร์ Control ส่วนถ้าต้องการรับค่าจากอินพุตจะต้องใช้รีจิสเตอร์ Status ในการอ่านค่าอินพุต การจะอ้างถึงรีจิสเตอร์แต่ละตัวนั้น จะต้องใช้ตำแหน่งแอดเดรสเป็นตัวอ้าง ดังมีรายละเอียดแสดงในตารางที่

2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงออกแอดเดรสรีจิสเตอร์ของพอร์ทขนาน

รีจิสเตอร์	LPT1	LPT2	LPT3
DATA	378H	3BCH	278H
STATUS	379H	3BDH	279H
CONTROL	37AH	3BEH	27AH

โดยปกติแล้ว Visual Basic ไม่มีคำสั่ง Out เหมือนกับ Qbasic ดังนั้นเพื่อให้ Visual Basic สามารถใช้คำสั่งนี้ได้จำเป็นต้องเพิ่มไฟล์ Inpout 32.bas เข้าไปใน Project ของ Visual Basic ที่กำลังใช้งานอยู่

ในการทำงานเพื่อรับและส่งค่าผ่านพอร์ตขนานจะใช้เครื่องมือที่ได้รับการออกแบบมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการเรียนและเพื่อทำงานจริง โดยใช้บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน หรือ P-Board เป็นหลัก และบอร์ด EX-Series สำหรับเป็นบอร์ดต่อพ่วงเพื่อรับและส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตขนาน P-Board บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน

วงจรของ P-Board แสดงไว้ในรูปที่ 2.22 โดยเริ่มจากคอนเน็กเตอร์ K002 แบบ DB-25 ตัวเมีย อันเป็นจุดที่ใช้ต่อเชื่อมกับพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้รับการจัดสรรออกเป็น 3 ส่วน คือ

1 พอร์ต Data มีตำแหน่งอยู่ที่ขา 2 ถึงขา 9 ใช้ทำหน้าที่เป็นขาเอาต์พุต สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งเข้าสู่ไอซีบัฟเฟอร์เบอร์ 74HC541 เพื่อขยายกระแสให้กับขาเอาต์พุต D0-D7 ทั้ง 8 ขา นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับพอร์ตขนานอีกด้วย เอาต์พุตจากไอซี 74HC541 จะส่งออกไปยังคอนเน็กเตอร์ P-Bus โดยคอนเน็กเตอร์ DATA BUS จะใช้ประโยชน์ในการเชื่อมต่อกับบอร์ด EX-Series ซึ่งเป็นบอร์ดอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

2 พอร์ต Control ใช้ตำแหน่งขา 1 , 14 , 16 และ 17 ทำหน้าที่เป็นขาเอาต์พุตเช่นเดียวกัน โดยต่อเข้ากับไอซี 74HC541 เพื่อทำหน้าที่ขยายกระแสและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับพอร์ตขนาน แล้วต่อสายเอาต์พุตไปเข้ากับคอนเน็กเตอร์ Control จะเห็นได้ว่าเฉพาะขา C0-C3 เท่านั้น พร้อมกันนั้นยังส่งต่อไปรวมกันที่คอนเน็กเตอร์ P-Bus ด้วย

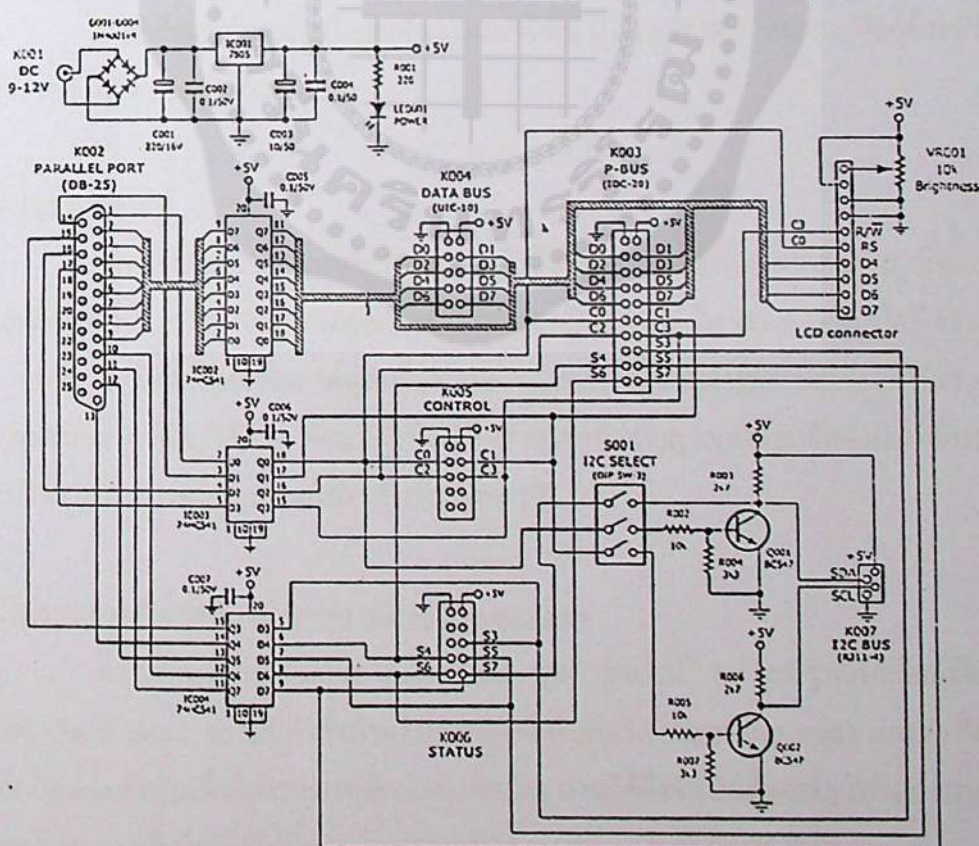
3 พอร์ต Status ใช้ตำแหน่งขา 15 , 13 , 12 , 10 และ 11 ของพอร์ตขนาน โดยขาเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นขาอินพุต ดังนั้นไอซีบัฟเฟอร์ที่นำมาต่อด้วยจะเป็นการรับสัญญาณอินพุตจากภายนอก และส่งสัญญาณไปให้กับพอร์ตขนาน ซึ่งตรงกันข้ามกับ 2 พอร์ตแรก โดยไอซีบัฟเฟอร์ที่ใช้ยังเป็นเบอร์ 74HC541 ส่วนอินพุตของพอร์ต Status จะต่อเชื่อมกับคอนเน็กเตอร์ Status ที่มีการจัดขาตามมาตรฐาน UIC-10 เช่นกัน โดยใช้ขาเพียง 5 ตำแหน่งเท่านั้นคือ S3 , S4 , S5 , S6 และ S7 โดยที่ขา S7 ทำหน้าที่เป็นขาอินพุตให้กับบัส I²C ด้วย โดยขาของพอร์ต Status ทั้งหมดหลังจากผ่านบัฟเฟอร์แล้วจะไปรวมกันที่คอนเน็กเตอร์ P-Bus

P-Board ใช้ไฟเลี้ยงจากภายนอกป้อนเข้ามาทางแจ็กอะแดปเตอร์ ผ่านไดโอดซึ่งต่อกันในลักษณะบริดจ์เพื่อจัดขั้วของไฟเลี้ยงบน P-Board ใหม่ จากนั้นจะส่งผ่านไปยังวงจรเรกกูเร

เตอร์เพื่อแปลงแรงดันให้เท่ากับ +5V สำหรับเป็นไฟเลี้ยงอุปกรณ์บนบอร์ด และเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรต่อพ่วงต่างๆ ที่เชื่อมต่อกันผ่านคอนเน็กเตอร์ P-Bus , Data Bus บัส I²C

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตนาน

พอร์ตนาน (Parallel Port) สาเหตุที่มีชื่อนี้ เนื่องจากการถ่ายทอข้อมูลของพอร์ตนานนี้เป็นแบบขนาน สำหรับชื่อเรียกอีกชื่อของพอร์ตนานคือ พอร์ตเครื่องพิมพ์ (Print Port) ด้วยการถ่ายทอข้อมูลแบบขนานนี้เอง ทำให้พอร์ตนานมีอัตราการถ่ายทอข้อมูลสูงกว่าการถ่ายทอข้อมูลแบบอนุกรมประมาณ 8-10 เท่า และการประมวลผลข้อมูลส่วนใหญ่จะมีขนาด 8 บิต ดังนั้นพอร์ตนานจึงสามารถรองรับการถ่ายทอข้อมูล 8 บิตได้โดยไม่ต้องต่อส่วนเพิ่มเติมใดๆ การประมวลผลข้อมูลเพื่องานควบคุมนั้น สิ่งแรกจะต้องมีส่วนของสัญญาณอินพุต ซึ่งอาจจะมาจากตัวตรวจจับต่างๆผ่านวงจรภาคหน้าเพื่อเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณอินพุตให้เหมาะสมกับการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เมื่อข้อมูลอินพุตถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์แล้ว คอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้ออกมาเหล่านั้นให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมก่อนที่จะส่งออกไปยังภายนอกผ่านอุปกรณ์เอาต์พุต ซึ่งอาจจะเป็นการส่งออกไปยังจอภาพ หรือส่งออกไปยังจุดเชื่อมต่ออื่นๆ เพื่อควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตต่อไป



รูปที่ 2.22 แสดงวงจรสมบูรณ์ของ P-Board บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตนาน

การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกทั้งส่วนของภาคอินพุตและภาคเอาต์พุต สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1 เชื่อมต่อผ่านทางการ์ดอินพุตเอาต์พุต ซึ่งใช้วิธีการเสียบ หรือติดตั้งการ์ดในสล็อตภายในเครื่องคอมพิวเตอร์

2 เชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตขนาน

3 เชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตอนุกรม

4 เชื่อมต่อผ่านระบบมาตรฐานอื่นๆ เช่น พอร์ต USB (Universal Serial Bus) , พอร์ต SCSI หรือพอร์ต GAME เป็นต้น

โดยปกติพอร์ตขนานออกแบบมาให้มีสายสัญญาณอยู่ทั้งหมด 17 เส้น สายสัญญาณเหล่านั้นจะมีรีจิสเตอร์ 3 ตัว ควบคุมการทำงานดังนี้

1 พอร์ตเอาต์พุตสำหรับสัญญาณข้อมูล 8 เส้น มีรีจิสเตอร์ Data ควบคุม

2 พอร์ตอินพุตสำหรับการอ่านค่าสถานะต่างๆจากภายนอกมีอยู่ด้วยกัน 5 เส้น ใช้รีจิสเตอร์ Status ในการควบคุม

3 พอร์ตเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ภายนอก มีอยู่ด้วยกัน 4 เส้น ใช้รีจิสเตอร์ Control ในการควบคุม

การนำพอร์ตขนานไปใช้

สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน ผู้ใช้งานสามารถนำพอร์ตอินพุต 5 บิต (Port Status) พอร์ตเอาต์พุต 4 บิต (Port Control) และพอร์ตเอาต์พุตอีก 8 บิต (Port Data) ไปใช้งานได้โดยตรง โดยที่ 4 บิตของพอร์ตเอาต์พุตหรือพอร์ต Control นั้นสามารถดัดแปลงให้ใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตขนาด 4 บิต ได้ด้วย ดังนั้นผู้ใช้งานจึงสามารถนำสัญญาณจากพอร์ตขนานที่มีมากถึง 17 เส้น ไปใช้งานในการควบคุมโดยใช้ระดับสัญญาณ TTL

การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตขนานด้วย Visual Basic

การเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic ชุดคำสั่งส่วนใหญ่ จะมีรูปแบบใกล้เคียงกับ Qbasic แต่ Visual Basic จะไม่มีคำสั่งสำหรับการติดต่อกับพอร์ตโดยตรงคือ Inp() และคำสั่ง Out เหมือนกับ Qbasic ดังนั้นเพื่อให้สามารถติดต่อกับพอร์ตขนานได้จึงจำเป็นต้องเพิ่มโปรแกรมบางตัวเข้าไป โดยโปรแกรมที่เพิ่มเข้าไปนี้จะอยู่ในรูปของ DLL (Dynamic Linked Library)

ไฟล์ DLL นี้จะมีอยู่ 2 ไฟล์ คือ Inpout.dll และ Inpout32.dll โดย Inpout.dll นั้นใช้สำหรับระบบการปฏิบัติการ 16 บิต หรือวินโดวส์ 3.1 นั้นเอง ส่วน Inpout32.dll จะใช้สำหรับระบบปฏิบัติการที่เป็น 32 บิต ซึ่งก็คือวินโดวส์ 95 หรือ 98 สำหรับตำแหน่งที่ใช้เก็บไฟล์ Inpout.dll หรือ Inpout32.dll นั้นจะต้องเก็บไว้ที่ไดเรกทอรี System ซึ่งอยู่ภายในไดเรกทอรีที่เก็บโปรแกรมวินโดวส์ โดยส่วนใหญ่จะมีชื่อเป็น Windows แต่การกำหนดในสองรูปแบบหลังนี้จะสามารถใช้งานได้กับ Visual Basic ตั้งแต่เวอร์ชัน 4 ขึ้นไปเท่านั้น



บทที่ 3

การคำนวณและออกแบบ

จุดประสงค์และความต้องการในการเคลื่อนที่คือ

- 1 การเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก เคลื่อนที่ไป 15° ต่อชั่วโมง ในการทำโครงการงานจะแบ่งเป็น 15 ส่วน นั่นคือ 1° ต่อ 4 นาที
- 2 การเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ (มุมเคลติเนชัน)

การคำนวณการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก

การขับเคลื่อนจะใช้เวลาในการทำงาน 1.5 นาที และ หยุดการทำงาน 2.5 นาที

กำหนดให้ มอเตอร์ = 56 rpm

แผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ $= 1^\circ = (1 / 360^\circ)$

$$= 0.00277 \text{ รอบต่อการทำงานของมอเตอร์ 1 ครั้ง}$$

อัตราทดรวม

$$= \text{ความเร็วเพลาขับ} / \text{ความเร็วเพลาตาม}$$

$$= (56 \times 1.5) / 0.00277$$

$$= 30324 : 1$$

จากอัตราทดรวมทั้งระบบจะแยกเป็นชุดๆดังนี้

$$\text{อัตราทดชุดที่ 1} = 5.83 : 1$$

$$\text{อัตราทดชุดที่ 2} = 30 : 1 \text{ (ชุดเฟืองทดรอบ)}$$

$$\text{อัตราทดชุดที่ 3} = 5.83 : 1$$

$$\text{อัตราทดชุดที่ 4} = 30 : 1 \text{ (ชุดเฟืองทดรอบ)}$$

$$\text{อัตราทดชุดที่ 5} = M_\omega : 1$$

$$\text{อัตราทดชุดที่ 5} = 30324 / (5.83 \times 30 \times 5.83 \times 30)$$

$$= 0.99 : 1$$

การคำนวณหาจำนวนฟันเฟืองและจำนวนรอบ

$$\text{อัตราทด} = \text{ฟันเฟืองตาม} / \text{ฟันเฟืองขับ}$$

$$= \text{ความเร็วรอบขับ} / \text{ความเร็วรอบตาม}$$

กำหนด $Z_1 = 12$ ฟิน , $N_1 = 84$ รอบ

$$Z_2 = Z_1 \times 5.83$$

$$= 12 \times 5.83$$

$$= 69.96 \text{ ฟิน} \approx 70 \text{ ฟิน}$$

$$N_2 = N_1 / 5.83$$

$$= 84 / 5.83$$

$$= 14.4 \text{ รอบ}$$

ผ่านชุดทด 30 : 1

$$N_2 / N_3 = 30$$

$$N_3 = N_2 / 30$$

$$= 14.4 / 30$$

$$= 0.48 \text{ รอบ}$$

กำหนด $Z_3 = 12$ ฟิน

$$Z_4 = 5.83 \times Z_3$$

$$= 5.83 \times 12$$

$$= 69.96 \text{ ฟิน} \approx 70 \text{ ฟิน}$$

$$N_4 = N_3 / 5.83$$

$$= 0.48 / 5.83$$

$$= 0.082 \text{ รอบ}$$

ผ่านชุดทด 30: 1

$$N_4 / N_5 = 30$$

$$N_5 = N_4 / 30$$

$$= 0.082 / 30$$

$$= 0.00274 \text{ รอบ}$$

กำหนด $Z_5 = 30$ ฟิน

$$\text{อัตราทด} = Z_6 / Z_5 = 0.99$$

$$Z_6 = 0.99 \times Z_5$$

$$= 0.99 \times 30$$

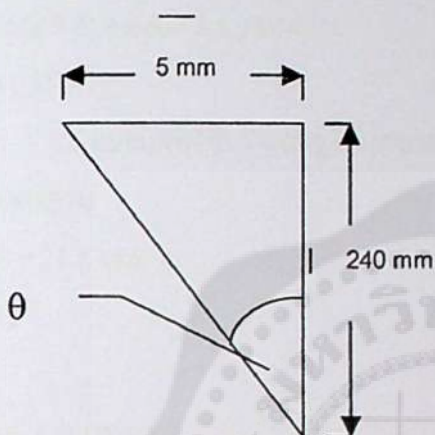
$$= 29.7 \text{ ฟิน} \approx 30 \text{ ฟิน}$$

การคำนวณการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ (มุมเดคลิเนชัน)

เลือกสกรูที่มีระยะพิชต์ (P) = 5 mm

ระยะห่างจากสกรูถึงจุดหมุน (l) = 240 mm

เมื่อสกรูหมุน 1 รอบ นัตจะเลื่อนไปในระยะทาง = 5 mm



∴ เมื่อสกรูหมุน 1 รอบ จะได้มุม

$$\theta = \tan^{-1} (5 / 240) = 1.19 \text{ องศา}$$

กำหนดให้

จำนวนฟันของตัวขับ

$$Z_{s1} = 17 \text{ ฟัน}$$

จำนวนฟันของตัวตาม

$$Z_{s2} = 32 \text{ ฟัน}$$

อัตราทด

$$M_{os} = 32 / 17 = 1.88$$

เมื่อต้องการให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ไป 1 องศา

$$N_{s1} / N_{s2} = 1.88$$

สกรูหมุน

$$1 \text{ รอบ} / N_{s2} = 1.19 / 1$$

จำนวนรอบของสกรู

$$N_{s2} = 1 / 1.19 = 0.84 \text{ รอบ}$$

แทนค่า N_{s2}

∴ จำนวนรอบของมอเตอร์

$$\begin{aligned} N_{s1} &= 1.88 \times N_{s2} \\ &= 1.88 \times 0.84 \\ &= 1.58 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

การหาแรงบิดของมอเตอร์เพื่อใช้ในการหมุนสกรู

1 แรงบิดที่เกิดขึ้นกับสกรูเนื่องจากแรงเซลล์แสงอาทิตย์

มวลแผงเซลล์แสงอาทิตย์และโครง

$$m = 5 \text{ kg}$$

น้ำหนักกระทำตามแนวแกนสกรู

$$W = (5 \times 9.81) \times \cos 76 \times \cos 14$$

$$= 11.51 \text{ N}$$

2 แรงบิดที่ใช้หมุนสกรูให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เอียงขึ้น

จากตารางมาตรฐาน

$$d_m = d_2 = 21.5 \text{ mm}$$

$$\theta = 15^\circ$$

มุมซีลิกซ์

$$\alpha = \tan^{-1} (l_e / \pi d_2)$$

$$= \tan^{-1} (5 / 21.5 \times \pi)$$

$$= 4.23^\circ$$

จากตารางโลหะ

$$f_s = 0.1$$

$$T_R = W d_m / 2 [(f_s + \cos \theta \times \tan \alpha) / (\cos \theta - f_s \times \tan \alpha)]$$

$$= [(11.51 \times 21.5) / (2 \times 1000)] \times [(0.1 + \cos 15 \times \tan 4.23) / (\cos 15 - 0.1 \times \tan 4.23)]$$

$$= (0.123) \times (0.171 / 0.958)$$

$$= 0.0219 \text{ Nm}$$

3 แรงบิดที่มอเตอร์

เลือกใช้มอเตอร์ขนาด 12 V 0.26 A

$$\text{Power} = E \times I$$

$$= (2 \times \pi \times T \times N) / 60$$

$$\text{Power} = 12 \times 0.26$$

$$= 3.12 \text{ W}$$

ความเร็วรอบใช้งาน

$$N_m = 30 \text{ rpm}$$

$$T_M = (\text{Power} \times 60) / (2 \times \pi \times N)$$

$$= (3.12 \times 60) / (2 \times \pi \times 30)$$

$$= 0.993 \text{ Nm}$$

ผ่านจานโซ่ $D_M = 0.027 \text{ m}$, $D_s = 0.0507 \text{ m}$

แรงบิดที่สกรู

$$T_s = T_M \times (D_s / D_M)$$

$$= 0.993 \times (0.0507 / 0.027)$$

$$= 1.864 \text{ Nm}$$

∴ แรงบิดที่ได้จากมอเตอร์เพียงพอสำหรับขับสกรู

การหาแรงบิดของมอเตอร์เพื่อใช้ในการหมุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1 แรงบิดที่เกิดขึ้นกับเพลานี้เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และ โครง

$$T_6 = m \times g \times l$$

เมื่อ l คือ ความยาวแขนคิกที่เอียงขนานกับแนวราบ

$$\therefore T_6 = 5 \times 9.81 \times 0.3$$

$$= 14.715 \text{ Nm}$$

2 แรงบิดที่ออกจากระบบทดรอบ

ใช้มอเตอร์ขนาด 12 V, 0.26 A, ความเร็วรอบใช้งาน = 56 rpm

$$T_1 = (\text{Power} \times 60) / (2 \times \pi \times N)$$

$$= (12 \times 0.26 \times 60) / (2 \times \pi \times 56) = 0.547 \text{ rpm}$$

$$T_2 = (D_2 / D_1) \times T_1$$

$$= (0.21 / 0.03) \times 0.547$$

$$= 3.829 \text{ Nm}$$

ผ่านชุดทด 30 : 1

$$T_3 = 30 \times T_2$$

$$= 30 \times 3.829$$

$$= 114.87 \text{ Nm}$$

$$T_4 = (D_4 / D_3) \times T_3$$

$$= (0.21 / 0.03) \times 114.87$$

$$= 804.09 \text{ Nm}$$

ผ่านชุดทด 30 : 1

$$\begin{aligned} T_5 &= 30 \times T_4 \\ &= 30 \times 804.09 \\ &= 24.122 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$D_5 = D_6 = 0.089 \text{ m}$$

$$T_6 = 24.122 \text{ kNm}$$

∴ แรงบิดที่ได้จากระบบทรอบเพียงพอสำหรับขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การออกแบบการคำนวณหามุมในการตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตามดวงอาทิตย์

1 การคำนวณหามุมเดคลิเนชัน (δ)

จากสมการ (2.5)

$$\delta_{(\text{องศา})} = 23.45^\circ \times \sin [((284 + N_d) / 365) \times 360]$$

ถ้า ในวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2544

$$N_d = 51 \text{ (จำนวนวันเริ่มนับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม เป็นต้นไป)}$$

$$\begin{aligned} \delta_{(\text{องศา})} &= 23.45^\circ \times \sin [((284 + 51) / 365) \times 360] \\ &= -11.57903665^\circ \end{aligned}$$

2 การคำนวณหามุมชั่วโมง (ω_s)

จากสมการ (2.6)

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \times \tan \delta$$

$$\phi = 14^\circ \text{ ณ. ที่เส้นรุ้งที่กรุงเทพมหานคร}$$

$$\cos \omega_s = -\tan 14 \times \tan (-11.57903665^\circ)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(0.051084628)$$

$$= 87.07179188$$

3 การคำนวณหาความยาววัน (T_d)

จากสมการ (2.7)

$$T_d = (2 / 15) \times \cos^{-1} (-\tan \phi \times \tan \delta)$$

$$= (2 / 15) \times \omega_s$$

$$T_d = (2 / 15) \times 87.07179188$$

$$= 11.60957225 \text{ ชม.}$$

$$T_d / 2 = 11.60957225 / 2$$

$$= 5.804786125 \text{ ชม.}$$

$$= 5 \text{ ชม. } 48 \text{ นาที } 17 \text{ วินาที}$$

4 การคำนวณหาสมการของเวลา

จากสมการ (2.3)

$$E = [9.87 \times \sin(2 \times B) - (7.53 \cos B) - (1.5 \times \sin B)]$$

จากสมการ (2.4)

$$B = [360 \times (N_d - 81)] / 364$$

$$N_d = 51 \text{ วัน (จำนวนวันเริ่มนับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม เป็นต้นไป)}$$

$$B = [360 \times (51 - 81)] / 364$$

$$= -29.67$$

แทนค่าในสมการ (2.3)

$$E = [9.87 \times \sin(2 \times (-29.67)) - (7.53 \cos(-29.67)) - (1.5 \times \sin(-29.67))]$$

$$= -14.29 \text{ นาที}$$

แทนค่าในสมการ (2.2)

5 การคำนวณหาเวลามาตรฐานท้องถิ่น เทียบ ณ. เวลาเที่ยงสุริยะ ณ. บริเวณที่วัด

จากสมการ (2.2)

$$\text{เวลามาตรฐานท้องถิ่น} = \text{เวลาสุริยะ} - E + 4(L_{\text{st}} - L_{\text{oc}})$$

$$L_{\text{st}} = \text{เส้นเมริเดียนที่ใช้อ้างอิงเวลามาตรฐานท้องถิ่น มีค่าเท่ากับ } 105^\circ$$

ตะวันออก

$$L_{\text{oc}} = \text{เส้นเมริเดียนที่ลากผ่านบริเวณ ที่ทำการวัด(ที่กรุงเทพมหานคร)มีค่าเท่ากับ}$$

$100^\circ 30'$ ตะวันออก

$$\text{ดวงอาทิตย์ขึ้นเวลา } 12 - 5.804786125 = 6.195213875 \text{ ชม.}$$

$$= 6 \text{ ชม. } 11 \text{ นาที } 42 \text{ วินาที}$$

เวลามาตรฐานท้องถิ่นของดวงอาทิตย์ขึ้น

$$= 6 : 11 : 42 - (-14.29) + 4 \times (105 - 100.5)$$

$$= 6 : 43 : 59$$

$$\text{ดวงอาทิตย์ตกเวลา } 12 + 5.804786125 = 17.80478613 \text{ ชม.}$$

$$= 17 \text{ ชม. } 48 \text{ นาที } 17 \text{ วินาที}$$

เวลามาตรฐานท้องถิ่นของดวงอาทิตย์ตก

$$= 17 : 48 : 17 - (-14.29) + 4 \times (105 - 100.5)$$

$$= 18:20:34$$

$$\begin{aligned}\text{การเคลื่อนตามมุมชั่วโมง} &= (2 \times \omega_s) / T_d \\ &= (2 \times 87.07179188) / 11.60957225 \\ &= 15^\circ/\text{ชม. คือการหมุนรอบตัวเองของโลก}\end{aligned}$$

การคำนวณหามุมชั่วโมงในการตั้งแผงแบบตามดวงอาทิตย์ เริ่มทำการวัดใน วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2544 ถึง วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2544 คำนวณแบบเดียวกัน ตามที่ได้แสดงไว้ข้างต้นแล้ว



บทที่ 4

อุปกรณ์ วิธีการทดลอง และผลการทดลอง

อุปกรณ์การทดลอง

1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W รุ่น MSx10	2 แผง
2 กล่องควบคุม	
ภายนอก	
มิเตอร์วัด Volt	2 ตัว
มิเตอร์วัด Amp	2 ตัว
หลอดไฟ 12 V	2 หลอด
ภายใน	
วงจรขับสัญญาณจากคอมพิวเตอร์	1 บอร์ด
บอร์ดวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์	1 บอร์ด
บอร์ดวงจรควบคุมมอเตอร์	2 บอร์ด
ตัวต้านทาน 10 W 220 Ω	2 ตัว
3 คอมพิวเตอร์	1 เครื่อง
4 มิเตอร์วัดอุณหภูมิ	1 ตัว
5 ชุดขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W	1 ชุด

วิธีการทดลอง

1 การติดตั้งชุดติดตามดวงอาทิตย์

1.1 ติดตั้งชุดติดตามดวงอาทิตย์ใช้ตัวอักษร N ที่อยู่บนเสาข้างซ้ายไปทางทิศเหนือ

1.2 ต่อสายมอเตอร์ และสายเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชุดติดตามดวงอาทิตย์ เข้ากับกล่อง

ควบคุม

1.3 ต่อสายไฟจาก Port เครื่องพิมพ์เข้ากับกล่องควบคุม

1.4 เปิดคอมพิวเตอร์

1.5 เปิดโปรแกรมติดตามดวงอาทิตย์

2 ขั้นตอนการบันทึกผลการทดลอง

2.1 เมื่อเข้าสู่โปรแกรมติดตามดวงอาทิตย์กดปุ่ม

NEW

2.2 กดสวิทช์เปิดที่กล่องควบคุมการทำงาน

2.3 เลือกวันที่ทำการทดลองโดยกดปุ่ม

TODAY

และ OK

2.4 เมื่อเลือกวันที่ทำการทดลองแล้ว ตัวเลขมุมต่างๆจะปรากฏที่หน้าจอ

2.5 กดปุ่ม Search เพื่อทำการหาตำแหน่งที่ดวงอาทิตย์ขึ้น

Search

2.6 เมื่อหาตำแหน่งเสร็จจะขึ้นข้อความว่าการค้นหาเสร็จ ให้กดปุ่ม

OK

2.7 กดปุ่ม SUN เพื่อให้ชุดควบคุมทำการติดตามดวงอาทิตย์ต่อ

SUN

2.8 การบันทึกผลการทดลองจะมีมิเตอร์วัด Volt 2 ตัว และ วัด Amp 2 ตัว

- วัด Volt และ Amp ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตามดวงอาทิตย์ 1 ชุด

- วัด Volt และ Amp ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่กับที่ 1 ชุด

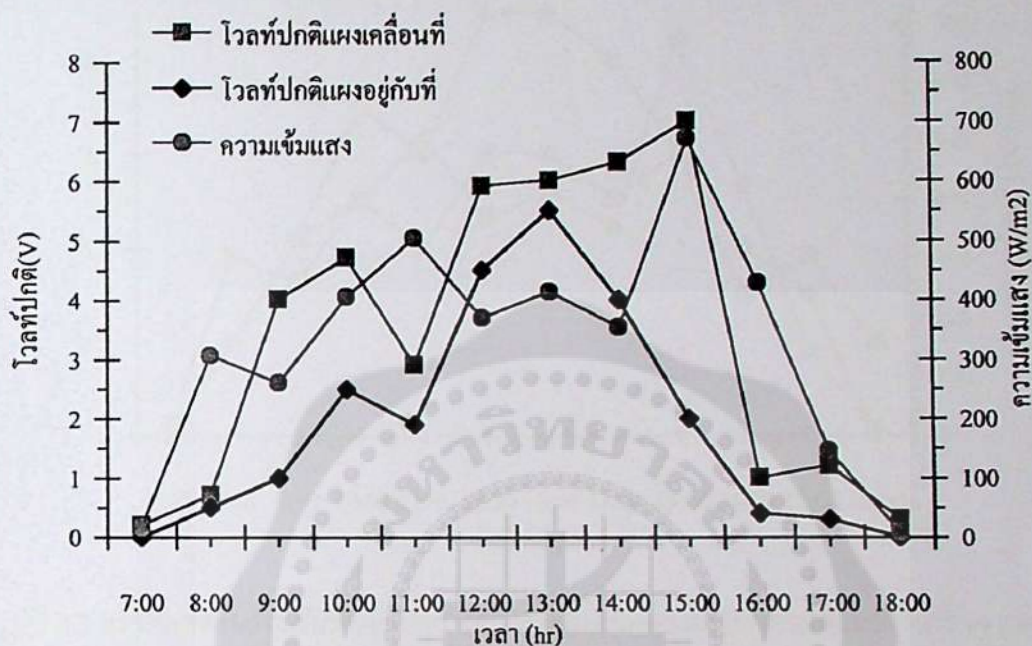
2.9 เมื่อเวลาทำการบันทึกค่า Volt และ Amp ทั้ง 2 ชุด 1 ครั้ง และสลับสวิทช์เพื่อ

เปลี่ยนมาวัดเมื่อมีโหลดและจดค่า Volt สูงสุด และ Amp สูงสุด ทั้ง 2 ชุดอีก 1 ครั้ง

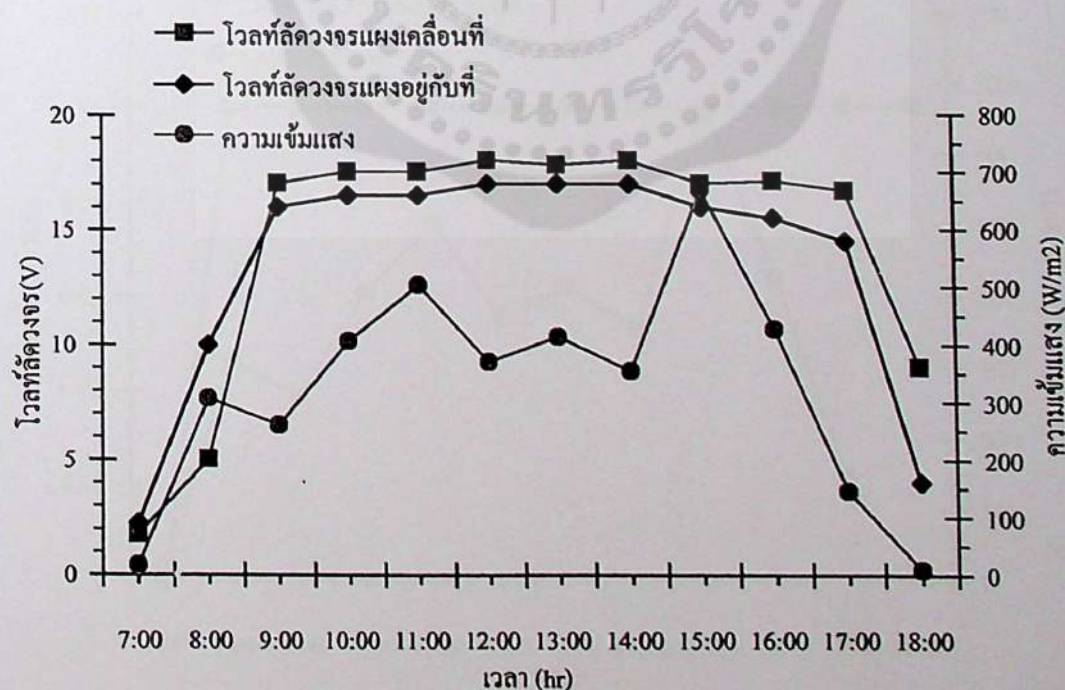
2.10 ทำการทดลองจนครบเวลา

หมายเหตุ โครงการงานวิศวกรรมนี้ทำการทดลองเป็นเวลา 10 วัน

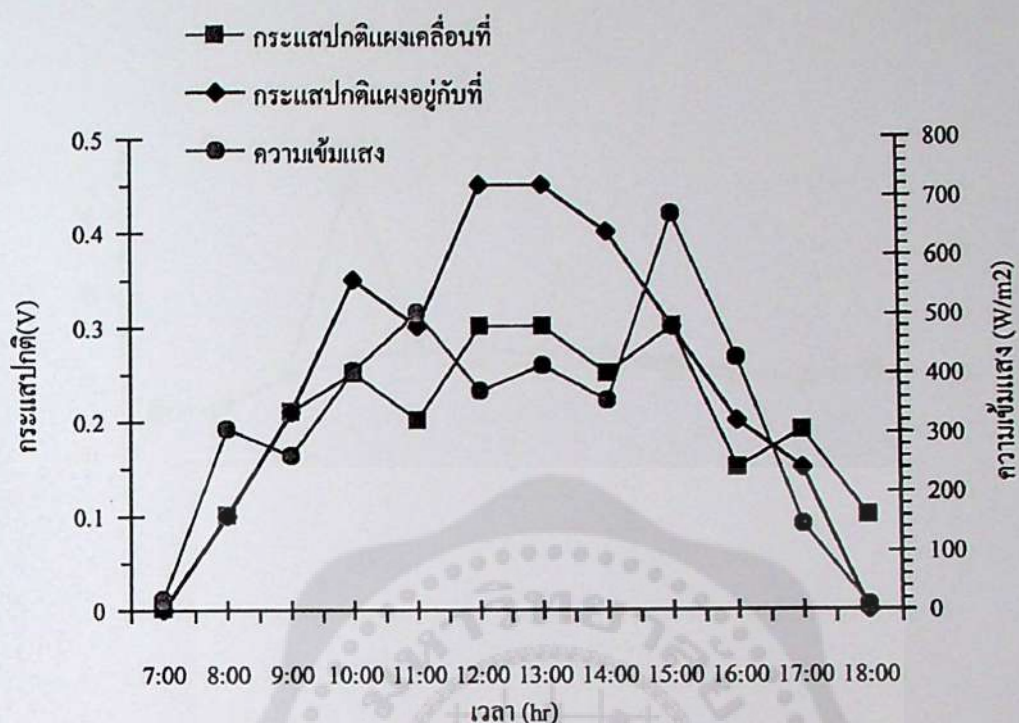
ตัวอย่างผลการทดลองที่ได้ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2544 สามารถนำค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้มาสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบระหว่าง V_{oc} , V_m , I_{sc} , I_m กับความเข้มแสงที่ได้รับ (P_m) มีหน่วยเป็น W/m^2 ทั้งแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ และแบบอยู่กับที่



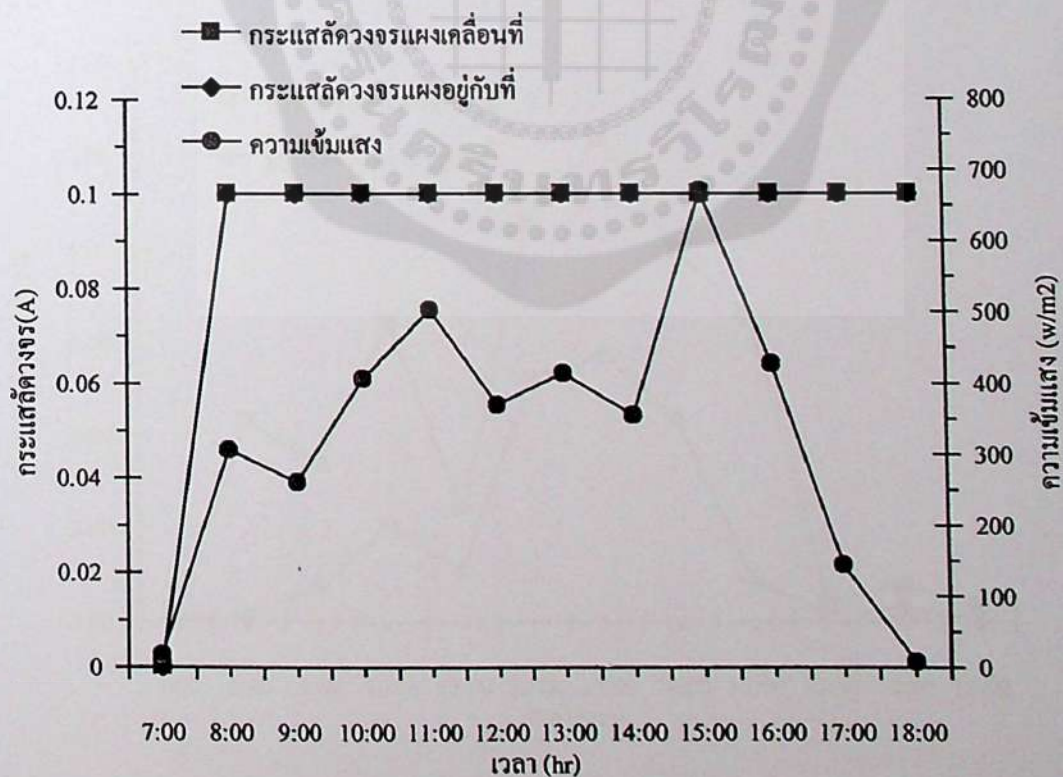
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เปิดกับความเข้มของแสงของวันที่ 14 กพ. 44



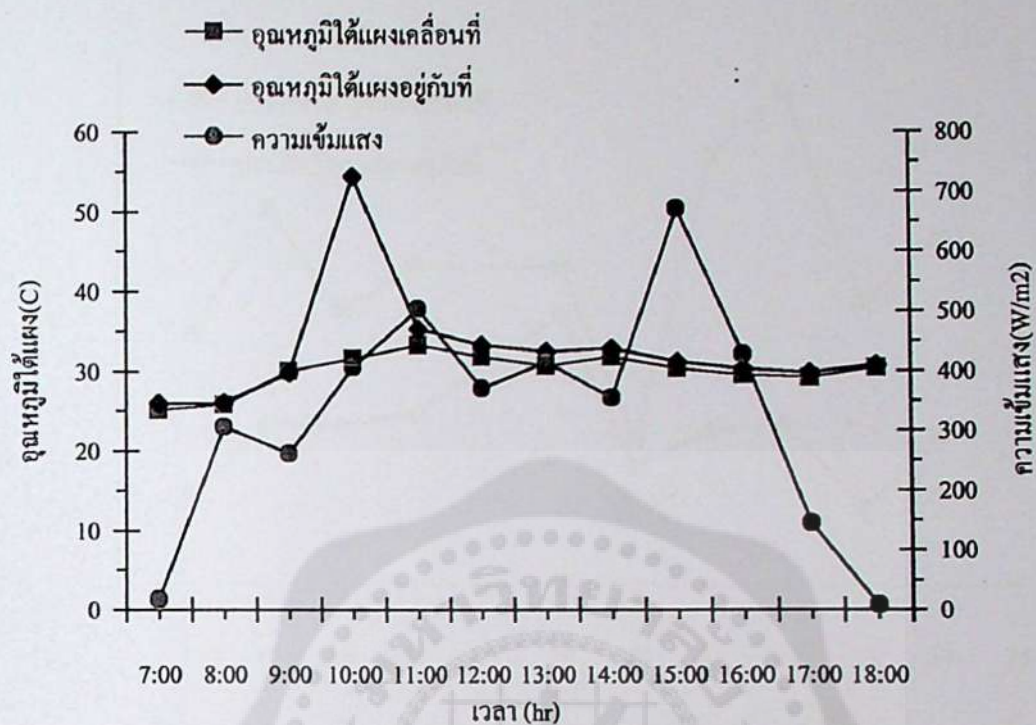
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์ลัดวงจรกับความเข้มของแสงของวันที่ 14 กพ. 44



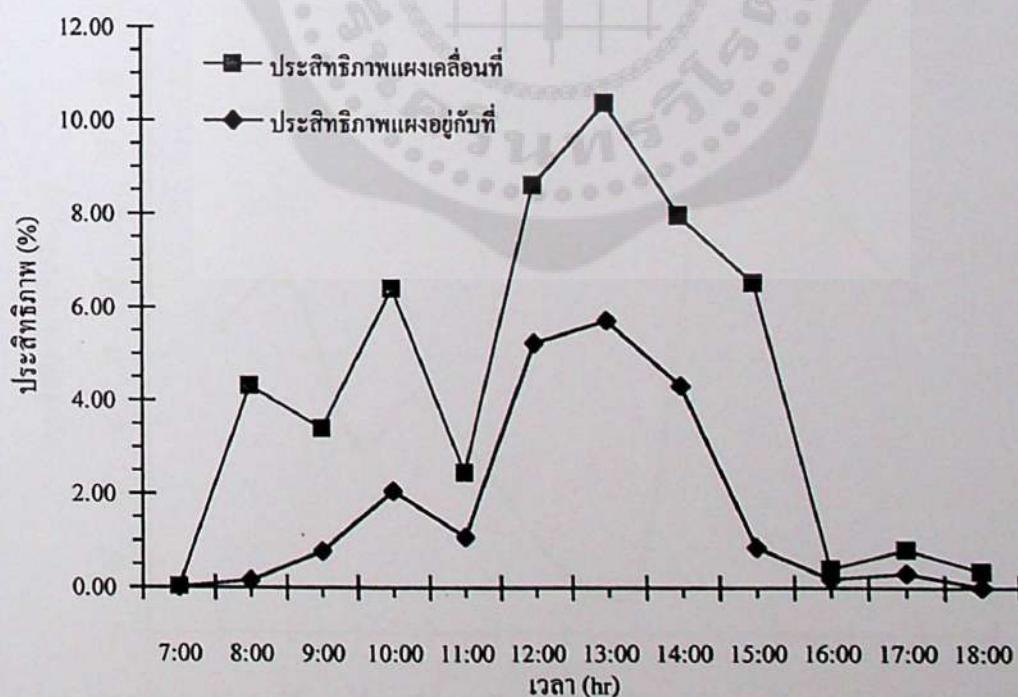
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเปิดกับความเข้มของแสงของวันที่ 14 กพ. 44



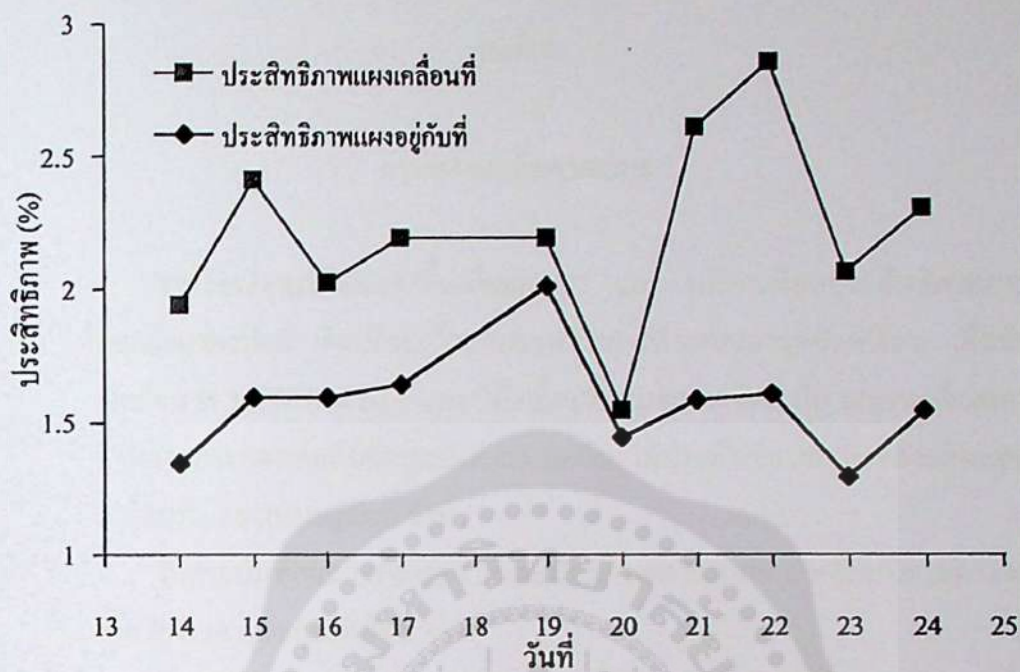
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสลัดวงจรกับความเข้มของแสงของวันที่ 14 กพ. 44



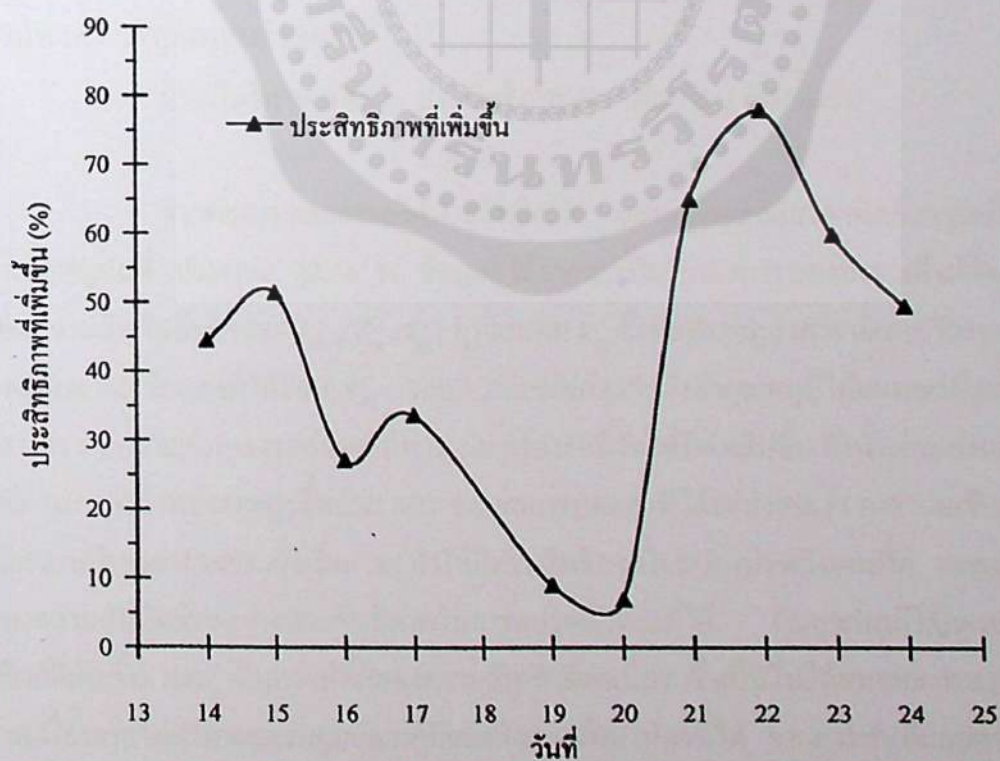
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิได้แสงกับความเข้มของแสงของวันที่ 14 กพ. 44



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับประสิทธิภาพของแสงเคลื่อนที่และอยู่กับที่ของวันที่ 14 กพ. 44



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพแบบเคลื่อนที่และแบบอยู่กับที่



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบอัตราส่วนประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นระหว่างแบบเคลื่อนที่กับอยู่กับที่

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากโครงการที่ได้จัดทำขึ้นเพื่อทดสอบ และ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปรพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเปรียบเทียบกันระหว่างการทำงานของชุดขับเคลื่อน เพื่อขับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W จำนวน 1 แผง ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ กับ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ ซึ่งจากการทดลองเก็บข้อมูลเป็นเวลา 10 วัน ได้ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ และ แบบอยู่กับที่ ดังนี้

ในการบันทึกผลการทดลองได้ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ จากข้อมูลตั้งแต่วันที่ 14 – 24 กุมภาพันธ์ 2544

$$\begin{aligned}\text{ประสิทธิภาพเฉลี่ย} &= \text{ประสิทธิภาพของแต่ละวัน} / \text{จำนวนวัน} \\ &= 2.1916 \%\end{aligned}$$

ในการบันทึกผลการทดลองได้ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแบบอยู่กับที่จากข้อมูลตั้งแต่วันที่ 14 – 24 กุมภาพันธ์ 2544

$$\begin{aligned}\text{ประสิทธิภาพเฉลี่ย} &= \text{ประสิทธิภาพของแต่ละวัน} / \text{จำนวนวัน} \\ &= 1.58 \%\end{aligned}$$

จากผลการทดลองจะได้ประสิทธิภาพ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่สูงกว่าแบบอยู่กับที่ ประมาณ 42.38 % ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกผลการทดลองจะเห็นได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{oc} , V_m , I_{sc} , I_m เทียบกับ P_n ซึ่งผลปรากฏว่าพารามิเตอร์ที่ทำการวัดจะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่ได้รับ (P_n ; W/m^2) และยังคงคำนึงถึงอุณหภูมิได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย และจากความเข้มแสงจะส่งผลให้พารามิเตอร์ต่างๆที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นย่อมส่งผลให้ประสิทธิภาพการแปรพลังงานสูงขึ้นด้วย และ จากผลการทดลองที่ได้จะสังเกตว่า ค่าความเข้มแสงที่ได้จะมีค่ามากในเวลา 15:00น. ซึ่งเป็น ผลทำให้มีประสิทธิภาพในการแปรพลังงานที่ดี และจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการแปรพลังงานที่ได้ กับอุณหภูมิได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้น และ เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นไปได้ยากต่อการสรุปผลของกราฟเนื่องจากไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมให้คงที่ได้ จากการบันทึกผลการทดลองในตารางได้รวบรวมไว้ในภาคผนวกที่ 1 ซึ่งกราฟแสดงความสัมพันธ์ที่กล่าวถึงนี้จะยกตัวอย่างจากผลการทดลองในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2544 ที่มีการเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ และอยู่กับที่ จากผลการ

ทดลองที่ได้ปรากฏว่า แสงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการแปรพลังงานที่สูงกว่า เนื่องมาจากแสงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับลำแสงของดวงอาทิตย์อยู่ตลอดเวลาที่ได้คำนวณ และตั้งมุมเอาไว้ในขณะที่ทดลอง ย่อมทำให้โอกาสของการรับแสงมีการต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลาเช่นกัน ซึ่งความเข้มแสงที่ได้รับจะมีค่ามากกว่าอยู่กับที่ อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากการทดลองอาจมีค่าผิดพลาดเนื่องจากในช่วงบันทึกผลการทดลองสภาวะอากาศในบางวันมีเมฆบดบังมากซึ่งเป็นผลกระทบทางกระแสไฟฟ้าดังนั้นผลการทดลองอาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้

ตัวแปรที่มีผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการบันทึกผลจากตัวแปรดังนี้

- 1 มลภาวะที่ปกคลุมบนชั้นบรรยากาศ
- 2 ช่วงของฤดูกาล
- 3 การทำงานของชุดขับเคลื่อน
- 4 คุณภาพของวัสดุที่ใช้ในการทำชุดแสงเซลล์แสงอาทิตย์

ข้อเสนอแนะ

ในส่วนความสำคัญที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการแปรพลังงานของแสงเซลล์แสงอาทิตย์ นั่นก็คืออุณหภูมิได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นผลมาจากความเข้มแสงที่เกิดขึ้น และอุณหภูมิของอากาศ และการทดสอบภาคสนามไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ ดังนั้นถ้าจะบันทึกผลการทดลองให้เห็นไปตามทฤษฎี จะต้องเป็นลักษณะห้องทดลองพลังงานแสงอาทิตย์เทียม ซึ่งภายในห้องทดลองเราสามารถควบคุมอุณหภูมิรอบๆด้านได้ ดังนั้นจึงจะได้อุณหภูมิตามคุณลักษณะของแสงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 25°C อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก 1°C ทำให้แรงเคลื่อนลดลง 0.5 ย่อมมีผลทำให้ประสิทธิภาพลดลงด้วยเช่นกัน และควรจะมีระยะเวลาในการทดลองครอบคลุมทั้งสามฤดูกาลเพื่อที่จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่แม่นยำยิ่งขึ้น

โครงการวิศวกรรมนี้เป็นโครงการผลิตพลังงานที่ไม่เกิดมลภาวะ ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าควรจะมีการค้นคว้าและวิจัยต่อ คือจะทำอย่างไรจะให้พลังงานที่ออกมามากกว่าพลังงานที่เข้าจึงจะมีความคุ้มค่า และโครงการยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการอื่นได้เป็นอย่างดี

บรรณานุกรม

ธงชัย ศิริประยูกต์ , พลังงานแสงแดด : ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์
อุตสาหกรรม และ วิทยาศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าวิทยาเขตพระนครเหนือ
กรุงเทพมหานคร , 2528

มารีนา มะหนี , วิศวกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ยุทธ อัครมาส , ฟิสิกส์ของระบบเซลล์สุริยะ : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2530

ผศ. สุพัฒน์ ราชณรงค์ , ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยา
ศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง , พิมพ์ครั้งที่ 3 , 2530

สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว , เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกที่ 1

ตารางบันทึกผลการทดลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่และแบบอยู่กับที่

ตารางภาคผนวกที่ 1.1 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 14/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°) อากาศ	Temp(C°) ใต้แผง	$P_{in}(W/m^2)$
7:00	2.75	0	0.2	0	25.6	25	16.091
8:00	5	0.1	0.7	0.1	25.8	25.7	305.5
9:00	17	0.1	4	0.21	25.9	29.9	259.7
10:00	17.5	0.1	4.7	0.25	29.2	31.4	404.6
11:00	17.5	0.1	2.9	0.2	29.6	33.1	502.2
12:00	18	0.1	5.9	0.3	30.7	31.7	369.01
13:00	17.8	0.1	6	0.3	29.2	30.5	413.37
14:00	18	0.1	6.3	0.25	29.5	31.7	353.86
15:00	17	0.1	7	0.3	29	30.2	670
16:00	17.1	0.1	1	0.15	28.9	29.4	426.6
17:00	16.7	0.1	1.2	0.19	28.7	29.1	144.33
18:00	9	0.1	0.5	0.1	29.2	30.3	7.372

$$\overline{I_{sc}} = 0.0916 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 14.44 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.195 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 3.366 \text{ V}$$

$$\overline{P_{in}} = 322.71 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

จากสมการ (2.8)

$$F.F. = (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}})$$

$$= 0.496$$

จากสมการ (2.9)

$$\eta = (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_{in}} \times A)$$

$$= 1.936 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.2 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 14/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°) อากาศ	Temp(C°) ใต้แผง	$P_n(W/m^2)$
7:00	2.25	0	0	0	25.6	25.9	16.091
8:00	10	0.1	0.5	0.1	25.8	26	305.5
9:00	16	0.1	1	0.21	25.9	29.7	259.7
10:00	16.5	0.1	2.5	0.35	29.2	34.3	404.6
11:00	16.5	0.1	1.9	0.3	29.6	35.2	502.2
12:00	17	0.1	4.5	0.45	30.7	33.2	369.01
13:00	17	0.1	5.5	0.45	29.2	32.4	413.37
14:00	17	0.1	4	0.4	29.5	32.8	353.86
15:00	16	0.1	2	0.3	29	31.1	670
16:00	15.5	0.1	0.4	0.2	28.9	30.2	426.6
17:00	14.5	0.1	0.3	0.15	28.7	29.7	144.33
18:00	4	0.1	0	0	29.2	30.7	7.372

$$\overline{I_{sc}} = 0.0916 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 13.52 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.242 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 1.88 \text{ V}$$

$$\overline{P_n} = 322.71 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.8)} \quad F.F. &= (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}}) \\ &= 0.0367 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.9)} \quad \eta &= (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_n} \times A) \\ &= 1.341 \% \end{aligned}$$

$$\Delta\eta = 0.595 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น} = 44.36 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.3 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 15/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C ^o) อากาศ	Temp(C ^o) ใต้แผง	$P_n(W/m^2)$
7:00	15.5	0.05	0.2	0.1	26.8	28.5	16.189
8:00	17.5	0.1	0.5	0.2	27.5	27.2	395.1
9:00	18.2	0.1	1.9	0.4	26.6	29.3	635.5
10:00	18.1	0.1	5	0.4	29.2	33.5	924.9
11:00	18	0.1	8	0.4	29.6	31.2	941.5
12:00	18	0.1	10.9	0.4	32.3	35.7	951.2
13:00	17.9	0.1	11	0.4	33.9	39.3	920.1
14:00	17.1	0.1	11	0.39	35.9	40.1	971
15:00	17.5	0.1	9	0.3	33.5	38.5	779.2
16:00	17.2	0.1	6.5	0.3	32.9	36.3	671.8
17:00	16.5	0.1	2	0.2	30.2	32.14	463
18:00	11	0.1	0	0.1	30.5	30.1	94.33

$$\overline{I_{sc}} = 0.095 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 16.87 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.299 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 5.5 \text{ V}$$

$$\overline{P_n} = 646.98 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

จากสมการ (2.8)

$$F.F. = \frac{\overline{V_m} \times \overline{I_m}}{\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}}} = 1.02$$

จากสมการ (2.9)

$$\eta = \frac{\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100}{\overline{P_n} \times A} = 2.406 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.4 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 15/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°) อากาศ	Temp(C°) ใต้แผง	$P_{in}(W/m^2)$
7:00	6	0.05	0	0.1	26.8	29.2	16.189
8:00	13.5	0.1	0	0.1	27.5	27.8	395.1
9:00	17	0.1	2	0.3	26.6	29.4	635.5
10:00	17	0.1	4	0.4	29.2	35.1	924.9
11:00	17	0.1	7	0.5	29.6	34.7	941.5
12:00	17	0.1	9	0.5	32.3	38.2	951.2
13:00	16.5	0.1	9	0.5	33.9	41.2	920.1
14:00	16	0.1	7.2	0.5	35.9	42.9	971
15:00	16.4	0.1	4	0.4	33.5	40.7	779.2
16:00	16	0.1	1	0.25	32.9	35.8	671.8
17:00	13.5	0.1	0	0.1	30.2	33.7	463
18:00	5	0.1	0	0	30.5	31.6	94.33

$$\overline{I_{sc}} = 0.095 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 14.24 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.304 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 3.6 \text{ V}$$

$$\overline{P_{in}} = 646.98 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

จากสมการ (2.8)

$$F.F. = (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}})$$

$$= 0.8$$

จากสมการ (2.9)

$$\eta = (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_{in}} \times A)$$

$$= 1.59 \%$$

$$\Delta\eta = 0.816 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น} = 51.32 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.5 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 16/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°) อากาศ	Temp(C°) ใต้แผง	$P_m(W/m^2)$
7:00	9.5	0	0.1	0	22.3	22.6	12.679
8:00	17.5	0.05	2	0.1	22.7	23.2	345.8
9:00	18.1	0.1	5.5	0.3	24.3	28.3	602.7
10:00	18.2	0.1	8	0.35	27	31.1	790.1
11:00	18	0.1	8.9	0.4	27.9	32.6	894
12:00	18.2	0.1	9.5	0.35	28.1	32.9	912.3
13:00	18	0.1	9	0.35	29.7	36.7	946.5
14:00	17.5	0.1	8	0.3	31.6	39.8	867.8
15:00	17.4	0.1	6.5	0.3	30.2	39.9	747.4
16:00	17.1	0.1	3.1	0.2	30.7	40	611
17:00	16	0.1	1	0.2	31.6	35.1	326.8
18:00	0	0.1	0.5	0.1	31.4	30.3	45.65

$$\overline{I_{sc}} = 0.087 A$$

$$\overline{V_{oc}} = 16.29 V$$

$$\overline{I_m} = 0.245 A$$

$$\overline{V_m} = 5.175 V$$

$$\overline{P_m} = 591.89 W/m^2$$

$$A = 0.105 m^2$$

จากสมการ (2.8)

$$F.F. = \frac{\overline{V_m} \times \overline{I_m}}{\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}}} = 0.89$$

จากสมการ (2.9)

$$\eta = \frac{\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100}{\overline{P_m} \times A} = 2.02 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.6 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 16/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp($^{\circ}C$)	Temp($^{\circ}C$)	$P_n(W/m^2)$
					อากาศ	ใต้แผง	
7:00	4.5	0	0	0	22.3	22.2	12.679
8:00	14.5	0.1	0	0.1	22.7	23.5	345.8
9:00	16.8	0.1	1.5	0.25	24.3	29.7	602.7
10:00	17.1	0.1	4.5	0.39	27	31.2	790.1
11:00	17	0.1	7.5	0.45	27.9	34.3	894
12:00	17.1	0.1	9	0.5	28.1	35.8	912.3
13:00	17	0.1	8.5	0.5	29.7	38.2	946.5
14:00	16.5	0.1	7.5	0.45	31.6	40.1	867.8
15:00	16.4	0.1	4	0.35	30.2	40.5	747.4
16:00	15.5	0.1	0.5	0.2	30.7	41.2	611
17:00	14	0.1	0	0.15	31.6	36.3	326.8
18:00	5	0.1	0	0	31.4	30.1	45.65

$$\overline{I_{sc}} = 0.0916 A$$

$$\overline{V_{oc}} = 14.28 V$$

$$\overline{I_m} = 0.278 A$$

$$\overline{V_m} = 3.583 V$$

$$\overline{P_n} = 591.89 W/m^2$$

$$A = 0.105 m^2$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.8)} \quad F.F. &= (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}}) \\ &= 0.76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.9)} \quad \eta &= (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_n} \times A) \\ &= 1.59 \% \end{aligned}$$

$$\Delta\eta = 0.43 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น} = 27.04 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.7 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 17/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°) อากาศ	Temp(C°) ใต้แผง	$P_{in}(W/m^2)$
7:00	8	0	0.4	0	23.2	23.7	16.343
8:00	17.5	0.1	2	0.2	23.5	28.1	322.1
9:00	18	0.1	4.9	0.3	25.2	30.2	605.4
10:00	18.1	0.1	8.5	0.4	28.5	32	750.2
11:00	18.4	0.1	9	0.4	26.4	31	848.9
12:00	18	0.1	9.5	0.4	30	36	952.8
13:00	17.8	0.1	9	0.4	32.7	34.2	933.7
14:00	17.7	0.1	8.9	0.39	31	38.5	898.6
15:00	17.5	0.1	5.9	0.3	35.7	38.5	784.7
16:00	17	0.1	3.1	0.2	32.3	38	556.5
17:00	15.5	0.09	0.6	0.15	30.5	33.7	337.6
18:00	0.9	0.05	0.2	0.05	29.4	31.6	50.53

$$\overline{I_{sc}} = 0.09 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 15.36 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.265 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 5.16 \text{ V}$$

$$\overline{P_{in}} = 588.08 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

จากสมการ (2.8)

$$F.F. = (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}})$$

$$= 0.98$$

จากสมการ (2.9)

$$\eta = (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_{in}} \times A)$$

$$= 2.19 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.8 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 17/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C ^o) อากาศ	Temp(C ^o) ใต้แผง	$P_n(W/m^2)$
7:00	5	0	0	0	23.2	24.5	16.343
8:00	15	0.1	0.1	0.2	23.5	27.7	322.1
9:00	16.5	0.1	1	0.25	25.2	35.1	605.4
10:00	17.1	0.1	5.5	0.4	28.5	36	750.2
11:00	17	0.1	6	0.4	26.4	33.2	848.9
12:00	17	0.1	9	0.5	30	38.3	952.8
13:00	16.5	0.1	9	0.5	32.7	37.4	933.7
14:00	17	0.1	7	0.5	31	38	898.6
15:00	16.5	0.1	3	0.35	35.7	38	784.7
16:00	16	0.1	1	0.25	32.3	34.5	556.5
17:00	13	0.09	0.1	0.15	30.5	31.7	337.6
18:00	0.5	0.03	0	0.01	29.4	30.2	50.53

$$\overline{I_{sc}} = 0.085 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 13.925 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.292 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 3.475 \text{ V}$$

$$\overline{P_n} = 588.08 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

จากสมการ (2.8)

$$F.F. = (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}})$$

$$= 0.857$$

จากสมการ (2.9)

$$\eta = (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_n} \times A)$$

$$= 1.64 \%$$

$$\Delta\eta = 0.55 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น} = 33.53 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.9 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 19/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°) อากาศ	Temp(C°) ใต้แผง	$P_n(W/m^2)$
7:00	14	0	0.5	0	25	31.2	14.558
8:00	17.2	0.1	2	0.1	25.3	33.7	262.3
9:00	17.4	0.1	3.4	0.2	26.5	34.6	489.5
10:00	17.6	0.1	6	0.25	30.2	34.5	668.7
11:00	17.5	0.1	7.5	0.3	31	38	784.3
12:00	17.5	0.1	8	0.4	33.3	39.4	801.7
13:00	17.5	0.1	8.5	0.3	33.2	39.2	764.8
14:00	17.5	0.1	8	0.3	34.9	38.3	250.34
15:00	17.4	0.1	6.5	0.3	33.1	36.5	540.7
16:00	17	0.1	3	0.2	32.5	35	448.4
17:00	15.1	0.1	0.5	0.1	31.5	32.4	290.2
18:00	1	0.1	0.2	0.05	29.6	30.5	22.94

$$\overline{I_{sc}} = 0.0916 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 15.55 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.208 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 4.508 \text{ V}$$

$$\overline{P_n} = 444.87 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

จากสมการ (2.8)

$$F.F. = (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}})$$

$$= 0.658$$

จากสมการ (2.9)

$$\eta = (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_n} \times A)$$

$$= 2.009 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.10 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 19/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°) อากาศ	Temp(C°) ใต้แผง	$P_n(W/m^2)$
7:00	8.5	0	0	0	25	29.8	14.558
8:00	16	0.1	0.1	0.2	25.3	30	262.3
9:00	16	0.1	1	0.2	26.5	32.4	489.5
10:00	17	0.1	4	0.4	30.2	35	668.7
11:00	17	0.1	7	0.5	31	37.1	784.3
12:00	17	0.1	9	0.5	33.3	40	801.7
13:00	17	0.1	8	0.5	33.2	36	764.8
14:00	17	0.1	7	0.5	34.9	37.1	250.34
15:00	16.5	0.1	4	0.4	33.1	37.5	540.7
16:00	16	0.1	1	0.3	32.5	36	448.4
17:00	14	0.1	0	0.1	31.5	32.4	290.2
18:00	0.4	0.1	0	0.1	29.6	30.	22.94

$$\overline{I_{sc}} = 0.0916 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 14.36 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.3 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 3.425 \text{ V}$$

$$\overline{P_n} = 444.87 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

จากสมการ (2.8)

$$F.F. = (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}})$$

$$= 0.781$$

จากสมการ (2.9)

$$\eta = (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_n} \times A)$$

$$= 2.19 \%$$

$$\Delta\eta = 0.181 \%$$

ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น = 9.00 %

ตารางภาคผนวกที่ 1.11 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 20/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°) อากาศ	Temp(C°) ใต้แผง	$P_n(W/m^2)$
7:00	4	0.05	0.1	0	23.7	24	16.9
8:00	15.5	0.1	0.5	0.1	25.3	28.2	212.9
9:00	17.4	0.1	2.4	0.2	27.5	30.5	452
10:00	17.7	0.1	6.5	0.3	30.5	33.4	655.6
11:00	17.5	0.1	8	0.3	31.5	37	748
12:00	17.5	0.1	8.5	0.3	34.8	34.7	697.2
13:00	17.5	0.1	8.3	0.3	32.5	37.9	776.7
14:00	17.3	0.1	6.5	0.2	33.6	40	723.5
15:00	16.8	0.1	5.9	0.3	32.7	35.2	674.7
16:00	16.2	0.1	1	0.2	31	32	516.3
17:00	11.5	0.1	0.2	0.05	29.8	30	290.3
18:00	7	0.05	0.1	0.05	29.8	29.8	50.68

$$\overline{I_{sc}} = 0.0916 A$$

$$\overline{V_{oc}} = 14.65 V$$

$$\overline{I_m} = 0.1916 A$$

$$\overline{V_m} = 4 V$$

$$\overline{P_n} = 484.54 W/m^2$$

$$A = 0.105 m^2$$

จากสมการ (2.8)

$$F.F. = (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}})$$

$$= 0.584$$

จากสมการ (2.9)

$$\eta = (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_n} \times A)$$

$$= 1.54 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.12 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 20/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°) อากาศ	Temp(C°) ใต้แผง	$P_m(W/m^2)$
7:00	3	0	0	0	23.7	23.4	16.9
8:00	13.5	0.1	0	0.15	25.3	26.5	212.9
9:00	16.5	0.1	0.5	0.2	27.5	31	452
10:00	17	0.1	3.5	0.35	30.5	35.2	655.6
11:00	17	0.1	6	0.45	31.5	35.4	748
12:00	17	0.1	7.5	0.5	34.8	38.5	697.2
13:00	17	0.1	7.5	0.5	32.5	38.2	776.7
14:00	16.5	0.1	5.1	0.4	33.6	38.2	723.5
15:00	15.7	0.1	3.2	0.3	32.7	34.3	674.7
16:00	15	0.1	0.05	0.2	31	32.5	516.3
17:00	8.5	0.05	0	0.05	29.8	30.8	290.3
18:00	6	0.05	0	0.05	29.8	30.2	50.68

$$\overline{I_{sc}} = 0.0833 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 13.141 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.265 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 2.779 \text{ V}$$

$$\overline{P_{in}} = 484.54 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.8)} \quad F.F. &= (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}}) \\ &= 0.672 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.9)} \quad \eta &= (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_{in}} \times A) \\ &= 1.44 \% \end{aligned}$$

$$\Delta\eta = 0.1 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น} = 6.94 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.13 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 21/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°) อากาศ	Temp(C°) ใต้แผง	$P_m(W/m^2)$
7:00	5	0.05	0	0	25	25	19.321
8:00	16	0.1	0.1	0.1	27	28.1	80.366
9:00	17.4	0.1	3	0.2	28.8	31.2	484.1
10:00	17	0.1	3	0.2	28.8	31.2	544.3
11:00	17.5	0.1	8	0.3	32.2	37.3	735.2
12:00	17.5	0.1	6	0.3	32.1	38.1	458.2
13:00	18	0.1	8.3	0.45	33.1	40.8	310.71
14:00	17.9	0.1	6.5	0.35	38.7	43.2	602
15:00	17.4	0.1	5.9	0.5	36	45.8	749.2
16:00	16.5	0.1	2	0.2	33.4	41.3	560.9
17:00	12.3	0.1	1.2	0.1	31.9	32.1	313.5
18:00	8.3	0.05	1	0.05	30.2	30.8	56.6

$$\overline{I_{sc}} = 0.129 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 15.066 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.229 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 3.75 \text{ V}$$

$$\overline{P_m} = 409.53 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

จากสมการ (2.8)

$$F.F. = (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}})$$

$$= 0.576$$

จากสมการ (2.9)

$$\eta = (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_m} \times A)$$

$$= 2.605 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.14 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 21/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°) อากาศ	Temp(C°) ใต้แผง	$P_n(W/m^2)$
7:00	5	0.05	0	0	25	25	19.321
8:00	13.5	0.1	0	0.1	27	23.2	80.366
9:00	13.8	0.1	0.1	0.1	28.8	22.6	484.1
10:00	16	0.1	0.1	0.2	28.8	22.6	544.3
11:00	17	0.1	6	0.45	32.2	38.5	735.2
12:00	17	0.1	9	0.5	32.1	38.3	458.2
13:00	16.5	0.1	7	0.5	33.1	45.9	310.71
14:00	16	0.1	6	0.45	38.7	45.8	602
15:00	16	0.1	3	0.4	36	46.5	749.2
16:00	15	0.1	1	0.2	33.4	40.2	560.9
17:00	10	0.1	0	0.1	31.9	33	313.5
18:00	6	0.05	0	0.05	30.2	31	56.6

$$\overline{I_{sc}} = 0.129 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 13.483 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.254 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 2.683 \text{ V}$$

$$\overline{P_n} = 409.53 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.8)} \quad F.F. &= (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}}) \\ &= 0.391 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.9)} \quad \eta &= (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_n} \times A) \\ &= 1.58 \% \end{aligned}$$

$$\Delta\eta = 1.025 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น} = 64.87 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.15 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 22 / 2 / 44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C ^o) อากาศ	Temp(C ^o) ใต้แผง	$P_n(W/m^2)$
7:00	15.2	0.1	0.5	0.1	26	28.6	16.038
8:00	17.5	0.1	3	0.2	27.6	31.3	228.6
9:00	17.7	0.1	4	0.2	28.6	33.6	488.6
10:00	18.1	0.1	6.5	0.3	29.5	33.4	744.4
11:00	18.1	0.1	9	0.3	30	36.4	786.3
12:00	17.7	0.1	10	0.4	32.2	39	746.9
13:00	17.8	0.1	9	0.3	36	41	687.6
14:00	17.5	0.1	7.5	0.3	34.4	39	147.442
15:00	17.1	0.1	7.1	0.3	34.8	38.4	649.2
16:00	17	0.1	3	0.2	33.2	34.2	59.148
17:00	16.8	0.1	1	0.2	32	32.9	263.6
18:00	6	0.1	0.2	0.01	29.8	30	59.25

$$\overline{I_{sc}} = 0.1 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 16.375 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.241 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 5.066 \text{ V}$$

$$\overline{P_n} = 406.42 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

จากสมการ (2.8)

$$F.F. = (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}})$$

$$= 0.745$$

จากสมการ (2.9)

$$\eta = (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_n} \times A)$$

$$= 2.85 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.16 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 22/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°) อากาศ	Temp(C°) ใต้แผง	$P_n(W/m^2)$
7:00	11	0.1	0	0.1	26	28.3	16.038
8:00	16	0.1	0.2	0.2	27.6	30.4	228.6
9:00	16.2	0.1	0.5	0.25	28.6	32	488.6
10:00	17	0.1	3.2	0.35	29.5	36	744.4
11:00	15	0.1	1	0.2	30	34	786.3
12:00	16.7	0.1	8	0.5	32.2	42.1	746.9
13:00	17	0.1	7.3	0.5	36	46	687.6
14:00	16	0.1	5.2	0.45	34.4	44.1	147.442
15:00	16.1	0.1	4	0.4	34.8	42.2	649.2
16:00	15.5	0.1	0.5	0.2	33.2	35.3	59.148
17:00	14	0.1	0	0.1	32	33.5	263.6
18:00	2	0.1	0	0.05	29.8	30.1	59.25

$$\overline{I_{sc}} = 0.1 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 14.375 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.275 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 2.491 \text{ V}$$

$$\overline{P_n} = 406.42 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.8)} \quad F.F. &= (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}}) \\ &= 0.476 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.9)} \quad \eta &= (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_n} \times A) \\ &= 1.603 \% \end{aligned}$$

$$\Delta\eta = 1.247 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น} = 77.79 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.17 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 23 / 2 / 44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°)	Temp(C°)	$P_{in}(W/m^2)$
					อากาศ	ใต้แผง	
7:00	8.5	0.05	0.1	0.05	25.2	26.3	23.763
8:00	16.1	0.1	0.5	0.1	28.3	30.2	257.1
9:00	17.9	0.1	5	0.2	30.2	35	506.4
10:00	18	0.1	8	0.3	31.9	35	624.3
11:00	18	0.1	9	0.4	32.3	35	865.7
12:00	17.6	0.1	9	0.3	34.3	37.3	932.4
13:00	17.5	0.1	8.9	0.4	35.2	40.5	869.2
14:00	17.5	0.1	8.5	0.3	34.5	37	848.5
15:00	17.5	0.1	6.5	0.3	33.2	35.4	720.4
16:00	17.5	0.1	4.5	0.2	32.6	35.8	260.23
17:00	16	0.1	0.9	0.1	31.2	32.5	339
18:00	6	0.05	0.2	0.05	30.1	30.2	65.8

$$\overline{I_{sc}} = 0.0916 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 15.591 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.225 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 5.091 \text{ V}$$

$$\overline{P_{in}} = 526.06 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

จากสมการ (2.8)

$$F.F. = (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}})$$

$$= 0.802$$

จากสมการ (2.9)

$$\eta = (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_{in}} \times A)$$

$$= 2.06 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.18 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 23/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°) อากาศ	Temp(C°) ใต้แผง	$P_{in}(W/m^2)$
7:00	6.5	0.05	0	0	25.2	26.3	23.763
8:00	12	0.1	0	0.1	28.3	30	257.1
9:00	16	0.1	0.5	0.2	30.2	33	506.4
10:00	16.5	0.1	3.5	0.4	31.9	35.3	624.3
11:00	16.9	0.1	5.8	0.4	32.3	38	865.7
12:00	16.5	0.1	7	0.5	34.3	39.2	932.4
13:00	16.5	0.1	6.9	0.5	35.2	43.1	869.2
14:00	16.2	0.1	5.5	0.4	34.5	42.3	848.5
15:00	16.1	0.1	3	0.35	33.2	39.6	720.4
16:00	16	0.1	0.5	0.2	32.6	34.6	260.23
17:00	12.5	0.1	0	0.1	31.2	32.5	339
18:00	3	0.05	0	0	30.1	31	65.8

$$\overline{I_{sc}} = 0.0916 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 13.725 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.262 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 2.725 \text{ V}$$

$$\overline{P_{in}} = 526.06 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.8)} \quad F.F. &= (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}}) \\ &= 0.567 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.9)} \quad \eta &= (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_{in}} \times A) \\ &= 1.29 \% \end{aligned}$$

$$\Delta\eta = 0.77 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น} = 59.68 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.19 ผลการทดลองแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 24/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C ^o) อากาศ	Temp(C ^o) ใต้แผง	$P_n(W/m^2)$
7:00	8	0.1	0.1	0.1	23.8	23.9	21.93
8:00	17.5	0.1	2.5	0.2	26.9	30.2	330.9
9:00	17.7	0.1	8.4	0.3	29.2	36.1	679.5
10:00	17.9	0.1	9.5	0.3	32	36	884.3
11:00	17.5	0.1	10	0.4	33.1	38.5	991.7
12:00	17.5	0.1	8.5	0.4	34.1	38.8	1053.4
13:00	17.5	0.1	9	0.4	33.6	38	1049.3
14:00	17.5	0.1	9.4	0.4	36.1	40.1	911.1
15:00	17.2	0.1	6.2	0.3	35.4	39	792.7
16:00	17.5	0.1	6	0.3	34.9	38.5	843.3
17:00	16.5	0.1	1.1	0.2	32	35	653
18:00	10.1	0.05	0.1	0.1	31.9	32.5	101.52

$$\overline{I_{sc}} = 0.0958 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 16.03 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.283 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 5.933 \text{ V}$$

$$\overline{P_n} = 692.72 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

จากสมการ (2.8)

$$F.F. = (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}})$$

$$= 1.093$$

จากสมการ (2.9)

$$\eta = (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_n} \times A)$$

$$= 2.3 \%$$

ตารางภาคผนวกที่ 1.20 ผลการทดลองแบบอยู่กับที่ 24/2/44

Time	$V_{oc}(V)$	$I_{sc}(A)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	Temp(C°) อากาศ	Temp(C°) ใต้แผง	$P_n(W/m^2)$
7:00	4	0.05	0	0.05	23.8	25	21.93
8:00	14.8	0.1	0.1	0.15	26.9	27.3	330.9
9:00	16.5	0.1	1.9	0.3	29.2	33.5	679.5
10:00	16.9	0.1	6.2	0.4	32	37.4	884.3
11:00	16.5	0.1	8	0.5	33.1	44.2	991.7
12:00	16.5	0.1	8	0.5	34.1	41	1053.4
13:00	16.2	0.1	9	0.5	33.6	48	1049.3
14:00	16	0.1	8	0.45	36.1	42.5	911.1
15:00	16.2	0.1	4	0.35	35.4	40.7	792.7
16:00	16.1	0.1	1	0.2	34.9	36.5	843.3
17:00	9.5	0.05	0	0.1	32	32.9	653
18:00	3	0	0	0	31.9	31.3	101.52

$$\overline{I_{sc}} = 0.0833 \text{ A}$$

$$\overline{V_{oc}} = 13.516 \text{ V}$$

$$\overline{I_m} = 0.2916 \text{ A}$$

$$\overline{V_m} = 3.85 \text{ V}$$

$$\overline{P_n} = 692.72 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.105 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.8)} \quad F.F. &= (\overline{V_m} \times \overline{I_m}) / (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}}) \\ &= 0.997 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.9)} \quad \eta &= (\overline{V_{oc}} \times \overline{I_{sc}} \times F.F. \times 100) / (\overline{P_n} \times A) \\ &= 1.54 \% \end{aligned}$$

$$\Delta\eta = 0.76 \%$$

$$\text{ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น} = 49.35 \%$$

ภาคผนวกที่ 2

ตารางการตั้งมุมชั่วโมงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ของแต่ละวัน

ตารางภาคผนวกที่ 2.1 การตั้งมุมชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตามดวงอาทิตย์ของแต่ละวัน

N ว/ค/ป	δ	ω_s	T_d	การเคลื่อนที่ ตามมุมชั่วโมง
N = 45 14 กพ 44	-13.619	86.536	11.538	15°/ชม.
N = 46 15 กพ 44	-13.289	86.623	11.549	15°/ชม.
N = 47 16 กพ 44	-12.954	86.712	11.561	15°/ชม.
N = 48 17 กพ 44	-12.616	86.8	11.573	15°/ชม.
N = 50 19 กพ 44	-11.928	86.98	11.597	15°/ชม.
N = 51 20 กพ 44	-11.579	87.071	11.609	15°/ชม.
N = 52 21 กพ 44	-11.226	87.163	11.621	15°/ชม.
N = 53 22 กพ 44	-10.87	87.255	11.634	15°/ชม.
N = 54 23 กพ 44	-10.51	87.348	11.646	15°/ชม.
N = 55 24 กพ 44	-10.14	87.44	11.659	15°/ชม.



คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

รุ่น	MSx10 (Mega Series Photovoltaic Cells)
กำลังสูงสุด (W.)	10
แรงดันไฟฟ้าที่ กำลังสูงสุด (V.)	17.5
กระแสไฟฟ้าที่ กำลังสูงสุด (A.)	0.57
กระแสไฟฟ้าเมื่อลัดวงจร (A.)	0.6
แรงดันไฟฟ้าเมื่อลัดวงจร (V.)	21.4
จำนวนชิ้นเซลล์ (ชิ้น)	36
ขนาดแผง (cm)	42 x 26.5
น้ำหนักโดยประมาณ (kg)	1.5

* ค่าคลาดเคลื่อนของตัวเลขทางเทคนิคดังกล่าวข้างต้นอยู่ที่ $\pm 10\%$

* ตัวเลขคิดจากสภาพมาตรฐานที่ 100 mW/cm^2 ความเข้มแสง ณ อุณหภูมิ 25°C อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น
ทุกๆ 1°C จะทำให้แรงดัน (V) ลดลง 0.5%



Latitude and Longitude

เป็นเส้นวงกลมบอกตำแหน่งบนผิวโลก

Latitude (เส้นรุ้ง)

เริ่มต้นจากเส้นศูนย์สูตร (ซึ่งนับเป็น 0°) วัดไปตามวงกลมชั่วโมงขึ้นไปทางเหนือ และ วัดลงมาทางใต้

Longitude (เส้นแวง)

เป็นเส้นวงกลมชั่วโมงบนผิวโลก โดยแต่ละเส้นห่างกันช่วงละ 15°

Declination

มุมเดคลิเนชันของดาว หมายถึง มุมที่รองรับที่ผู้สังเกตเวลาเที่ยงโซลาร์ (Solar noon) ระหว่างเวกเตอร์ ที่ขนานกับรังสีแสงดาว และ ผ่านจุดศูนย์กลางโลกกับเงาฉาย (Projection) ของเวกเตอร์นั้นบนระนาบศูนย์สูตร (Equatorial Plane) ของโลกสำหรับดวงอาทิตย์ มุมเดคลิเนชันนี้แปรเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง $+23.5^{\circ}$ ถึง -23.5° ปรากฏการณ์นี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมุมตกกระทบของแสงแดดบนผิวโลก และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวของกลางวันตามฤดูกาล เช่น ที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร (เส้นรุ้ง 0°) เวลากลางวันจะนานประมาณ 12 ชั่วโมง นับจากพระอาทิตย์ขึ้นถึงพระอาทิตย์ตกตลอดทั้งปี แต่ในบริเวณที่มีเส้นรุ้งสูงนั้น ในฤดูหนาวกลางวันมีระยะสั้นเพียง 8 ชั่วโมง แต่ในฤดูร้อนกลางวันมีระยะนานถึง 16 ชั่วโมง ส่วนตำแหน่งดวงอาทิตย์ขึ้นและตกก็เปลี่ยนแปลงไป

Equinox

วันอิควินอกซ์ เป็นวันที่ดวงอาทิตย์ตั้งอยู่บนเส้นศูนย์สูตรของท้องฟ้าเวลากลางวัน และกลางคืนยาวเท่ากัน เท่ากับ 12 ชั่วโมง ปีละ 2 วัน

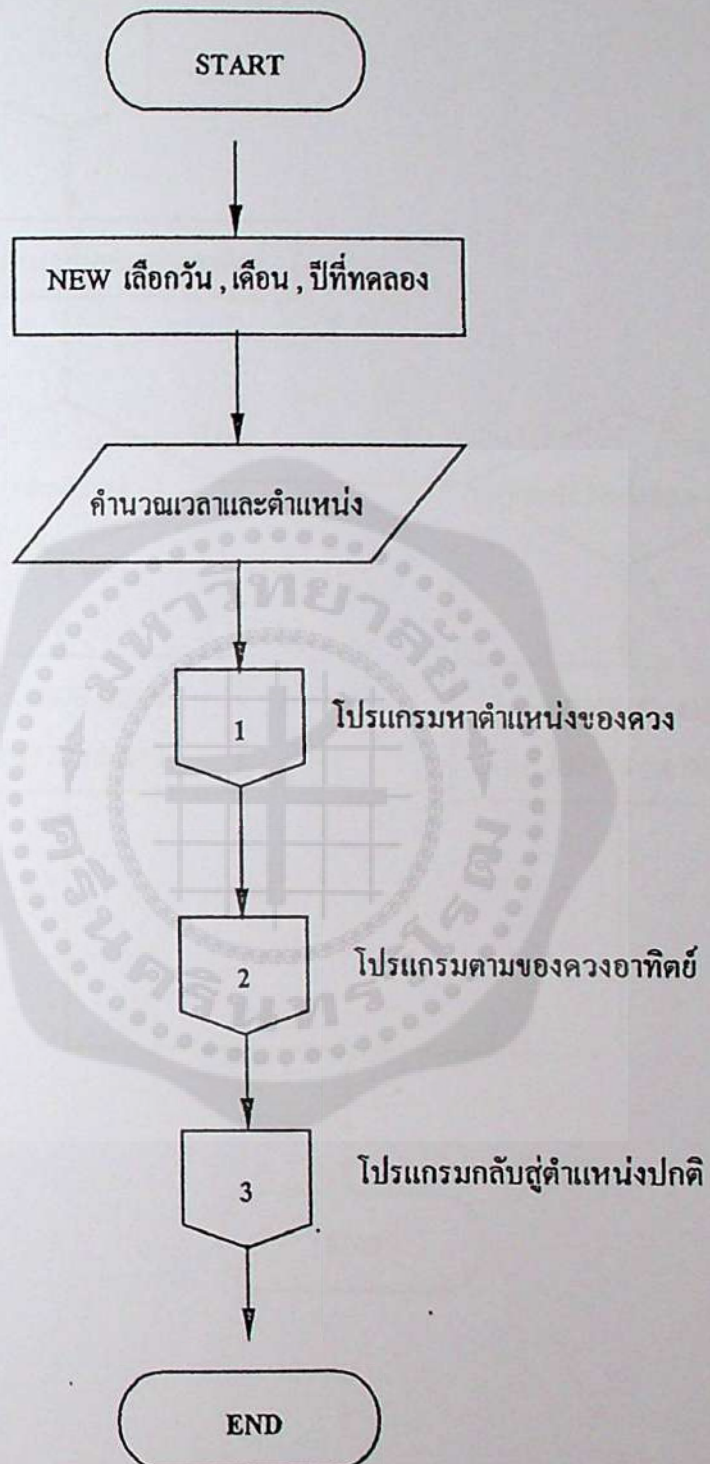
Solstice

เป็นวันที่ดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้ามากที่สุด ปีละ 2 วัน คือ

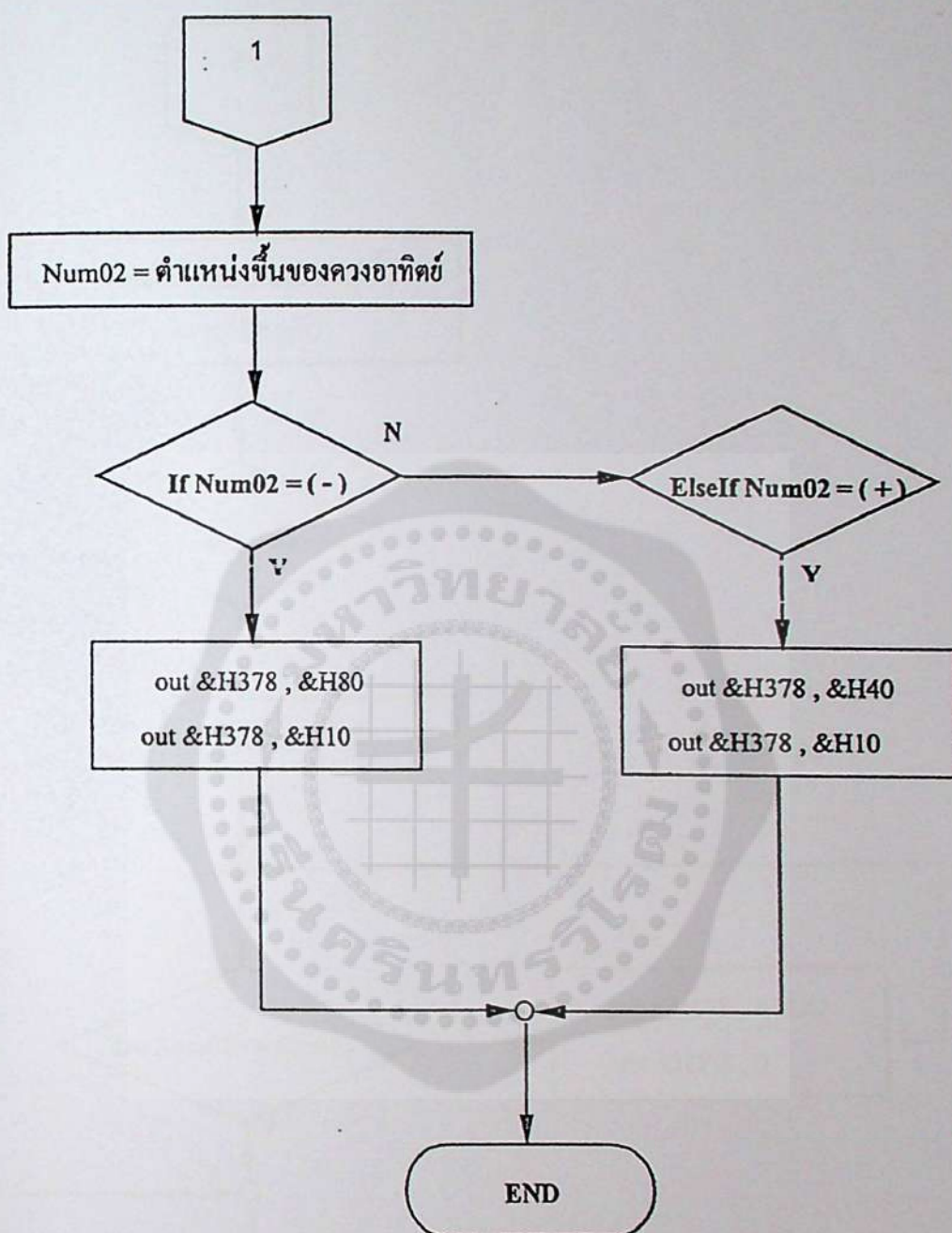
- 1 วันที่ 21 มิถุนายน เป็นวันที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร บนท้องฟ้ามากที่สุด ดวงอาทิตย์จะขึ้นเร็วที่สุดและตกช้าที่สุด ทำให้เวลากลางวันยาวที่สุด และเวลากลางคืนสั้นที่สุด
- 2 วันที่ 22 ธันวาคม เป็นวันที่ดวงอาทิตย์อยู่ใต้เส้นศูนย์สูตรมากที่สุด ดวงอาทิตย์ขึ้นช้าที่สุด และตกเร็วที่สุด ทำให้เวลากลางวันสั้นที่สุด และกลางคืนยาวที่สุด

ภาคผนวกที่ 5

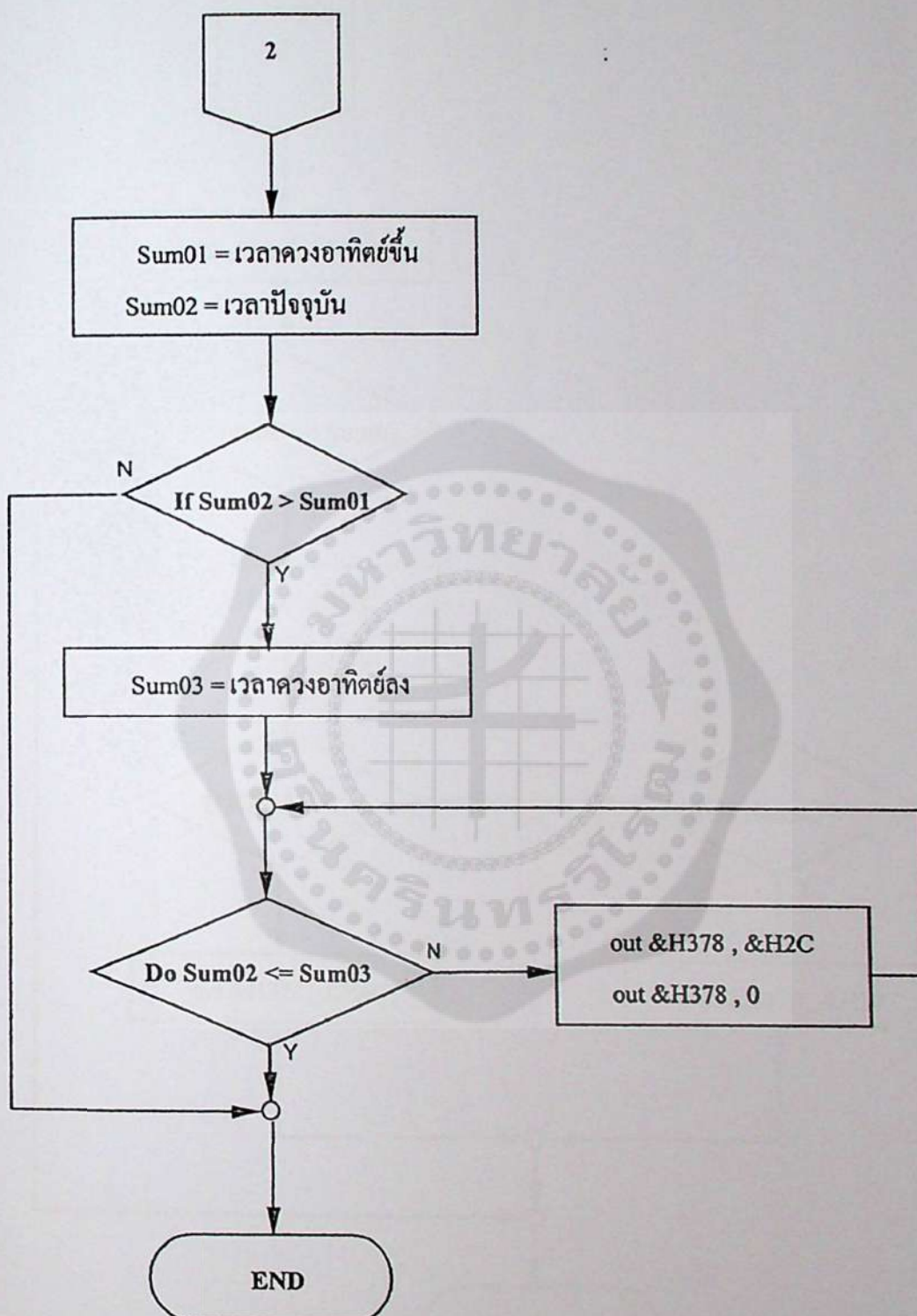
โปรแกรมชุดสาริตการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่



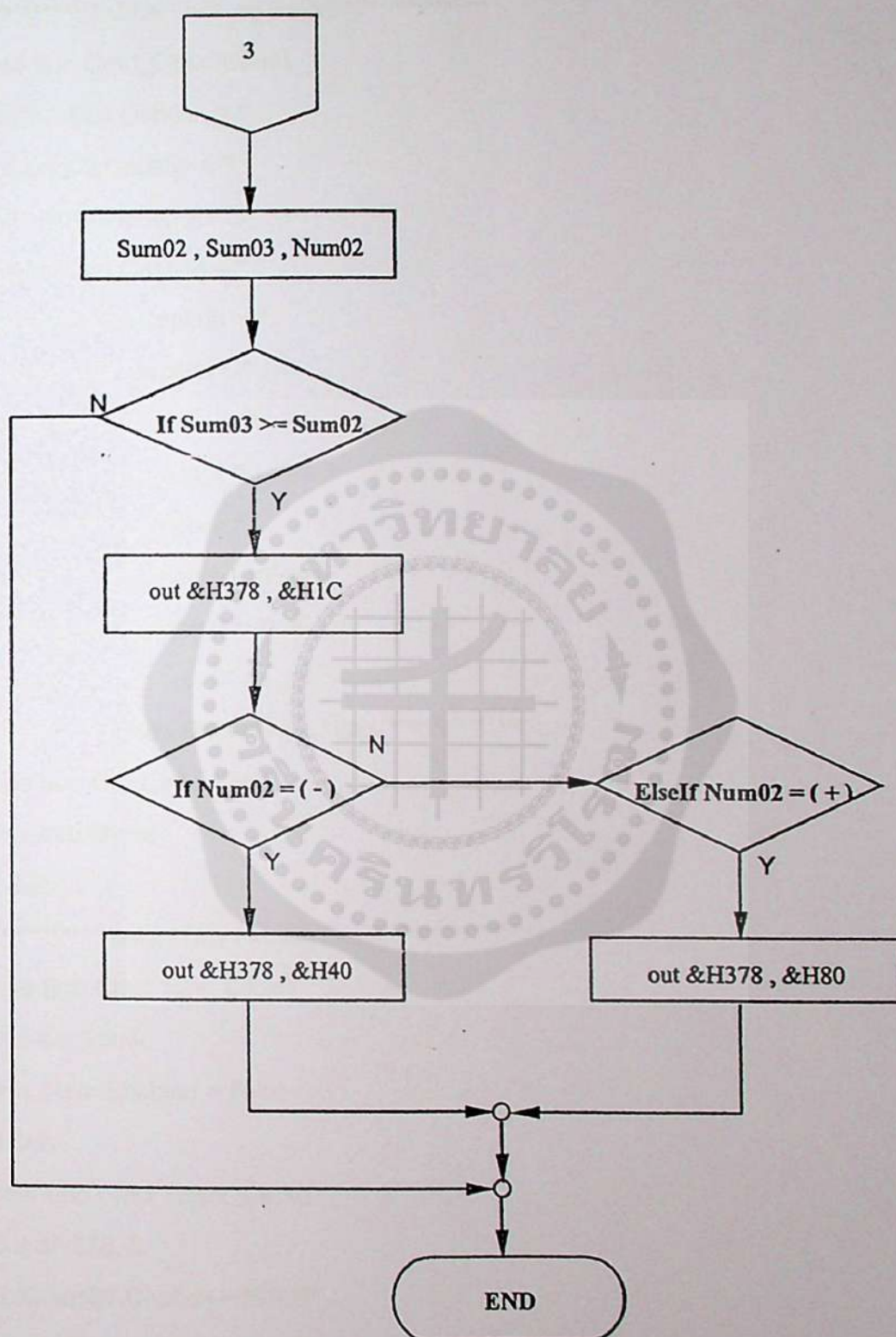
รูปภาคผนวกที่ 5.1 แสดงFLOWCHART แสดงการทำงานของโปรแกรม



รูปภาคผนวกที่ 5.2 แสดง FLOWCHART การทำงานของโปรแกรมหาดำแหน่งของควงอาทิตย์



รูปภาคผนวกที่ 5.3 แสดงFLOWCHART การทำงานของโปรแกรมตามดวงอาทิตย์



รูปภาคผนวกที่ 5.4 แสดง FLOWCHART การทำงานของโปรแกรมกลับสู่ตำแหน่งปกติ

***** Clear Data as Before *****

Private Sub Cmd_Clear_Click()

LblShToDay.Caption = ""

LblLong02.Caption = ""

LblDay01.Caption = ""

LblNumDec.Caption = ""

LblNumCeles.Caption = ""

LblSunUp01.Caption = ""

LblSunUp02.Caption = ""

LblDown01.Caption = ""

LblDown02.Caption = ""

Cmd_Clear.Enabled = False

Cmd_New.Enabled = True

End Sub

***** Show Detail Project Eng. *****

Private Sub Cmd_Info_Click()

Frm_Info.Show

End Sub

***** Select Day / Month / Year *****

Private Sub Cmd_New_Click()

DiaNew.Show

Frm_Main.Enabled = False

End Sub

Private Sub Cmd_Reset_Click()

Out &H378, 0

LblCeles01.Caption = "STOP"

LblDecl01.Caption = "STOP"

ShpCeles01.FillStyle = 1

```
ShpDec01.FillStyle = 1
```

```
End Sub
```

```
***** Shearch Position to Ready *****
```

```
Private Sub Cmd_Return_Click()
```

```
If (Val(sum03)) >= (Val(sum02)) Then
```

```
    If asb(LblNumDec.Caption) = True Then
```

```
        Out &H378, &H1C
```

```
        ShpDec01.FillStyle = 1
```

```
        ShpCeles01.FillStyle = 0
```

```
        LblDecl01.Caption = "STOP"
```

```
        LblCeles01.Caption = "WORK"
```

```
        LblShoDeg02.Caption = ""
```

```
        Call delay(0.32 * (Num02) * 60)
```

```
        Cmd_Sun.Enabled = False
```

```
    Out &H378, &H40
```

```
        ShpDec01.FillStyle = 0
```

```
        ShpCeles01.FillStyle = 1
```

```
        LblDecl01.Caption = "WORK"
```

```
        LblCeles01.Caption = "STOP"
```

```
        Cmd_shach.Enabled = False
```

```
        Cmd_Clear.Enabled = False
```

```
        Call delay((((1.8 * (Abs(Num01)) / 1.2) * 10) / 6) * 60)
```

```
    Out &H378, 0
```

```
Elseif asb(LblNumDec.Caption) = False Then
```

```
    Out &H378, &H1C
```

```
        ShpDec01.FillStyle = 1
```

```
        ShpCeles01.FillStyle = 0
```

```
        LblDecl01.Caption = "STOP"
```

```
        LblCeles01.Caption = "WORK"
```

```

LblShoDeg02.Caption = ""
    Call delay(0.32 * (Num02) * 60)
    Cmd_Sun.Enabled = False
Out &H378, &H80
    ShpDec01.FillStyle = 0
    ShpCeles01.FillStyle = 1
    LblDecl01.Caption = "WORK"
    LblCeles01.Caption = "STOP"
    Cmd_shach.Enabled = False
    Cmd_Clear.Enabled = False
    Call delay((((1.8 * (Abs(Num01) / 1.2)) * 10) / 6) * 60)
Out &H378, 0
End If
End If
End Sub

***** Shearch Position to Start for Sun *****
Private Sub Cmd_shach_Click()
Dim Response
If asb(LblNumDec.Caption) = True Then
***** Valve "-" *****
    Out &H378, &H80
    ShpDec01.FillStyle = 0
    ShpCeles01.FillStyle = 1
    LblDecl01.Caption = "WORK"
    LblCeles01.Caption = "STOP"
    Cmd_shach.Enabled = False
    Cmd_Clear.Enabled = False
    Call delay((((1.8 * (Abs(Num01))) / 1.2) * 10) / 6) * 60)

```

Out &H378, &H10

ShpDec01.FillStyle = 1

ShpCeles01.FillStyle = 0

LblCeles01.Caption = "WORK"

LblDecl01.Caption = "STOP"

Cmd_shach.Enabled = False

Cmd_Clear.Enabled = False

Call delay(0.32 * (Num02) * 60)

Out &H378, 0

Response = MsgBox("Progress Search Complete", vbOKOnly + vbInformation)

LblCeles01.Caption = ""

LblDecl01.Caption = ""

ShpCeles01.FillStyle = 1

ShpDec01.FillStyle = 1

Out &H378, 0

Cmd_shach.Enabled = False

Cmd_Sun.Enabled = True

Elseif asb(LblNumDec.Caption) = False Then

!***** Valve "+" *****

Out &H378, &H40

ShpDec01.FillStyle = 0

ShpCeles01.FillStyle = 1

LblDecl01.Caption = "WORK"

LblCeles01.Caption = "STOP"

Cmd_shach.Enabled = False

Cmd_Clear.Enabled = False

Call delay((((1.8 * (Abs(Num01) / 1.2)) * 10) / 6) * 60)

Out &H378, &H10

ShpDec01.FillStyle = 1

```

ShpCeles01.FillStyle = 0
LblCeles01.Caption = "WORK"
LblDecl01.Caption = "STOP"
    Cmd_shach.Enabled = False
    Cmd_Clear.Enabled = False
        Call delay(0.32 * (Num02) * 60)
        Call delay(0)
Response = MsgBox("Progress Search Complete", vbOKOnly + vbInformation)
    LblCeles01.Caption = ""
    LblDecl01.Caption = ""
        ShpCeles01.FillStyle = 1
        ShpDec01.FillStyle = 1
            Out &H378, 0
            Cmd_shach.Enabled = False
            Cmd_Sun.Enabled = True
End If
End Sub

***** Work Tract the Sun *****

Private Sub Cmd_Sun_Click()
Dim sun02 As Double
Static Work As Single
Static Count As Single
sun01 = TimeValue(StrHourMin_1)
sun02 = Label1.Caption
sun03 = TimeValue(StrHourMin_2)
If (Val(sun02)) > (Val(sun01)) Then
Do While (Val(sun02)) <= (Val(sun03))
    Count = Count + 1
    Work = Count + 1

```

```

Cmd_Sun.Enabled = False
Cmd_Return.Enabled = False
Out &H378, &H2C
ShpDec01.FillStyle = 1
ShpCeles01.FillStyle = 0
LblDecl01.Caption = "STOP"
LblCeles01.Caption = "WORK"
Call delay(84)

```

```

Out &H378, 0

```

```

ShpDec01.FillStyle = 1
ShpCeles01.FillStyle = 1
LblDecl01.Caption = "STOP"
LblCeles01.Caption = "STOP"
Call delay(150)
LblShoDeg02.Caption = Work

```

```

Loop

```

```

Cmd_Clear.Enabled = True
Cmd_Sun.Enabled = False
Cmd_Return.Enabled = True

```

```

LblDecl01.Caption = ""

```

```

LblCeles01.Caption = ""

```

```

ShpDec01.FillStyle = 1 'Color Bule

```

```

ShpCeles01.FillStyle = 1 'Color Bule

```

```

LblDecl01.Caption = "STOP"

```

```

LblCeles01.Caption = "STOP"

```

```

Response = MsgBox("Error Time Tract Please New Select", vbOKOnly +
vbInformation)

```

```

Else

```

```

LblDecl01.Caption = "NO"
LblCeles01.Caption = "NO"

ShpDec01.FillStyle = 1      'Color Rad
ShpCeles01.FillStyle = 1    'Color Rad

Cmd_Return.Enabled = True

Cmd_Sun.Enabled = False

End If
End Sub

***** EXIT PROGRAM *****

Private Sub CmdExit_Click()

    End

End Sub

***** Load Form *****

Private Sub Form_Load()

    Cmd_shach.Enabled = False
    Cmd_Clear.Enabled = False
    Cmd_Sun.Enabled = False
    Cmd_Return.Enabled = False
    Cmd_Add.Enabled = True

End Sub

***** Timer of System *****

Private Sub Timer1_Timer()

    hor = Hour(Time)
    min = Minute(Time)
    sec = Second(Time)

    Label1.Caption = Format(Time, "h:m:s")

End Sub

***** Select calender *****

Private Sub cmdToDay_Click()

```

```

calSelect.Value = Date

End Sub

***** Detail Calculate *****

Private Sub OKButton_Click()
RadToAng = PI / 180
Num01 = (23.45 * Sin((((284 + Val(NumDay)) / 365) * 360) * (PI / 180))) 'Declination
Angle
If Num01 < 0 Then 'Select Value of Acos
cosW = ((Tan(-14 * RadToAng))) * (Tan(Num01 * RadToAng)) 'Value of Acos
Else
cosW = -((Tan(-14 * RadToAng))) * (Tan(Num01 * RadToAng)) 'Value of Acos
End If
Num02 = Atn((Sqr((1 - cosW) * (1 + cosW))) / cosW) / RadToAng 'ArcCos(deg)
LongDay = ((2 / 15) * Num02) 'LongDay in lblLong02
B = (360 * (Val(NumDay) - 81) / 364)
E = (9.87 * Sin(2 * (B * RadToAng))) - (7.53 * Cos(B * RadToAng)) - (1.5 * Sin(B *
RadToAng)))
Time_UP01 = 12 - (LongDay / 2)
StrHour_1 = Time_UP01
Strpoint_1 = InStr(StrHour_1, ".")
Hour_1 = Left(StrHour_1, Strpoint_1 - 1)
minor_1 = (Left(StrHour_1, Len(StrHour_1) - Strpoint_1))
Min_1 = CInt(minor_1) * 60
If Min_1 > 60 Then
Hour_1 = Hour_1 - 1
Min_1 = Min_1 - 60
End If
Min_1 = Format(Min_1, "#0")

```

```

StrHourMin_1 = (Hour_1 & ":" & Min_1)    'Show in LblSunUp01.caption)
Min2_1 = Min_1 - E + 4 * (105 - 100.5)
If Min2_1 > 60 Then
    Hour_1 = Hour_1 + 1
End If
Min2_1 = Format(Min2_1, "#0")
strHourmin2_1 = Hour_1 & ":" & Min2_1    'Show in LblSunUp02.Caption
Time_Down1 = 12 + (LongDay / 2)
StrHour_2 = Time_Down1
Strpoint_2 = InStr(StrHour_2, ":")
Hour_2 = Left(StrHour_2, Strpoint_2 - 1)
minor_2 = (Left(StrHour_2, Len(StrHour_2) - Strpoint_2))
Min_2 = Caltime(minor_2) * 60
If Min_2 > 60 Then
    Hour_2 = Hour_2 + 1
    Min_2 = Min_2 - 60
End If
Min_2 = Format(Min_2, "#00")
StrHourMin_2 = Hour_2 & ":" & Min_2    'Show in LblDown01.Caption
Min2_2 = Min_2 - E + 4 * (105 - 100.5)
If Min2_2 > 60 Then
    Hour_2 = Hour_2 + 1
    Min2_2 = Min2_2 - 60
End If
Min2_2 = Format(Min2_2, "#00")
strHourmin2_2 = Hour_2 & ":" & Min2_2    'Show in LblDown02.Caption
***** Detail Output Form *****
Frm_Main.LblShToDay.Caption = Format(DiaNew.calSelect.Value, "d/mm/yy")

```

```
Frm_Main.LblDay01.Caption = Format(DiaNew.calSelect.Value, "y")
```

```
Frm_Main.LblNumDec.Caption = Format(Num01, "#0.000")
```

```
Frm_Main.LblNumCeles.Caption = Format(Num02, "#0.000")
```

```
Frm_Main.LblLong02.Caption = Format(LongDay, "#0.00")
```

```
Frm_Main.LblSunUp01.Caption = StrHourMin_1
```

```
Frm_Main.LblSunUp02.Caption = strHourmin2_1
```

```
Frm_Main.LblDown01.Caption = StrHourMin_2
```

```
Frm_Main.LblDown02.Caption = strHourmin2_2
```

```
Frm_Main.Cmd_Clear.Enabled = True
```

```
Frm_Main.Cmd_New.Enabled = False
```

```
Frm_Main.Cmd_shach.Enabled = True
```

```
Frm_Main.Enabled = True
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Public Function NumDay()
```

```
NumDay = Format(DiaNew.calSelect.Value, "y")
```

```
End Function
```

```
Public Function PI()
```

```
PI = 3.14159265358979
```

```
End Function
```

```
Private Sub Cmd_BackInfo_Click()
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

```
***** Declaration Variable *****
```

```
Public Num01 As Double, Num02 As Double
```

```
Public cosW As Double
```

```
Public Time_Down1 As Double
```

```
Public Time_UP01 As Double
```

```
Public minor_1 As Double, Min2_1 As Double
```

```
Public minor_2 As Double, Min2_2 As Double
```

```

Public hor As Double, min As Double, sec As Double
Public B As Single, E As Single
Public LongDay As Single
Public StrHour_1 As String
Public Sec_1 As String, Hour_1 As String, Min_1 As String
Public Sec2_1 As String
Public StrHourMin_1 As String, strHourmin2_1 As String
Public StrHour_2 As String
Public Sec_2 As String, Hour_2 As String, Min_2 As String
Public Sec2_2 As String
Public StrHourMin_2 As String, strHourmin2_2 As String
Public Strpoint_1 As Integer
Public Strpoint_2 As Integer
Public status As Boolean
***** Function Fine of '+' '-' *****
Function asb(data As Double) As Boolean
Dim datastring As String
    datastring = Str(data)
    If "-" = Mid(Trim(datastring), 1, 1) Then
        asb = True
    Else
        asb = False
    End If
End Function
***** Function Delay *****
Sub delay(tim As Double)
Dim tis As Double
tis = Timer
Do
    DoEvents
    Loop Until tis + tim < Timer
End Sub
***** Function Fine "." of Time *****
Function Caltime(Period As Double) As Double

```

```

Dim X1 As String
Dim X2 As Integer
X1 = Str(Period)

For X2 = 1 To Len(Trim(X1)) Step 1
    If Mid(X1, X2, 1) = "." Then
        Caltime = Val(Mid(X1, X2, Abs(Len(Trim(X1)) - X2)))
    End If
Next X2
End Function

Function SunWalking(Start As Double) As Boolean
Dim X1 As Double
Dim X2 As Double
Do
    DoEvents
    Out &H378, &H1C
    Call delay(1.5)
End Function

***** Function Change Calender to String *****
Public Function NumDay()
    NumDay = Format(DiaNew.calSelect.Value, "y")
End Function

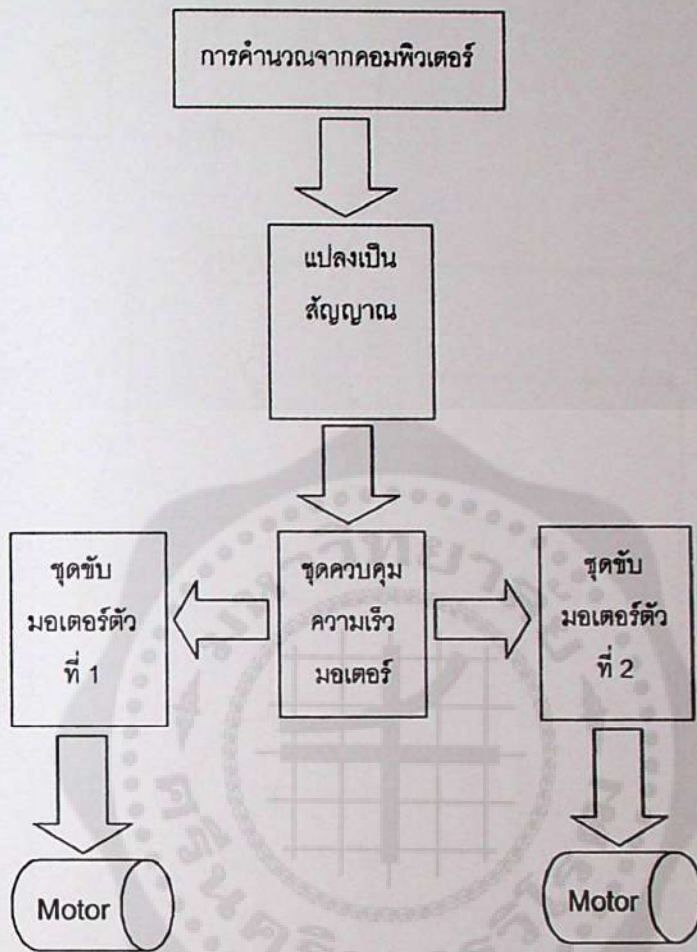
***** Function PI *****
Public Function PI()
    PI = 3.14159265358979
End Function

***** Input 32 *****
'Inp and Out declarations for direct port I/O
'in 32-bit Visual Basic 4 programs.

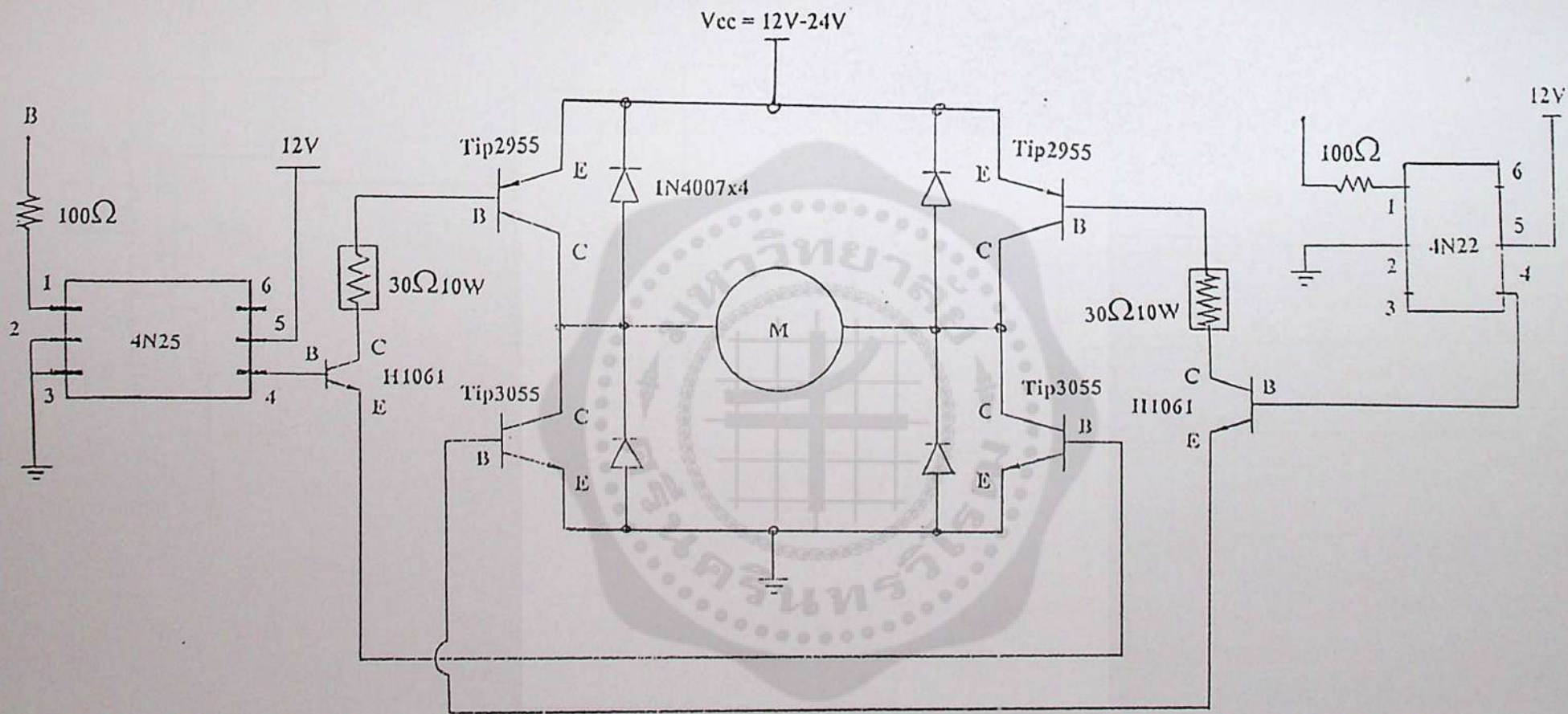
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" _
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)

```

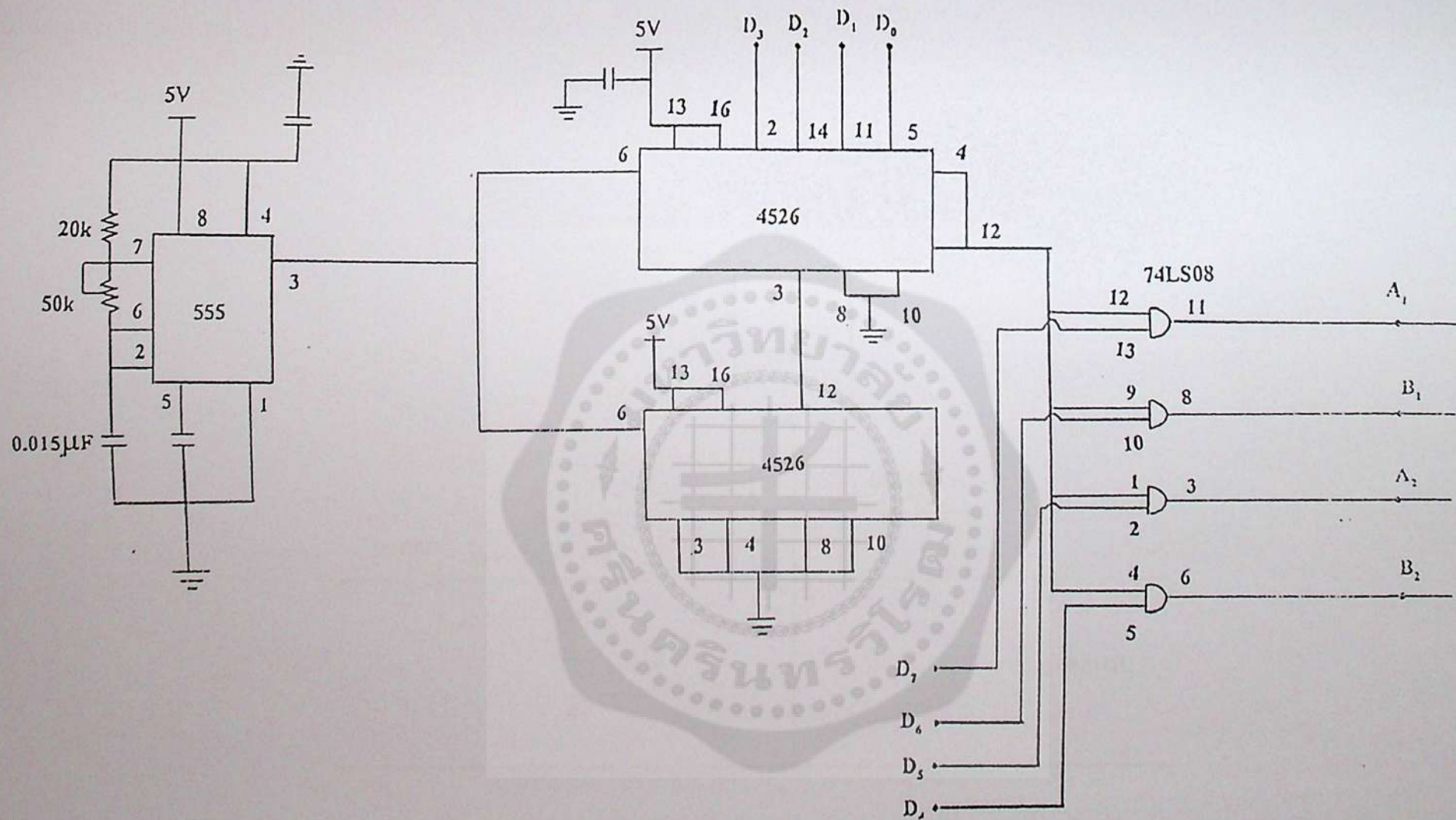




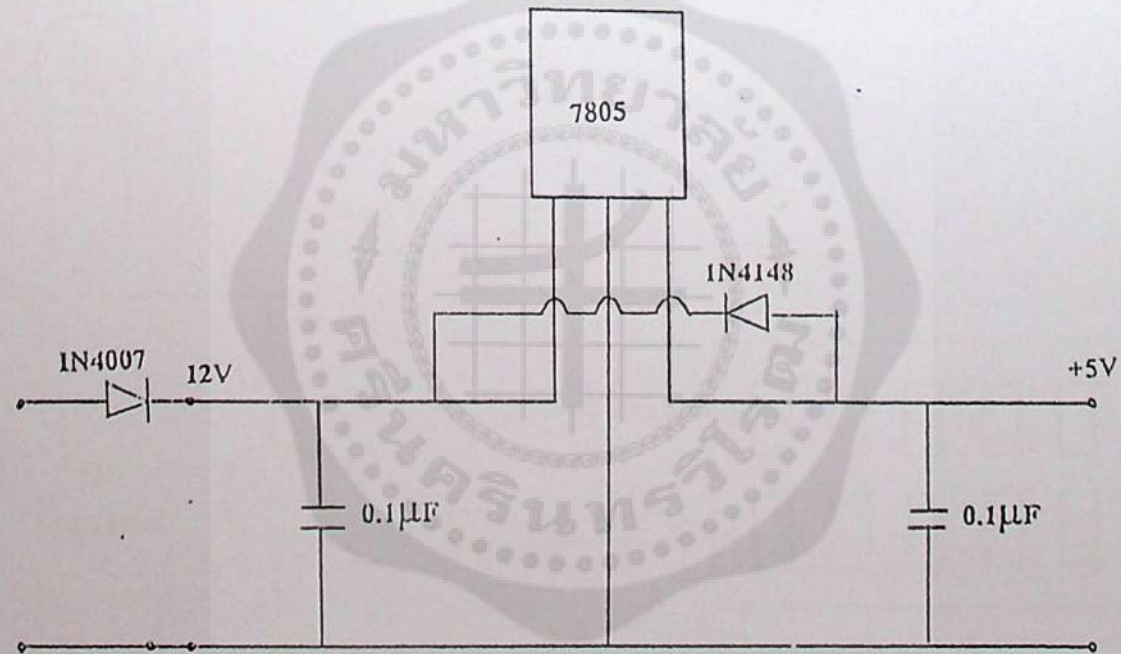
รูปภาคผนวกที่ 6.1 แสดงการทำงานของชุดควบคุมมอเตอร์



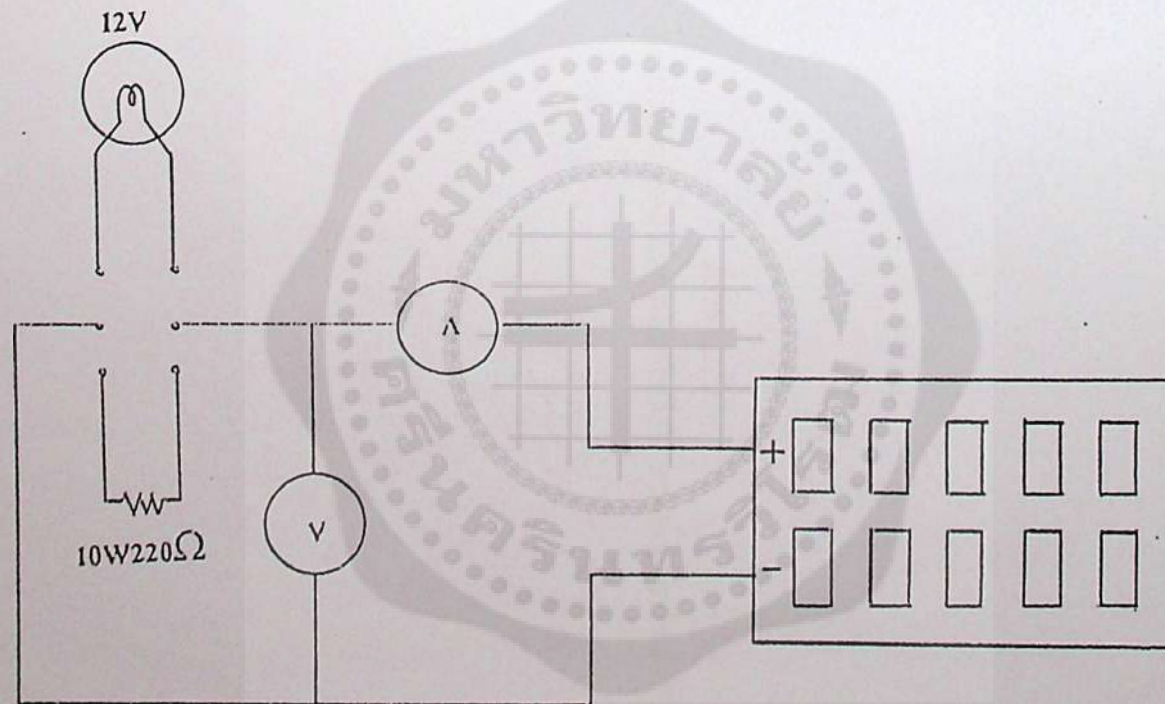
รูปภาคผนวกที่ 6.2 แสดงวงจรควบคุมมอเตอร์



รูปภาคผนวกที่ 6.3 แสดงวงจรควบคุมความเร็ว



รูปภาคผนวกที่ 6.4 แสดงวงจรแปลงไฟ 12V เป็น 5V



รูปภาคนวทที่ 6.5 แสดงวงจรการวัดค่ากระแสไฟและค่าแรงดัน

ภาคผนวกที่ 7

แสดงหน้าจอของโปรแกรมชุดสถิติการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่

โปรแกรมควบคุมชุดสถานีการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่


NEW


 Clear


Reset


Info


Exit

ToDay :

Day of Year :

Declination Angle : Degree

Celestial Angle : Degree

Time Sun Up

Time The Sun : Hour

Time Locality : Hour

Time Sun Down

Time The Sun : Hour

Time Locality : Hour

Long of Day : Hour

16:36:15

Time Operation : Hour

Declination



 Degree

Celestial



 Degree


Sun


 Search...


 Return

รูปภาคผนวกที่ 7.1 แสดงหน้าจอของโปรแกรมชุดบริหารจัดการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ก่อนการทดสอบ

โปรแกรมควบคุมชุดสาริตการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่

 NEW
 Clear

 Reset

 Info

 Exit

ToDay :

Long of Day : Hour

16:38:47

Day of Year :
 Declination Angle :
 Celestial Angle :

กุมภาพันธ์ 2544

อา.	จ.	อ.	พ.	พฤ.	ศ.	ส.
28	29	30	31	1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	1	2	3
4	5	6	7	8	9	10

Hour :
 Celestial

 Degree

Time Sun Up
 Time The Sun :
 Time Locality :

Time Sun Down
 Time The Sun : Hour
 Time Locality : Hour

 Sun
 Search
 Return

รูปภาคผนวกที่ 7.2 แสดงหน้าจอของโปรแกรมชุดสาริตการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ขณะใช้วันที่

โปรแกรมควบคุมชุดสาธิตการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่










ToDay : 14/02/01

Long of Day : 11.54 Hour
16:39:44

Day of Year : 45

Declination Angle : -13.620 Degree

Celestial Angle : 86.537 Degree

Time Operation : Hour

Declination



Degree

Celestial



Degree

Time Sun Up

Time The Sun : 6:14 Hour

Time Locality : 6:47 Hour

Time Sun Down

Time The Sun : 17:46 Hour

Time Locality : 18:19 Hour



Sun



Search



Return

รูปภาคผนวกที่ 7.3 แสดงหน้าจอของโปรแกรมชุดสาธิตการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ เมื่อกำหนดวันที่เสร็จแล้ว

โปรแกรมควบคุมชุดสาริตการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่

 NEW
 Clear

 Reset

 Info

 Exit

ToDay : 14/02/01

Long of Day : 11.54 Hour
16:40:36

Day of Year : 45

Declination Angle : -13.620 Degree

Celestial Angle : 36.537 Degree

Time Operation : Hour

Declination



Work 1

Degree

Celestial



Stop

Degree

Time Sun Up

Time The Sun : 6:14 Hour

Time Locality : 6:47 Hour

Time Sun Down

Time The Sun : 17:46 Hour

Time Locality : 18:19 Hour

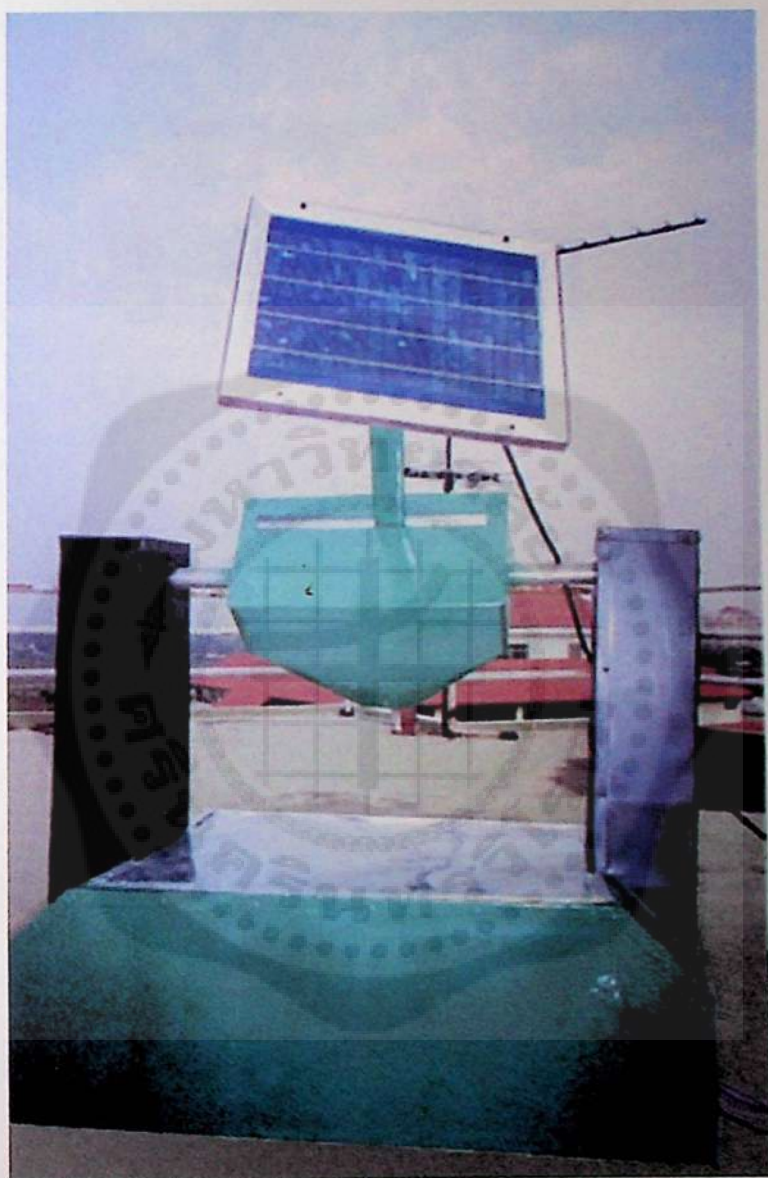
 Sun
 Search
 Return

รูปภาคนวทที่ 7.4 แสดงหน้าจอของโปรแกรมชุดสาริตการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ขณะทำงาน





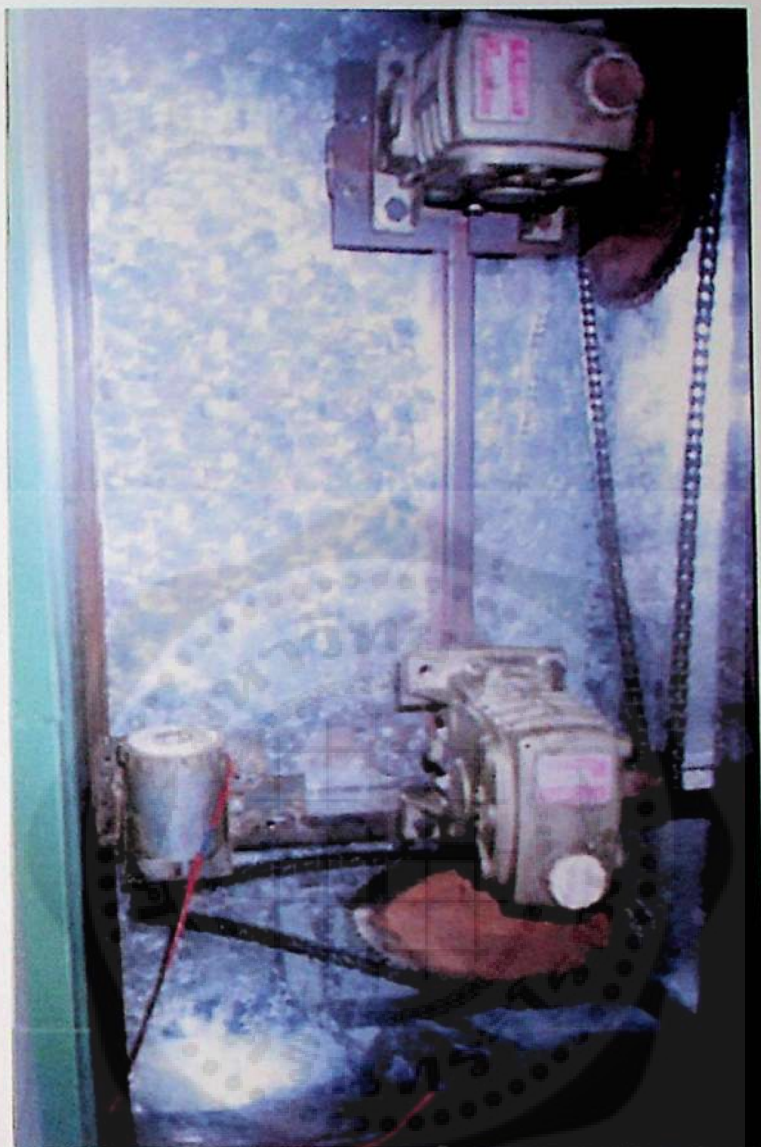
รูปภาคผนวกที่ 8.1 แสดงชุดควบคุม



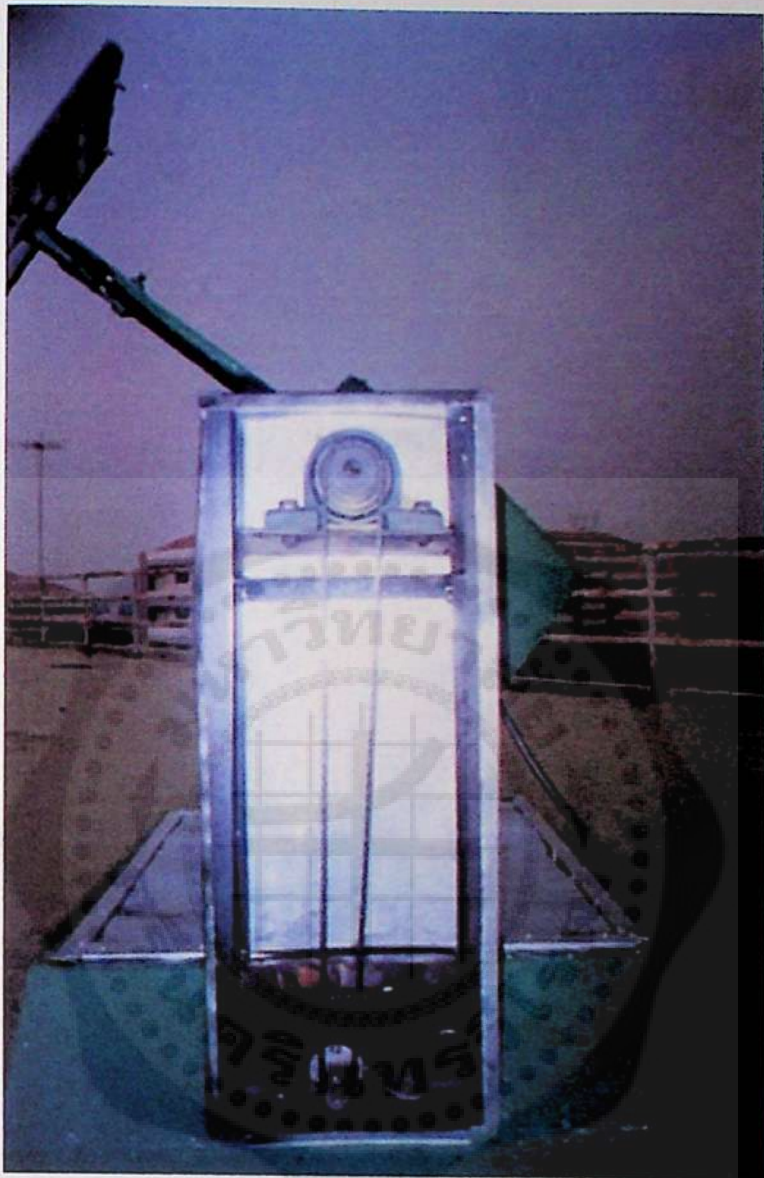
รูปภาพผนวกที่ 8.2 แสดงรูปด้านหน้าของชุดขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์



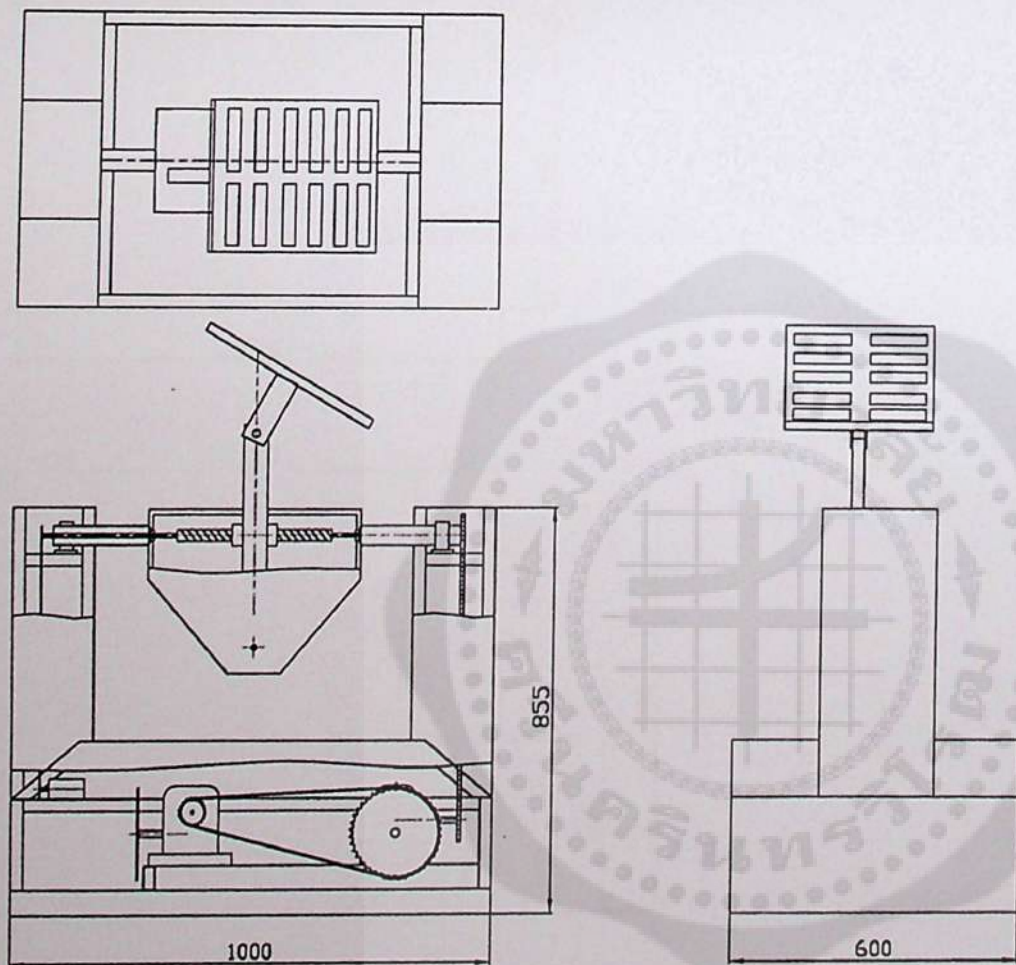
รูปภาคผนวกที่ 8.3 แสดงแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่



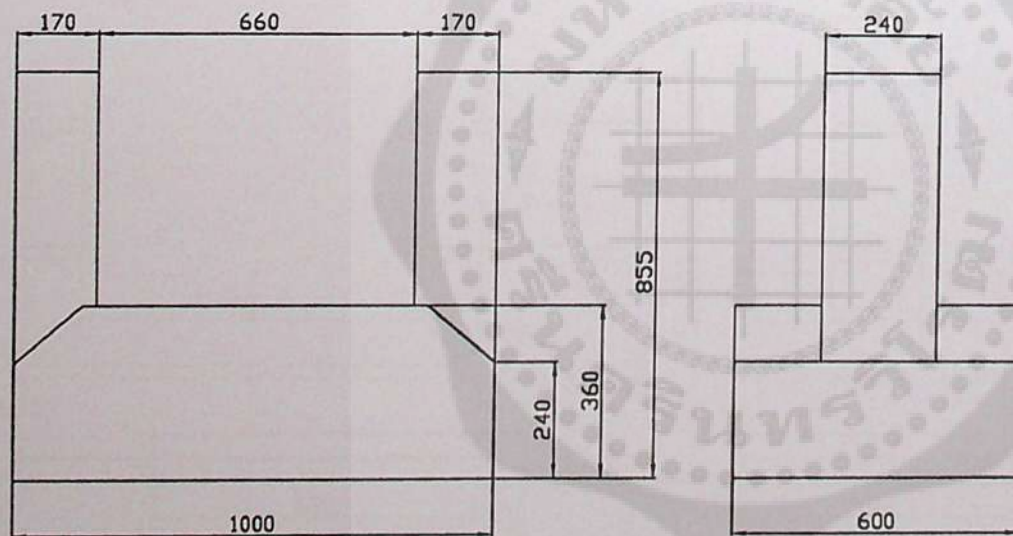
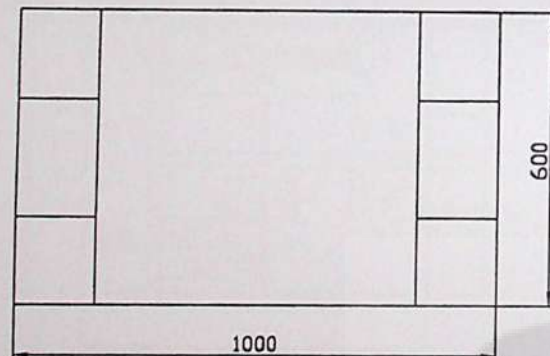
รูปภาคผนวกที่ 8.4 แสดงชุดทดสอบของการเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก



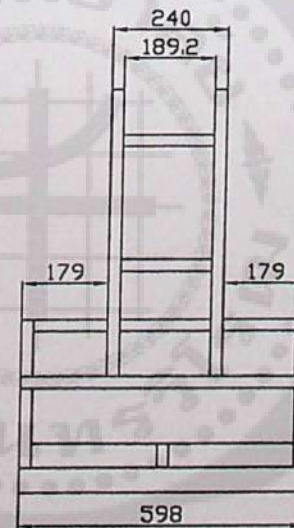
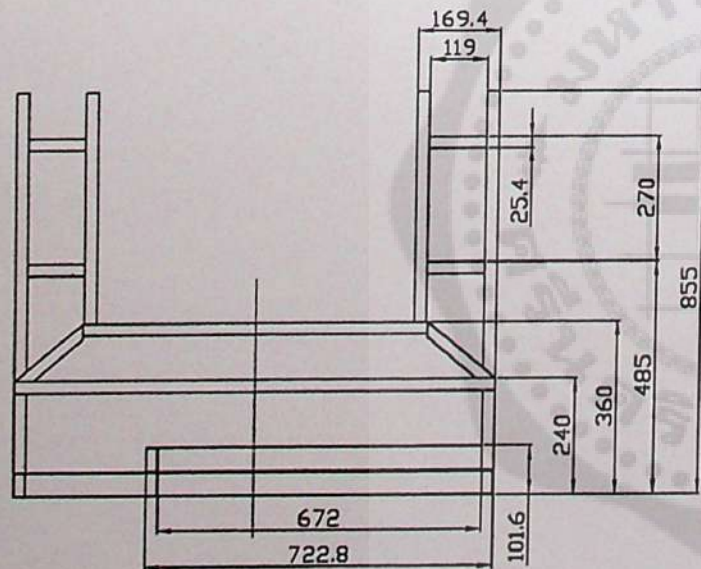
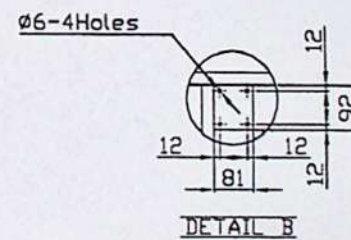
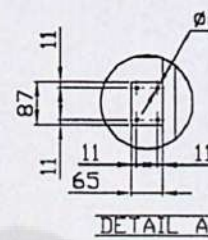
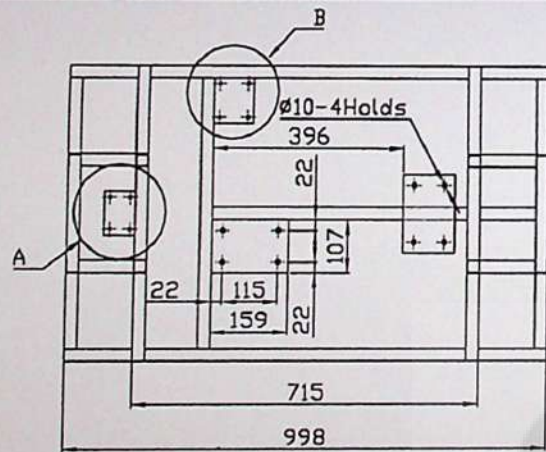
รูปภาคผนวกที่ 8.5 แสดงชุดทดสอบของการเคลื่อนที่ตามแนวทิศเหนือ-ทิศใต้



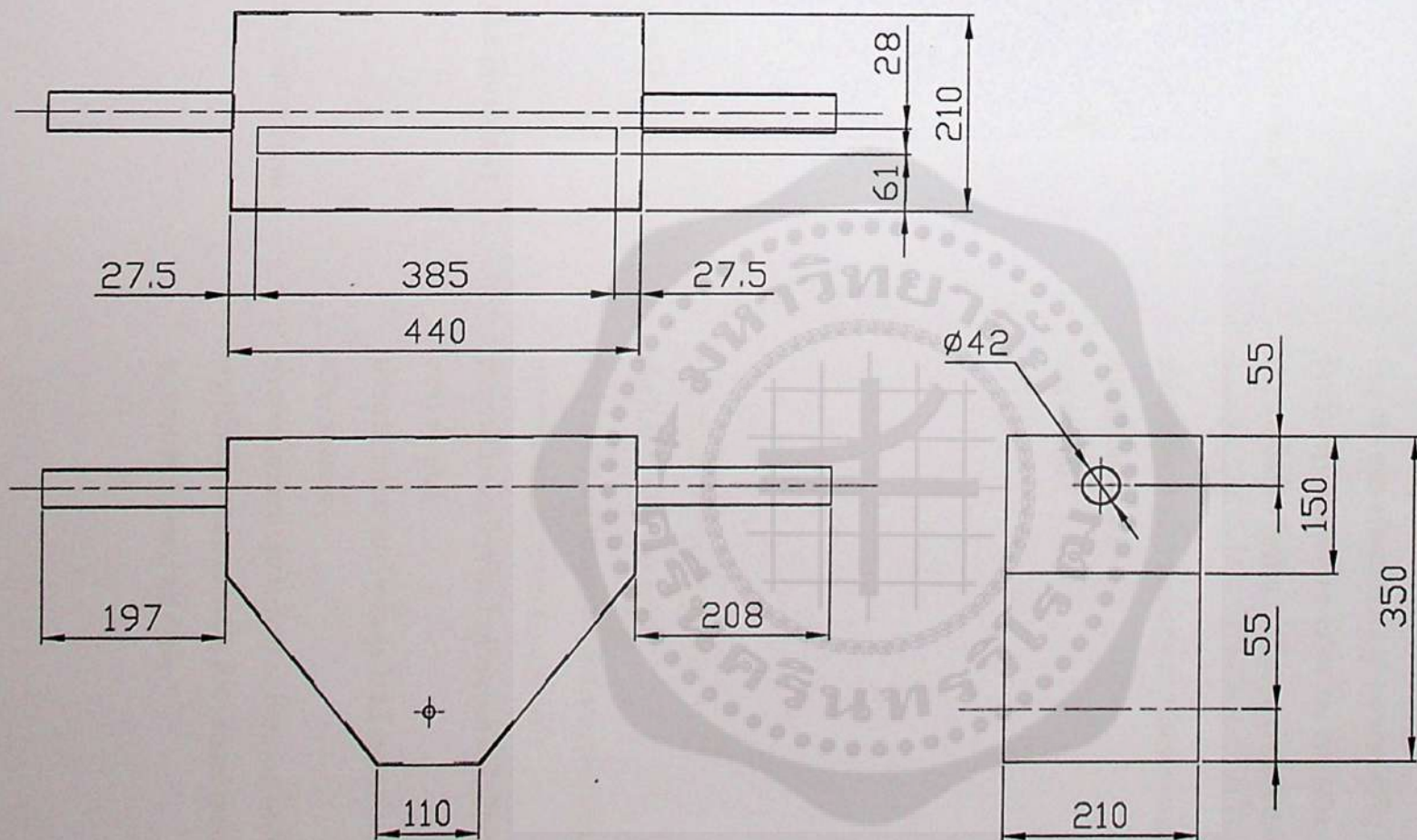
ลำดับที่ 1	จำนวน 1	ชุดสาธิตการผลิตไฟฟ้าด้วยแผงโซลาร์เซลล์แบบเคลื่อนที่			
ผู้เขียน วสันต์ สมุทรเจริญชัย	ผู้ตรวจสอบ วสันต์ สมุทรเจริญชัย	ผู้อนุมัติ อ. ประชาพันธุ์ ไตรยฤทธิ์	ชื่อแฟ้ม	วันที่ 21/3/44	มาตราส่วน 1:15
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์		ชุดสาธิตการผลิตไฟฟ้าด้วยแผงโซลาร์เซลล์แบบเคลื่อนที่			
		หมายเลขแบบ ME 2000 - 001		แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่



ลำดับที่ 2	จำนวน 1	ชุดสาริการผลิตไฟฟ้าด้วยแผงโซลาร์เซลล์แบบเคลื่อนที่			
ผู้เขียน	ผู้ตรวจสอบ	ผู้อนุมัติ	ชื่อแฟ้ม	วันที่	มาตราส่วน
วสันต์ สมุทรเจริญชัย	วสันต์ สมุทรเจริญชัย	อ. ประชาสันติ ไตรยฤทธิ์		21 / 3 / 44	1 : 15
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์		ชุดสาริการผลิตไฟฟ้าด้วยแผงโซลาร์เซลล์แบบเคลื่อนที่			
		หมายเลขแบบ ME 2000 - 002		แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่



ลำดับที่ 3	จำนวน 1	ชุดสาริตถการผลิตไฟฟ้าด้วยแผงโซลาร์เซลล์แบบเคลื่อนที่			
ผู้เขียน	ผู้ตรวจสอบ	ผู้อนุมัติ	ชื่อเพิ่ม	วันที่	มาตราส่วน
วสันต์ สมุทรเจริญชัย	วสันต์ สมุทรเจริญชัย	อ. ประชาสันติ ไตรยฤทธิ์		21/3/44	1:15
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์		ชุดสาริตถการผลิตไฟฟ้าด้วยแผงโซลาร์เซลล์แบบเคลื่อนที่			
		หมายเลขแบบ ME 2000 - 003		แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่



ลำดับที่ 4	จำนวน 1	ชุดสาคิตการผลิตไฟฟ้าด้วยแผงโซลาร์เซลล์แบบเคลื่อนที่			
ผู้เขียน วสันต์ สมุทรเจริญชัย	ผู้ตรวจสอบ วสันต์ สมุทรเจริญชัย	ผู้อนุมัติ อ. ประชาสันติ ไตรยสุทธี	ชื่อแฟ้ม	วันที่ 21/3/44	มาตราส่วน 1:7
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรภม		ชุดสาคิตการผลิตไฟฟ้าด้วยแผงโซลาร์เซลล์แบบเคลื่อนที่			
		หมายเลขแบบ ME 2000 -004		แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ	นาย ชัยโชติ บัวสุขสุคนธ์
ประวัติ	เกิดวันที่ 6 สิงหาคม 2521 ที่อยู่ 273 ซอย จรัณสนิทวงศ์ 64 แขวงบางยี่ขัน เขตบางพลัด จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10700 Tel 424-3994
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม สาขา ช่างยนต์ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยา เขต พระนครเหนือ สาขาช่างยนต์
ชื่อ	นาย วสันต์ สมุทรเจริญชัย
ประวัติ	เกิดวันที่ 17 มิถุนายน 2518 ที่อยู่ 12/179 หมู่ 12 แขวงหนองแขม เขตหนองแขม จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10160 Tel 429-3011
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม สาขา ช่างยนต์ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม สาขา ช่างยนต์
ประวัติการทำงาน	ช่างเทคนิคประจำศูนย์บริการ บ. กิจกมลสุโกศล จำกัด (Mazda) หัวหน้าแผนกพัฒนาการผลิต ฝ่ายวิจัยและพัฒนาการผลิต บ. บางกอกเพรสพาร์ทส จำกัด

ชื่อ : นาย สมยศ พื้นม่วง
ประวัติ เกิดวันที่ 7 เมษายน 2519
ที่อยู่ 184 ซอย วงศ์สว่าง 11 ถนน วงศ์สว่าง บางซื่อ จังหวัด
กรุงเทพมหานคร 10800 Tel 586-9279
ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพ โรงเรียนช่างฝีมือปทุมธานี
สาขา ช่างยนต์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยา
เขต เทคนิกกรุงเทพ
สาขา ช่างยนต์

