สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RESEARCH ON QUANTITY OF SUNLIGHT IN KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

โดย

นายอภิเชษฐ์ ทาราด

นางสาวชมภูนุช เหรียญปรีชา

นายวุฒิศักดิ์ เกษร

เลขหมู่ 378.02221 ส๒๗ ๒๕๕๑
เลขทะเบียน 83310
วัน,เดือน,ปี 11 ส.ค. 2551

ว. 1196212 ก
ส.

โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESEARCH ON QUANTITY OF SUNLIGHT IN KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

MISTER APICHATE TARAD

MISS CHOMPOONUT RIANPREECHA

MISTER VUTTISAK KAESORN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง			
นักศึกษา	นายอภิเชษฐ์	ทาราด	รหัสประจำตัว	47010933
	นางสาวชมภูนุช	เหรียญปรีชา	รหัสประจำตัว	47012167
	นายวุฒิศักดิ์	เกษร	รหัสประจำตัว	47012186
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต		สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา			
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ชลิดา อู่ตะเภา			

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ		ลายมือชื่อ
อ.ชลิดา	อู่ตะเภา	
ดร.อุมา	สีบุญเรือง	
อ.นันธวัฒน์	จรัสโรจน์ธนเดช	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ.อำนวย พานิชกุลพงษ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือนเมษายน พ.ศ.2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง RESEARCH ON QUANTITY OF SUNLIGHT IN KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
นักศึกษา	นายอภิเชษฐ์ ทาราด นางสาวชมภูนุช เหรียญปรีชา นายวุฒิศักดิ์ เกษร
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ชลิดา อู่ตะเภา
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2550

บทคัดย่อ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดและเป็นพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังมีปริมาณมากพอสำหรับประเทศไทย เราจึงควรที่จะทำการศึกษาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทนการใช้พลังงานจากน้ำมัน โครงการวิจัยนี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ในการเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเก้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า คณะวิจัยได้ทำการเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ทุกวัน วันละ 8 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น. จากการเก็บข้อมูลข้างต้นได้นำค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากการวัดมาเปลี่ยนเป็นค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละเดือน ได้ผลดังต่อไปนี้คือ 142.61 วัตต์, 143.99 วัตต์และ 143.82 วัตต์ ตามลำดับ จากนั้นนำค่ากำลังไฟฟ้าที่ทำการเก็บได้ไปเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากฐานข้อมูลปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ใน 6 ปีย้อนหลัง จากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึง พ.ศ. 2541 ได้ค่าความแตกต่างประมาณ 30% โดยมีอัตราส่วนระหว่างค่าจากการทดลองกับค่าจากดาวเทียม เท่ากับ 1:1.45 ซึ่งค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้มีสาเหตุมาจากประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้

การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการใช้พลังงานทดแทนที่คุ้มค่า เพียงแต่การลงทุนครั้งแรกอาจจะมีค่าลงทุนที่สูง แต่หากคำนึงถึงเรื่องของอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอายุการใช้งาน 25-30 ปีแล้ว ก็ถือว่าคุ้มค่าต่อการลงทุนอย่างยิ่งและยังเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเพื่อส่วนรวมอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TITLE	:	RESEARCH ON QUANTITY OF SUNLIGHT IN KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
NAME	:	MISTER APICHATE TARAD
		MISS CHOMPOONUT RIANPREECHA
		MISTER VUTTISAK KAESORN
FIELD	:	CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT	:	CIVIL ENGINEERING
FACULTY	:	ENGINEERING
ADVISOR	:	MISS CHALIDA U-TAPAO

ABSTRACT

Solar energy is clean energy and does not have impaction with environment. Moreover, Thailand has much enough so people should think about this energy source which can be used for renewable energy and replaced the natural gas. This research uses the solar cell for keeping the sunlight at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. The solar cell is change solar energy become electrical energy. This research keeps solar energy from November, 2007 to January, 2008 for ever day and 8 hours for a day from 9.00 a.m. to 5.00 p.m. From the experiment data, change sunlight become electricity in each month. Total results are 142.61 watts, 143.99 watts and 143.82 watts in each month. Then leads electricity from the experiment data to compare with electricity from the data base of quantity of sunlight from the Government of Develop and Facilitate Energy. The data base is kept from the satellite from 1993 to 1998. Obtain the error about 30% and have the ratio among the experiment data and the satellite data about 1:1.45. The error may be come from efficiency of instrument.

To change solar energy become electrical energy by solar cell is use worthwhile renewable energy. Only the first investment is precious capital but provided that workable of solar cell so 25-30 years then. Regard that worthwhile investment and still protect environment for collective as well.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงงานพิเศษเรื่อง การศึกษาปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ข้าพเจ้านายอภิเชษฐ์ ทาราด, นางสาวชมภูนุช เหรียญปรีชาและนายวุฒิศักดิ์ เกษร ในฐานะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์ชลิดา อู่ตะเภา อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและได้ให้คำแนะนำถึงแนวทางในการจัดทำโครงงานพิเศษอย่างดียิ่งตลอดมา ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษทุกท่าน พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ได้ประสิทธ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่ข้าพเจ้าได้ทำการศึกษาในสถาบันแห่งนี้

ในลำดับต่อมา ข้าพเจ้าต้องขอขอบคุณหน่วยงานต่างๆ ทั้งทางภาครัฐและภาคเอกชน รวมทั้งท่านผู้รู้ทั้งหลายที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่การจัดทำโครงงานพิเศษและได้ให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้า พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าต้องขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนๆ ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำโครงงานพิเศษนี้และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และขอขอบคุณสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่ได้มอบความรัก อันเป็นกำลังใจที่ดีสำหรับข้าพเจ้า จนทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายอภิเชษฐ์ ทาราด
นางสาวชมภูนุช เหรียญปรีชา
นายวุฒิศักดิ์ เกษร

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญรูป	ญ
1	**บทนำ**	1
	1.1. ความเป็นมาและแนวคิดที่สำคัญ	1
	1.2. ปัญหาของโครงการวิจัย	2
	1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
	1.4. ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
	1.5. ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
	1.6. ประโยชน์ที่ได้รับ	3
2	**วรรณกรรมปริทัศน์**	4
	2.1. ความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก	4
	2.2. ดวงอาทิตย์	5
	2.2.1. ค่าคงที่แสงอาทิตย์	6
	2.2.2. การแปรเปลี่ยนของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศ	6
	2.2.3. ประเภทของรังสีที่ผิวโลกและมวลอากาศ	7
	2.2.4. รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบเหนือบรรยากาศ	7
	2.2.5. อัตราส่วนรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีตรงบนพื้นราบ	8
	2.2.6. การประมาณค่ารังสีอาทิตย์	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.2.7. มุมพื้นฐานในการส่องสว่างของดวงอาทิตย์	14
	2.2.7.1. Declination (δ)	14
	2.2.7.2. Hour Angle (H)	16
	2.2.7.3. Altitude (β) and Azimuth (ϕ)	16
	2.2.8. ผลกระทบของบรรยากาศโลกต่อการแผ่รังสีแสงอาทิตย์	17
	2.2.9. รังสีตรงและรังสีกระจาย	18
	2.3. เซลล์แสงอาทิตย์	19
	2.3.1. ประโยชน์ของเซลล์แสงอาทิตย์และการใช้งาน	19
	2.3.2. หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์	21
	2.3.3. การดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ของสารกึ่งตัวนำและแผงเซลล์แสงอาทิตย์	22
	2.3.4. ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	23
	2.3.5. ข้อมูลที่ใช้พิจารณาเปรียบเทียบเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ	25
	2.3.6. ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	26
	2.3.7. สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์	28
	2.3.8. การติดตั้งความลาดเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	28
3	**ขั้นตอนการดำเนินงานและอุปกรณ์การวิจัย**	29
	3.1. ขั้นตอนการดำเนินงาน	29
	3.2. อุปกรณ์การวิจัย	33
	3.3. ขั้นตอนการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์	37
4	**ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง**	38
	4.1. ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาแห่งประเทศไทยและกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน	38
	4.2. สมการที่สำคัญที่ใช้ในการคำนวณต่างๆ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.2.1. การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าโดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า	45
	4.2.2. การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าโดยใช้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์และเวลา	45
	4.3. ผลการเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	46
	4.4. การเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากดาวเทียมกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ทำการเก็บ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	49
	4.5. การคิดเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากดาวเทียมกับค่าที่ทำการเก็บ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	50
	4.6. วิเคราะห์ผลการทดลอง	51
	4.7. การนำผลของค่าความเข้มแสงอาทิตย์ไปใช้	52
5	**วิจารณ์ผลการทดลอง**	56
	5.1. ผลการเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	56
	5.2. การเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากดาวเทียมกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ทำการเก็บ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	57
	5.3. เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากดาวเทียมกับค่าที่ทำการเก็บ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	57
	บรรณานุกรม	58
	ภาคผนวก ก	ผก1
	- กราฟฐานข้อมูลแสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน	ผก2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1.	แสดงโครงสร้างของดวงอาทิตย์	6
2.2.	แสดงมุม Declination	15
2.3.	แสดงมุมที่เปลี่ยนแปลงทำให้เกิดฤดูกาลต่างๆ	15
2.4.	แสดงสเปกตรัมสุริยะนอกชั้นบรรยากาศโลกและที่ระดับน้ำทะเล	17
2.5.	แสดงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์	21
2.6.	แสดง Single Crystalline Silicon Solar Cell	23
2.7.	แสดง Polycrystalline Silicon Solar Cell	24
2.8.	แสดง Amorphous Silicon Solar Cell	24
2.9.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	26
2.10.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	27
3.1.	แสดงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับแท่นเหล็ก ณ ตึกปฏิบัติการโยธา	29
3.2.	แสดงการติดตั้งเครื่องควบคุมการประจุเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์	30
3.3.	แสดงการต่อสายไฟจากเครื่องควบคุมการประจุ	30
3.4.	แสดงการต่อสายไฟจากเครื่องควบคุมการประจุเข้ากับปากคีบ	31
3.5.	แสดงการต่อปากคีบเข้ากับขั้วแบตเตอรี่เพื่อเก็บประจุไฟฟ้า	31
3.6.	แสดงการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในตอนเริ่มต้น	32
3.7.	แสดงการต่อโหลดเข้ากับขั้วแบตเตอรี่ เพื่อบันทึกค่าและนำพลังงานไฟฟ้าออก	33
3.8.	แผงเซลล์แสงอาทิตย์	33
3.9.	เครื่องควบคุมการประจุ	34
3.10.	แบตเตอรี่	34
3.11.	ขาตั้งเหล็ก	35
3.12.	สายไฟพร้อมปากคีบ	35
3.13.	โวลต์มิเตอร์	36
3.14.	แอมมิเตอร์	36
3.15.	แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.1.	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในฤดูร้อนของกรุงเทพมหานคร	39
4.2.	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในฤดูฝนของกรุงเทพมหานคร	41
4.3.	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในฤดูหนาวของกรุงเทพมหานคร	43
4.4.	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของกรุงเทพมหานครเฉลี่ยทั้ง 3 ฤดูกาล	44
4.5.	แสดงค่ากำลังไฟฟ้าของเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550	46
4.6.	แสดงค่ากำลังไฟฟ้าของเดือนธันวาคม พ.ศ. 2550	47
4.7.	แสดงค่ากำลังไฟฟ้าของเดือนมกราคม พ.ศ. 2551	48
4.8.	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าจากดาวเทียมกับค่ากำลังไฟฟ้าที่เก็บได้ ณ สถาบัน	49
4.9.	แสดงแบบบ้านจำลองที่จะนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้ง	54
4.10.	แสดงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน	55
ผก1	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดกระบี่	ผก2
ผก2	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดกรุงเทพมหานคร	ผก3
ผก3	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดกาฬสินธุ์	ผก3
ผก4	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดกำแพงเพชร	ผก3
ผก5	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดขอนแก่น	ผก4
ผก6	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดจันทบุรี	ผก4
ผก7	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดฉะเชิงเทรา	ผก4
ผก8	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดชลบุรี	ผก5
ผก9	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดชัยนาท	ผก5
ผก10	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดชัยภูมิ	ผก5
ผก11	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดชุมพร	ผก6
ผก12	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดเชียงราย	ผก6
ผก13	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดเชียงใหม่	ผก6
ผก14	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดตรัง	ผก7
ผก15	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดตาก	ผก7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผก16	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนครนายก	ผก7
ผก17	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนครปฐม	ผก8
ผก18	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนครพนม	ผก8
ผก19	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนครราชสีมา	ผก8
ผก20	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนครศรีธรรมราช	ผก9
ผก21	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนครสวรรค์	ผก9
ผก22	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนนทบุรี	ผก9
ผก23	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนราธิวาส	ผก10
ผก24	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดน่าน	ผก10
ผก25	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดบุรีรัมย์	ผก10
ผก26	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดปทุมธานี	ผก11
ผก27	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์	ผก11
ผก28	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดปราจีนบุรี	ผก11
ผก29	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดปัตตานี	ผก12
ผก30	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา	ผก12
ผก31	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดพะเยา	ผก12
ผก32	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดพังงา	ผก13
ผก33	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดพัทลุง	ผก13
ผก34	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดพิจิตร	ผก13
ผก35	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดพิษณุโลก	ผก14
ผก36	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดเพชรบุรี	ผก14
ผก37	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดเพชรบูรณ์	ผก14
ผก38	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดแพร่	ผก15
ผก39	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดภูเก็ต	ผก15
ผก40	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดมหาสารคาม	ผก15
ผก41	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดมุกดาหาร	ผก16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผก42	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน	ผก16
ผก43	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดยโสธร	ผก16
ผก44	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดยะลา	ผก17
ผก45	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดร้อยเอ็ด	ผก17
ผก46	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดระนอง	ผก17
ผก47	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดระยอง	ผก18
ผก48	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดราชบุรี	ผก18
ผก49	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดลพบุรี	ผก18
ผก50	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดลำปาง	ผก19
ผก51	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดลำพูน	ผก19
ผก52	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดเลย	ผก19
ผก53	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดศรีสะเกษ	ผก20
ผก54	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสกลนคร	ผก20
ผก55	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสงขลา	ผก20
ผก56	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสตูล	ผก21
ผก57	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสมุทรปราการ	ผก21
ผก58	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสมุทรสงคราม	ผก21
ผก59	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสมุทรสาคร	ผก22
ผก60	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสระแก้ว	ผก22
ผก61	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสระบุรี	ผก22
ผก62	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสิงห์บุรี	ผก23
ผก63	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสุโขทัย	ผก23
ผก64	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสุพรรณบุรี	ผก23
ผก65	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี	ผก24
ผก66	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสุรินทร์	ผก24
ผก67	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดหนองคาย	ผก24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผก68	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดหนองบัวลำภู	ผก25
ผก69	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดอ่างทอง	ผก25
ผก70	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดอำนาจเจริญ	ผก25
ผก71	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดอุดรธานี	ผก26
ผก72	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดอุตรดิตถ์	ผก26
ผก73	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดอุทัยธานี	ผก26
ผก74	แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดอุบลราชธานี	ผก27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความเป็นมาและแนวคิดที่สำคัญ

ประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรซึ่งอยู่ในเขตร้อน พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นพลังงานที่หาได้ง่ายและเหมาะจะนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ให้มากกว่าในปัจจุบัน เนื่องจากพลังงานที่ใช้อยู่ในประเทศสักวันต้องมีวันหมดไปและพลังงานที่ใช้ในประเทศบางพลังงาน เช่น น้ำมัน ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งทำให้มีการเสียดุลทางการค้า และแนวโน้มราคาน้ำมันในตลาดโลกก็สูงขึ้นเรื่อยๆ พลังงานแสงอาทิตย์จึงเหมาะสมที่จะนำมาเป็นพลังงานทดแทน เพราะแหล่งกำเนิดพลังงานคือดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่มีวันหมด ทำให้เราสามารถใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากพอ

อนึ่ง พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดและเป็นพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังมีปริมาณมากพอสำหรับประเทศไทย เราจึงควรที่จะทำการศึกษาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในนโยบายการผลิตพลังงานทดแทนของประเทศไทย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทดแทนอื่นๆ ที่มีการค้นคว้าในประเทศไทย เช่น พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ ปรากฏเป็นที่เด่นชัดว่าเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ถูกนำมาใช้งานได้อย่างประสบความสำเร็จมากที่สุด

โครงการวิจัยนี้ได้นำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาเป็นอุปกรณ์ในการเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อดูค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ในแต่ละวัน โดยเก็บเป็นสถิติตลอดระยะเวลา 3 เดือน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าพลังงานแสงอาทิตย์จากดาวเทียม ที่เก็บเป็นสถิติโดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน เพื่อดูว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งเป็นสิ่งที่บอกถึงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ว่าเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือไม่และจะมีความคุ้มค่ามากน้อยเท่าใด ถ้าจะนำเซลล์แสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ในบ้านเรือน

นอกจากนี้แล้ว การเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลาย้อนหลังหลายๆ ปี โดยจัดเก็บเป็นสถิติของประเทศไทยไว้ จะทำให้สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาคาดคะเนค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในอนาคตเพื่อคาดการณ์ปรากฏการณ์ต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น และทำให้ทราบแนวโน้มค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในปีต่อๆ ไป เพื่อเตรียมรับกับสถานการณ์ที่จะเปลี่ยนแปลงในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. ปัญหาของโครงการวิจัย

ปัญหาจากข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การต่อระบบและการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การเลือกใช้วัสดุของระบบต่างๆ ผู้วิจัยโครงการต้องสอบถามจากผู้ที่มีความรู้และเชี่ยวชาญในด้านนี้จากหลายบุคคล เช่น จากอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ภาคไฟฟ้า อาจารย์ภาคอิเล็คทรอนิคส์ รุ่นพี่จากภาคไฟฟ้า เป็นต้น

1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาหาปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

1.4. ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์และค่าความเข้มแสงอาทิตย์
2. ขั้นตอนวิธีการเก็บข้อมูลจากสถาบันที่ทำการวิจัยอยู่ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้
3. นำอุปกรณ์มาที่สถาบันเพื่อทำการเก็บตัวอย่างข้อมูลตามวิธีการที่ได้ศึกษามาแล้ว
4. นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลจริงของปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ใน 6 ปีย้อนหลัง จากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึง พ.ศ. 2541 นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างมาใช้ประโยชน์ในด้านที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมโยธา

1.5. ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. นำเสนอหัวข้อและจัดทำเอกสารนำเสนอ
2. ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละวันตลอด 6 ปีย้อนหลัง
3. วิเคราะห์รวบรวมข้อมูล
4. ศึกษาขั้นตอนและวิธีการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์จริง ณ สถานที่ทำการวิจัย
5. จัดเตรียมสถานที่และอุปกรณ์สำหรับการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการเก็บข้อมูลทุกวัน
6. รวบรวมข้อมูลจากการเก็บแต่ละวันแล้วนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลจริงใน 6 ปีย้อนหลัง
7. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาวิธีในการนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
8. สรุปและประเมินผลการทดลองของโครงการวิจัยที่ได้ปฏิบัติมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6. ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ในประเทศไทยจากข้อมูลของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน
2. ทราบขั้นตอนและวิธีการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์
3. นำข้อมูลปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์มาวิเคราะห์ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ตัวอย่างเช่น ในพื้นที่บริเวณต่างๆ มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์ไม่เท่ากัน จึงนำค่าความเข้มแสงอาทิตย์มาวิเคราะห์ เพื่อวางแผนในการก่อสร้างอาคารว่าจะใช้วัสดุในการก่อสร้างประเภทใดหรือใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดใด จึงจะสามารถประหยัดพลังงานให้กับตัวอาคารได้สูงสุด
4. นำข้อมูลที่เก็บได้จริงไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ใน 6 ปีย้อนหลังและนำไปคาดคะเนค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในอนาคต เพื่อคาดการณ์สถานการณ์ของพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศ
5. นำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ให้เข้ากับระบบต่างๆ ของประเทศไทย วิเคราะห์ว่าสามารถที่จะทำการวิจัยเพื่อผลิตวัสดุอุปกรณ์ใหม่ๆ ที่จะใช้ในการก่อสร้างหรือใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ซึ่งช่วยในเรื่องของการประหยัดพลังงานได้
6. สามารถนำข้อมูลมาคำนวณกำลังในการผลิตไฟฟ้าใช้ในบริเวณที่ทำการศึกษาได้ ถ้าได้รับการพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1. ความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก

อาจกล่าวได้ว่าทุกชีวิตในโลกต่างพึ่งพาพลังงานจากดวงอาทิตย์ไม่โดยทางตรงก็ทางอ้อม พลังงานที่ดวงอาทิตย์ให้กับโลกทางตรงคือแสงสว่าง ซึ่งมีผลทำให้เกิดความร้อน สร้างความอบอุ่นให้กับโลก พลังงานทางอ้อมคือดวงอาทิตย์ทำให้สิ่งมีชีวิตดำรงชีพอยู่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชเจริญเติบโตโดยอาศัยการสังเคราะห์แสงจากแสงอาทิตย์และมนุษย์ได้อาศัยพลังงานจากต้นไม้ที่สำคัญๆ คือ ฟืน ถ่าน รวมทั้งแร่ถ่านหิน ปิโตรเลียม ซึ่งได้มาเมื่อพืชและสัตว์ตายทับถมกันเป็นเวลานานๆ รวมทั้งการนำหลักการย่อยสลายของพืชมาทำเป็นก๊าซชีวภาพ

ดวงอาทิตย์คือแหล่งพลังงานความร้อนและแสงสว่างที่ใหญ่ที่สุดและเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่มีวันหมด ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตใกล้เส้นศูนย์สูตรหรือเส้นแบ่งครึ่งโลก จึงได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ทั้งนี้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ อันจะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ จึงได้มีการนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็คทรอนิคส์ชนิดหนึ่งมาใช้ผลิตไฟฟ้า เนื่องจากสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง

ปัจจุบันในประเทศไทยมีหลายหน่วยงานที่ได้ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานในลักษณะต่างๆ กัน นอกจากเซลล์แสงอาทิตย์แล้วยังมีอุปกรณ์ในการเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์อีกชนิดหนึ่ง คือ ไพรานอร์มิเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนเซนเซอร์ที่วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ทำงานร่วมกับอินติเกรเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนที่แปลงค่าความเข้มแสงอาทิตย์เป็นสัญญาณ เพื่อการแสดงผลเป็นค่าพลังงานแสงอาทิตย์ อุปกรณ์นี้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ซึ่งติดตั้งตามสถานที่ต่างๆ ในประเทศไทยรวมทั้งหมด 37 แห่ง

แต่ในความเป็นจริงแล้วประเทศไทยในปัจจุบันได้มองข้ามพลังงานแสงอาทิตย์ ในการที่จะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ หรือมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์น้อยเกินไป โครงการวิจัยนี้จึงสนใจที่จะทำการศึกษาค่าพลังงานแสงอาทิตย์และเก็บรวบรวมค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สถาบัน เพื่อเป็นกรณีศึกษาต่อไปว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านใดได้บ้างทั้งในชีวิตประจำวันและในประเทศ

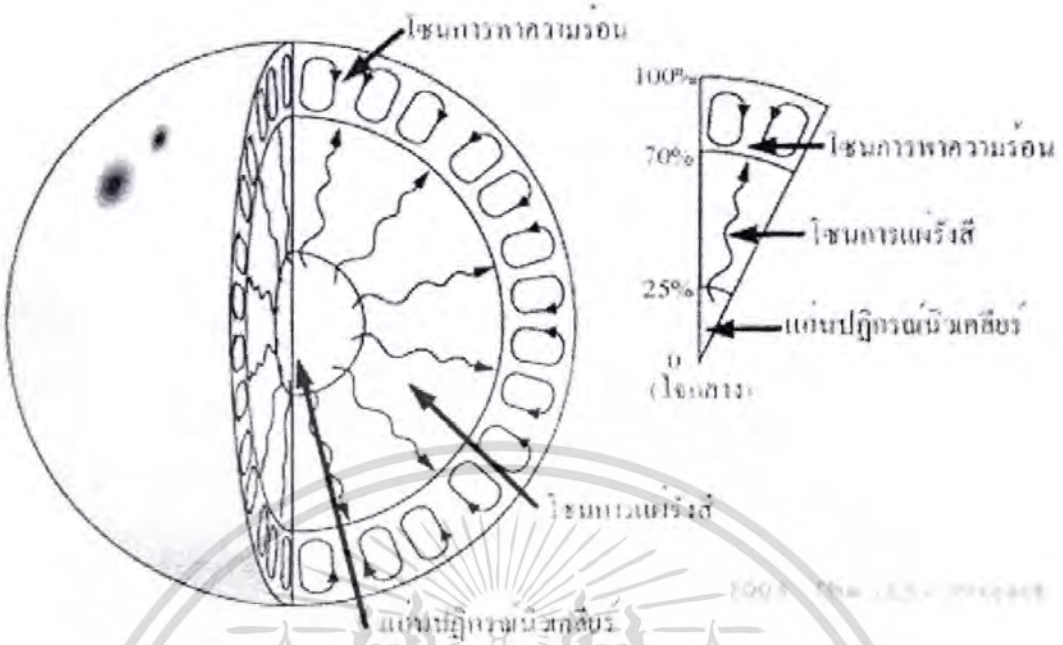
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. ดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นกลุ่มก๊าซร้อนรูปทรงที่มีความหนาแน่นสูง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.39×10^{9} เมตรและมีระยะทางเฉลี่ยจากโลกประมาณ 1.5×10^{11} เมตร เมื่อสังเกตจากโลก ดวงอาทิตย์จะใช้เวลาในการหมุนรอบแกนตัวเองประมาณ 4 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามดวงอาทิตย์ไม่ได้หมุนอย่างของแข็ง การหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ที่บริเวณศูนย์สูตรจะใช้เวลาประมาณ 27 วันและสำหรับบริเวณขั้วโลกประมาณ 30 วัน ดวงอาทิตย์เปรียบเสมือนวัตถุดำที่มีอุณหภูมิประสิทธิผล 5,777 เคลวิน อุณหภูมิที่จุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 8×10^{6} ถึง 40×10^{6} เคลวิน และมีความหนาแน่นประมาณ 100 เท่าของความหนาแน่นของน้ำ ดวงอาทิตย์เปรียบได้กับเตาปฏิกรณ์ที่เกิดปฏิกิริยาฟิวชันของก๊าซที่เป็นส่วนประกอบอย่างต่อเนื่อง พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวหลายชนิด ปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดปฏิกิริยาหนึ่ง คือ การรวมตัวกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม มวลของนิวเคลียสของฮีเลียมมีค่าน้อยกว่ามวลของไฮโดรเจน มวลส่วนที่หายไปคือคือมวลที่เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงาน พลังงานนี้จะเกิดขึ้นที่ภายในดวงอาทิตย์ที่อุณหภูมิหลายล้านเคลวิน พลังงานนี้จะถ่ายเทมาที่ผิวของดวงอาทิตย์และแผ่ออกจากผิวสู่อากาศ โครงสร้างของดวงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. แก่นปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (Nuclear Burning Core) มีขนาดประมาณ 25% ของรัศมี เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบฟิวชัน เผาไหม้ไฮโดรเจนให้เป็นกลายเป็นฮีเลียม มวลบางส่วนได้เปลี่ยนเป็นพลังงาน มีอุณหภูมิสูงถึง 15 ล้านเคลวิน
2. โซนการแผ่รังสี (Radiative Zone) อยู่ที่ระยะ 25-70% ของรัศมี พลังงานที่เกิดขึ้นจากแก่นปฏิกรณ์นิวเคลียร์ถูกนำขึ้นสู่ชั้นบนโดยการแผ่รังสีด้วยอนุภาคโฟตอน
3. โซนการพาความร้อน (Convection Zone) อยู่ที่ระยะ 70-100% ของรัศมี พลังงานจากภายในถูกพาออกสู่พื้นผิวด้วยการหมุนวนของก๊าซร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1. แสดงโครงสร้างของดวงอาทิตย์

2.2.1. ค่าคงที่แสงอาทิตย์

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์โดยที่วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ไม่เป็นวงกลม ด้วยเหตุนี้ ระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จึงมีค่าที่ไม่เท่ากันในเวลาใดๆ โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงประมาณ 1.7% ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกและดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 1.495×10^{11} เมตร ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งหน่วยเหนือบรรยากาศโลกที่เวลาต่างกันจึงมีค่าไม่เท่ากัน ค่าคงที่แลงอาทิตย์ (Solar Constant, G_{sc}) คือ ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าประมาณ 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

2.2.2. การแปรเปลี่ยนของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศ

สาเหตุหลัก 2 ประการ ที่ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลก (Extraterestrial Radiation) มีค่าไม่คงที่ คือ การเปลี่ยนแปลงของค่ารังสีที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์และการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์มีค่าน้อยมาก (น้อยกว่า ±1.5%) ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์จึงเป็นสาเหตุเดียวที่ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลกมีค่าไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีอาทิตย์เหนือบรรยากาศจะอยู่ในช่วง ±3% สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งหน่วยเหนือบรรยากาศโลก G_{on} ที่วันลำดับที่ n ของปีและค่าคงที่แสงอาทิตย์ได้ดังสมการ

$$G_{on} = G_{sc}\left[1+0.033\cos\frac{(360n)}{365}\right] \quad (1)$$

2.2.3. ประเภทของรังสีที่ผิวโลกและมวลอากาศ มี 3 ประเภท คือ

1. รังสีตรง (Beam or Direct Radiation) คือ รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกลงบนผิวรับแสง มีทิศทางแน่นอนที่เวลาหนึ่งเวลาใด ทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์
2. รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) คือ รังสีอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนจากบรรยากาศของโลกและวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบพื้นผิวรับแสง รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางของท้องฟ้า
3. รังสีรวม (Total or Global Radiation) คือ ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายที่ตกกระทบผิวรับแสง ในกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและผิวโลก เรียกรังสีรวมนี้ว่า Global Radiation

2.2.4. รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบเหนือบรรยากาศ

ที่เวลาใดๆ สามารถหาค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบเหนือบรรยากาศได้จากความสัมพันธ์

$$G_o = G_{sc}\left[1+0.033\cos\frac{(360n)}{365}\right]\cos\theta_z \quad (2)$$

เมื่อ G_{sc} คือ ค่าคงที่แสงอาทิตย์ และ n คือ วันลำดับที่ n ของปี เมื่อแทนสมการ (1) ลงในสมการ (2) จะได้

$$G_o = G_{sc}\left[1+0.033\cos\frac{(360n)}{365}\right](\cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta) \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น สามารถหาค่ารังสีที่ตกกระทบในแนวระนาบเหนือบรรยากาศ ณ วันที่ใดๆ โดยการอินทิเกรตสมการ (3) ตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นถึงดวงอาทิตย์ตก

$$H_o = \frac{24 \times 3600\, G_{sc}}{\pi}\left[1+0.033\cos\left(\frac{360n}{365}\right)\right] \times \left[\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180}\sin\phi\sin\delta\right] \quad (4)$$

เมื่อ H_o คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์รายวันในแนวราบเหนือบรรยากาศ (J/m^2), G_{sc} คือ ค่าคงที่แสงอาทิตย์ (W/m^2) และ ω_s คือ มุมชั่วโมงพระอาทิตย์ตก (องศา)

2.2.5. อัตราส่วนรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีตรงบนพื้นราบ

ซึ่งอัตราส่วนรังสีตรงที่ตกกระทบพื้นเอียงต่อรังสีตรงที่ตกกระทบบนพื้นราบ (R_b) ที่เวลาใดๆ หาได้จากความสัมพันธ์

$$R_b = \frac{G_{bT}}{G_b} = \frac{G_{bn}\cos\theta}{G_{bn}\cos\theta_z} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (5)$$

โดยที่ G_{bT} และ G_b คือ รังสีตรงที่ตกกระทบพื้นเอียงและพื้นราบตามลำดับ สำหรับซีกโลกเหนือและแผงรับแสงหันหน้าไปทางทิศใต้ จะได้ความสัมพันธ์

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta)\cos\delta\cos\omega + \sin(\phi - \beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta} \quad (6)$$

สำหรับซีกโลกใต้และแผงรับแสงหันหน้าไปทางทิศเหนือ จะได้ความสัมพันธ์

$$R_b = \frac{\cos(\phi + \beta)\cos\delta\cos\omega + \sin(\phi + \beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta} \quad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถคำนวณค่าอัตรารังสีส่วนรวมที่ตกกระทบพื้นเอียงต่อรังสีรวมที่ตกกระทบพื้นราบ (R) ได้จากสมการ (8) เนื่องจากเป็นการคำนวณตลอดทั้งชั่วโมงจึงใช้สัญลักษณ์ I แทนสัญลักษณ์ G ซึ่งหมายถึง อัตราพลังงาน สำหรับสัญลักษณ์ H ที่จะพบต่อไปหมายถึง ปริมาณรังสีตลอดทั้งวัน

$$R = \frac{I_T}{I} \tag{8}$$

เมื่อ I_T และ I คือ รังสีรวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบพื้นเอียงและพื้นราบตามลำดับ อาจแสดงในเทอมของรังสีตรงและรังสีกระจายได้ดังนี้

$$R = \frac{I_b}{I} \cdot R_b + \frac{I_d}{I} \cdot R_d \tag{9}$$

โดยที่

$$\frac{R_b}{I_b} = I_{bT} \tag{10}$$

และ

$$\frac{R_d}{I_d} = I_{dT} \tag{11}$$

เมื่อ R_b คือ อัตราส่วนรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีตรงบนพื้นราบ, R_d คือ อัตราส่วนรังสีกระจายบนพื้นเอียงต่อรังสีกระจายบนพื้นราบ, I_{bT} และ I_b คือ รังสีตรงรายชั่วโมงที่ตกกระทบพื้นเอียงและพื้นราบตามลำดับ และ I_{dT} และ I_d คือ รังสีกระจายรายชั่วโมงที่ตกกระทบพื้นเอียงและพื้นราบตาม ลำดับ ถ้า ρ คือ อัตราการสะท้อนแสงของพื้นดิน

$$R = \frac{I_b}{I} \cdot R_b + \frac{I_d}{I}\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \tag{12}$$

Liu & Jordan (1963) ได้แนะนำให้ใช้ค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสงของพื้นดินประมาณ 0.2 สำหรับพื้นที่ไม่มีหิมะปกคลุมและ 0.7 สำหรับพื้นที่ที่หิมะตกใหม่ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณีของค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวัน สามารถหาค่า $\overline{R}$ ได้ดังนี้

$$\overline{R} = \frac{\overline{H}_T}{\overline{H}} = \left(1 - \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}}\right) R_b + \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} \frac{(1+\cos\beta)}{2} + \rho\frac{(1-\cos\beta)}{2} \quad (13)$$

$$\overline{H}_T = H\left(1 - \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}}\right) R_b + \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} \frac{(1+\cos\beta)}{2} + \rho\frac{(1-\cos\beta)}{2} \quad (14)$$

สำหรับซีกโลกเหนือ

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta)\cos\delta \sin\omega'_s + \frac{\pi\omega'_s}{180}\sin(\phi - \beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180}\sin\phi\sin\delta} \quad (15)$$

เมื่อ $\omega'_s = \min\{\cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta), \cos^{-1}(-\tan\phi - \beta)\tan\delta\}$ (16)

โดยที่ "min" หมายถึง จำนวนที่มีค่าน้อยกว่าของ 2 เทอมในวงเล็บ

สำหรับซีกโลกใต้

$$R_b = \frac{\cos(\phi + \beta)\cos\delta \sin\omega'_s + \frac{\pi\omega'_s}{180}\sin(\phi + \beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180}\sin\phi\sin\delta} \quad (17)$$

เมื่อ $\omega'_s = \min\{\cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta), \cos^{-1}(-\tan\phi + \beta)\tan\delta\}$ (18)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6. การประมาณค่ารังสีอาทิตย์

ข้อมูลรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดเป็นข้อมูลที่ดีที่สุดในการใช้ประมาณค่าปริมาณรังสีอาทิตย์โดยเฉลี่ยที่ตกกระทบผิวโลก ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลรังสีอาทิตย์ สามารถประมาณค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยได้โดยอาศัยความสัมพันธ์เชิงสถิติของรังสีอาทิตย์กับชั่งโมงที่มีแดด โดยที่บริเวณที่ใช้หาความสัมพันธ์ของข้อมูลจะต้องมีลักษณะภูมิประเทศใกล้เคียงกับบริเวณที่ต้องการประมาณค่ารังสีอาทิตย์ ข้อมูลจำนวนชั่วโมงที่มีแสงแดดสามารถทำการเก็บได้ง่ายและมีการเก็บข้อมูลนี้หลายสถานีทั่วประเทศ จึงเป็นที่นิยมใช้ในการประมาณค่ารังสีอาทิตย์ โดยทั่วไปการประมาณค่ารังสีอาทิตย์มักจะใช้ข้อมูลไร้มิติในการวิเคราะห์แทนการใช้ข้อมูลดิบ เนื่องจากการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลไร้มิติจะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่าการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลดิบ ตัวแปรไร้มิติที่สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้

ดัชนีเมฆรายชั่วโมง (Hourly Cloudiness Index, k_T) คือ อัตราส่วนระหว่างรังสีรวมรายชั่วโมงบนพื้นราบ (I) ต่อค่ารายชั่วโมงของรังสีอาทิตย์ในแนวราบเหนือบรรยากาศ (I_0)

$$k_T = \frac{I}{\overline{I_0}} \tag{19}$$

ดัชนีเมฆรายวัน (Daily Cloudiness Index, K_T) คือ อัตราส่วนระหว่างรังสีรวมรายวันบนพื้นราบ (H) ต่อค่ารายวันของรังสีอาทิตย์ในแนวราบเหนือบรรยากาศ (H_0)

$$K_T = \frac{H}{\overline{H_0}} \tag{20}$$

ดัชนีเมฆรายเดือน ($\overline{K_T}$) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวันของรังสีรวมบนพื้นราบ ($\overline{H}$) ต่อค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวันของรังสีอาทิตย์ในแนวราบเหนือบรรยากาศ ($\overline{H_0}$)

$$\overline{K_T} = \frac{\overline{H}}{\overline{H_0}} \tag{21}$$

โดยที่ I, H และ $\overline{H}$ เป็นค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลรังสีอาทิตย์ สำหรับ I_0, H_0 และ $\overline{H_0}$ เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณค่ารังสีอาทิตย์จะอ้างอิงจากความสัมพันธ์เชิงเส้นของอังสตรอม (Angstrom) โดยความสัมพันธ์นี้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวันของรังสีอาทิตย์ต่อค่ารังสีในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสและค่าเฉลี่ยของชั่วโมงที่มีแดด ซึ่งแสดงได้ดังสมการ

$$\frac{\overline{H}}{\overline{H_c}} = a' + b'\frac{(\overline{S})}{\overline{N}} \qquad (22)$$

เมื่อ $\overline{H_c}$ คือ ค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวันของรังสีอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส, $\overline{S}$ คือ ค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวันของชั่วโมงที่มีแดดและ $\overline{N}$ คือ ค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวันของความยาวนานของวัน จากความสัมพันธ์ที่ได้พบว่าตัวแปรที่มีปัญหาในการหาค่าคือ $\overline{H_c}$ เนื่องจากไม่สามารถกำหนดมาตรฐานที่แน่นอนลงไปได้ว่าวันใดจึงเรียกได้ว่าเป็นวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ดังนั้น Page (1964) จึงได้ปรับปรุงโดยเปลี่ยนไปใช้ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศในแนวราบแทนการใช้ $\overline{H_c}$ รูปแบบของสมการจึงเปลี่ยนเป็น

$$\frac{\overline{H}}{\overline{H_c}} = a + b\frac{(\overline{S})}{\overline{N}} \qquad (23)$$

เมื่อมีข้อมูลรังสีอาทิตย์และความยาวนานของวันก็สามารถที่จะหาค่าคงที่ a และ b ได้โดยวิธีทางสถิติ เมื่อทราบค่า a และ b แล้ว จะสามารถประมาณค่ารังสีอาทิตย์จากชั่วโมงที่มีแดดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิชัย นามประกาย และคณะ (2532) ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีรวมต่อรังสีนอกบรรยากาศกับอัตราส่วนระหว่างชั่วโมงที่มีแดดต่อความยาวนานของวัน โดยใช้ข้อมูลของกรุงเทพมหานคร ในช่วงปี พ.ศ. 2524 ถึง พ.ศ. 2531 ซึ่งวัดโดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

กรณีใช้ค่ารังสีอาทิตย์รายวัน

$$K_T = 0.327 + 0.439 \left(\frac{\overline{S}}{\overline{N}} \right) \quad (24)$$

กรณีใช้ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือน

$$\overline{K_T} = 0.297 + 0.389 \left(\frac{\overline{S}}{\overline{N}} \right) \quad (25)$$

Hirunlabh et al. (1994) ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีรวมรายวันต่อรังสีนอกบรรยากาศกับชั่วโมงที่มีแดดและความยาวนานของวัน โดยใช้ข้อมูลจาก 4 สถานี คือ

1. เชียงใหม่ ใช้ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2526 ถึง พ.ศ. 2531
2. อุบลราชธานี ใช้ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2527 ถึง พ.ศ. 2531
3. กรุงเทพมหานคร ใช้ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2525 ถึง พ.ศ. 2535
4. หาดใหญ่ ใช้ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2526 ถึง พ.ศ. 2530

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวิเคราะห์ในรูปแบบเชิงเส้นและโพลีโนเมียล

$$K_T = a + b\left(\frac{\overline{S}}{\overline{N}}\right) \quad (26)$$

$$K_T = a + b\left(\frac{\overline{S}}{\overline{N}}\right) + c\left(\frac{S}{N}\right)^2 \quad (27)$$

และวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวัน ทั้งแบบเชิงเส้นและโพลีโนเมียล

$$\overline{K_T} = a + b\left(\frac{\overline{S}}{\overline{N}}\right) \quad (28)$$

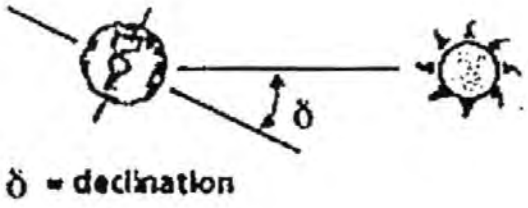
$$\overline{K_T} = a + b\left(\frac{\overline{S}}{\overline{N}}\right) + c\left(\frac{\overline{S}}{\overline{N}}\right)^2 \quad (29)$$

2.2.7. มุมพื้นฐานในการส่องสว่างของดวงอาทิตย์

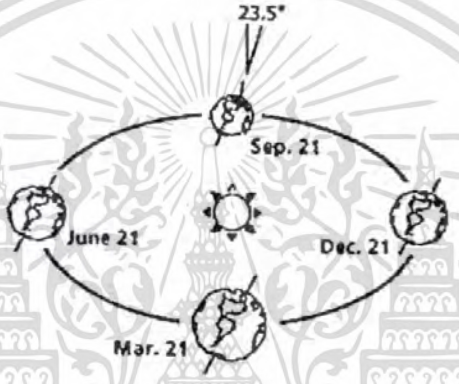
2.2.7.1. Declination (δ)

Declination เป็นมุมที่เกิดขึ้นระหว่างรังสีของดวงอาทิตย์และเส้นศูนย์สูตรของโลก โดยเส้นศูนย์สูตรของโลกจะเอียงทำมุม 23.45° ตลอด เมื่อเทียบกับระนาบการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ดังนั้น Declination จึงมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 23.45° N ถึง 23.45° S นั่นคือ ประเทศที่มีที่ตั้งละติจูดที่ 23.45° N ถึง 23.45° S จะมีโอกาสพบกับอุณหภูมิที่สูงสุดของโลก เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากนั่นเอง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้เกิดฤดูกาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2. แสดงมุม Declination



รูปที่ 2.3. แสดงมุมที่เปลี่ยนแปลงทำให้เกิดฤดูกาลต่างๆ

จากรูปที่ 2.3. ตั้งแต่วันที่ 21 ธันวาคม ซีกโลกทางด้านเหนือจะเอียง 23.45° หันออกจากดวงอาทิตย์ ซึ่งทำให้เกิดวันในฤดูหนาวที่ยาวนานสำหรับบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรและเกิดวันในฤดูร้อนที่ยาวนานในบริเวณใต้เส้นศูนย์สูตร ตั้งแต่วันที่ 21 มิถุนายน ซีกโลกทางด้านซ้ายจะเอียงทำมุม 23.45° หันเข้าหาดวงอาทิตย์ ซึ่งทำให้เกิดวันในฤดูร้อนที่ยาวนานสำหรับบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรและเกิดวันในฤดูหนาวที่ยาวนานในบริเวณซีกโลกครึ่งล่าง สำหรับวันที่ 21 มีนาคมและ 21 กันยายน จะเป็นฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วง ซึ่งดวงอาทิตย์จะผ่านเส้นศูนย์สูตรโดยตรง Declination จะมีค่าเป็นศูนย์ (การวัดหน่วยของ Declination เป็นองศา)

$$\text{Declination } (\delta) = 23.45 \times \sin\{(360/365) \times (284 + \text{วันที่ต้องการคำนวณ})\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่การคำนวณจะกำหนดให้วันที่ 1 มกราคมมีค่าเป็น 1 ดังนั้นหากต้องการคำนวณ ณ วันที่ 5 มีนาคม จะทำให้วันที่ต้องการคำนวณมีค่าเป็น 64 (31+28+5) และ Declination ของดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้จะมีค่าเป็นบวก เมื่อแนวของดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรและจะมีค่าเป็นลบเมื่อแนวของดวงอาทิตย์อยู่ใต้เส้นศูนย์สูตร ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ Declination ดังที่กล่าวมาข้างต้นจะมีลักษณะเป็นคลื่นรูปไวน์

2.2.7.2. Hour Angle (H)

Hour Angle เป็นค่าของมุมระหว่างเส้นที่เชื่อมตรงมายังตำแหน่งของดวงอาทิตย์กับเส้นที่ลากมายังตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตอนเที่ยง โดยจะมีค่าเท่ากับ 15° ต่อชั่วโมง ในขณะที่โลกหมุน 360° ทุกๆ 24 ชั่วโมง ค่าของ Hour Angle จะเป็นค่าบวกก่อนเที่ยงและจะเป็นค่าลบหลังเที่ยง

Hour Angle (H) = (เวลาหน่วยเป็นนาทีที่เหลือก่อนถึงเที่ยงวัน)/4

2.2.7.3. Altitude (β) and Azimuth (ϕ)

ทั้งค่า Altitude และค่า Azimuth ของดวงอาทิตย์สามารถใช้ระบุตำแหน่งที่แน่นอนของดวงอาทิตย์ได้ มุม Altitude เป็นมุมที่วัดจากแนวระนาบไปยังความสูงของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า (มุมเงย) แต่ Azimuth เป็นมุมที่เกิดขึ้นในแนวนอนระหว่างตำแหน่งเงาบนพื้นดินของดวงอาทิตย์กับทิศใต้ (องศาใต้-วนทวนเข็มนาฬิกา) หรือทิศเหนือ (องศาเหนือ-วนตามเข็มนาฬิกา)

Altitude Angle

$$\beta = \sin^{-1}\{[\cos(\text{ละติจูด}) \times \cos(\delta) \times \cos(H)] + [\sin(\text{ละติจูด}) \times \sin(\delta)]\}$$

Solar Azimuth Angle

$$\phi = \cos^{-1}\frac{\{[\sin(\beta) \times (\text{ละติจูด})] - \sin(\delta)\}}{\cos(\beta) \times \cos(\text{ละติจูด})}$$

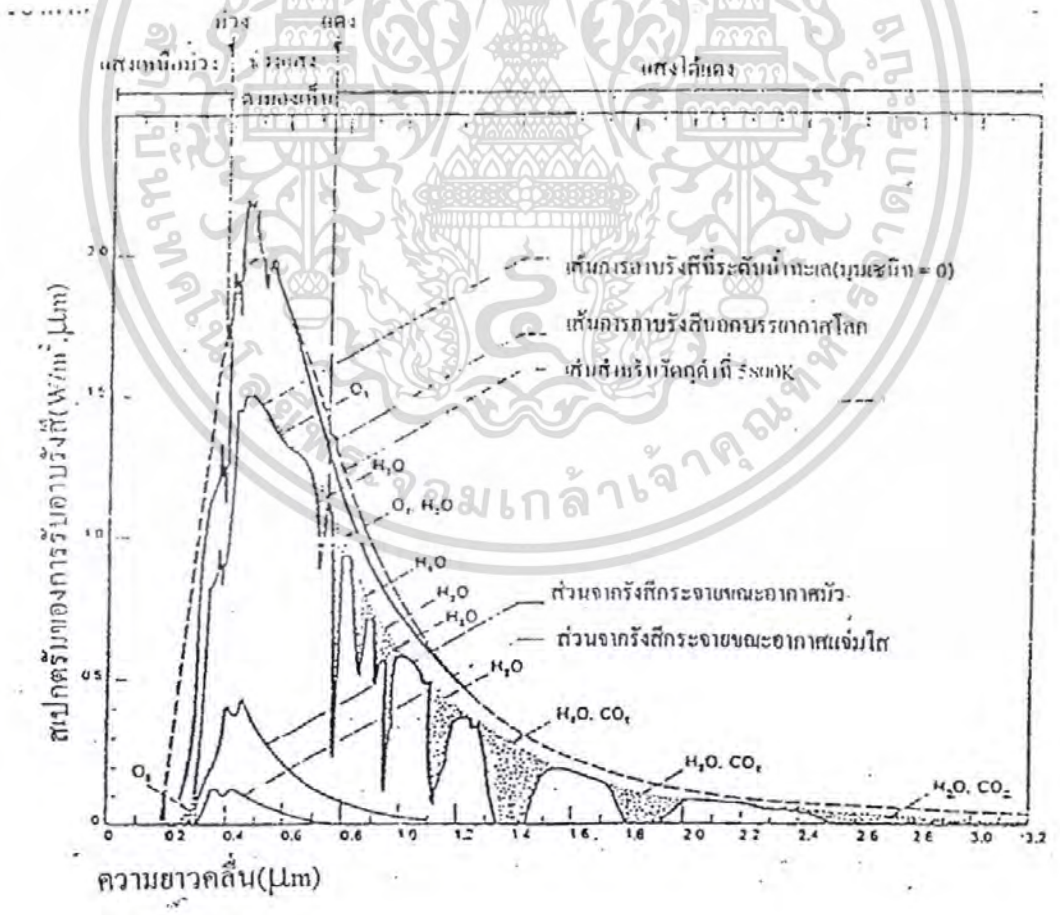
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2.8. ผลกระทบของบรรยากาศโลกต่อการแผ่รังสีแสงอาทิตย์

รังสีแสงอาทิตย์เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศโลกจะถูกดูดกลืนเนื่องจากองค์ประกอบต่างๆ จากกราฟสเปกตรัมสุริยะในบรรยากาศโลกรูปที่ 2.4. จะเห็นว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์ลดลงบางช่วงคลื่น ดังนี้

1. ช่วงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) ความยาวคลื่นต่ำกว่า 0.3 ไมโครเมตร (μm) พลังงานของแสงจะถูกดูดกลืนโดย ก๊าซออกซิเจน (O_2), ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และโอโซน (O_3) ในชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) โดยเฉพาะ O_3 สามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตได้มาก ทำให้แสงที่ตกกระทบผิวโลกเกือบไม่มีพลังงานแสงในช่วงอัลตราไวโอเลตเหลืออยู่
2. ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นได้ (Visible) ความยาวคลื่น 0.4 μm ถึง 0.75 μm แสงถูกดูดกลืนด้วยโมเลกุลของ O_2, O_3 และน้ำบางส่วน
3. ช่วงรังสีอินฟราเรด (Infrared) ความยาวคลื่นมากกว่า 0.8 μm แสงถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) การดูดกลืนนี้อยู่ในชั้นบรรยากาศใกล้ผิวโลกและทำให้เกิดความร้อนขึ้นในชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 2.4. แสดงสเปกตรัมสุริยะนอกชั้นบรรยากาศโลกและที่ระดับน้ำทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

83310

ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 8.0 μm ถึง 12.0 μm บรรยากาศจะโปร่งแสง เรียกช่วงนี้ว่า หน้าต่างของบรรยากาศ (Atmospheric Window) ที่ความยาวคลื่นสูงกว่านี้ แสงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนโดย น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกือบหมด นอกจากนี้แสงยังถูกสะท้อนและกระเจิงโดยฝุ่นละอองใน อากาศ ควัน และก้อนเมฆ พวกที่มีขนาดโมเลกุลใกล้เคียงหรือโตกว่าความยาวคลื่น ส่วนการกระเจิง โดยโมเลกุลอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นรังสีเป็นไปตามทฤษฎีของราเล่ห์ (Rayleigh)

2.2.9. รังสีตรงและรังสีกระจาย

ผลกระทบของบรรยากาศที่มีต่อการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลกประกอบด้วยรังสี 2 ส่วน คือ

1. รังสีตรง (Beam or Direct Radiation) รังสีส่วนนี้เป็นรังสีที่พื้นโลกได้รับโดยตรงจากดวง อาทิตย์ มีทิศทางที่แน่นอนถึงแม้จะมีการเปลี่ยนมุมตกกระทบบนพื้นที่ต่างๆ บนโลกไป ตามเวลา บางครั้งเรียกรังสีตรงว่า รังสีช่วงคลื่นสั้น รังสีตรงเหมาะกับการใช้งานสำหรับ อุปกรณ์รวมแสง
2. รังสีกระจาย (Diffuse or Radiation) รังสีส่วนนี้ได้จากการสะท้อนและการกระเจิงของรังสี แสงอาทิตย์เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศ บางครั้งเรียกรังสีกระจายว่า รังสีช่วงคลื่นยาว

ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายเรียกว่า รังสีรวม (Total or Global Radiation) เวลาอากาศโปร่งจะมีส่วนของรังสีกระจายเพียง 5-10% และจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเมฆบังแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ออปโต้อิเล็กทรอนิคส์ที่สามารถแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ด้วยปรากฏการณ์โฟโตโวลทาอิก เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแรก ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ.1954 การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มจากการใช้งานในยานอวกาศในปี ค.ศ.1958 และเมื่อเกิดเหตุการณ์วิกฤติน้ำมันในต้นทศวรรษที่ 1970 เซลล์แสงอาทิตย์จึงได้รับความสนใจในการใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนบนพื้นโลก ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์อย่างใกล้ชิด ความต้องการเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละปีก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงปี ค.ศ.1995 ปริมาณการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกรวมกันได้ประมาณ 760 เมกกะวัตต์ (MW) และปริมาณการผลิตทั่วโลกก็สูงถึงระดับ 100 MW ต่อปี ทางด้านต้นทุนการผลิตก็ได้ลดลงเหลือประมาณ 3-4 ดอลลาร์สหรัฐต่อวัตต์แล้ว

สำหรับในประเทศไทยจนถึงปี ค.ศ.1997 มีการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์รวมแล้วประมาณ 3.7 MW และกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทุกปี

2.3.1. ประโยชน์ของเซลล์แสงอาทิตย์และการใช้งาน

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ออปโต้อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ (หรือแสงจากหลอดไฟ) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงทันทีที่มีแสงตกกระทบและไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current) เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (Renewable Energy) ที่เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าสะอาดและไม่สร้างมลภาวะเป็นพิษใดๆ ขณะใช้งาน ไม่ทำลายสภาพแวดล้อม เพียงแค่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไว้กลางแสงอาทิตย์ก็สามารถใช้งานได้ทันที เซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำงานได้โดยไม่สร้างเสียงรบกวนหรือการเคลื่อนไหวและไม่เคยปรากฏว่ามีการคัดค้านการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เท่านั้น จึงเป็นการประหยัดน้ำมันและสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานที่มนุษย์ได้มาฟรีและมีไม่สิ้นสุด อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ยาวนานกว่า 20 ปี ดังนั้น เมื่อลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในครั้งแรกก็แทบจะไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอีกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในนโยบายการผลิตพลังงานทดแทนของประเทศไทยและเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทดแทนอื่นๆ ที่มีการค้นคว้าในประเทศไทย เช่น พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ ปรากฏเป็นที่เด่นชัดว่าเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ถูกนำมาใช้งานได้อย่างประสบความสำเร็จมากที่สุด เช่น มีการใช้ในหมู่บ้านชนบทห่างไกลที่สายไฟฟ้าไปไม่ถึง ใช้สูบน้ำบาดาลในพื้นที่ทุรกันดาร ใช้ในระบบสื่อสารถ่ายทอดสัญญาณโทรศัพท์ ใช้ในการทหาร ฯลฯ ในปีค.ศ. 1998 ได้มีโครงการสาธิตการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านในเขตกรุงเทพมหานคร (Solar House) จำนวน 10 หลังคาอีกด้วย เซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแล้วในประเทศไทยทั้งหมดในขณะนี้มีกำลังไฟฟ้าเอาท์พุตรวมประมาณ 3.7 MW หรือประมาณ 92,500 แผง (กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผงผลิตได้มีค่าประมาณ 40-50 วัตต์)

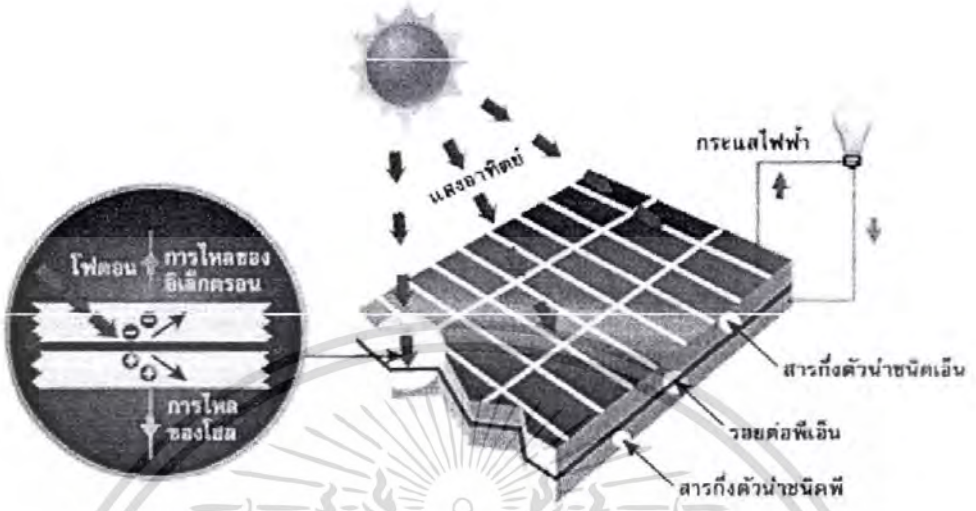
พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกเรามีมากมายมหาศาลถึงร้อยละ 99.98 ของพลังงานที่โลกเราได้รับมาจากดวงอาทิตย์ ส่วนที่เหลือร้อยละ 0.02 เป็นพลังงานความร้อนใต้พิภพ ปริมาณพลังงานของแสงอาทิตย์ที่เดินทางมาสู่โลกมีมากถึง 1.77×10^{14} MW ซึ่งมีมากกว่าปริมาณที่มนุษย์ต้องการ (3.8×10^{8} kW) ถึงกว่าล้านเท่า ดังนั้น ถ้ามนุษย์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงนี้ให้เป็นประโยชน์ก็จะช่วยประหยัดน้ำมันไปได้มาก

สำหรับในประเทศไทย บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร เราได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 1,000 วัตต์ (W) หรือเฉลี่ย 4-5 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (kW-h/m^2/day) ซึ่งมีความหมายว่า ในวันหนึ่งๆ ในพื้นที่ 1 ตารางเมตรนั้น เราได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ 1 kW เป็นเวลานาน 4-5 ชั่วโมงนั่นเอง ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานเท่ากับ 15% ก็แสดงว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตร จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 150 W หรือเฉลี่ย 600-750 kW-h/m^2/day นั่นเอง

ในเชิงเปรียบเทียบ ในวันหนึ่งๆ ประเทศไทยเรามีความต้องการพลังงานไฟฟ้าประมาณ 250 ล้าน kW-h/day ดังนั้น ถ้าเรามีพื้นที่ประมาณ 1,500 ตารางกิโลเมตร (0.3% ของประเทศไทย) เราจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้เพียงพอกับความต้องการของทั้งประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2. หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.5. แสดงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.5. แสดงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ รอยต่อพีเอ็น (p-n) ของสารกึ่งตัวนำและวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลก ได้แก่ ซิลิคอน ซึ่งถลุงได้จากแร่ควอตไซต์หรือทราย นำมาผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ตลอดจนการทำให้เป็นผลึกเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผ่นอาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว) หรือแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ด้านละ 5 นิ้ว) มีความหนา 200-400 μm (0.2-0.4 mm) และต้องนำมาแพร่ซึมสารเจือปนในเตาอุณหภูมิสูง (ประมาณ 1,000°C) เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นที่มีความลึกประมาณ 0.3-0.5 μm ขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นผิวสัมผัสโลหะเต็มแผ่น ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่รับแสงมีลักษณะเป็นลายเส้นคล้ายก้างปลา

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าชนิดประจุลบและประจุบวกขึ้น ซึ่งได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อแยกอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบและแยกโฮลให้ไหลไปที่ขั้วบวก ด้วยเหตุนี้ ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วทั้งสอง เมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดกระแสตรง (เช่น หลอดแสงสว่าง มอเตอร์กระแสตรง ฯลฯ) ก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว จะให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรประมาณ 3 แอมแปร์ (A) และให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.5 โวลต์ (V) ถ้าต้องการให้ได้กระแสไฟฟ้ามากๆ สามารถทำได้โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาต่อขนานกันหรือถ้าต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงๆ ก็ทำได้โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาต่ออนุกรมกัน เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขายทั่วไปจะถูกออกแบบให้อยู่ในกรอบอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งเรียกว่า แผงหรือมอดูล (Module) แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดประมาณ 0.5×1.2 ตารางเมตร ภายใน 1 แผงจะมีเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากต่ออนุกรมกัน (เช่น 32-40 เซลล์) เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผงให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 16-20 โวลต์ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรประมาณ 3-4 แอมแปร์และให้กำลังไฟฟ้าประมาณ 40-50 วัตต์ (W) ในกรอบอะลูมิเนียมนี้จะออกแบบปิดผลึกด้านหน้าด้วยแผ่นกระจกใสและด้านหลังปิดผนึกด้วยวัสดุกันความชื้นและฝุ่นละอองไม่ให้เข้าไปสู่เซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรง ดังนั้น ถ้าต้องการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ ต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับก่อนที่จะต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับดังกล่าว

2.3.3. การดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ของสารกึ่งตัวนำและแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ อาศัยหลักการของทฤษฎีควอนตัมที่ว่า แสงมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคพลังงาน เรียกว่า โฟตอน ในวันที่อากาศปลอดโปร่งจะมีปริมาณโฟตอน 4.4×10^{17} โฟตอนตกกระทบพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรบนผิวโลกทุกวินาที แต่มีพลังงานเพียงน้อยนิดเท่านั้นที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้

การเปลี่ยนรูปพลังงานเริ่มต้นจากเมื่อโฟตอนตกกระทบลงบนสารกึ่งตัวนำจะทำให้วาเลนซ์อิเล็คตรอนของสารกึ่งตัวนำได้รับพลังงานเพิ่ม ถ้าวาเลนซ์อิเล็คตรอนตัวไหนได้รับพลังงานมากเพียงพอ ก็จะข้ามไปอยู่ทางแถบนำเกิดเป็นอิเล็คตรอนอิสระและตำแหน่งที่เดิมของอิเล็คตรอนตัวนั้นจะเกิดโฮลขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดอิเล็คตรอน โฮลแพร์ การเคลื่อนที่ของอิเล็คตรอนและโฮลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น

ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากมายหลายเซลล์นำมาต่อเข้าด้วยกัน เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นแบบคริสตอลไลน์ซิลิคอนเซลล์ ซึ่งแต่ละเซลล์จะมีขนาด 10×10 ตารางเซนติเมตร ใน 1 เซลล์จะจ่ายพลังงานได้ประมาณ 1-1.5 วัตต์ ที่สภาวะมาตรฐานและมีค่าศักย์ไฟฟ้า 0.5-0.6 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้ศักย์ไฟฟ้าตามที่เราออกแบบไว้ ส่วนขนาดของกระแสที่ต้องการก็สามารถทำได้โดยการนำมาต่อขนานกัน เมื่อเราได้จำนวนเซลล์ที่เหมาะสมแล้วก็จะนำมาประกอบรวมกันเป็นแผง เรียกว่า ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการนำชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ ชุดมารวมกันเพื่อให้ได้พลังงานตามที่ต้องการนั่นเอง

ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์นอกจากจะประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว ยังต้องมีอุปกรณ์ป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ช่วยในการทำงานของระบบเป็นไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ อุปกรณ์เหล่านี้ ได้แก่ ไดโอดป้องกันกระแสไหลกลับและบายพาสไดโอด

2.3.4. ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ มี 4 ประเภท ดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Solar Cell)

ผลิตจากแท่งผลึกเดี่ยวของซิลิคอนที่เกิดจากการหลอมละลายซิลิคอนบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิสูงถึง 1,500°C ผ่านกระบวนการตกผลึกอย่างช้าๆ และนำมาตัดเป็นแผ่นบาง เรียกว่า เวเฟอร์ โดยมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานประมาณ 12-13% แต่มีต้นทุนการผลิตสูง

รูปที่ 2.6. แสดง Single Crystalline Silicon Solar Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เซลล์แสงอาทิตย์แบบแผ่นโพลี (Poly-Crystalline Solar Cell)

ผลิตจากก้อนซิลิคอนที่เกิดจากการเย็นตัวของซิลิคอนบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นวิธีการผลิตที่พัฒนาขึ้นเพื่อลดต้นทุนในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานประมาณ 11-12%

รูปที่ 2.7. แสดง Polycrystalline Silicon Solar Cell

3. เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส (Amorphous Solar Cell)

ผลิตจากแผ่นฟิล์มบางแบบของซิลิคอน ใช้อุณหภูมิในการผลิตเพียง 200-300^{o}C สามารถผลิตเป็นแผ่นฟิล์มบางได้ถึง 1 ไมโครเมตร (μm) ทำให้ประหยัดปริมาณซิลิคอนได้มากกว่า ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าและมีขั้นตอนการผลิตไม่ซับซ้อน มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานประมาณ 7%

รูปที่ 2.8. แสดง Amorphous Silicon Solar Cell

4. เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสม (Hybrid Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีส่วนประกอบของซิลิคอนผลึกเดี่ยวและแผ่นฟิล์มบางของอะมอร์ฟัสซิลิคอน ทำให้มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานสูงถึง 16%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5. ข้อมูลที่ใช้พิจารณาเปรียบเทียบเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ

จากที่กล่าวมาแล้วว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายประเภท การพิจารณาเลือกใช้ประเภทใดประเภทหนึ่ง จะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสถานที่ติดตั้งและความต้องการของผู้ใช้ ข้อมูลที่ควรพิจารณาซึ่งเป็นข้อมูลมาตรฐานสากลที่ใช้กันอยู่สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีข้อมูลต่างๆ เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

Peak Power (Pmax)	คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงชนิดนั้นๆ หน่วยวัตต์ (W)
Operating Voltage (Vmp)	คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดเมื่อต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า หน่วยโวลต์ (V)
Operating Current (Imp)	คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดเมื่อใช้งานปกติ หน่วยแอมแปร์ (A)
Open Circuit Voltage (Voc)	คือ แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร หน่วยโวลต์ (V)
Short Circuit Voltage (Isc)	คือ กระแสไฟฟ้าที่วัดเมื่อลัดวงจร หน่วยแอมแปร์ (A)
Standard Test Condition	คือ เงื่อนไขของการทดสอบแผง เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ
Air Mass	ที่ระดับความเข้มแสงที่ใช้ทดสอบที่ 1,000 W/m^2
Operating Temperature	ระดับอุณหภูมิ ($^{\circ}C$) ที่ใช้ในการทดสอบและใช้งาน
Cell Specifications	ข้อมูลจำนวนชิ้นและชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้

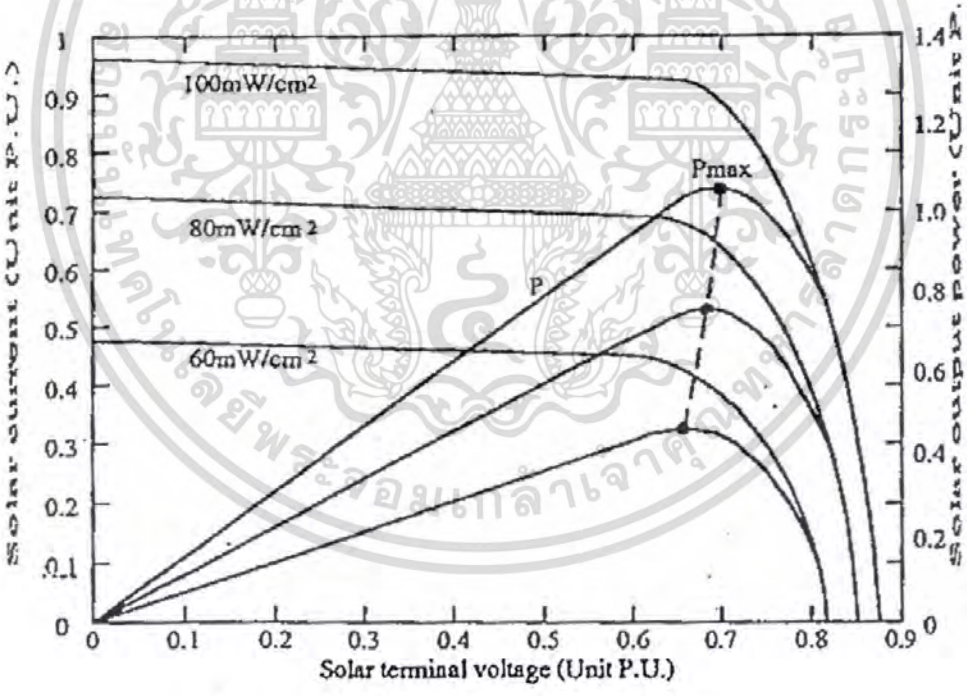
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6. ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้งานในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

1. ความเข้มแสง

กระแสไฟฟ้า (I) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสง หมายความว่า เมื่อความเข้มแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (V) แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มแสงมากนัก ดังรูปที่ 2.9. ค่าความเข้มแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐาน คือ ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (mW/cm^2) หรือ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) ซึ่งมีค่าแอร์แมส (Air Mass) เท่ากับ AM 1.5 และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลก ความเข้มแสงจะมีค่าประมาณ 75 mW/cm^2 หรือ 750 W/m^2 ซึ่งมีค่าแอร์แมสเท่ากับ AM 2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

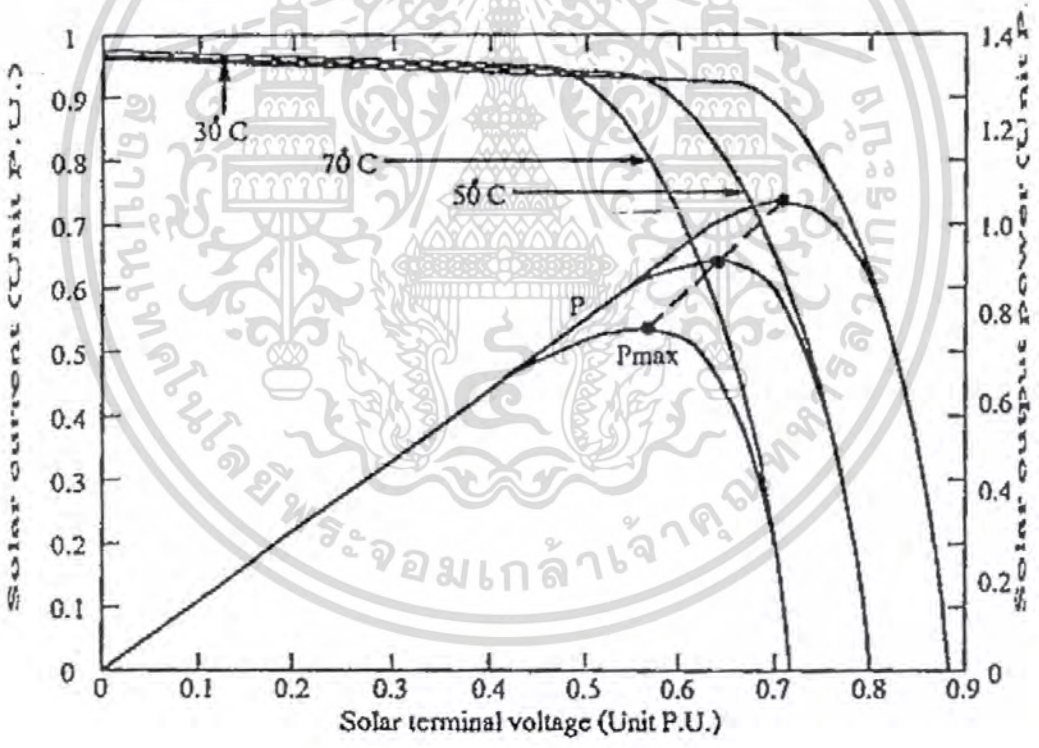


รูปที่ 2.9. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุณหภูมิ

กระแสไฟฟ้า (I) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (V) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 โวลต์ ณ อุณหภูมิ 25°C ก็หมายความว่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อยังไม่ได้ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25°C จะเท่ากับ 21 โวลต์ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25°C เช่น อุณหภูมิ 30°C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 2.5% (0.5%×5°C) นั่นคือ แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่วงจรเปิดจะลดลง 0.525 โวลต์ (21V×2.5%) เหลือเพียง 20.475 โวลต์ สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงด้วย



รูปที่ 2.10. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7. สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ปริมาณของพลังงานที่ผลิตได้ใน 1 วันจากเซลล์แสงอาทิตย์ จะขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศและฤดูกาล เพื่อที่จะตัดปัญหาความยุ่งยากต่างๆ ในการคำนวณหาสมรรถนะของระบบนั้น ควรใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผลิตได้ในเวลา 1 ปี ซึ่งมีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kW-hr) หรือหน่วย (Unit) ซึ่งเหมือนกับการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าตามบ้านเรือนทั่วไป พลังงานที่ผลิตได้ในรอบปีขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้

1. ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ (Insolation) ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรอบปี (Annual Insolation) จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่นั้น มุมเอียงของแผงและทิศทางที่เบี่ยงเบนไปจากทิศใต้
2. อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงาน อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะทำงานเป็นตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลง 0.5% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 $^{\circ}C$
3. ประสิทธิภาพของระบบ (Electrical Conversion Efficiency) ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ต่อเชื่อมและเครื่องแปลงกระแส (Inverter) ดังนั้น ประสิทธิภาพของระบบจึงขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของอุปกรณ์เหล่านี้ด้วย

พลังงานที่ผลิตได้ใน 1 ปี (Annual Specific Yield) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการเปรียบเทียบและวัดสมรรถนะของระบบ ซึ่งคำนวณได้จากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด (Total Electric Output) หารด้วยกำลังผลิตสูงสุดจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Peak Power of Array)

2.3.8. การติดตั้งความลาดเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องติดตั้งให้มีความเอียงเพียงพอ เพื่อที่จะให้ได้รับแสงแดดมากที่สุด อีกประการหนึ่งเพื่อให้เกิดการระบายน้ำฝนได้อย่างรวดเร็วและยังเป็นการชำระล้างสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อีกด้วย การเลือกมุมความลาดเอียงและทิศทางของแผงที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งสถานที่ตั้งว่าอยู่เส้นรุ้ง เส้นแวงเท่าไร สำหรับประเทศไทยค่าที่ดีที่สุด คือ 15 องศา โดยมีทิศทางหันหน้าไปทางทิศใต้ แต่อย่างไรก็ตาม หากนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดบนหลังคาบ้าน มุมเอียงของแผงโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 15-45 องศา หรือขึ้นอยู่กับความลาดเอียงของหลังคาบ้านเป็นสำคัญ อีกวิธีหนึ่งที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด คือ การปรับแผงให้เอียงตามการโคจรของดวงอาทิตย์ แต่วิธีนี้จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้น ในทางปฏิบัติจริงจึงติดตั้งแผงเซลล์ให้มีความลาดเอียงที่ค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงานและอุปกรณ์การวิจัย

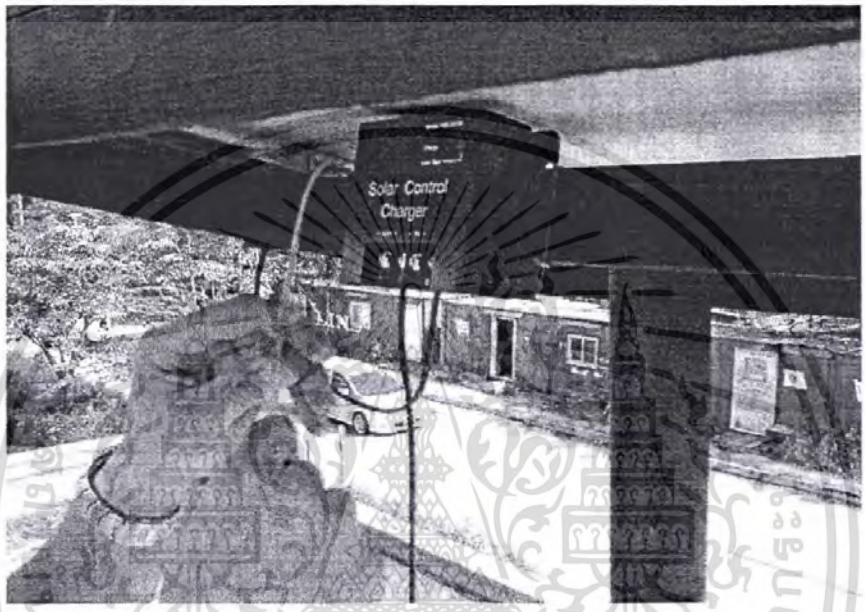
3.1. ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เลือกสถานที่ที่จะทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยต้องเป็นบริเวณที่รับแสงแดดได้ตลอดทั้งวันและไม่มีสิ่งกีดขวางทางเดินของแสง โครงการวิจัยนี้ได้เลือกสถานที่เป็นบริเวณชั้นสองของตึกปฏิบัติการโยธา ซึ่งเป็นที่โล่งและสามารถรับแสงแดดได้ดี จากนั้นทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับแท่นเหล็กความสูงประมาณ 1.50 เมตรที่ได้ประกอบมา โดยติดตั้งแผงให้ทำมุมกับแนวราบประมาณ 15 องศา ซึ่งเป็นมุมที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์รับแสงได้ดีที่สุด

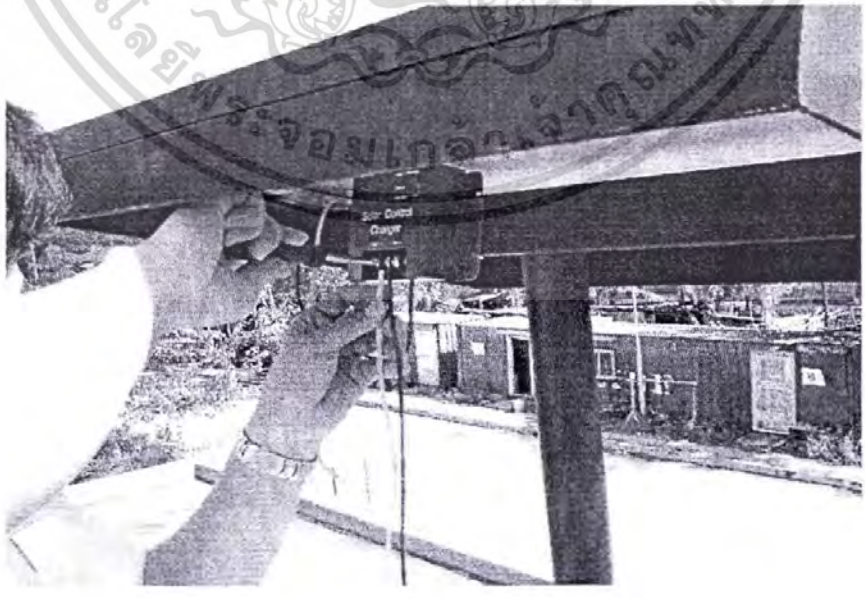
รูปที่ 3.1. แสดงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับแท่นเหล็ก ณ ตึกปฏิบัติการโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ติดตั้งเครื่องควบคุมการประจุเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และต่อสายไฟจากเครื่องควบคุมการประจุ เพื่อไว้ใช้ต่อเข้ากับแบตเตอรี่ในการเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเครื่องควบคุมการประจุจะมีหลายขนาด เช่น 30, 50 และ 80 โวลต์ ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสายไฟที่นำมาใช้นั้นต้องไม่เล็กหรือใหญ่จนเกินไป อาจเลือกโดยดูจากขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องควบคุมการประจุที่ใช้งาน



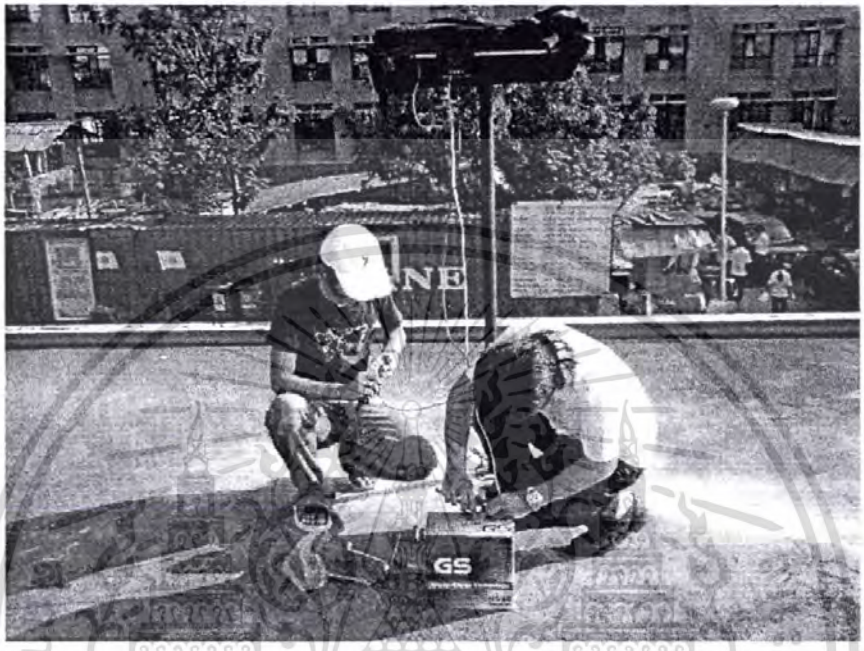
รูปที่ 3.2. แสดงการติดตั้งเครื่องควบคุมการประจุเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์



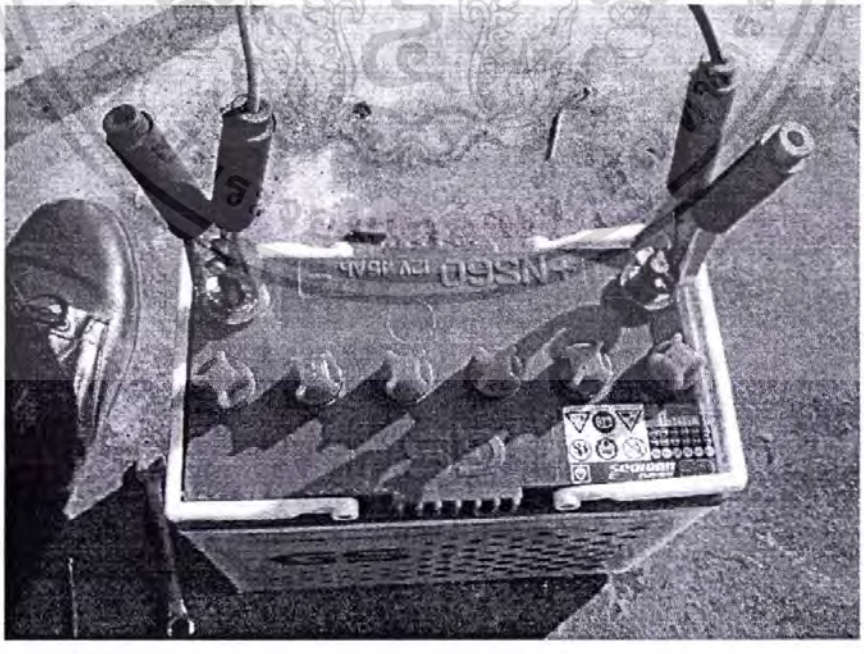
รูปที่ 3.3. แสดงการต่อสายไฟจากเครื่องควบคุมการประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำสายไฟที่ต่อมาจากเครื่องควบคุมการประจุต่อเข้ากับปากคีบ แล้วนำไปต่อเข้ากับขั้วแบตเตอรี่เพื่อเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละวัน โดยแบตเตอรี่จะมีหลายขนาด เช่น 45 หรือ 70 แอมแปร์ ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



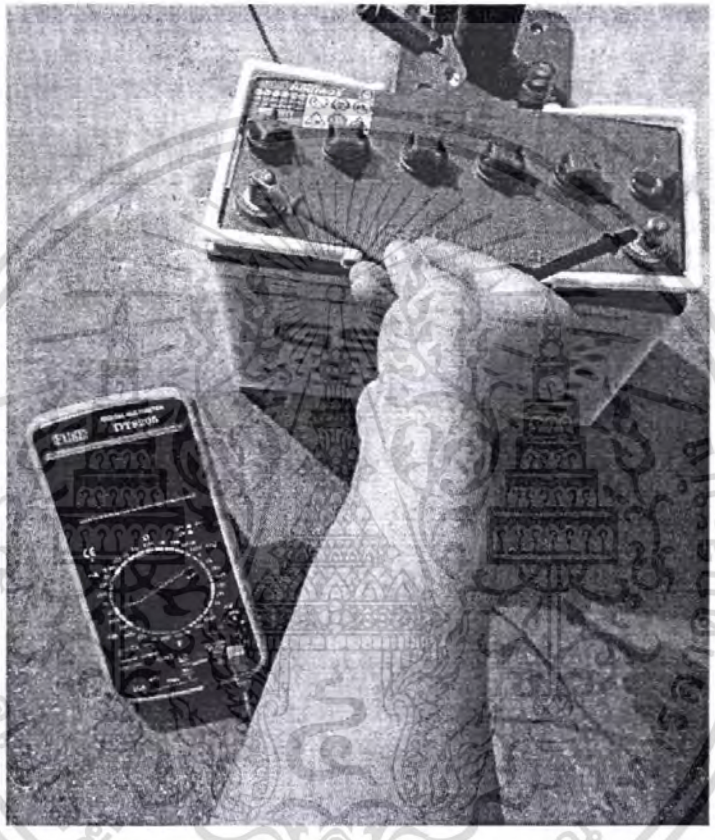
รูปที่ 3.4. แสดงการต่อสายไฟจากเครื่องควบคุมการประจุเข้ากับปากคีบ



รูปที่ 3.5. แสดงการต่อปากคีบเข้ากับขั้วแบตเตอรี่เพื่อเก็บประจุไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในตอนเริ่มต้น โดยการต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับขั้วแบตเตอรี่ โครงการวิจัยนี้ใช้แบตเตอรี่ขนาด 45 แอมแปร์ และมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ไม่เกิน 20 โวลต์ จึงทำการปรับค่าโวลต์มิเตอร์ไว้ที่ 20 โวลต์ก่อนทำการวัดค่าเพื่อความเหมาะสม ทำการบันทึกค่าที่ได้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลฐานสำหรับการเก็บข้อมูลในวันต่อๆ ไป



รูปที่ 3.6. แสดงการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในตอนเริ่มต้น

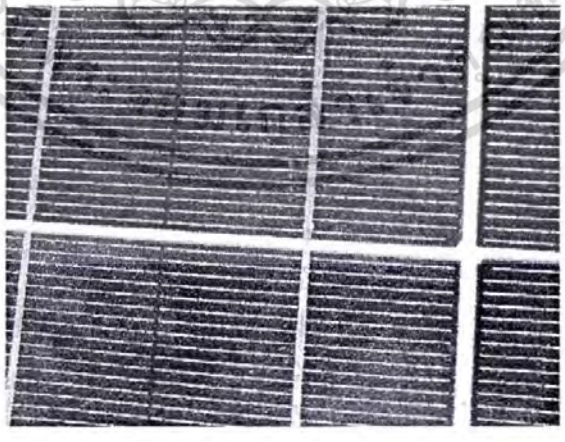
5. ในแต่ละวันเราจะทำการเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีแสงแดดมากที่สุด เมื่อครบ 8 ชั่วโมงแล้ว เราจะวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (จากโวลต์มิเตอร์) และค่ากระแสไฟฟ้า (จากแอมมิเตอร์) ที่แบตเตอรี่เก็บได้ บันทึกผลที่ได้ในแต่ละวัน จากนั้นก็จะทำการนำพลังงานไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่โดยการต่อหลอดไฟฟ้าเข้ากับขั้วแบตเตอรี่ โดยเราจะคงเหลือค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในแบตเตอรี่ไว้เท่ากับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในตอนเริ่มต้นของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7. แสดงการต่อโหลดเข้ากับขั้วแบตเตอรี่ เพื่อบันทึกค่าและนำพลังงานไฟฟ้าออก

3.2. อุปกรณ์การวิจัย

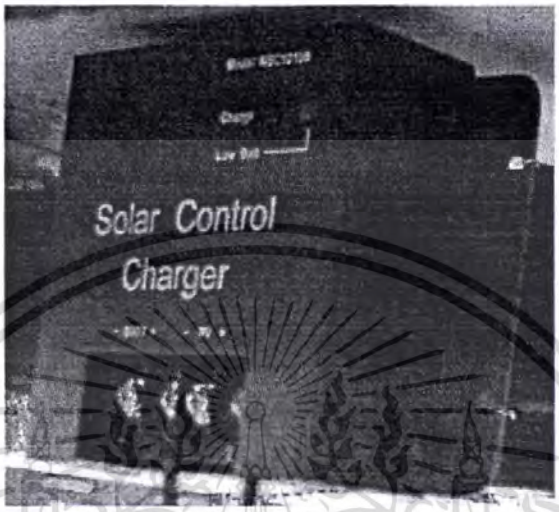
1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 55×65 ตารางเซนติเมตร 40 วัตต์ ใช้รับแสงอาทิตย์และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการใช้งาน



รูปที่ 3.8. แผงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องควบคุมการประจุ ใช้ประจุไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่และควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ โครงการวิจัยนี้ใช้เครื่องควบคุมการประจุขนาด 30 โวลต์ ซึ่งมีความพอดีกับการใช้งาน



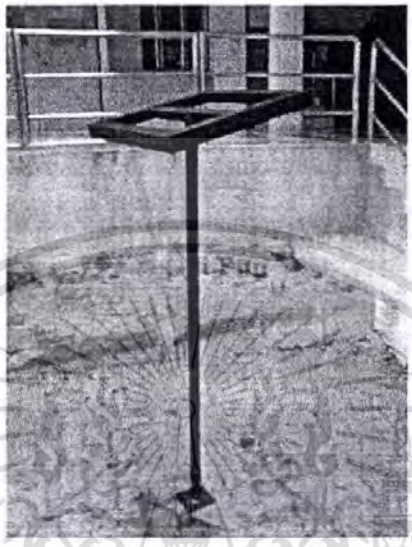
รูปที่ 3.9. เครื่องควบคุมการประจุ

3. แบตเตอรี่ ใช้เก็บพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์รับและผลิตได้ในแต่ละวัน โดยขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้จะต้องเหมาะสมกับขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดใหญ่ แบตเตอรี่ที่ใช้ก็ต้องมีขนาดใหญ่ตามไปด้วย เช่น ขนาด 70 แอมแปร์

รูปที่ 3.10. แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขาตั้งเหล็กสูงประมาณ 1.50 เมตร ใช้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยส่วนที่รองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมกับแนวราบประมาณ 15 องศา เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รับแสงได้ดีที่สุด



รูปที่ 3.11. ขาตั้งเหล็ก

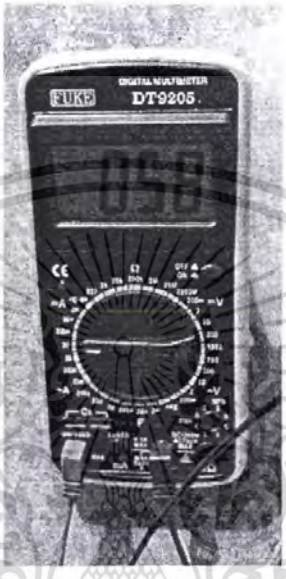
5. สายไฟพร้อมปากคีบ ใช้ต่อเข้ากับขั้วแบตเตอรี่เพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าและเพื่อความปลอดภัยในกรณีที่ต้องมีการสัมผัสกับสายไฟ

รูปที่ 3.12. สายไฟพร้อมปากคีบ

6. หลอดไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ 60 วัตต์ จำนวน 3 หลอด ใช้ต่อเข้ากับแบตเตอรี่เพื่อนำพลังงานไฟฟ้าออกในแต่ละวัน ขนาดของหลอดไฟและจำนวนหลอดไฟที่ใช้ขึ้นอยู่กับว่าต้องการนำพลังงานไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ช้าหรือเร็วเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. โวลต์มิเตอร์ ใช้วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยโวลต์มิเตอร์มีให้เลือกใช้ทั้งแบบเข็มและแบบดิจิตอล โดยถ้าใช้แบบดิจิตอลจะสามารถอ่านค่าได้ง่ายและมีความละเอียดมากกว่าแบบเข็ม ทั้งนี้ยังมีอุปกรณ์ที่สามารถวัดได้ทั้งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าในเครื่องเดียวกันอีกด้วย เรียกว่า มัลติมิเตอร์ (Multimeter)



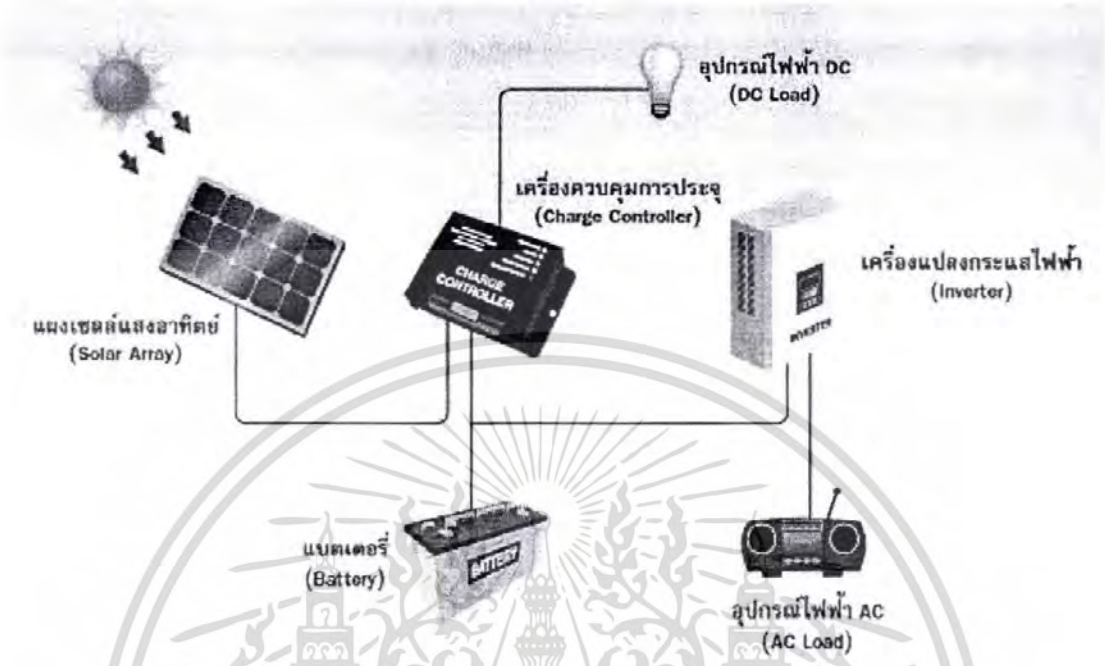
รูปที่ 3.13. โวลต์มิเตอร์

8. แอมมิเตอร์ ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ มีให้เลือกใช้ทั้งแบบเข็มและแบบดิจิตอล เช่นเดียวกับโวลต์มิเตอร์

รูปที่ 3.14. แอมมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3. ขั้นตอนการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มีดังนี้



รูปที่ 3.15. แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเป็นประจุไฟฟ้า เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผงแล้วจะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วทั้งสอง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดต่างๆ กันนั้น จะให้ความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่มากน้อยต่างกัน จากนั้นต้องนำประจุไฟฟ้าผ่านเครื่องควบคุมการประจุ เพื่อประจุไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่และควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ เราสามารถต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงได้เลย แต่ถ้าจะนำพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ จะต้องนำประจุไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านเข้าอินเวอร์เตอร์ เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับก่อนจะนำไปต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับต่อไป

การต่อแบตเตอรี่เข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์นั้นทำเพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เอาไว้ก่อน ซึ่งเราสามารถนำไปใช้งานในภายหลังได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1. ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาแห่งประเทศไทยและกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

จากการศึกษาข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาแห่งประเทศไทย ได้มีการแบ่งฤดูกาลในประเทศไทยออกเป็น 3 ฤดูกาล ดังนี้

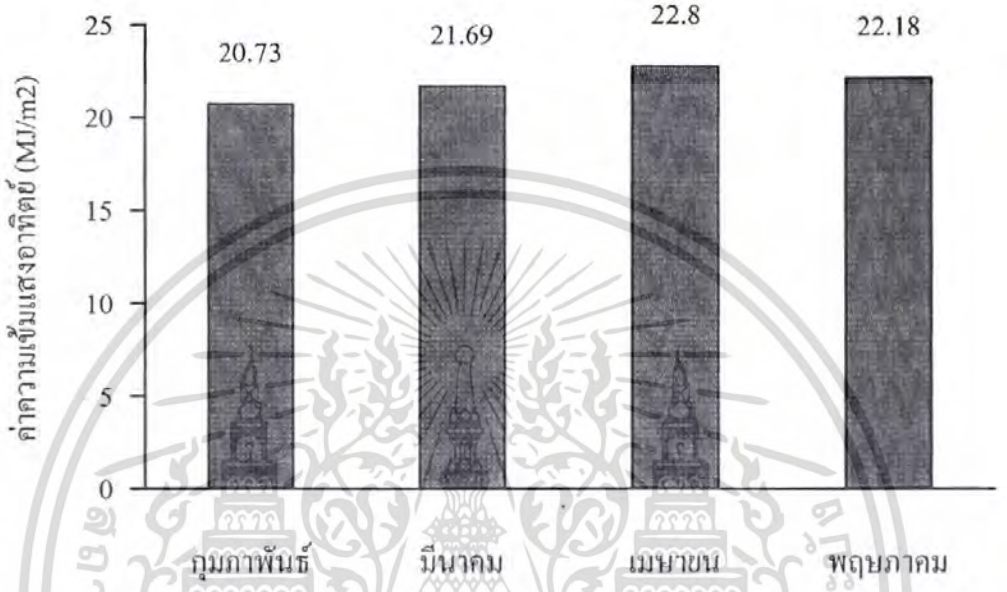
1. ฤดูร้อน

เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงกลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และเป็นระยะที่ขั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์โดยเฉพาะเดือนเมษายน บริเวณประเทศไทยมีดวงอาทิตย์อยู่เกือบตรงศีรษะในเวลาเที่ยงวัน ทำให้ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เต็มที่ สภาวะอากาศจึงร้อนอบอ้าวทั่วไป ในฤดูนี้แม้ว่าโดยทั่วไปจะมีอากาศร้อนและแห้งแล้ง แต่บางครั้งอาจมีมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนแผ่ลงมาปกคลุมถึงประเทศไทยตอนบน ทำให้เกิดการปะทะกันของมวลอากาศเย็นกับมวลอากาศร้อนที่ปกคลุมอยู่เหนือประเทศไทย ซึ่งก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนองและลมกระโชกแรงหรืออาจมีลูกเห็บตกก่อให้เกิดความเสียหายได้ พายุฝนฟ้าคะนองที่เกิดขึ้นในฤดูนี้มักเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า พายุฤดูร้อน ลักษณะอากาศในฤดูร้อนพิจารณาจากอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละวัน โดยมีเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

- อากาศร้อน อุณหภูมิระหว่าง 35.0°C ถึง 39.9°C
- อากาศร้อนจัด อุณหภูมิตั้งแต่ 40.0°C ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เห็นภาพได้ชัดเจนขึ้น เราได้นำข้อมูลจากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานมาแสดงให้เห็น คือ กราฟค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาลของกรุงเทพมหานคร เป็นค่าเฉลี่ย 6 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึง พ.ศ. 2541 ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บเป็นสถิติจากดาวเทียม ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.1. แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในฤดูร้อนของกรุงเทพมหานคร

จากกราฟค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในฤดูร้อนของกรุงเทพมหานคร ได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย 4 เดือนเท่ากับ 21.85 MJ/m^2 จะเห็นได้ว่ามีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีของกรุงเทพมหานคร ซึ่งเท่ากับ 19.00 MJ/m^2 ทั้งนี้เนื่องจากช่วงฤดูร้อนมีแสงแดดจัดและมีช่วงกลางวันที่ยาวนานกว่ากลางคืน ทำให้ได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฤดูฝน

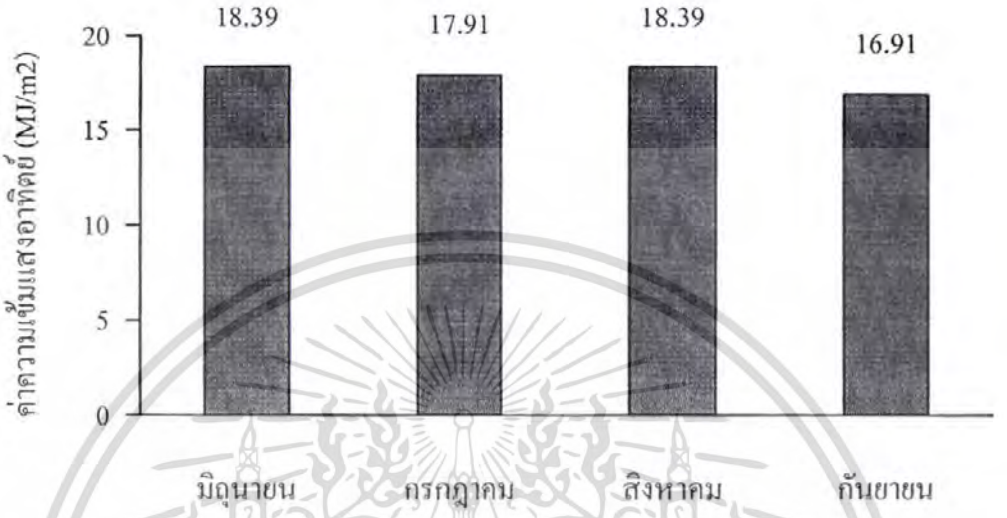
เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม เมื่อมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทยและร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านประเทศไทยทำให้มีฝนชุกทั่วไป ร่องความกดอากาศต่ำนี้ปกติจะพาดผ่านภาคใต้ในเดือนพฤษภาคม แล้วจึงเลื่อนขึ้นไปทางเหนือตามลำดับ จนถึงช่วงประมาณปลายเดือนมิถุนายนจะพาดผ่านอยู่บริเวณประเทศจีนตอนใต้ ทำให้ฝนในประเทศไทยลดลงระยะหนึ่งและเรียกว่าเป็นช่วงฝนทิ้ง ซึ่งอาจนานประมาณ 1-2 สัปดาห์หรือบางปีอาจเกิดขึ้นรุนแรงและมีฝนน้อยนานนับเดือน ในเดือนกรกฎาคมปกติร่องความกดอากาศต่ำจะเลื่อนกลับลงมาทางใต้พาดผ่านบริเวณประเทศไทยอีกครั้ง ทำให้มีฝนชุกต่อเนื่อง จนกระทั่งมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดเข้ามาปกคลุมประเทศไทยแทนที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ประมาณกลางเดือนตุลาคมประเทศไทยตอนบนจะเริ่มมีอากาศเย็นและฝนลดลง โดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เว้นแต่ภาคใต้ยังคงมีฝนชุกต่อไปจนถึงเดือนธันวาคมและมักมีฝนหนักถึงหนักมากจนก่อให้เกิดอุทกภัย โดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันออกซึ่งจะมีปริมาณฝนมากกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันตก อย่างไรก็ตามการเริ่มต้นฤดูฝนอาจจะช้าหรือเร็วกว่ากำหนดได้ประมาณ 1-2 สัปดาห์

เกณฑ์การพิจารณาปริมาณฝนในระยะเวลา 24 ชั่วโมงของแต่ละวันตั้งแต่เวลา 07.00 น. ของวันหนึ่งถึงเวลา 07.00 น. ของวันรุ่งขึ้น ตามลักษณะของฝนที่ตกในประเทศที่อยู่ในเขตร้อนย่านมรสุม มีดังนี้

- ฝนวัดจำนวนไม่ได้ ปริมาณฝนน้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร
- ฝนเล็กน้อย ปริมาณฝนระหว่าง 0.1-10.0 มิลลิเมตร
- ฝนปานกลาง ปริมาณฝนระหว่าง 10.1-35.0 มิลลิเมตร
- ฝนหนัก ปริมาณฝนระหว่าง 35.1-90.0 มิลลิเมตร
- ฝนหนักมาก ปริมาณฝนตั้งแต่ 90.1 มิลลิเมตรขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ได้กราฟค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในฤดูฝนของกรุงเทพมหานคร เป็นค่าเฉลี่ย 6 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึง พ.ศ. 2541 ดังนี้



รูปที่ 4.2. แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในฤดูฝนของกรุงเทพมหานคร

จากกราฟค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในฤดูฝนของกรุงเทพมหานคร ได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย 4 เดือนเท่ากับ 17.90 MJ/m^2 จะเห็นได้ว่ามีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีของกรุงเทพมหานคร ซึ่งเท่ากับ 19.00 MJ/m^2 ทั้งนี้เนื่องจากช่วงฤดูฝนมีความชื้นในอากาศสูงและบางครั้งก็มีเมฆบดบังดวงอาทิตย์ ทำให้ได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์น้อยกว่าค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ฤดูหนาว

เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทยตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม ในช่วงกลางเดือนตุลาคมนานราว 1-2 สัปดาห์ เป็นช่วงเปลี่ยนฤดูจากฤดูฝนเป็นฤดูหนาว อากาศแปรปรวน ไม่แน่นอน อาจเริ่มมีอากาศเย็นหรืออาจยังมีฝนฟ้าคะนอง โดยเฉพาะบริเวณภาคกลางตอนล่างและภาคตะวันออกลงไปซึ่งจะหมดฝนและเริ่มมีอากาศเย็นช้ากว่าภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

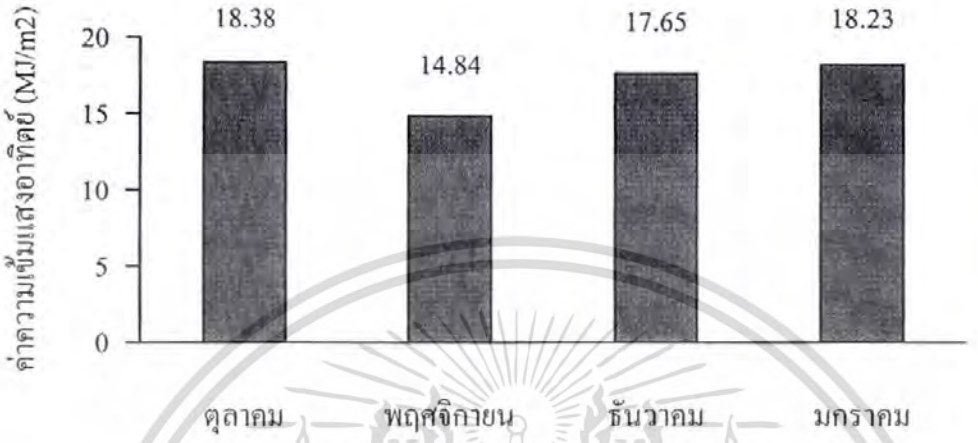
ลักษณะอากาศในฤดูหนาวพิจารณาจากอุณหภูมิต่ำสุดของแต่ละวัน โดยมีเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

- อากาศหนาวจัด อุณหภูมิต่ำกว่า 8.0°C
- อากาศหนาว อุณหภูมิระหว่าง 8.0°C ถึง 15.9°C
- อากาศเย็น อุณหภูมิระหว่าง 16.0°C ถึง 22.9°C

และเนื่องจากช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลนั้น มีระยะเวลาตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ซึ่งจากทางข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาในประเทศไทยจะเป็นฤดูหนาว ทำให้เราได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์น้อยดูได้จากกราฟค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในฤดูหนาวของกรุงเทพมหานคร ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ได้กราฟค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในฤดูหนาวของกรุงเทพมหานคร เป็นค่าเฉลี่ย 6 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึง พ.ศ. 2541 ดังนี้



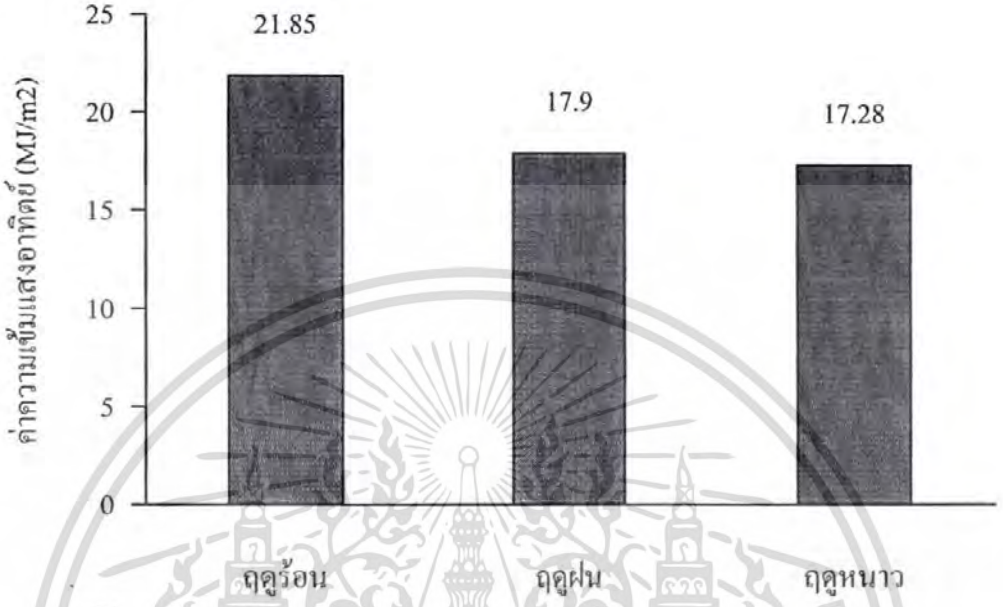
รูปที่ 4.3. แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในฤดูหนาวของกรุงเทพมหานคร

จากกราฟค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในฤดูหนาวของกรุงเทพมหานคร ได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย 4 เดือนเท่ากับ 17.28 MJ/m^2 จะเห็นได้ว่ามีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีของกรุงเทพมหานคร ซึ่งเท่ากับ 19.00 MJ/m^2 ทั้งนี้เนื่องจากช่วงฤดูหนาวมีแสงแดดอ่อนกว่าฤดูร้อนมากและมีช่วงกลางคืนที่ยาวนานกว่ากลางวัน นอกจากนี้ในตอนเช้ายังมีเมฆหมอกมาบดบังแสงอาทิตย์อีกด้วย ทำให้ได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์น้อยกว่าค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีเช่นเดียวกับฤดูฝน

จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาลของกรุงเทพมหานครนั้น มีค่าความแตกต่างกันอยู่บ้าง ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะอากาศของแต่ละฤดูกาลไม่เหมือนกัน เพื่อให้เห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เราจะทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาลของกรุงเทพมหานคร ว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด เพื่อสังเกตถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในช่วงรอยต่อของฤดูกาล ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของกรุงเทพมหานครในฤดูกาลต่างๆ จากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน เป็นค่าเฉลี่ย 6 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึง พ.ศ. 2541 ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.4. แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของกรุงเทพมหานครเฉลี่ยทั้ง 3 ฤดูกาล

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ฤดูร้อนมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 21.85 MJ/m^2 เพราะว่ามีช่วงกลางวันยาวนานกว่ากลางคืนและเป็นช่วงที่โลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากกว่าฤดูฝนและฤดูหนาว ส่วนฤดูฝนมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์เท่ากับ 17.90 MJ/m^2 ที่มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์น้อยเนื่องจากมีความชื้นในอากาศสูง และฤดูหนาวเนื่องจากแดดอ่อนและมีช่วงกลางคืนยาวนานกว่ากลางวัน ทำให้มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์น้อยที่สุดเท่ากับ 17.28 MJ/m^2 ซึ่งค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันไม่มากนัก แสดงว่าความแปรปรวนของค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีน้อย อยู่ในเกณฑ์ปกติ

จากฐานข้อมูลดาวเทียมที่ได้จากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 6 ปี ของเดือนพฤศจิกายนเท่ากับ 209.38 วัตต์ เดือนธันวาคมเท่ากับ 203.24 วัตต์ และเดือนมกราคมเท่ากับ 209.61 วัตต์ และจากผลการเก็บตัวอย่างค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่สถาบันนั้น เราทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2551 เป็นเวลา 3 เดือน โดยใน 1 วันจะทำการเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. ได้ผลการเก็บข้อมูลและสมการที่ใช้คำนวณ ดังหัวข้อต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. สมการที่สำคัญที่ใช้ในการคำนวณต่างๆ มีดังนี้

4.2.1. การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าโดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

$$P = IV$$

โดยที่ P = กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt)

I = กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (Ampare)

V = ความต่างศักย์ไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt)

เช่น ถ้าค่าที่ทำการเก็บได้ มีค่ากระแสไฟฟ้า เท่ากับ 4 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า เท่ากับ 12 โวลต์ จะได้ค่ากำลังไฟฟ้า เท่ากับ 4×12 เท่ากับ 48 วัตต์ เป็นต้น

4.2.2. การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าโดยใช้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์และเวลา

$$P = \frac{W}{t}$$

โดยที่ P = กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น จูลต่อวินาที (J/s) หรือวัตต์ (Watt)

W = พลังงาน มีหน่วยเป็น จูล (Joul)

t = เวลา มีหน่วยเป็น วินาที (Second)

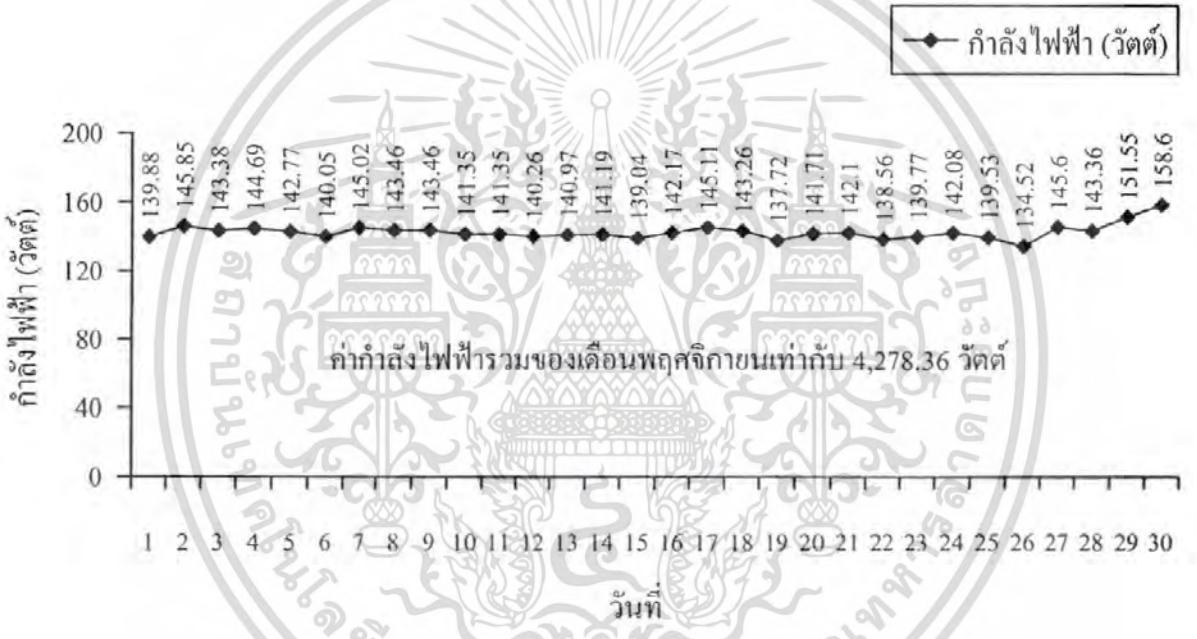
เช่น ถ้าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 18 เมกกะจูล (MJ) ในเวลา 1 วัน จะได้ค่ากำลังไฟฟ้า เท่ากับ $(18\times10^{6})/(60\times60\times24)$ เท่ากับ 208.33 จูลต่อวินาที หรือเท่ากับ 208.33 วัตต์นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. ผลการเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้วิจัยได้ศึกษาระบบและต่อระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับค่าจากฐานข้อมูลดาวเทียม ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจจะเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดมีประสิทธิภาพต่างกัน

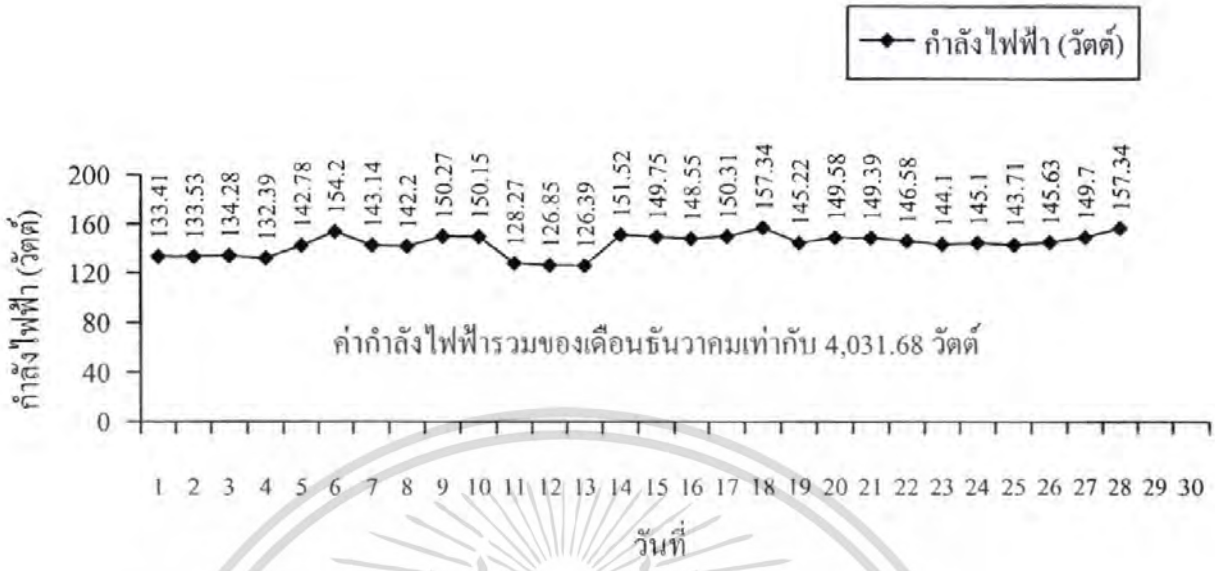
จากการที่ได้ติดตั้งระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 3 เดือน จากนั้นนำค่าที่เก็บได้มาคำนวณแปลงหน่วย โดยกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ กระแสไฟฟ้าคูณกับความต่างศักย์ไฟฟ้า (P=IV) ได้ผลของกราฟในแต่ละเดือนดังนี้



รูปที่ 4.5. แสดงค่ากำลังไฟฟ้าของเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550

จากกราฟจะเห็นว่า ค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละวันของเดือนพฤศจิกายนมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักจนเกือบจะเป็นเส้นตรง วันที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงอยู่ในช่วงปลายเดือน โดยวันที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่สุดคือวันที่ 30 พฤศจิกายน มีค่าเท่ากับ 158.6 วัตต์ วันที่มีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำที่สุดคือวันที่ 26 พฤศจิกายน มีค่าเท่ากับ 134.52 วัตต์ และค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเดือนพฤศจิกายนมีค่าเท่ากับ 142.61 วัตต์

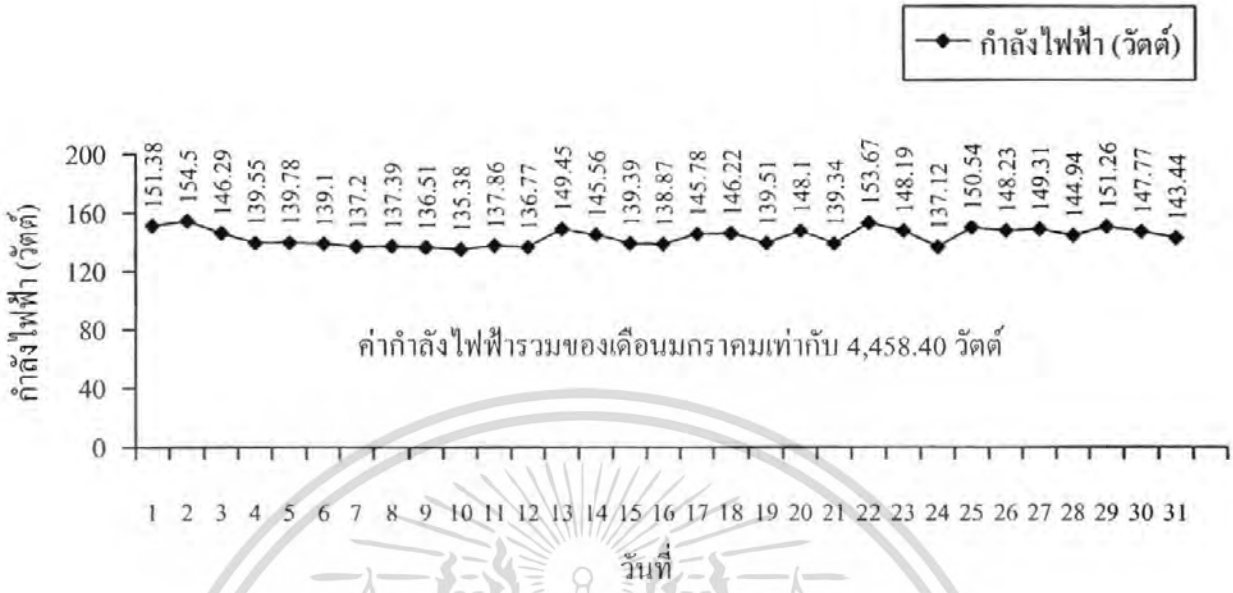
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6. แสดงค่ากำลังไฟฟ้าของเดือนธันวาคม พ.ศ. 2550

จากกราฟ ค่ากำลังไฟฟ้าของเดือนธันวาคมมีค่าแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วงต้นเดือนถึงกลางเดือน ส่วนช่วงปลายเดือนค่ากำลังไฟฟ้ามีค่าแตกต่างกันไม่มากจนเกือบจะเป็นเส้นตรง โดยวันที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่สุดคือวันที่ 28 ธันวาคม มีค่าเท่ากับ 157.34 วัตต์ วันที่มีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำที่สุดคือวันที่ 13 ธันวาคม มีค่าเท่ากับ 126.39 วัตต์ และค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเดือนธันวาคมมีค่าเท่ากับ 143.99 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7. แสดงค่ากำลังไฟฟ้าของเดือนมกราคม พ.ศ. 2551

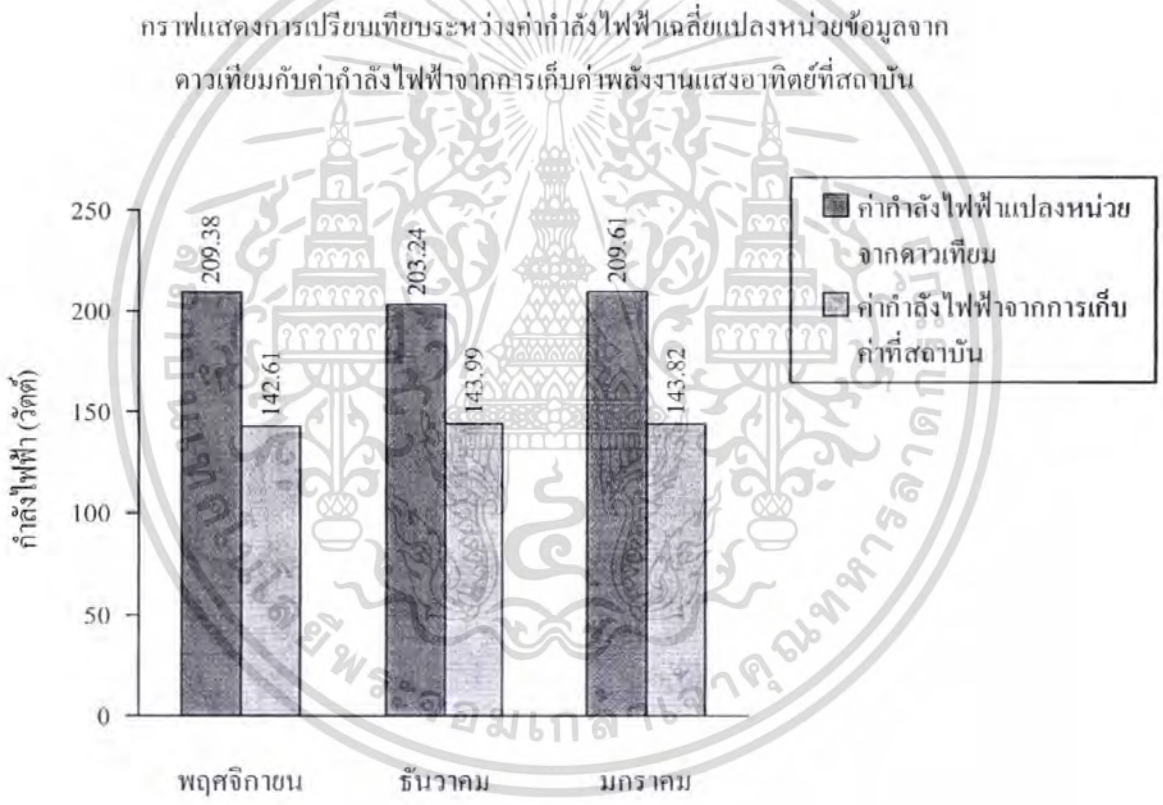
จากกราฟ ค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละวันของเดือนมกราคมมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักจนเกือบจะเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกับเดือนพฤศจิกายน และมีช่วงที่ค่ากำลังไฟฟ้าต่ำประมาณวันที่ 4-12 มกราคม โดยวันที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่สุดคือวันที่ 2 มกราคม มีค่าเท่ากับ 154.5 วัตต์ วันที่มีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำที่สุดคือวันที่ 10 มกราคม มีค่าเท่ากับ 135.38 วัตต์ และค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเดือนมกราคมมีค่าเท่ากับ 143.82 วัตต์

สรุปได้ว่า เดือนที่มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงที่สุดคือเดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 143.99 วัตต์ รองลงมาคือเดือนมกราคมมีค่าเท่ากับ 143.82 วัตต์ และเดือนที่มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำที่สุดคือเดือนพฤศจิกายนมีค่าเท่ากับ 142.61 วัตต์ ค่ากำลังไฟฟ้าของแต่ละเดือนมีความแตกต่างกันไม่มากนัก เนื่องจากเป็นฤดูหนาวเช่นเดียวกัน และสภาวะอากาศของทั้ง 3 เดือนก็ไม่ได้มีความต่างกันอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ ในแต่ละเดือนก็มีเมฆหมอกในตอนเช้าเช่นเดียวกัน ส่วนความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากในบางวันความชื้นในอากาศค่อนข้างสูง เช่น ในบางวันของเดือนพฤศจิกายนมีฝนตกลงมา ทำให้เดือนพฤศจิกายนมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. การเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากดาวเทียมกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ทำการเก็บ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อความง่ายในการเปรียบเทียบ เราจะเปรียบเทียบโดยใช้ค่ากำลังไฟฟ้า โดยสมการที่ใช้แปลงค่าอยู่ในหัวข้อที่ 4.2. ข้อมูลค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เก็บ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังซึ่งทำการเก็บโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการรับแสงอาทิตย์ จะมีประสิทธิภาพในการรับแสงน้อยกว่าไพรานอร์มิเตอร์หรือดาวเทียม ซึ่งมีค่าความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละเดือน ดังกราฟข้างล่าง



รูปที่ 4.8. แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าจากดาวเทียมกับค่ากำลังไฟฟ้าที่เก็บได้ ณ สถาบัน

จากกราฟด้านบนจะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้จากดาวเทียมกับค่าที่ทำการเก็บ ณ สถาบันมีความแตกต่างกัน เราจึงได้ทำการเทียบเคียงให้ค่าที่ทำการเก็บ ณ สถาบันมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากดาวเทียม โดยการคิดเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5. การคิดเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากดาวเทียมกับค่าที่ทำการเก็บ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้ทำการเก็บ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ในการเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีความแตกต่างกับค่าที่ได้จากดาวเทียมหรือค่าที่เก็บได้จากไพรานอร์มิเตอร์ ซึ่งหากจะนำค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เก็บ ณ สถาบันมาใช้งานนั้น จะต้องเทียบค่าที่จะใช้จริงให้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากดาวเทียมหรือไพรานอร์มิเตอร์ให้ได้มากที่สุด โดยคิดเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยสมการ เพื่อจะได้สามารถเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะใช้เก็บพลังงานแสงอาทิตย์ได้เพียงพอกับความต้องการใช้งาน ซึ่งค่าต่างๆ ที่ใช้คำนวณมีดังนี้

- ค่าความแตกต่างระหว่างค่าจากดาวเทียมกับค่าจากการทดลอง
- ค่าจากดาวเทียม เฉลี่ย 3 เดือนเท่ากับ 207.41 วัตต์
- ค่าจากการทดลอง เฉลี่ย 3 เดือนเท่ากับ 143.47 วัตต์

$$\% \text{ ความแตกต่าง} = \frac{(\text{ค่าจากดาวเทียม} - \text{ค่าจากการทดลอง}) \times 100}{\text{ค่าจากดาวเทียม}}$$

$$= \frac{(207.41 - 143.47) \times 100}{207.41}$$

$$= 30.83\%$$

และสรุปเป็นสมการการประมาณค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ได้ดังนี้

$$1.45 \times (\text{ค่าจากการทดลอง}) = \text{ค่าจากดาวเทียม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าจากดาวเทียม สรุปได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างที่ได้คาดการณ์ไว้ในขั้นต้น มีค่าความแตกต่างกันประมาณ 30% และสรุปเป็นสมการการประมาณค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้ดังหัวข้อที่ 4.5. ซึ่งค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นเกิดจากหลายเหตุปัจจัย สามารถสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. ประสิทธิภาพของเครื่องมือ

เป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ค่าจากการทดลองมีความแตกต่างกับค่าจากดาวเทียม ซึ่งการเก็บข้อมูลโดยดาวเทียมนั้นมีประสิทธิภาพสูงมากและมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก การที่จะเก็บข้อมูลให้ได้ค่าเท่ากับค่าจากดาวเทียมนั้นเป็นไปไม่ได้เลย ต้องมีความคลาดเคลื่อนอย่างแน่นอน ความแตกต่างที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ ถ้าโครงการวิจัยนี้ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่านี้ แน่นอนว่าราคาจะต้องสูงขึ้น แต่ค่าความแตกต่างอาจจะน้อยลงกว่าเดิม คือมีค่าใกล้เคียงค่าจากดาวเทียมมากขึ้น

2. ระยะทางจากดวงอาทิตย์

เป็นสาเหตุที่สำคัญอีกประการหนึ่ง การเก็บค่าโดยดาวเทียมที่มีระยะทางใกล้กับดวงอาทิตย์มากกว่าการเก็บข้อมูลโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งต้องทำการติดตั้งบนพื้นดิน ย่อมต้องมีความถูกต้องและมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าอย่างแน่นอน เพราะการเก็บข้อมูลโดยเซลล์แสงอาทิตย์นั้น กว่าที่แสงจะเดินทางมาถึงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นต้องใช้เวลานานกว่าเพราะมีระยะทางไกลกว่า อีกทั้งยังต้องผ่านชั้นบรรยากาศทั้งภายนอกและภายในโลกอีกด้วย ซึ่งอาจจะทำให้ค่าที่เก็บได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีความผิดพลาด การลดความผิดพลาดให้น้อยลงอาจทำได้โดยการลดระยะห่างระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์กับดวงอาทิตย์ให้น้อยลง เช่น ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในบริเวณที่สูงกว่าเดิม คือให้ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด ค่าที่ได้อาจจะใกล้เคียงค่าจากดาวเทียมมากขึ้น

การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการใช้พลังงานทดแทนที่คุ้มค่า เพียงแต่การลงทุนครั้งแรกอาจจะมีค่าลงทุนที่สูง แต่หากคำนึงถึงเรื่องของอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอายุการใช้งาน 25-30 ปีแล้ว ก็ถือว่าคุ้มค่าต่อการลงทุนอย่างยิ่งและยังเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเพื่อส่วนรวมอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7. การนำผลของค่าความเข้มแสงอาทิตย์ไปใช้

จากค่าเฉลี่ย 6 ปี ของค่ากำลังไฟฟ้าจากฐานข้อมูลดาวเทียม โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึง พ.ศ. 2541 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของเดือนพฤศจิกายนเท่ากับ 209.38 วัตต์ เดือนธันวาคมเท่ากับ 203.24 วัตต์ และเดือนมกราคมเท่ากับ 209.61 วัตต์ ถ้าจะนำมาเปรียบเทียบโดยใช้หลอดไฟฟ้า 40 วัตต์ เป็นตัวเชื่อมโยงแสดงให้เห็น จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่นำมาใช้ได้กับหลอดไฟฟ้า โดยคิดเป็นจำนวนหลอดไฟฟ้า ดังนี้

- เดือนพฤศจิกายนมีค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 209.38 วัตต์ จะสามารถนำไปใช้กับหลอดไฟฟ้า 40 วัตต์ ในเวลา 1 ชั่วโมง ได้ทั้งหมดเป็นจำนวน 5.23 หลอด
- เดือนธันวาคมมีค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 203.24 วัตต์ จะสามารถนำไปใช้กับหลอดไฟฟ้า 40 วัตต์ ในเวลา 1 ชั่วโมง ได้ทั้งหมดเป็นจำนวน 5 หลอด
- เดือนมกราคมมีค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 209.61 วัตต์ จะสามารถนำไปใช้กับหลอดไฟฟ้า 40 วัตต์ ในเวลา 1 ชั่วโมง ได้ทั้งหมดเป็นจำนวน 5.24 หลอด

ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าที่น้อยสุดในแต่ละเดือน ที่ได้จากการเก็บโดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในเดือนพฤศจิกายนมีค่าเท่ากับ 134.52 วัตต์ เดือนธันวาคมมีค่าเท่ากับ 126.39 วัตต์ และเดือนมกราคมมีค่าเท่ากับ 135.38 วัตต์ โดยถ้านำมาเปรียบเทียบโดยใช้หลอดไฟฟ้า 40 วัตต์ เช่นเดียวกัน ได้ผลดังนี้

- เดือนพฤศจิกายนมีค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 134.52 วัตต์ จะสามารถนำไปใช้กับหลอดไฟฟ้า 40 วัตต์ ในเวลา 1 ชั่วโมง ได้ทั้งหมดเป็นจำนวน 3.36 หลอด
- เดือนธันวาคมมีค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 126.39 วัตต์ จะสามารถนำไปใช้กับหลอดไฟฟ้า 40 วัตต์ ในเวลา 1 ชั่วโมง ได้ทั้งหมดเป็นจำนวน 3.16 หลอด
- เดือนมกราคมมีค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 135.38 วัตต์ จะสามารถนำไปใช้กับหลอดไฟฟ้า 40 วัตต์ ในเวลา 1 ชั่วโมง ได้ทั้งหมดเป็นจำนวน 3.38 หลอด

จากผลการเปรียบเทียบข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการเก็บโดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงแผงเดียวนั้น จะสามารถเก็บค่าได้น้อยเมื่อเทียบกับความต้องการในการนำไปใช้งานในแต่ละวันของแต่ละบ้าน แต่ถ้านำแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ แผงมาต่อกัน จะทำให้สามารถเพิ่มการกักเก็บพลังงานได้ในปริมาณที่มากขึ้นและเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เก็บได้นั้น เราสามารถนำไปใช้งานได้ โดยพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ผ่านเข้าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ ซึ่งใช้กันทั่วไปตามบ้าน ถ้าเราติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแล้วเราไม่มีการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลานั้นๆ เราสามารถที่จะขายไฟฟ้าคืนแก่การไฟฟ้าได้ และในทางกลับกันถ้าเราต้องการใช้ไฟฟ้ามากกว่าปกติ เราสามารถเรียกใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าตามที่ต้องการได้

การใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการติดตั้งบนหลังคาบ้าน ยังสามารถสะท้อนความร้อนจากดวงอาทิตย์กลับขึ้นไปได้และยังช่วยให้เกิดร่มเงาบนหลังคาบ้านได้อีกส่วนหนึ่งด้วย

เราได้ทำการสมมติบ้านหลังหนึ่งที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าพื้นฐานดังนี้

- พัดลมตั้งพื้น 45-75 วัตต์
- โทรทัศน์สี 43-95 วัตต์
- ตู้เย็น 2-12 คิว (ลูกบาศก์ฟุต) 53-194 วัตต์
- หลอดไฟฟ้า (3หลอด) 100 วัตต์

โดยจะให้เปิดใช้งานในช่วงเวลาประมาณ 19.00 น. ถึง 21.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่น่าจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในหนึ่งวัน คือ

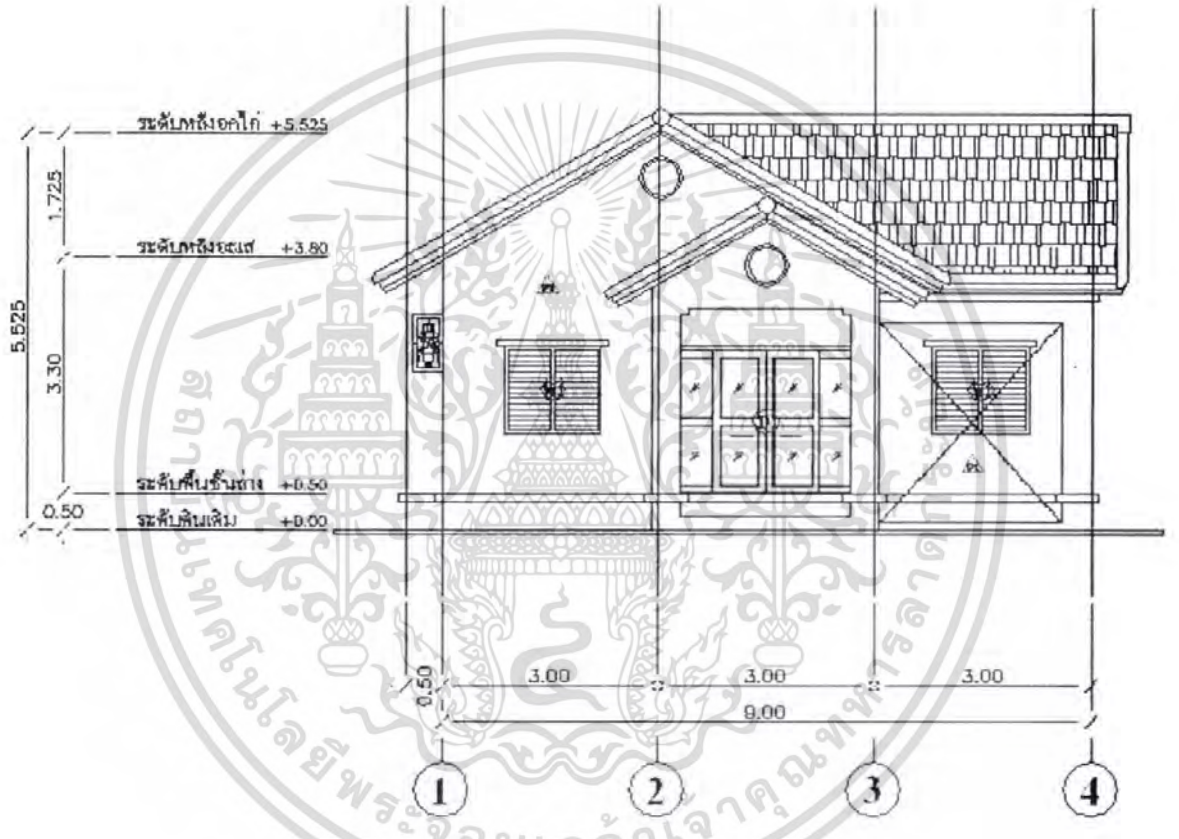
- พัดลมตั้งพื้น 45 วัตต์ × 2 ชั่วโมง = 90 วัตต์-ชั่วโมง (Watt-hr.)
- โทรทัศน์สี 43 วัตต์ × 2 ชั่วโมง = 86 วัตต์-ชั่วโมง
- ตู้เย็น 2 คิว (ลูกบาศก์ฟุต) 53 วัตต์ × 2 ชั่วโมง = 106 วัตต์-ชั่วโมง
- หลอดไฟฟ้า (3 หลอด) 100 วัตต์ × 2 ชั่วโมง × 3 หลอด = 600 วัตต์-ชั่วโมง

ดังนั้น บ้านหลังนี้จะใช้ค่ากำลังไฟฟ้าในหนึ่งวัน = 90+86+106+600

= 882 วัตต์-ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

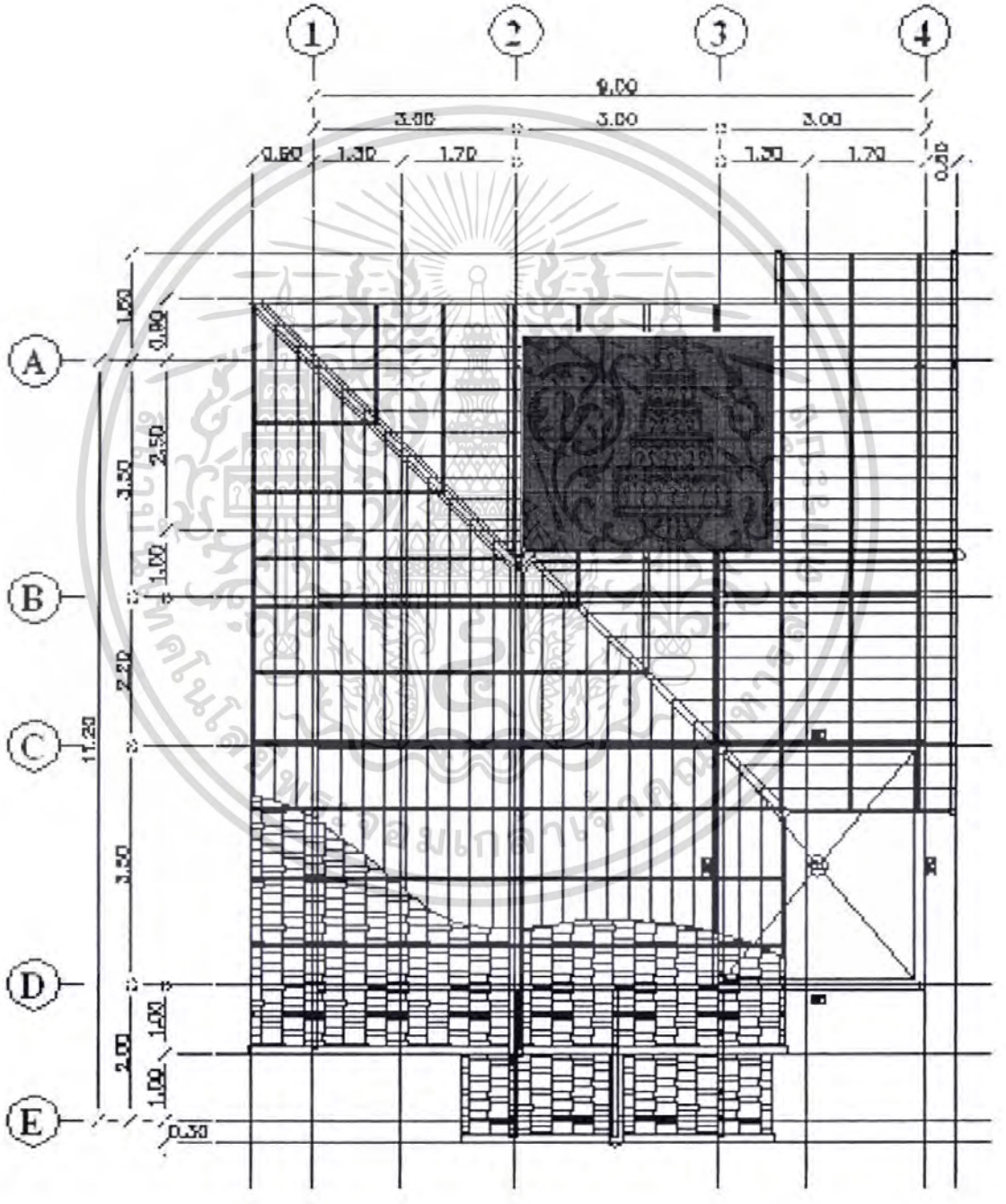
แต่เนื่องจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่เราได้ทำการเก็บค่านั้น เป็นค่าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 100×100 ตารางเซนติเมตร ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย 3 เดือนที่ทำการเก็บ ณ สถาบัน เท่ากับ 143.47 วัตต์-ชั่วโมง ดังนั้นแสดงว่า ถ้าจะให้ได้พลังงานไฟฟ้าเพียงพอกับความต้องการใช้งานของบ้านหลังนี้ จะต้องใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 6 แผงต่อขนานกัน เพื่อให้ได้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่มากขึ้นและเพียงพอกับความต้องการใช้ภายในบ้าน ทั้งนี้เราได้ทำการจำลองบ้านขึ้นมา 1 หลัง เพื่อหาพื้นที่ที่จะทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.9. แสดงแบบบ้านจำลองที่จะนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 100×100 ตางรางเซนติเมตร จำนวน 6 แผง เราต้องคำนึงถึงพื้นที่ที่รับแสงได้มากที่สุด ดังนั้น เราจึงเลือกพื้นที่บริเวณหลังคา ซึ่งเป็นส่วนที่รับแสงแดดได้มากที่สุดและเป็นส่วนที่ให้ร่มเงาของบ้าน เราได้ทำภาพจำลองในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ดังรูปที่ 4.10.



รูปที่ 4.10. แสดงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1. ผลการเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จากการเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ทำการเก็บค่ารวม 3 เดือน ซึ่งเป็นเพียงระยะเวลาสั้นๆ ดังนั้น ในการนำข้อมูลนี้ไปใช้ประโยชน์อาจจะนำไปใช้เปรียบเทียบได้เพียงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม ซึ่งเป็นระยะเวลา 3 เดือนเท่านั้น เมื่อเทียบกับ 1 ปี จะเป็นระยะเวลาเพียง 1 ใน 4 อีกทั้งยังเป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในฤดูหนาว ซึ่งไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับฤดูร้อนหรือฤดูฝนได้

หากมีเวลาในการเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์มากกว่านี้ ก็จะสามารถนำค่าเหล่านั้นไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้ตลอดทั้งปี โดยไม่ต้องมีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาหรือฤดูกาล ทั้งนี้เราสามารถคาดคะเนค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในฤดูกาลต่างๆ ล่วงหน้าจากค่าที่เก็บได้ เช่น สามารถคาดคะเนได้ว่าในฤดูร้อนของปีถัดไปจะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์น้อยลงหรือเพิ่มขึ้นเท่าใด เป็นต้น

โครงการวิจัยนี้ได้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 55×65 ตารางเซนติเมตร ทำการเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ดังนั้น การนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้กับการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน จะมีข้อกำหนดในเรื่องของขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ โดยค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่นำมาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าที่จะนำไปใช้ภายในบ้านได้นั้น จะขึ้นกับปัจจัยของขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยประสิทธิภาพของสารประกอบที่นำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย

นอกจากนี้ ยังมีเรื่องของค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละบริเวณที่ทำการศึกษา เพราะแต่ละบริเวณมีความแตกต่างกันในด้านกายภาพของภูมิประเทศและในการนำไปใช้งานบางครั้งต้องมีการกักเก็บพลังงานไว้ล่วงหน้าก่อน ซึ่งจะมีข้อจำกัดในเรื่องของเวลา เช่น ถ้าวันไหนที่มีแสงแดดมาก จะทำให้การกักเก็บพลังงานมีในปริมาณที่มากเพียงพอต่อการนำไปใช้งานในช่วงเวลาหนึ่ง แต่ถ้าวันไหนมีแสงแดดน้อย เมื่อกักเก็บพลังงานไปใช้งานแล้ว จะสามารถใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ในระยะเวลาที่น้อยกว่า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2. การเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากดาวเทียมกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ทำการเก็บ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จากหัวข้อที่ 4.4. ซึ่งได้ทำการการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้จากดาวเทียมที่ได้ข้อมูลมาจากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ทำการเก็บ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนั้น เราเปรียบเทียบโดยใช้ค่ากำลังไฟฟ้า เดือนพฤศจิกายนได้ค่ากำลังไฟฟ้าจากดาวเทียมเท่ากับ 209.38 วัตต์ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ทำการเก็บ ณ สถาบันเท่ากับ 142.61 วัตต์ เดือนธันวาคมได้ค่ากำลังไฟฟ้าจากดาวเทียมเท่ากับ 203.34 วัตต์ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ทำการเก็บ ณ สถาบันเท่ากับ 143.99 วัตต์ และเดือนมกราคมได้ค่ากำลังไฟฟ้าจากดาวเทียมเท่ากับ 209.61 วัตต์ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ทำการเก็บ ณ สถาบันเท่ากับ 143.82 วัตต์

จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่า การใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์เก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าดาวเทียม โดยมีอัตราส่วนระหว่างค่าที่ทำการเก็บ ณ สถาบันกับค่าที่ได้จากดาวเทียม เท่ากับ 1:1.45 และจากประสิทธิภาพที่แตกต่างกันของอุปกรณ์ที่ใช้เก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์นั้น เมื่อเราทำการเปรียบเทียบกันโดยใช้ราคาต้นทุนกับอายุการใช้งานจะเห็นได้ว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาถูกกว่ามากและยังมีอายุการใช้งานนานถึง 25-30 ปี จึงถือว่าคุ้มค่าถ้าจะนำมาพัฒนาเพื่อใช้กับบ้านเรือนของประชากรในประเทศไทยต่อไป

5.3. เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากดาวเทียมกับค่าที่ทำการเก็บ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จากการเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น มีค่าความแตกต่างระหว่างค่าจากดาวเทียมกับค่าจากการทดลองเกิดขึ้นประมาณ 30% ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากเรื่องของอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีความแตกต่างกันในเรื่องของประสิทธิภาพ ซึ่งประสิทธิภาพของดาวเทียมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีความต่างกันมาก ถ้าเราจะใช้ดาวเทียมเป็นอุปกรณ์ในการเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ณ สถาบัน ก็ไม่มีต้นทุนที่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แทนดาวเทียม ทำให้ส่งผลต่อผลของค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่เก็บได้ อีกประการหนึ่งที่มีผลทำให้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีความแตกต่างกันนั้น อาจจะเป็นเรื่องของระยะทางจากดวงอาทิตย์ โดยพื้นที่ที่ใช้เป็นตำแหน่งในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นถ้าใกล้ดวงอาทิตย์มากกว่านี้ ก็อาจจะทำให้ได้รับค่าความเข้มแสงอาทิตย์มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน
- กรมอุตุนิยมวิทยาแห่งประเทศไทย
- เทคโนโลยีการก่อสร้างและการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์, "ศูนย์วิจัยอิเล็คทรอนิคส์"
- รศ.ดร.สมเกียรติ ศุภเดช, "สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 228 หน้า, 2528
- MATIN A GREEN : "SOLAR CELLS OPERATING APPICATION", PRENTICE HALL, Inc., 1982
- จงจิตร์ หิรัญลาภ, "กระบวนการพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน (Solar Energy Thermal Processes)", สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 201 หน้า, 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

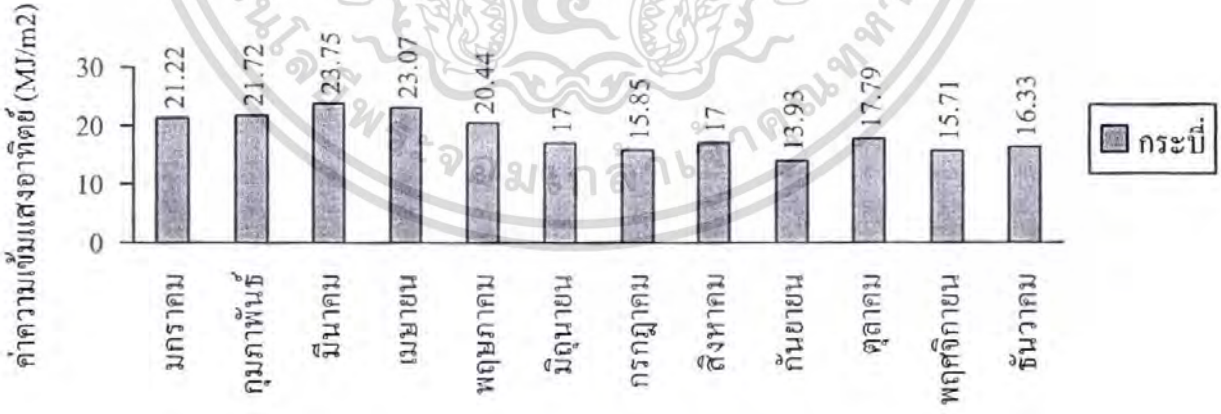
กราฟฐานข้อมูลแสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟฐานข้อมูลแสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

ฐานข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึง พ.ศ. 2541 รวมเป็นระยะเวลา 6 ปี

โดยจากกราฟข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียม พบว่าการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศ จะได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดในเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20-24 MJ/m^2-day และพบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี รวมทั้งภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อยุธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 19-20 MJ/m^2-day และประเทศไทยมีค่ารังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศเท่ากับ 18.2 MJ/m^2-day ได้ค่าเฉลี่ยของทั้งประเทศแสดงดังกราฟด้านล่างต่อไปนี้



รูปที่ ผก1 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดกระบี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก2 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดกรุงเทพมหานคร

รูปที่ ผก3 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดกาฬสินธุ์

รูปที่ ผก4 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดกำแพงเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก5 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดขอนแก่น

รูปที่ ผก6 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดจันทบุรี

รูปที่ ผก7 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดฉะเชิงเทรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก8 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดชลบุรี

รูปที่ ผก9 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดชัยนาท

รูปที่ ผก10 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดชัยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก11 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดชุมพร

รูปที่ ผก12 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดเชียงราย

รูปที่ ผก13 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดเชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก14 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดตรัง

รูปที่ ผก15 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดตาก

รูปที่ ผก16 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนครนายก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก17 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนครปฐม

รูปที่ ผก18 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนครพนม

รูปที่ ผก19 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนครราชสีมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก20 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนครศรีธรรมราช

รูปที่ ผก21 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนครสวรรค์

รูปที่ ผก22 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนนทบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก23 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดนราธิวาส

รูปที่ ผก24 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดน่าน

รูปที่ ผก25 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดบุรีรัมย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก26 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดปทุมธานี

รูปที่ ผก27 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

รูปที่ ผก28 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดปราจีนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก29 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดปัตตานี

รูปที่ ผก30 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

รูปที่ ผก31 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดพะเยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก32 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดพังงา

รูปที่ ผก33 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดพัทลุง

รูปที่ ผก34 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดพิจิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก35 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดพิษณุโลก

รูปที่ ผก36 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดเพชรบุรี

รูปที่ ผก37 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดเพชรบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก38 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดแพร่

รูปที่ ผก39 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดภูเก็ต

รูปที่ ผก40 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดมหาสารคาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก41 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดมุกดาหาร

รูปที่ ผก42 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

รูปที่ ผก43 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดยโสธร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก44 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดยะลา

รูปที่ ผก45 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดร้อยเอ็ด

รูปที่ ผก46 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดระนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก47 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดระยอง

รูปที่ ผก48 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดราชบุรี

รูปที่ ผก49 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดลพบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก50 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดลำปาง

รูปที่ ผก51 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดลำพูน

รูปที่ ผก52 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก53 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดศรีสะเกษ

รูปที่ ผก54 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสกลนคร

รูปที่ ผก55 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสงขลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก56 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสตูล

รูปที่ ผก57 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสมุทรปราการ

รูปที่ ผก58 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสมุทรสงคราม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก59 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสมุทรสาคร

รูปที่ ผก60 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสระแก้ว

รูปที่ ผก61 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสระบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก62 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสิงห์บุรี

รูปที่ ผก63 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสุโขทัย

รูปที่ ผก64 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสุพรรณบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก65 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี

รูปที่ ผก66 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดสุรินทร์

รูปที่ ผก67 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดหนองคาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก68 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดหนองบัวลำภู

รูปที่ ผก69 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดอ่างทอง

รูปที่ ผก70 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดอำนาจเจริญ

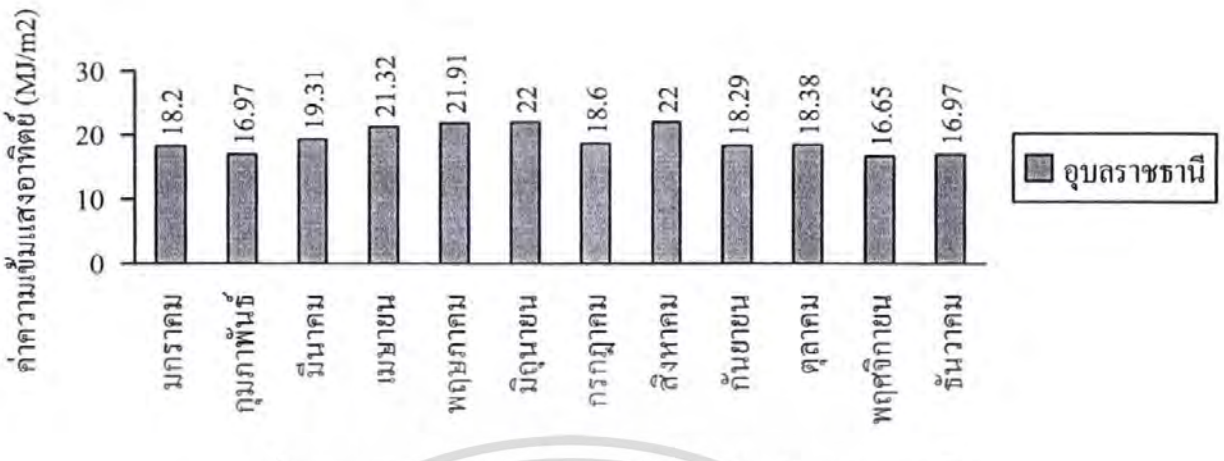
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก71 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดอุดรธานี

รูปที่ ผก72 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดอุตรดิตถ์

รูปที่ ผก73 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดอุทัยธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผก74 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของจังหวัดอุบลราชธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้