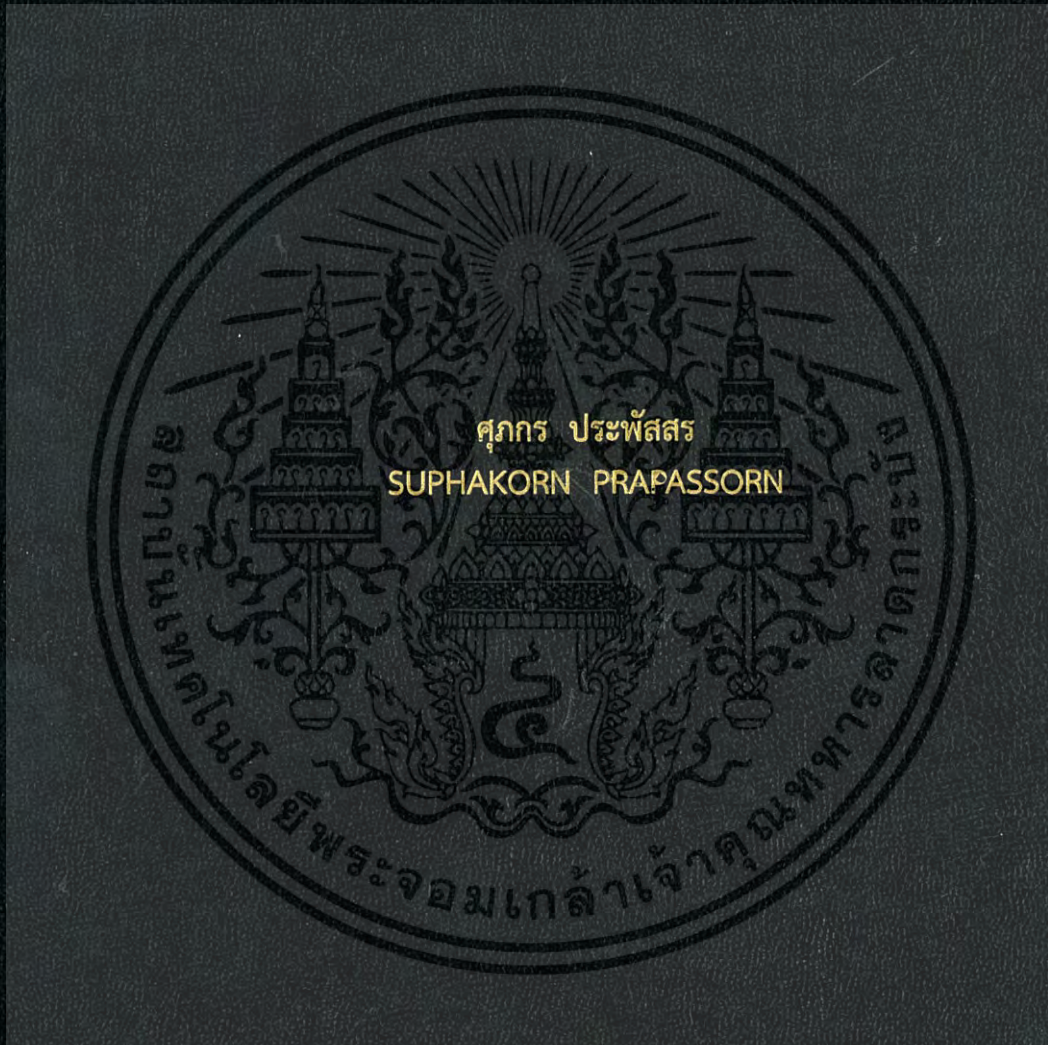


ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์กับการปลูกต้นไม้ในเมือง

RELATIONSHIP BETWEEN SOLAR POWER
AND PLANTATION FOR URBAN CITIES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M-093-188

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์กับการปลูกต้นไม้ในเมือง

RELATIONSHIP BETWEEN SOLAR POWER
AND PLANTATION FOR URBAN CITIES



T148723



ศุภกร ประพัทธ์สร
SUPHAKORN PRAPASSORN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **148723**
ในเดือนปี.....
23 ม.ย. 2560

b. 00265391
l.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559
KMITL-2016-EN-M-093-188

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RELATIONSHIP BETWEEN SOLAR POWER
AND PLANTATION FOR URBAN CITIES



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016
KMITL-2016-EN-M-093-188

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

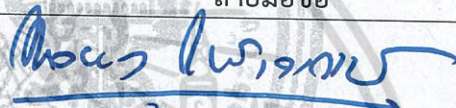
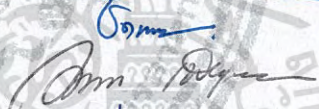


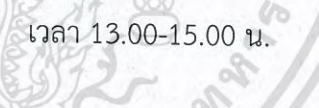


COPYRIGHT 2016
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์กับการปลูกต้นไม้ในเมือง
Thesis Title Relationship between Solar Power and Plantation for Urban Cities
นักศึกษา นายศุภกร ประพัทธ์สร
รหัสประจำตัว 56601229
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ชลิตา อุตะเกา
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-093-188

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.แหลมทอง	เหล่าคงถาวร	
ดร.ชดชนก	อัทฒพงษ์	
ผศ.ดร.วัชรระ	เพียรสุภาพ	
ผศ.ดร.อาทิตย์	เพชรศศิธร	
ผศ.ดร.ชลิตา	อุตะเกา	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2559 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 5

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา วันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2559 ระบุขั้นตอนการดำเนินการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์กับการปลูกต้นไม้ในเมือง
นักศึกษา	นายศุภกร ประพัทธ์สร
รหัสประจำตัว	56601229
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ชลิดา อุตะเภา

บทคัดย่อ

ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar power) ที่จะนำมาใช้ในการผลิตเป็นความร้อนหรือผลิตกระแสไฟฟ้า นั้นมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ (Solar irradiance) ในแต่ละพื้นที่ที่ทำการสำรวจ ซึ่งปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับช่วงเวลาและฤดูกาลอันสืบเนื่องมาจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์และสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นในการติดตั้งแผงโซลาร์พาแนล (Solar Panels) เพื่อใช้ในการรวบรวมและผลิตกระแสไฟฟ้า จากรังสีแสงอาทิตย์จึงควรพิจารณาตำแหน่งให้มีความสอดคล้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และ ฤดูกาล ในแต่ละช่วงเวลา จากการศึกษาพิจารณาตำแหน่งการวางแผงโซลาร์พาแนลพบว่า การปรับเปลี่ยนตำแหน่งการวางโซลาร์พาแนลให้สัมพันธ์กับตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแต่ละเดือนในหนึ่งปี ทำให้สามารถผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้มากกว่าการวางแผงโซลาร์พาแนลในแนวตั้ง หรือ แนวราบ แต่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและดำเนินการสูง อีกทั้งหากพิจารณารังสีแสงอาทิตย์ที่ ตกกระทบโดยตรงต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างเดือน ช่วงเวลาก่อนเที่ยงเปรียบเทียบกับหลังเที่ยงวัน รังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกบดบังจากร่มเงาของต้นไม้ใหญ่ที่ปลูกบริเวณอาคาร โดยมีความสัมพันธ์องศาเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ 0-180 เริ่มจากหันหน้าแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันออก องศาแสงอาทิตย์โดยเริ่มจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก ขนาดแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ 1 ตารางเมตร ความสูงของต้นไม้ 1.50-2.50 เมตร ตั้งแต่กึ่งกลางเซลล์แสงอาทิตย์ ความทึบของต้นไม้ตั้งแต่ 10%-100% และระยะห่างของต้นไม้กับตัวอาคารตั้งแต่ 1.50-6.00 เมตร และข้อมูลปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ในประเทศไทยตอนกลาง (กรุงเทพมหานคร) ปัจจัยดังกล่าวมีผลกระทบ โดยตรงต่อการปริมาณรังสีแสงอาทิตย์และปริมาณพลังงานจากแสงอาทิตย์ ทำให้กล่าวได้ว่าผลกระทบค่าพลังงานลดทอนที่เกิดจากเงาต้นไม้บดบังเซลล์แสงอาทิตย์โดยพบว่าผลกระทบที่เกิดจากต้นไม้มีค่าผลกระทบที่น้อยมาก ผลกระทบที่เกิดจากต้นไม้จะพบได้แต่ในช่วงเช้าและเย็นจึงทำให้มีผลกระทบกับพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์น้อย จึงทำให้ตำแหน่งการปลูกต้นไม้บริเวณโดยรอบมีผลกระทบน้อย โดยการปลูกต้นไม้ที่มีผลกระทบกับเซลล์แสงอาทิตย์น้อยที่สุดคือการปลูกต้นไม้ทางทิศเหนือ ซึ่งพบว่าทิศทางการวางเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดในกรุงเทพมหานครควรเลือกว่าทางทิศใต้ที่ประมาณ 15 องศาที่ขนาดกึ่งแนวราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Relationship Between Solar Power and Plantation for Urban Cities
Student	Mr.Suphakorn Prapassorn
Student ID.	56601229
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Chalida U-tapao

ABSTRACT

Solar Irradiance is a measure of how much solar power you are getting at particular locations. This irradiance varies throughout the year depending on the seasons. It also varies throughout the day, depending on the position of the sun in the sky, and the weather. Therefore, installation position of solar panels used to collect solar irradiance and produce solar energy have to think about these factors. According to the result of this study, the best installation position of solar panels is on adjust turn out the year comparing to flat and vertical positions. However, the installation, operation and maintenance cost of adjust turn out the year is the highest one. Also, each month, as well as time periods (before and after noon) affect direct solar irradiance and solar transmit to the shade of urban trees to solar panels if Thailand information are included. The relationship is degree angle of solar cell between 0-180 degrees, degree angle of sunshine start from the east to the west, area of solar cell 1 square meter, opacity of trees from 10% to 100%, height of the tree 1.50 to 2.50 meters from the center of the solar cell and spacing of the trees to the building 1.50 to 6.00 meters. Solar radiation data in the middle of Thailand. (Bangkok), these factors have an impact. The amount of direct solar radiation and the amount of solar energy. Thus, result that the impact energy attenuation caused by the shadow of a tree hide to solar cell effect of trees is affected scanty. The impact caused the tree to be found only in the morning and evening so it has less impact on solar energy. As a result, the plants have little impact on the surrounding area. By planting trees with minimum impact on the solar cell is the north. It was found that the best direction of putting solar cell in Bangkok should be placed to the south at approximately 15 degrees to the horizontal positions.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชลิตา อุ้ตะเภา ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่ให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สุดท้ายต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้การสนับสนุนในหลายๆเรื่อง สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ศุภกร ประพัทธ์สร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์.....	5
2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้อย่างไร.....	6
2.1.2 การใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.2 รังสีอาทิตย์	10
2.2.1 ภูมิศาสตร์ของโลก.....	11
2.2.2 รังสีอาทิตย์บนพื้นโลก.....	11
2.2.3 ปริมาณรังสีอาทิตย์ในประเทศไทย.....	13
2.2.4 ตำแหน่งดวงอาทิตย์และมวลอากาศ.....	15
2.2.5 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์.....	16
2.2.6 อุปกรณ์วัดรังสีอาทิตย์.....	17
2.2.7 ระบบติดตามดวงอาทิตย์.....	18
2.2.8 ทิศทางตำแหน่งองศาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	19
2.3 เซลล์ แผงและอุปกรณ์ประกอบระบบ.....	20
2.3.1 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์.....	20
2.3.2 ลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	29
2.3.3 ลักษณะของอินเวอร์เตอร์.....	43
2.3.4 ลักษณะของแบตเตอรี่.....	58
2.3.5 ลักษณะเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า.....	61
2.3.6 ระบบป้องกันฟ้าผ่า.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4 หลักการทำงาน และ การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.....	63
2.4.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	63
2.4.2 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.....	65
2.5 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์.....	67
2.5.1 ความเข้มของแสง.....	67
2.5.2 อุณหภูมิ.....	69
2.5.3 ความต้านทาน.....	69
2.5.4 ท้องฟ้ามีดคริม มีเมฆบดบัง.....	69
2.5.5 การบังเงาเนื่องจากเงาต้นไม้ อาคาร.....	69
2.6 โปรแกรมแบบจำลอง MATLAB.....	69
2.6.1 MATLAB คือ.....	70
2.6.2 ประโยชน์ของ MATLAB.....	70
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	72
3.1 ศึกษาเรื่องปริมาณแสงอาทิตย์.....	72
3.2 ศึกษาองศาแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ.....	80
3.3 ศึกษาการตั้งองศาแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์.....	80
3.4 กำหนดขนาดแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์.....	81
3.5 ศึกษาชนิดและความสูงของต้นไม้.....	81
3.6 ศึกษาและกำหนดความทึบแสงของต้นไม้.....	81
3.7 กำหนดระยะห่างระหว่างต้นไม้และเซลล์แสงอาทิตย์.....	82
3.8 พิจารณาค่าความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์.....	82
3.9 ทำการประเมินค่าพลังงาน.....	83
บทที่ 4 ผลและวิเคราะห์การทดลอง.....	96
4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้ระหว่างโปรแกรม MATLAB กับการคำนวณมือ.....	96
4.2 ผลการประมาณค่าพลังงานจากผลกระทบของต้นไม้ที่อยู่ใกล้แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์.....	99
4.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกต้นไม้ที่อยู่ใกล้เคียง และแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีต้นไม้อยู่โดยรอบ.....	101
4.4 วิเคราะห์การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	101
4.4.1 ค่าพลังงานสูญเสียที่เกิดจากต้นไม้.....	102
4.4.2 ค่ามุมการวางเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมในการทดลองนี้.....	102
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	106
ภาคผนวก ก. ค่าพลังงานตั้งต้นที่ได้จากการเก็บผลตั้งแต่ปี 2004-2014.....	108
ภาคผนวก ข. สูตรและขั้นตอนการเขียนสมการในโปรแกรม Matlab.....	121
ภาคผนวก ค. ผลพลังงานจากค่าลดทอนที่ได้จากสมการ.....	131
ภาคผนวก ง. ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	136
ประวัติผู้เขียน.....	142



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน มกราคม 2004 - 2014.....	73
4.1 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม MATLAB และการคำนวณมือ ในแบบที่ไม่มี การ ปลูกต้นไม้ โดยเปรียบในบางกรณี ในค่าเฉลี่ยเดือนเมษายน ปี 2004-2014.....	96
4.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม MATLAB และการคำนวณมือ ในแบบที่มีการ ปลูกต้นไม้ทางด้านทิศตะวันออก โดยเปรียบในบางกรณี ในค่าเฉลี่ยเดือนกุมภาพันธ์.....	97
4.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม MATLAB และการคำนวณมือ ในแบบที่มีการ ปลูกต้นไม้ทางด้านทิศตะวันออก โดยเปรียบในบางกรณี ในค่าเฉลี่ยเดือนสิงหาคมปี 2004-2014....	98
ก.1 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน มกราคม 2004 - 2014.....	109
ก.2 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน กุมภาพันธ์ 2004 - 2014.....	110
ก.3 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน มีนาคม 2004 - 2014.....	111
ก.4 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน เมษายน 2004 - 2014.....	112
ก.5 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน พฤษภาคม 2004 - 2014.....	113
ก.6 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน มิถุนายน 2004 - 2014.....	114
ก.7 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน กรกฎาคม 2004 - 2014.....	115
ก.8 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน สิงหาคม 2004 - 2014.....	116
ก.9 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน กันยายน 2004 - 2014.....	117
ก.10 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน ตุลาคม 2004 - 2014.....	118
ก.11 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน พฤศจิกายน 2004 - 2014.....	119
ก.12 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน ธันวาคม 2004 - 2014.....	120
ค.1 พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยไม่มีต้นไม้.....	132
ค.2 พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยมีต้นอยู่ทางทิศตะวันออก.....	133
ค.3 พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยมีต้นอยู่ทางทิศตะวันตก.....	134
ค.4 ค่าลดทอนเพิ่มเติมที่เกิดขึ้นจากต้นไม้ โดยสัมพันธ์กับระยะ (เมตร)	135

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ความต้องการการใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยจำแนกตามภูมิภาค ปี 2552-2555	
ที่มา กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.....	1
2.1 ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในแบบต่างๆ.....	5
2.2 การเกิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.3 องค์ประกอบระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.4 การใช้ประโยชน์ระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	9
2.5 ความเป็นมาและแนวโน้มเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.6 การแบ่งเส้นศูนย์สูตรของโลก.....	11
2.7 ผลกระทบต่างๆ ต่อรังสีอาทิตย์ในบรรยากาศโลก.....	12
2.8 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย จัดทำในปี พ.ศ. 2542.....	14
2.9 มุมซิมิท (θz, Zenith Angle) มุมเดคลิเนชัน (α, Solar Declination Angle)	15
2.10 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์.....	16
2.11 (ก) ไพรานอมิเตอร์ , (ข) เครื่องบันทึกแดดแบบลูกแก้ว.....	17
2.12 ความแตกต่างระหว่างรังสีรวมของการวัดแบบพื้นราบกับมีระบบติดตามดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง ที่ละติจูด 50 องศา.....	18
2.13 ทิศทางการผ่านของดวงอาทิตย์ในประเทศไทย.....	19
2.14 การเปรียบเทียบการวางแผนเซลล์แสงอาทิตย์ในมุมต่างๆ.....	20
2.15 โครงสร้างรอยต่อพี-เอ็นของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน.....	21
2.16 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน.....	22
2.17 ไดอะแกรมเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์.....	23
2.18 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์.....	24
2.19 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ และโครงสร้างภายใน.....	24
2.20 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ.....	25
2.21 การต่อวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์.....	26
2.22 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (IV-curve)	27
2.23 ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร.....	28
2.24 ผลของความต้านทาน Shunt ต่อลักษณะกระแสและแรงดัน.....	28
2.25 ผลของความต้านทานอนุกรมต่อลักษณะกระแสและแรงดัน.....	29
2.26 ลักษณะทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกนำมาประกอบเป็นแผงเซลล์.....	29
2.27 การต่อเซลล์แบบต่างๆ.....	30
2.28 วัสดุประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก.....	31
2.29 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน (a-Si)	32
2.30 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอ่อนตัว.....	32
2.31 สัญลักษณ์ของเซลล์แสงอาทิตย์.....	33
2.32 กราฟกระแสกับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)	34
2.33 ไดอะแกรมการทดสอบวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า.....	34

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.34 แบบจำลองคุณลักษณะทางสถิติของเซลล์แสงอาทิตย์.....	35
2.35 กราฟกระแสและแรงดันที่อุณหภูมิและความเข้มแสงค่าต่างๆ.....	36
2.36 ปัจจัยการลดทอนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	36
2.37 ลักษณะของผิวหน้าของเซลล์ซึ่งผ่านการทำ surface texturing.....	37
2.38 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อไม่มีเงาบังที่เซลล์.....	38
2.39 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีใบไม้บัง.....	38
2.40 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีใบไม้บังแต่มี Bypass Diode.....	38
2.41 การเปรียบเทียบ I-V Curve ที่มีและไม่มี Bypass Diode เมื่อมีการเกิดเงาบัง.....	39
2.42 กล่องรวมสายไฟฟ้าที่มีการติดตั้ง Bypass Diode.....	40
2.43 แผนภาพของระบบที่มีการติดตั้ง Bypass Diode.....	41
2.44 การเปรียบเทียบไฟฟ้าที่ผลิตได้ของระบบที่มีและไม่มี Blocking Diode.....	42
2.45 ไดอะแกรมวงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์.....	46
2.46 การเชื่อมต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบจำหน่าย.....	47
2.47 หลักการของอินเวอร์เตอร์แบบ grid-controlled.....	48
2.48 หลักการของอินเวอร์เตอร์แบบ self-commutated inverter.....	49
2.49 ส่วนประกอบวงจรของอินเวอร์เตอร์ที่มีหม้อแปลงความถี่ต่ำ.....	50
2.50 ตัวอย่าง characteristic curve ของอินเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ.....	52
2.51 ความถี่และพลังงานที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ตลอดหนึ่งปีในประเทศเยอรมัน.....	53
2.52 รูปแบบแนวคิดของ multi string inverter.....	55
2.53 Efficiency curve ของอินเวอร์เตอร์ master-slave ต่างๆ.....	56
2.54 ไดอะแกรมวงจรของอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายขนาดใหญ่แบบป้อนแรงดัน ระดับกลางโดยตรง.....	57
2.55 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด.....	58
2.56 ส่วนประกอบของเซลล์โวลตาอิก.....	60
2.57 เซลล์ไฟฟ้าพื้นฐาน.....	61
2.58 ตัวอย่างเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าที่มีทั่วไป.....	62
2.59 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	63
2.60 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 1.....	64
2.61 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 2.....	64
2.62 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 3.....	65
2.63 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ.....	66
2.64 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย.....	67
2.65 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน.....	68
3.1 เครื่องมือวัดรังสีแสงอาทิตย์.....	72
3.2 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม 2004 – 2014.....	72
3.3 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน มกราคม 2004 – 2014.....	74

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน กุมภาพันธ์ 2004 - 2014.....	74
3.5 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน มีนาคม 2004 - 2014.....	75
3.6 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน เมษายน 2004 - 2014.....	75
3.7 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน พฤษภาคม 2004 - 2014.....	76
3.8 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน มิถุนายน 2004 - 2014.....	76
3.9 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน กรกฎาคม 2004 - 2014.....	77
3.10 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน สิงหาคม 2004 - 2014.....	77
3.11 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน กันยายน 2004 - 2014.....	78
3.12 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน ตุลาคม 2004 - 2014.....	78
3.13 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน พฤศจิกายน 2004 - 2014.....	79
3.14 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน ธันวาคม 2004 - 2014.....	79
3.15 องศาแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ.....	80
3.16 องศาแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์.....	80
3.17 ตัวอย่างแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์.....	81
3.18 แสดงเงาของต้นไม้.....	81
3.19 รูปแบบการทดลอง.....	82
3.20 แสดงมุมของเซลล์แสงอาทิตย์กับกับสูญเสียพลังงาน.....	83
3.21 รูปแบบในการประเมินค่าพลังงาน.....	83
3.22 การกำหนดตัวแปรในการประเมินค่าพลังงาน.....	84
3.23 รูปแบบและสมการในการประเมินค่าพลังงาน.....	86
3.24 แสดงแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้สัมผัสแสงแดดโดยตรง.....	87
3.25 แสดงถึงมุมแสงอาทิตย์ตกกระทบ.....	88
3.26 แสดงพื้นที่เงาต้นไม้ตกกระทบโดยแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์หันด้านรับแสงอาทิตย์.....	88
3.27 แสดงพื้นที่เงาต้นไม้ตกกระทบโดยแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์หลบแสงอาทิตย์.....	89
3.28 แสดงการกำหนดค่าตัวแปร.....	90
3.29 ตัวอย่างการกำหนดสมการในการคำนวณ.....	91
3.30 ขั้นตอนเงื่อนไขในความสัมพันธ์ที่ไม่มีต้นไม้.....	92
3.31 การเขียนโปรแกรมในความสัมพันธ์ที่ไม่มีต้นไม้.....	92
3.32 ขั้นตอนเงื่อนไขในความสัมพันธ์ที่ปลูกต้นไม้แต่ต้นไม้ไม่ผลกระทบบกับเซลล์แสงอาทิตย์.....	93
3.33 การเขียนโปรแกรมในความสัมพันธ์ที่ปลูกต้นไม้แต่ต้นไม้ไม่ผลกระทบบกับเซลล์แสงอาทิตย์.....	93
3.34 ขั้นตอนเงื่อนไขในความสัมพันธ์ที่ต้นไม้ปลูกทางทิศตะวันออก.....	94
3.35 การเขียนโปรแกรมในความสัมพันธ์ที่ต้นไม้ปลูกทางทิศตะวันออก (1/3).....	94
3.36 การเขียนโปรแกรมในความสัมพันธ์ที่ต้นไม้ปลูกทางทิศตะวันออก (2/3).....	95
3.37 การเขียนโปรแกรมในความสัมพันธ์ที่ต้นไม้ปลูกทางทิศตะวันออก (3/3).....	95
4.1 พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยไม่มีต้นไม้.....	99
4.2 พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยมีต้นไม้ปลูกทางทิศตะวันออก.....	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 X
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

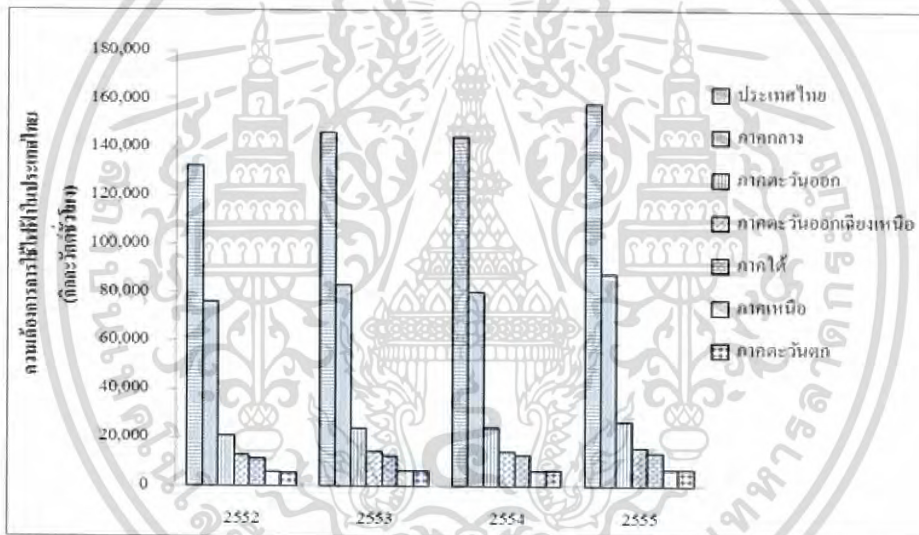
รูปที่	หน้า
4.3 พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยมีต้นอยู่ทางทิศตะวันตก.....	100
4.4 ผลการเปรียบเทียบ..บค่าพลังงานที่ถูกลดทอน 3 กรณี.....	101
4.5 ค่าลดทอนเพิ่มเติมที่เกิดขึ้นจากต้นไม้ โดยสัมพันธ์กับระยะ.....	102
4.6 การเปรียบเทียบการวางแผนเซลล์แสงอาทิตย์ในมุมต่างๆ.....	103
4.7 การปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล.....	103



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีการใช้งานพลังงานหลายๆชนิด ในหลากหลายรูปแบบ เพื่อการพัฒนาประเทศ ทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ความต้องการการใช้พลังงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ไฟฟ้ามีเพิ่มมากขึ้นทั้งในระดับภูมิภาคและระดับประเทศ (รูปที่ 1.1) การรณรงค์ให้ประชาชนรู้จักการใช้พลังงานอย่างมีคุณค่าและการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ จึงมีอย่างกว้างขวางในสังคมปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น การปิดสวิตช์ไฟฟ้าเมื่อไม่ได้ใช้งาน การปลูกต้นไม้ใหญ่เพื่ออาศัยร่มเงาจากต้นไม้ในการบังแดดเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศ และการใช้ผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้ในครัวเรือน ตลอดจนขายคืนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้แก่การไฟฟ้า



รูปที่ 1.1 ความต้องการการใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยจำแนกตามภูมิภาค ปี 2552-2555 ที่มา กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (<http://www.dede.go.th>)

จะเห็นได้ว่าการรณรงค์บางหัวข้อ มีความขัดแย้งในบางประการ กล่าวคือ การปลูกต้นไม้ใหญ่ในเมืองมีความสำคัญเพราะร่มเงาจากต้นไม้สามารถป้องกันแสงแดดในช่วงกลางวัน ทำให้ผู้อยู่อาศัยในอาคารไม่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากแสงแดด และ ลดความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า ของเครื่องปรับอากาศลงได้ แต่ในทางตรงกันข้าม การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ตามอาคารพักอาศัย ก็ไม่ควรจะมีเงาร่มไม้บดบังแสงแดด ซึ่งเปลี่ยนทิศทางในการส่องสว่างไปตลอดช่วงเวลาที่มิมีแสงแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาดำเนินการที่เหมาะสมของการปลูกต้นไม้ขนาดใหญ่รอบๆ อาคารพักอาศัยขนาดเล็กในเมือง หากผู้อยู่อาศัยในตัวอาคารนั้นต้องการติดตั้งระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพิจารณากรณีศึกษาได้แก่ กรุงเทพมหานคร

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 ค่าปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าลดลง หากมีการปลูกต้นไม้ในตำแหน่งที่บดบังแสงแดด
- 1.3.2 ร่มเงาจากการปลูกต้นไม้ช่วยให้ผู้อยู่อาศัยในอาคารสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น มีแสงแดดตลอดปี จัดเป็นประเทศที่มีศักยภาพสูงประเทศหนึ่งในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีผลการศึกษาศักยภาพของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในประเทศในรอบ 8 ปี จากปี 2538-2545 (Janjai et al. 2013) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและตอนกลางของประเทศไทยเป็นตำแหน่งที่มีศักยภาพสูงในการผลิตใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า กล่าวคือ สามารถผลิตได้ถึง 1350-1400 kWh/m² year ค่าใช้จ่ายในการผลิตมีเพียง 0.30 USD/kWh ซึ่งมีความเหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์ในการพิจารณาคัดเลือกพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกที่สำคัญของประเทศไทย นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเรื่องการใช้งาน แผงโซลาร์เซลล์ หรือ Photovoltaic (PV) เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า (Phuangpornpitak and Kumar 2007) พบว่า การผลิตกระแสไฟฟ้าจาก PV ควรมีการใช้ร่วมกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานด้านอื่นๆ เพื่อให้เกิดเสถียรภาพในการใช้งาน ในกรณีที่บางช่วงเวลาที่ขาดพลังงานแสงอาทิตย์เช่นตอนกลางคืน หรือ ฤดูฝน แต่หากมีระบบผสมผสานการผลิตกระแสไฟฟ้า (PV hybrid systems) ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความเหมาะสมในการพิจารณาพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกที่สำคัญ

ในกรณีชนบท หรือ พื้นที่ที่มีที่ว่างในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า นิยมที่จะติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เป็นระบบใหญ่ๆ ส่วนในกรณีชุมชนเมืองนั้นนิยมการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาอาคารพักอาศัย หรือ อาคารสำนักงาน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการใช้งานในอาคารนั้นๆ แต่หากมีพลังงานไฟฟ้าเหลือจะมีการขายคืนให้แก่การไฟฟ้า เป็นการสร้างรายได้ ลดรายจ่ายให้แก่ผู้อยู่อาศัยในตัวอาคาร ปัญหาที่สำคัญของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในชุมชนเมืองนั้น ชุมชนเมืองมีการปลูกต้นไม้ขนาดใหญ่รอบตัวอาคาร ซึ่งตำแหน่งในการปลูกต้นไม้ และ ชนิดของต้นไม้ ไม่ได้มีการวางแผนไว้รองรับ การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ (Staley 2014) โดยงานวิจัยส่วนใหญ่เรื่องการปลูกต้นไม้ใหญ่รอบๆ ตัวอาคารที่เป็นที่นิยมในเมืองขนาดใหญ่ทั่วไป มักมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อลดปริมาณมลพิษทางอากาศ (Nowak and Crane 2002) การรักษามวลของปริมาณคาร์บอนในดิน รวมถึง ในชั้นบรรยากาศ (Nowak et al. 2006) และ การรักษามวลทางธรรมชาติในหลากหลายด้าน (Long and Ramachandran Nair 1999) มีน้อยมากที่จะมุ่งเน้นศึกษาเรื่องตำแหน่งของการปลูกต้นไม้ในเมืองสัมพันธ์กับการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบต่างๆ และ ในแต่ละเดือน
- 1.5.2 ศึกษาตำแหน่งของการปลูกต้นไม้ใหญ่ในเมือง และปริมาณแสงแดดที่ได้ในแต่ละช่วงเวลา
- 1.5.3 สร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ หาความสัมพันธ์ของพลังงานแสงอาทิตย์กับตำแหน่งการปลูกต้นไม้ใหญ่
- 1.5.4 ประเมินความสัมพันธ์ของพลังงานแสงอาทิตย์หากมีการปลูกต้นไม้ใหญ่บดบังในทิศทางต่างๆ
- 1.5.5 พิจารณาจากกรณีศึกษาคือ กรุงเทพมหานคร โดยใช้เป็นต้นแบบของเมือง ซึ่งเลือกเป็นแนวหมู่บ้านจัดสรรที่มีการปลูกต้นไม้เพื่อให้ความร่มเงา ส่วนเหตุผลที่เลือกเพราะการปลูกต้นไม้ในแนวเมืองค่อนข้างมีพื้นที่จำกัดในการปลูกต้นไม้บริเวณบ้าน ทำให้ต้องปลูกต้นไม้ใกล้กับตัวอาคาร ซึ่งการปลูกต้นไม้ใกล้อาคารอาจทำให้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับน้อยลง แต่การปลูกต้นไม้ในเขตชนบทมีพื้นที่ในการปลูกต้นไม้บริเวณกว้างจึงมีโอกาสปลูกต้นไม้ห่างกับตัวบ้านมากกว่า ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับไม่มาก

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิธีการดำเนินการทดลองแบ่งเป็นสี่ขั้นตอนหลัก ได้แก่

- 1.6.1 ศึกษาข้อมูล ปริมาณแสงอาทิตย์ และ พลังงานจากแสงอาทิตย์ ในกรุงเทพมหานคร ในแต่ละช่วงเวลา
- 1.6.2 ศึกษาชนิดของต้นไม้ ตำแหน่งในการปลูกต้นไม้ขนาดใหญ่ รอบๆ อาคาร ในกรุงเทพมหานคร
- 1.6.3 กำหนดจำนวนตัวอย่างที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาตำแหน่งของการปลูกต้นไม้ขนาดใหญ่ และ พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์
- 1.6.4 ทำการวิเคราะห์ตำแหน่งที่เหมาะสมของต้นไม้ที่ปลูกบริเวณที่พักอาศัย
- 1.6.5 ทำการประเมินค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา ของแต่ละตัวอย่างที่กำหนด โดยใช้โปรแกรมจำลองในการประเมินค่าพลังงาน ได้แก่ โปรแกรม MATLAB

การทำการศึกษาทั้งหมดจะทำการศึกษาโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ร่วมกับการสำรวจสถานที่จริงในกรุงเทพมหานครบางจุด เนื่องจากจำนวนตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษาอาจจะมีมาก โดยการพิจารณาจาก ช่วงเวลาที่ใช้ทดสอบ ชนิดของต้นไม้ และตำแหน่งในการปลูกต้นไม้

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 ทราบถึงผลกระทบจากต้นไม้ใหญ่บริเวณรอบ ๆ อาคารที่จะเกิดขึ้นของการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์ แสงอาทิตย์
- 1.7.2 ทราบถึงตำแหน่ง ทิศทางที่เหมาะสมกับการปลูกต้นไม้ใหญ่บริเวณรอบ ๆ อาคารที่มีผลกระทบกับการรับพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์น้อยที่สุด

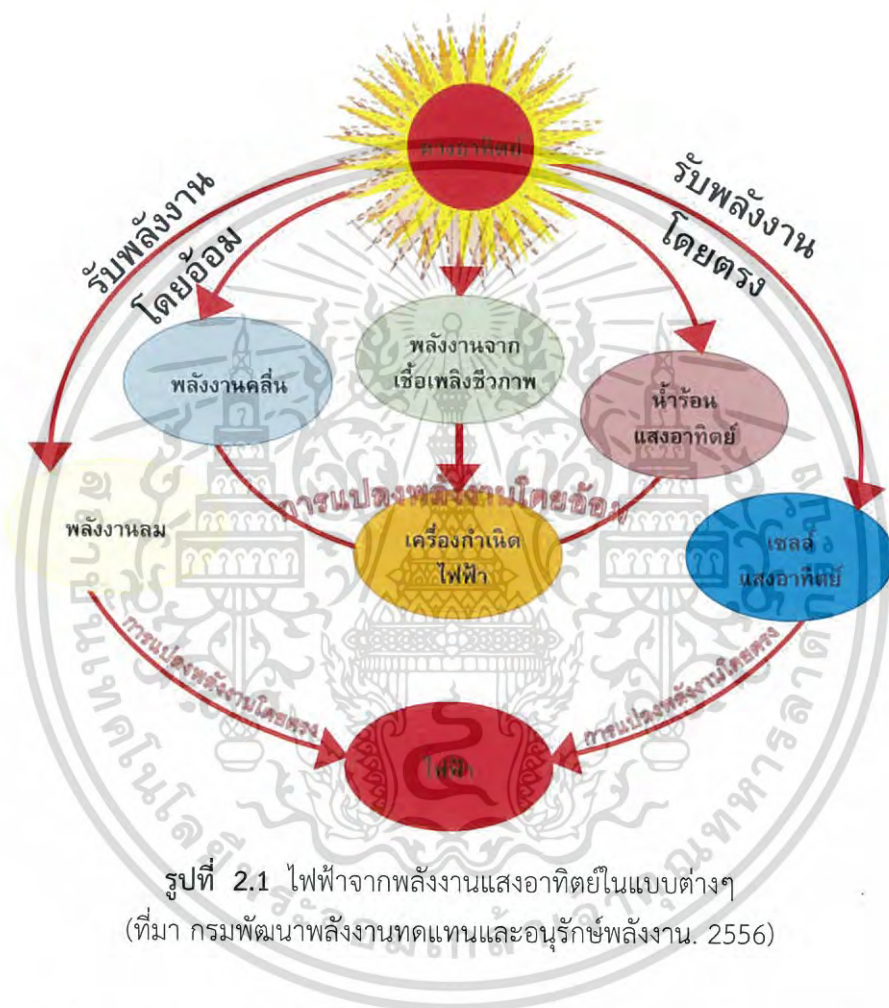


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.1 ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในแบบต่างๆ
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

ไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการเปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นตอนเดียวโดยไม่มีส่วนเคลื่อนไหวใดๆ ไฟฟ้าดังกล่าวใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับไฟฟ้าจากแหล่งผลิตอื่นๆ สามารถใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรง เช่นระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในรถยนต์ และใช้กับเครื่องใช้กระแสสลับโดยผ่านเครื่องแปลงเป็นกระแสสลับที่เรียกว่าอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอื่นๆ อาทิ พลังงานความร้อน พลังงานลม และพลังงานคลื่นใน มหาสมุทร พลังงานที่กล่าวมามีแสงจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานต้นทาง

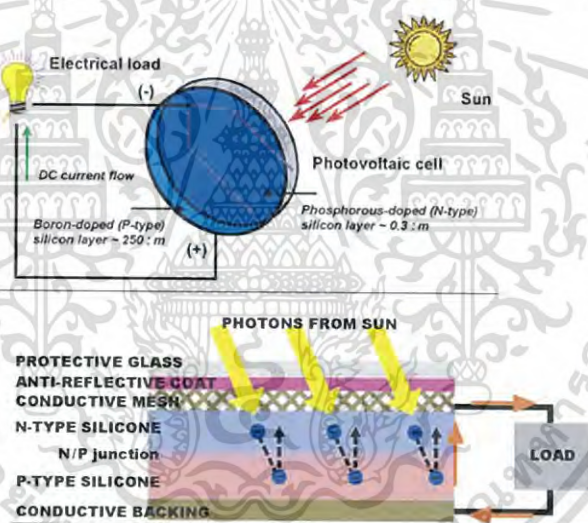
เนื่องจากแสงอาทิตย์เฉพาะเวลากลางวัน จึงจำเป็นต้องเก็บสำรองไฟฟ้าโดยแบตเตอรี่ เพื่อใช้ในเวลากลางคืน และประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าโดยแสงอาทิตย์ขึ้นตรงต่อความเข้มของแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมถึงอุณหภูมิซึ่งจะเพิ่มขึ้นจากการตากแดด ทำให้ประสิทธิภาพพลดต่ำลง ดังนั้นการติดตั้งใช้งานควรอยู่กลางแจ้งหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์และเว้นช่องว่างเพื่อช่วยระบายความร้อนด้านหลัง (หากอยู่ในซีกโลกเหนือเช่นประเทศไทย ก็เอียงไปทางทิศใต้) จะได้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยมากที่สุด

2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้อย่างไร

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและความต่างศักย์ที่ผิวทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นเมื่อมีการเชื่อมต่อระหว่างผิวทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะเกิดการไหลของอิเล็กตรอน เพื่อให้เกิดสมดุลระหว่างผิวทั้งสองด้านของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการไหลของอิเล็กตรอนทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าเป็นวิธีเปลี่ยนรูปพลังงานแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรงที่สุด ง่ายที่สุด ไม่มีการเคลื่อนไหวของชิ้นส่วนใดๆ ไม่มีการสึกหรอใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ดังนั้นตราบเท่าที่เซลล์แสงอาทิตย์ยังคงสภาพสารกึ่งตัวนำและแสงอาทิตย์ตกกระทบสู่ผิวเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะผลิตไฟฟ้าออกมาให้ตลอดไป (ในทางปฏิบัติผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์รับประกันอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์กว่ายี่สิบปีขึ้นไป)



รูปที่ 2.2 การเกิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ตัวอย่างเช่นหากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ 100 วัตต์ เมื่อมีความเข้มแสง 1,000 วัตต์/ตารางเมตร นั่นคือความเข้มแสงอาทิตย์ 500 วัตต์/ตารางเมตร ก็จะผลิตไฟฟ้าได้ 50 วัตต์ เป็นต้น โดยทั่วไปประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ระหว่างร้อยละ 7-19 ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของเซลล์แบบต่างๆ

กรณีระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่สำหรับเก็บสำรองพลังงานอย่างกรณีของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระเพราะ

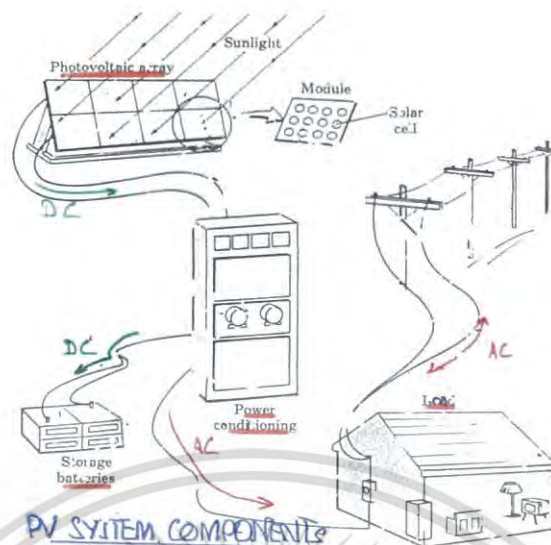
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่ายโดยตรง และมีข้อดีเพราะจะไปช่วยเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้า ในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้ามากตามสำนักงาน โรงงาน ฯลฯ ประเทศไทยเริ่มนำระบบผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์กว่าสามสิบปีมาแล้วจนถึงปัจจุบันรวมได้มากกว่า 30 เมกะวัตต์ โดยกว่าร้อยละ 90 ใช้ในชนบทห่างไกล ซึ่งยังไม่มีบริการของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย เพราะเป็นทางเลือกค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด สำหรับในอนาคตอันไม่ไกลนักจะเริ่มมีการนำมาใช้ในเขตที่มีการบริการแล้ว ในลักษณะต่อเชื่อมเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าได้ ภาพรวมขององค์ประกอบระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงในรูปที่ 2.3

แนวโน้มของราคาของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ลดต่ำลงมากใกล้เคียงกับราคาไฟฟ้าที่ผลิตจากเชื้อเพลิงเผาไหม้เข้าไปทุกที ในขณะที่ราคาเชื้อเพลิงเผาไหม้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และสังคมเริ่มมีความกังวลเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับผลกระทบเรื่องคุณภาพของอากาศ น้ำ สภาพแวดล้อมเป็นพิษ จากการเผาไหม้ ถ่านหิน ก๊าซ น้ำมัน ฯลฯ นอกจากนี้การจัดประเภทการใช้งานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทหลัก คือ ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย และระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

เซลล์แสงอาทิตย์มีกำเนิดในช่วงปี ค.ศ. 1950 ที่ Bell Telephone Laboratory ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยวัตถุประสงค์เบื้องต้น เพื่อผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ สำหรับใช้ในโครงการอวกาศ ต่อจากนั้นจึงได้เริ่มนำมาใช้อย่างกว้างขวาง และขยายผลสู่ระดับอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ของโลก เมื่อปลายทศวรรษที่ 50 เป็นต้นมา ในรูปที่ 2.5 แสดงความเป็นมาและแนวโน้มเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ ในระยะแรกเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาแพงมาก จึงจำกัดการใช้งานอยู่เฉพาะในงานวิทยุสื่อสาร และไฟฟ้าแสงสว่างขนาดเล็กในพื้นที่ห่างไกลเท่านั้น ต่อมาในช่วงปี ค.ศ. 1970 ภาครัฐในประเทศสหรัฐอเมริกา เยอรมัน และญี่ปุ่น ได้ส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์อย่างจริงจังและต่อเนื่อง เป็นผลให้ราคาของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเป็นลำดับ จากเดิมประมาณ 4 ล้านบาทต่อกิโลวัตต์ ในปัจจุบันคงเหลือประมาณ 1.6 แสนบาทต่อกิโลวัตต์ ซึ่งนับว่าราคาของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ลดลงมามาก

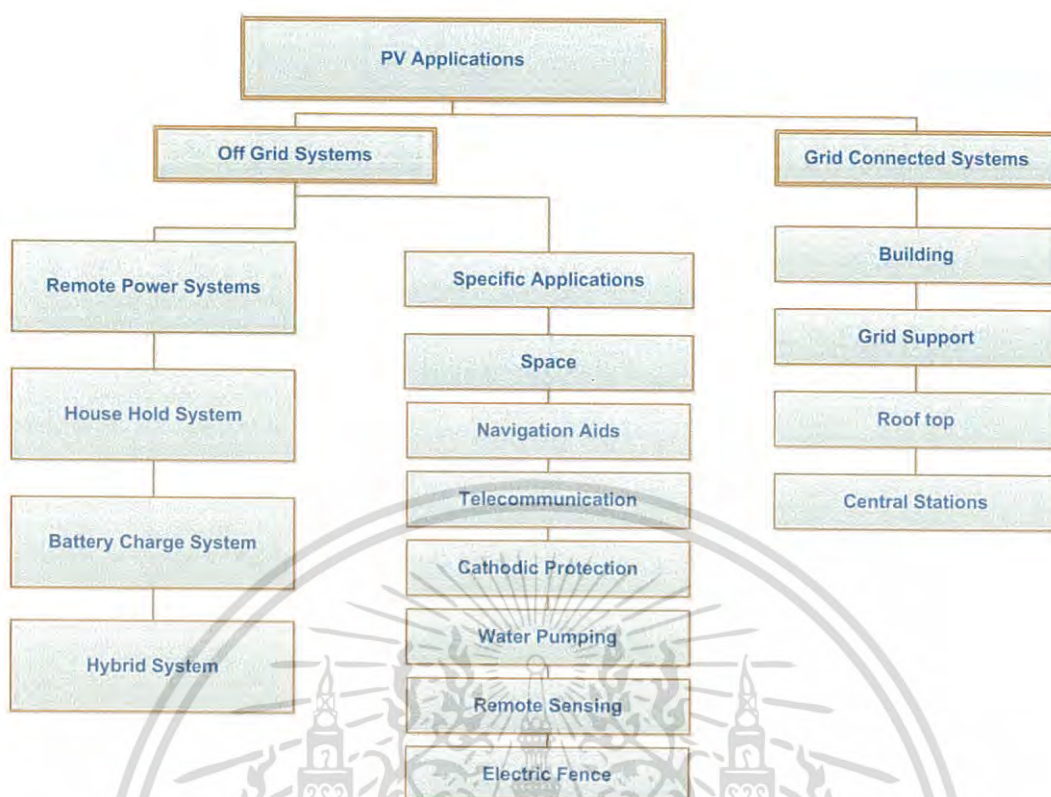
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

2.1.2 การใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์

ในพื้นที่ห่างไกลซึ่งระบบจำหน่ายของการไฟฟ้ายังไม่ถึง ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เป็นทางเลือกเหมาะเนื่องจากราคาต่ำกว่า เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์เบนซิน และดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานด้านโทรคมนาคม ไฟสัญญาณ การช่วยเดินเรือ เดินฝ้ายาม แต่เนื่องจากเงินลงทุนสูงมากกว่าระบบผลิตไฟฟ้าแบบอื่นๆ มาก การหาแหล่งเงินกู้ ดอกเบี้ยต่ำ ปลอดดอกเบี้ย นานๆ เป็นอุปสรรคสำคัญ จึงต้องการความช่วยเหลือจากภาครัฐ ในระยะแรกๆ เป็นหลัก ตัวอย่างคือโครงการไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับหมู่บ้านห่างไกลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งรวมกำลังการผลิตติดตั้งสูงถึงกว่า 2 เมกะวัตต์



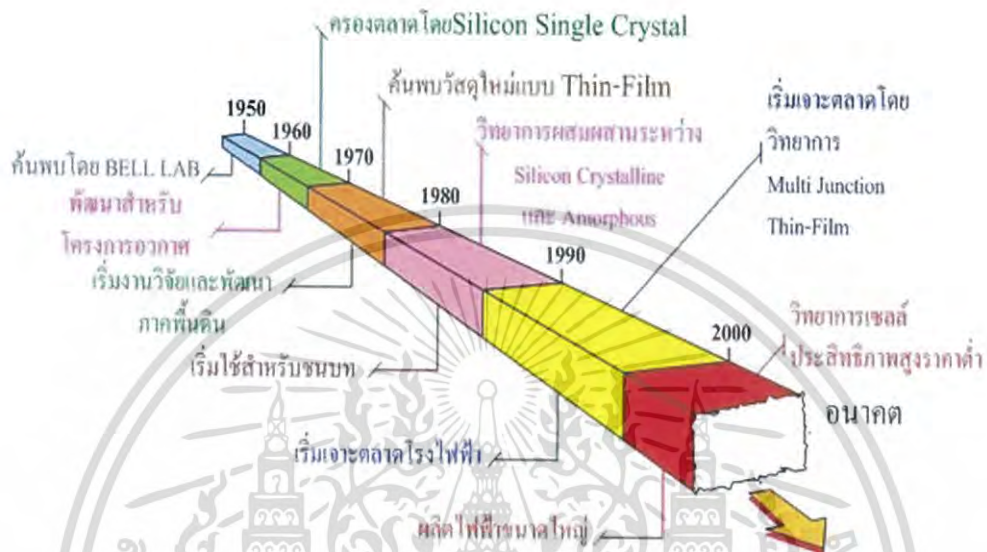
รูปที่ 2.4 การใช้ประโยชน์ระบบเซลล์แสงอาทิตย์
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่มีค่าเชื้อเพลิง สะอาดและมีให้อย่างไม่จบสิ้น ดังนั้น นักวางแผนพลังงานที่มีวิสัยทัศน์กว้างไกลได้หาหนทางสนับสนุน เช่น เงินกู้ปลอดดอกเบี้ยต่ำ ผ่อนนาน รับซื้อไฟฟ้าราคาสูงใจ เพื่อให้เกิดการผลิตในเชิงปริมาณเพื่อลดราคา และ สร้างงาน ฯลฯ ตัวอย่างความสำเร็จคือ ญี่ปุ่น และเยอรมัน กรณีของญี่ปุ่นให้มีการซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตภายใต้โครงการ Sunshine Project เริ่มเมื่อปี ค.ศ. 1994 สามารถดึงราคาของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบนบ้านจาก 2 ล้านเยนต่อกิโลวัตต์ ลดลงเหลือ 6 แสนเยนต่อกิโลวัตต์ในระยะเวลา 12 ปี โดยให้การสนับสนุนแบบช่วยออกค่าใช้จ่ายครึ่งหนึ่งในปีแรก ค่อยๆ ลดลงมาจนเหลือไม่เกินร้อยละสิบในปีหลังๆ ตอนจบโครงการจึงมีบ้านแบบดังกล่าวเกือบ 3 แสนหลัง และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องได้ขยายตัวอย่างมากมาย จนกลายเป็นผู้ส่งออกอันดับที่ 1 ของโลก

เยอรมันสิ่งที่จูงใจก็คือรับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานทดแทนโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในราคาสูงมาก ซึ่งมีผู้เข้าร่วมโครงการจำนวนมากจนปัจจุบันเป็นตลาดใหญ่ที่สุดในโลก โดยใช้งบประมาณจากเศษเสี้ยวของค่าไฟฟ้าของบริษัทไฟฟ้าที่ขายได้ และเกิดปรากฏการณ์คล้ายของญี่ปุ่น ปัจจุบันอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนของเยอรมันแข็งแกร่งมาก ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ส่งออกเป็นอันดับสองรองจากญี่ปุ่น และสร้างงานได้อย่างมหาศาล หลายประเทศในยุโรปก็ใช้วิธีการของเยอรมัน โดยมีเงื่อนไขจูงใจที่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อย สเปนซึ่งเป็นประเทศที่มีแดดดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลมนดี ก็ก้าวขึ้นมาเป็นตลาดลำดับ 3 ของโลก สหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นผู้กำเนิดเทคโนโลยีแสงอาทิตย์ใช้วิธี
 จูงใจทั้งสองแบบบวกกับมาตรการด้านลดหย่อนภาษีเพิ่มเติมเข้าด้วย ทำให้เป้าหมายของการใช้เซลล์
 แสงอาทิตย์ของอเมริกาจะสูงกว่า 3 หมื่นเมกะวัตต์ในปี ค.ศ. 2020



รูปที่ 2.5 ความเป็นมาและแนวโน้มเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์
 (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

2.2 รังสีอาทิตย์

รังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ถูกนำมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยเซลล์แสงอาทิตย์สามารถ
 ทรบค่าในรูปความเข้มรังสีอาทิตย์หน่วยเป็นวัตต์/ตารางเมตร และพลังงานแสงอาทิตย์หน่วยเป็น
 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน ซึ่งขึ้นกับวันที่และเวลา รวมถึงตำแหน่งบนพื้นโลก รังสีอาทิตย์
 ประกอบด้วยสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 0.3 ถึง 3 ไมโครเมตร เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด
 สามารถตอบสนองต่อสเปกตรัมได้แตกต่างกัน ดังนั้นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าต่างกัน ในการ
 ออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ การใช้งานและการบำรุงรักษาระบบมีความจำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับ
 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในพื้นที่นั้น และลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



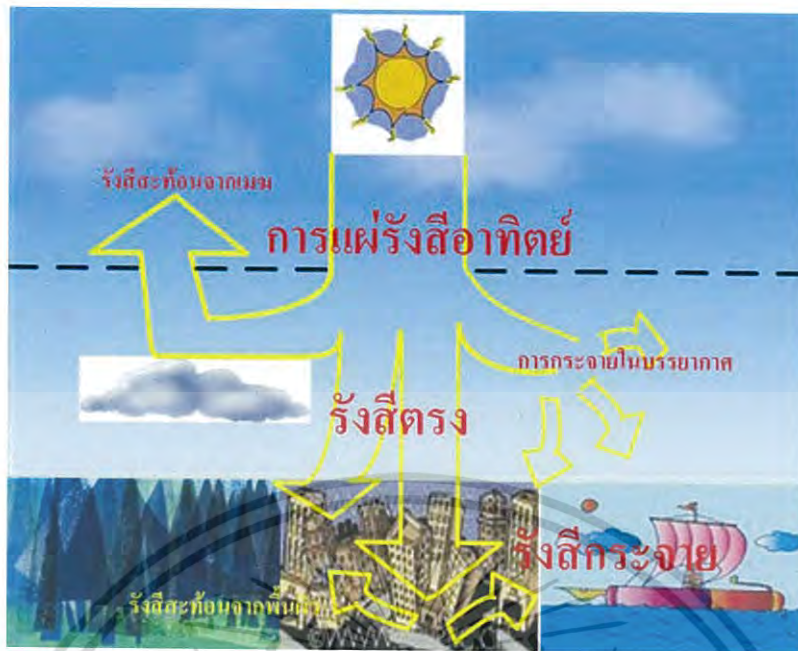
รูปที่ 2.6 การแบ่งเส้นศูนย์สูตรของโลก
(ที่มา กรมอุตุนิยมวิทยา. www.tmd.go.th)

2.2.1 ภูมิศาสตร์ของโลก

โลกมีลักษณะเป็นทรงกลมรี วิธีเพื่อบอกตำแหน่งบนพื้นโลกจะบ่งชี้โดยเส้นแนวตั้งและเส้นแนวนอนเรียกว่า เส้นเมริเดียน (Meridian) และเส้นศูนย์สูตร (Equator) ทางภูมิศาสตร์กำหนดเส้นศูนย์สูตร คือ เส้นสมมติรอบดาวเคราะห์ที่ตั้งฉากกับแกนหมุนของดาวเคราะห์ และมีระยะห่างจากขั้วเหนือและขั้วใต้เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 นั่นคือ เส้นศูนย์สูตรจะแบ่งดาวเคราะห์เป็นซีกเหนือและซีกใต้ โดยมีละติจูดเท่ากับศูนย์องศา พื้นที่บนเส้นศูนย์สูตรนี้ช่วงเวลาของกลางวันและกลางคืนยาวนานเกือบเท่ากันตลอดทั้งปี นอกจากนี้พื้นที่ซึ่งอยู่บนตำแหน่งเส้นละติจูดต่างกันจะมีสภาพอากาศ (Climate) และกาลอากาศ (Weather) แตกต่างกัน เส้นละติจูดมีตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา โดยที่ละติจูด 90 องศา ที่ขั้วโลกเหนือจะนับเป็น 90 องศาเหนือ ส่วนขั้วโลกใต้นับเป็น 90 องศาใต้

2.2.2 รังสีอาทิตย์บนพื้นโลก

รังสีอาทิตย์บนพื้นโลกได้ผ่านกระบวนการดูดกลืนและการแผ่รังสีอาทิตย์โดยก๊าซในบรรยากาศเป็นผลให้สเปกตรัมแสงอาทิตย์เปลี่ยนไปซึ่งโมเลกุลของก๊าซ ฝุ่นละอองและเมฆ ทำให้รังสีอาทิตย์กระจัดกระจาย (Scatter) และสะท้อน (Reflect) ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ผลกระทบต่างๆ ต่อรังสีอาทิตย์ในบรรยากาศโลก
(ที่มา กรมอุตุนิยมวิทยา. www.tmd.go.th)

แสดงผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของรังสีอาทิตย์เมื่อเข้าสู่บรรยากาศโลกและพื้นโลก เมื่อเทียบกับรังสีเหนือบรรยากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้ ความเข้มรังสีรวม ความเข้มรังสีที่ความยาวคลื่นใดๆ องค์ประกอบของสเปกตรัมและทิศทาง ประเภทของรังสีอาทิตย์บนพื้นโลกที่ควรทราบ

รังสีตรง (Beam or Direct Radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกบนผิวรับแสงด้วยทิศทางที่แน่นอน ณ เวลาหนึ่งเวลาใด ซึ่งทิศของรังสีตรงอยู่ในแนวเวลาแสงอาทิตย์ เนื่องจากรังสีตรงมีทิศทางแน่นอนและมีลาแสงขนานจึงสามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีตรงได้

รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนและกระจาย โดยก๊าซและฝุ่นละอองรวมถึงวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับแสง รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางในท้องฟ้าจึงไม่สามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีกระจายได้

รังสีรวม (Total หรือ Global Radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายซึ่งจำกัดเฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้น (ไม่เกิน 4 ไมโครเมตร) ไม่รวมพลังงานคลื่นยาวจากการแผ่รังสีของพื้นโลกและบรรยากาศ โดยกรณีผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง (Incline plane) รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและรังสีกระจายจากพื้นโลก อาคารบ้านเรือน ซึ่งเกิดจากส่วนที่สะท้อนกลับจากพื้นโลก ในกรณีนี้เรียกว่า Total Radiation แต่กรณีผิวรับแสงเป็นพื้นแนวราบ (horizontal plane) รังสีรวมบนพื้นราบประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจายที่มาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้า ไม่มีรังสีกระจายที่มาจากพื้นโลก เรียกรังสีรวมบนพื้นแนวราบว่า Global Radiation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

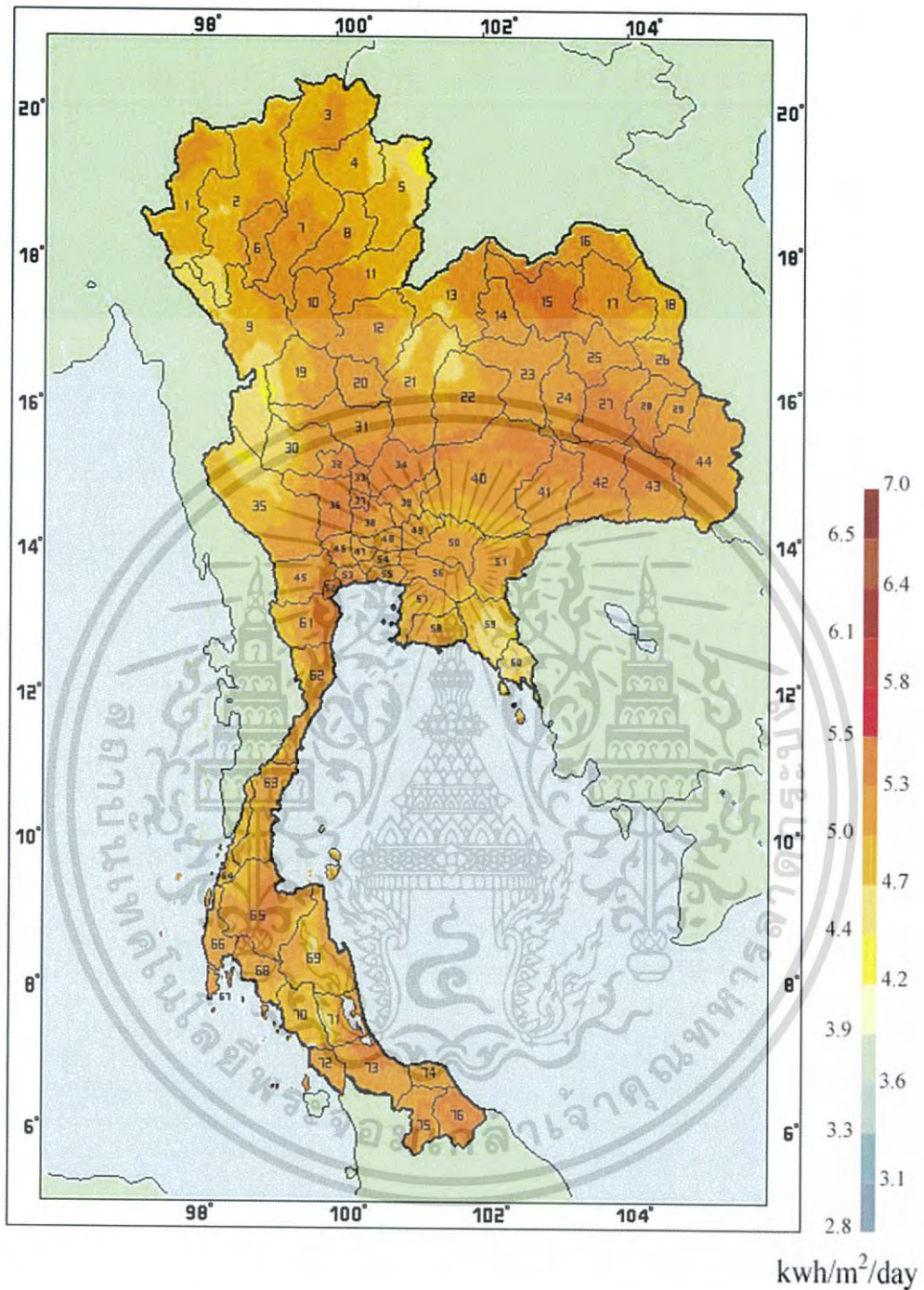
การเปลี่ยนแปลงของรังสีรวม รังสีตรงและรังสีกระจายในวันที่ฟ้ากระจ่างและวันที่ฟ้ามีเมฆ เนื่องจากปริมาณเมฆ ฝุ่นละออง และหมอกควันมีแตกต่างกันตามฤดูกาล ดังนั้นปริมาณรังสีรวม รังสีกระจาย และรังสีตรงจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งปี สำหรับประเทศไทย ฤดูแล้งมีค่ารังสีรวมและรังสีตรงสูงเพราะท้องฟ้าโปร่ง แต่ฤดูฝนจะมีรังสีส่วนมากเป็นรังสีกระจายและรังสีรวมน้อย

2.2.3 ปริมาณรังสีอาทิตย์ในประเทศไทย

โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในพื้นที่นั้น การศึกษาเพื่อทราบปริมาณรังสีอาทิตย์บนพื้นโลกซึ่งจะใช้เป็นแนวทางการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งนำเสนอในรูปแบบที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยมีแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน) จัดทำขึ้นในปี พ.ศ. 2542 โดย มหาวิทยาลัยศิลปากร รูปที่ 2.8 แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปี ในแต่ละเดือนนั้นการกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ของประเทศได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.54 ถึง 6.65 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน

บริเวณที่รับรังสีอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อโยธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 5.26 ถึง 5.54 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3 % ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2 % ของพื้นที่ทั้งหมดรับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 4.99 ถึง 5.26 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ มีค่าเท่ากับ 5.04 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

ปี พ.ศ. 2543 ได้มีการพัฒนาเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ มีทั้งหมด 37 สถานีทั่วประเทศ เพื่อให้ประเทศไทยมีข้อมูลความเข้มรังสีที่ละเอียดและถูกต้อง สามารถนำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการวิจัย พัฒนาและการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันสามารถทราบข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งข้อมูลจากการตรวจวัดจากสถานีระหว่างปี พ.ศ. 2545-2550 และข้อมูลดาวเทียมเป็นข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของจังหวัดและอำเภอระหว่างปี พ.ศ. 2536-2541



รูปที่ 2.8 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย จัดทำในปี พ.ศ. 2542
 (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน)
 (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ตำแหน่งดวงอาทิตย์และมวลอากาศ

บรรยากาศของโลกมีอิทธิพลต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ ถ้าลาแสงผ่านบรรยากาศในทิศทางต่างกัน เป็นผลให้สเปกตรัมแสงอาทิตย์ทั้งพลังงานรวมและความเข้มต่างกันโดยอิทธิพลของบรรยากาศแสดงด้วยดัชนีที่เรียกว่า มวลอากาศ (Air mass, AM) กำหนดไว้ในสมการที่ 2.1

$$AM = 1 / \cos \theta_z \quad (2.1)$$

โดยที่ θ_z เป็นค่ามุมระหว่างแนวตั้งเหนือศีรษะและแนวลาแสงอาทิตย์ หรือ มุมซีนิก (Zenith Angle) ดังแสดงในรูปที่ 2.9

เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะ $\theta_z = 0^\circ$ AM = 1

เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุม 60° กับแนวตั้ง $\theta_z = 60^\circ$ AM = 2

นอกบรรยากาศกำหนดว่ามวลอากาศมีค่าศูนย์ AM = 0

เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ใกล้ขอบฟ้า หรือมุมซีนิกมีค่าสูง ($\theta_z > 70^\circ$, AM > 3) ส่วนโค้งของโลกจะมีผลต่อมวลอากาศ ซึ่งสมการทั่วไปของมวลอากาศจะเขียนไว้ในสมการที่ 2.2 หรือ 2.3 มวลอากาศที่กำหนดโดยสมการที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 เป็นค่ามวลอากาศที่ระดับน้ำทะเล

$$AM = AM_h = [1229 + (614 \sin \alpha)^2]^{1/2} - 614 \sin \alpha \quad (2.2)$$

หรือ

$$AM_h = [\sin \alpha + 0.15(\alpha + 3.9)^{-1.253}]^{-1} \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.9 มุมซีนิก (θ_z , Zenith Angle) มุมเดคลิเนชัน (α , Solar Declination Angle)

(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ α เป็นมุมระหว่างพื้นโลกกับแสงหรือมุมเดคลิเนชัน (Solar Declination Angle) และ $\alpha + \theta_z$ เท่ากับ 90 องศา (รูปที่ 2.9) สำหรับสถานที่ซึ่งอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเล K_1 กิโลเมตร หรือมีความดันบรรยากาศ P มิลลิบาร์ มวลอากาศ ρ ที่นั่นจะเป็นดังสมการที่ 2.4

$$AM = AM_h (P/1000)$$

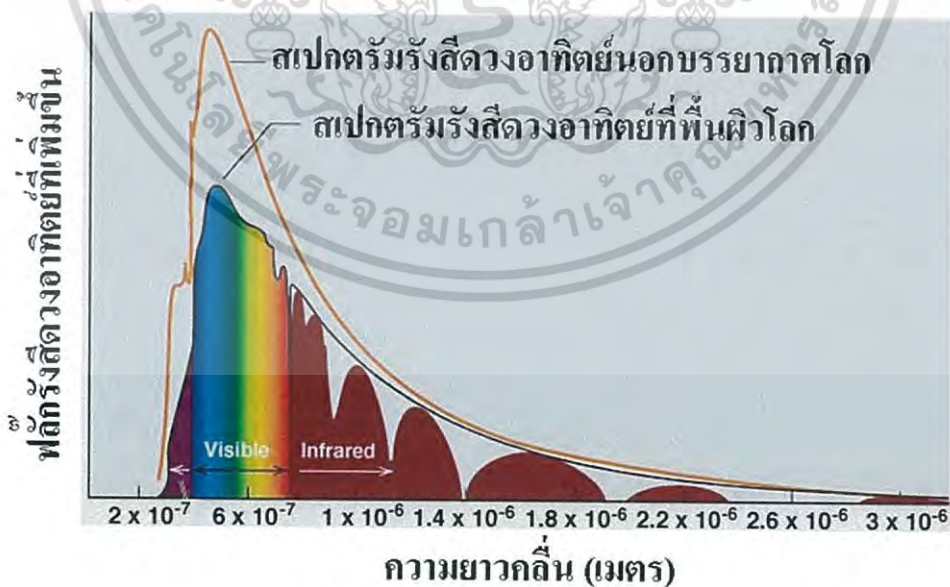
และ

$$AM = AM_h (1 - 0.1K_1) \quad (2.4)$$

อีกมุมอ้างอิงที่สำคัญ ได้แก่ อะซิมุท (Azimuth, A) คือ มุมวัดจากจุดเหนือไปจุดตะวันออกตามระนาบวงกลมมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา บางครั้งค่ามุมอะซิมุทอาจจะวัดจากจุดเหนือไปจุดตะวันออก 180 องศา และวัดจากจุดใต้มาจุดตะวันออก 180 องศาก็ได้

2.2.5 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์

รังสีอาทิตย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงในรูปของสเปกตรัม ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกมีน้อยกว่านอกชั้นบรรยากาศ เพราะในชั้นบรรยากาศเกิดการดูดกลืน การกระจายแสง และสะท้อนแสง สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ประกอบด้วย อัตราไวโอเลตมีความยาวคลื่นน้อยกว่า 380 นาโนเมตร แสงขาวหรือแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และอินฟราเรดมีความยาวคลื่นมากกว่า 700 นาโนเมตร ซึ่งสเปกตรัมของแสงขาวมีความยาวคลื่น 380-700 นาโนเมตร ดังรูปที่ 2.10 สามารถแยกเป็น 7 สี เรียงลำดับความยาวคลื่นจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสดและแดง และการตอบสนองต่อสเปกตรัมของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะ



รูปที่ 2.10 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์

(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุที่ความเข้มข้นรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกมีน้อยกว่านอกชั้นบรรยากาศ เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกดูดกลืนโดยอะตอมและโมเลกุลของก๊าซ โดยช่วงอัลตราไวโอเล็ตถูกดูดกลืนด้วยอะตอมของออกซิเจน ไนโตรเจน และโมเลกุลของออกซิเจน (O_2), โอโซน (O_3) และโมเลกุลของไนโตรเจน (N_2) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของบรรยากาศ ทำให้แสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านบรรยากาศจนถึงพื้นโลกแทบจะไม่มีคลื่นช่วงอัลตราไวโอเล็ต ช่วงแสงอินฟราเรดจะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำ (H_2O) และโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเกิดขึ้นในชั้นล่างของบรรยากาศ ภายในระยะทาง 50 กิโลเมตรจากพื้นโลก เป็นช่วงชั้นบรรยากาศที่มี H_2O และ CO_2 อยู่มาก พลังงานแสงช่วงอินฟราเรดที่ถูกดูดกลืนเกือบทั้งหมดทำให้บรรยากาศร้อน หรือทำให้พลังงานจลน์ของโมเลกุลอากาศสูงขึ้น และทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น

2.2.6 อุปกรณ์วัดรังสีอาทิตย์



รูปที่ 2.11 (ก) ไพรานอมิเตอร์ , (ข) เครื่องบันทึกแดดแบบลูกแก้ว
(ที่มา กรมอุตุนิยมวิทยา. www.tmd.go.th)

เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) และ ไพร์เฮลิโอมิเตอร์ โดยหลักการวัดกำลังของความร้อนซึ่งเกิดจากรังสีอาทิตย์ แต่แตกต่างกันตามประเภทของการวัดรังสีอาทิตย์ กล่าวคือ ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ก) สำหรับวัดรังสีรวม (Global solar radiation) และรังสีกระจาย และไพร์เฮลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer) สำหรับวัดรังสีตรง (Direct solar radiation)

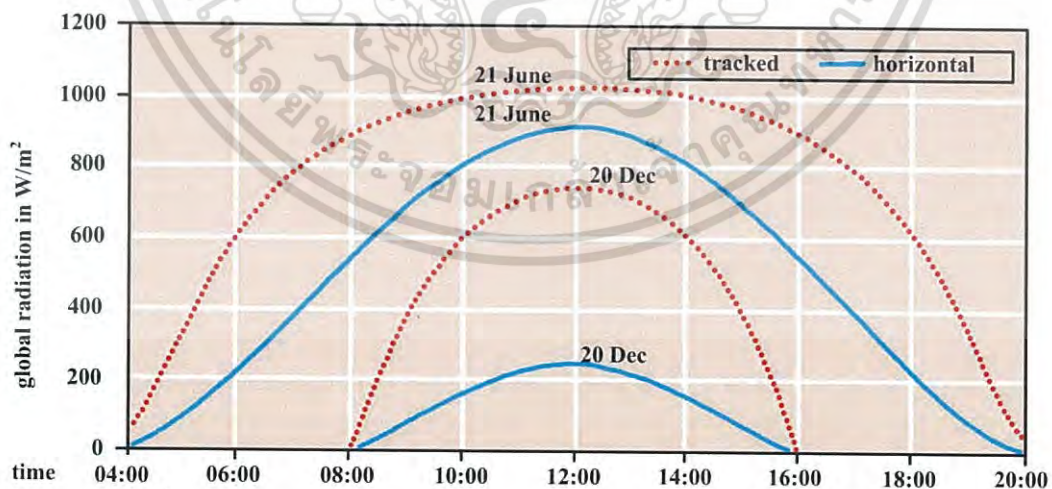
พลังงานแสงอาทิตย์มีวิธีการโดยวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (Irradiance) โดยที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ คือ ความเข้มของกำลังงานที่ได้จากรังสีอาทิตย์ชั่วขณะนั้นๆ บ่งบอกด้วยหน่วยของ กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร (kW/m^2) และจะเปลี่ยนแปลงตลอดวัน โดยที่ในเวลากลางวันมีค่าเท่ากับ

ศูนย์กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร และจะมีค่ามากที่สุดคือ 1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรขึ้นกับตำแหน่งพื้นที่และสภาพภูมิอากาศ สามารถทราบได้ทั้งรังสีรวมและรังสีตรงขึ้นกับเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้วัด

การวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อีกวิธีหนึ่งเป็นการบันทึกแดด โดยวัดช่วงเวลาซึ่งรังสีตรงมีความเข้มสูงพอที่จะกระตุ้นตัวบันทึก โดยทั่วไปประมาณ 200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (mW/cm²) แต่การวัดแบบนี้มีความถูกต้องน้อยกว่าด้วยราคาที่ไม่แพงนัก ในรูปที่ 2.11 (ข) แสดงเครื่องบันทึกแดด (Sunshine recorder) มีช่วงเวลาสั้นที่สุดที่วัดได้ คือ 0.1 ชั่วโมง ความแตกต่างของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์กับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar radiation หรือ Solar insolation) คือความเข้มรังสีอาทิตย์เป็นปริมาณความเข้มของกำลังงานที่ได้จากรังสีอาทิตย์ แต่ทว่าพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นความเข้มรังสีอาทิตย์รวมตลอดช่วงเวลาที่ทำการวัด บ่งบอกด้วยหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร (kWh/m²) นอกจากนี้พลังงานแสงอาทิตย์ยังทราบได้จากข้อมูลปริมาณเมฆ (cloud cover) จากภาพถ่ายดาวเทียม

2.2.7 ระบบติดตามดวงอาทิตย์

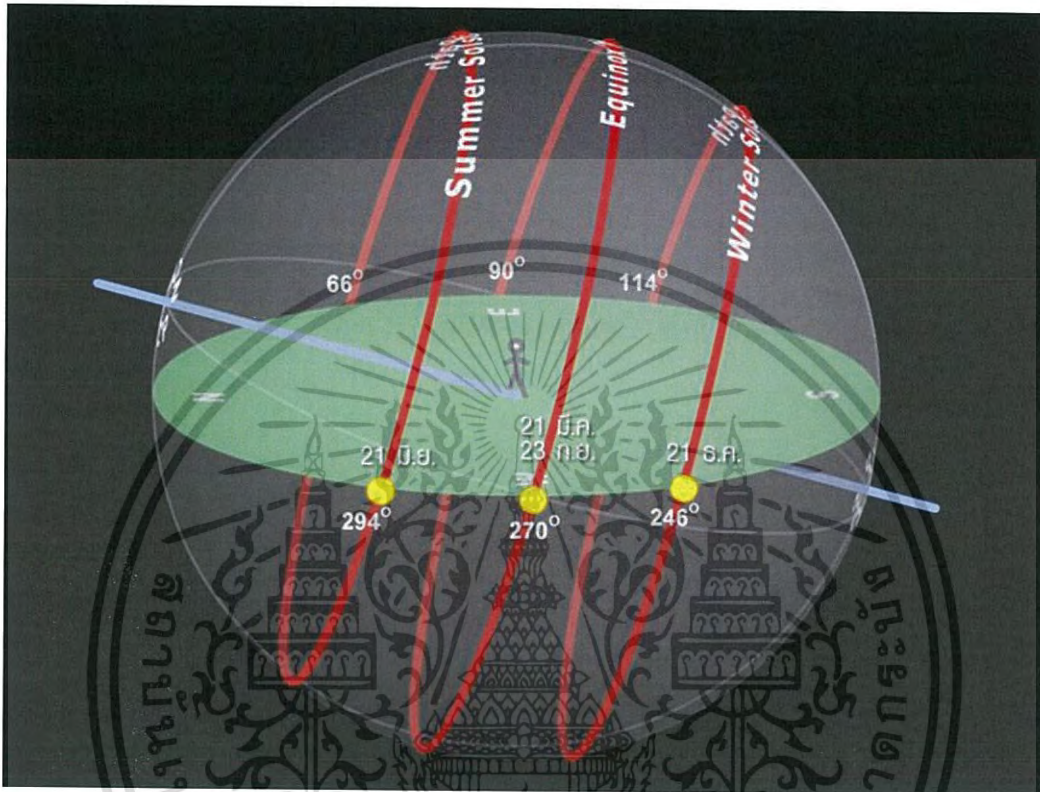
เทคนิคระบบติดตามดวงอาทิตย์มาใช้เพื่อให้อุปกรณ์รับแสงได้รับรังสีตรงเพิ่มขึ้น และเพิ่มปริมาณพลังงานที่ได้รับตลอดวัน รูปที่ 2.7 แสดงรังสีอาทิตย์รวมเมื่อมีระบบติดตามดวงอาทิตย์ในฤดูร้อนเพิ่มขึ้น 50% เทียบกับการวัดแบบพื้นราบ และเพิ่มขึ้น 300% เทียบกับการวัดแบบพื้นราบ ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าขนาด 12 เมกกะวัตต์ ติดตั้งที่ Paul Langrock เยอรมนี สำหรับประเทศไทยมีรังสีตรงและรังสี กระจายในประมาณใกล้เคียงกัน ดังนั้นการใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ จะเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 2.12 ความแตกต่างระหว่างรังสีรวมของการวัดแบบพื้นราบกับมีระบบติดตามดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง ที่ละติจูด 50 องศา (ที่มา กรมอุตุนิยมวิทยา. www.tmd.go.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

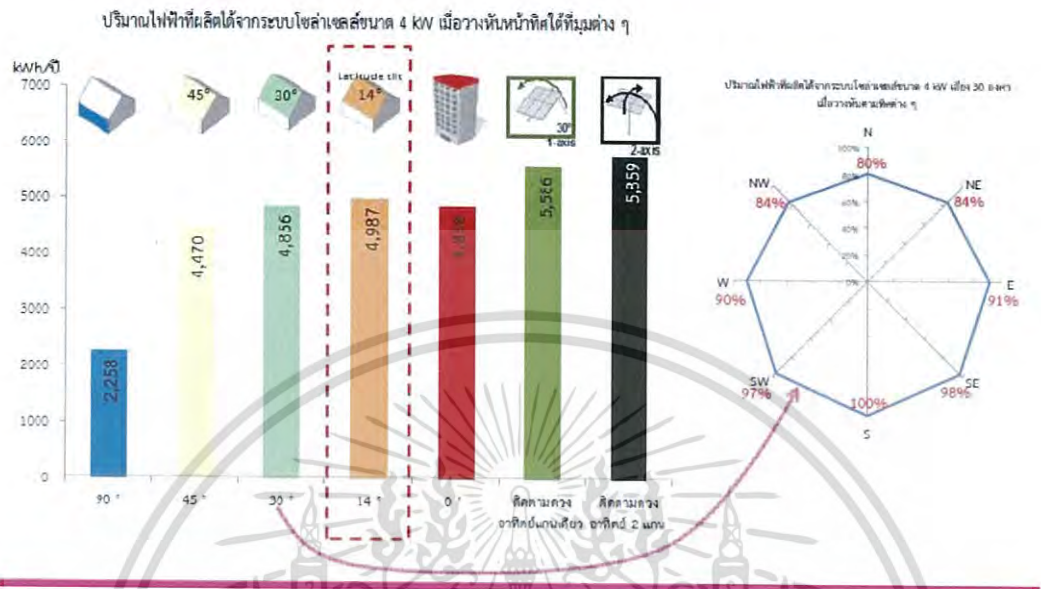
2.2.8 ทิศทางตำแหน่งองศาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์
 ลักษณะแสงอาทิตย์ที่ผ่านประเทศไทยส่วนมากจะมีองศาไปทางทิศใต้ดังรูปที่ 2.13 โดย
 สามารถเห็นการเปรียบเทียบการวางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศต่างๆ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 ทิศทางการผ่านของดวงอาทิตย์ในประเทศไทย
 (ที่มา <http://solarcellcenter.com>, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bangkok Sun Chart and Solar Cell System Placement



รูปที่ 2.14 การเปรียบเทียบการวางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ในมุมต่างๆ (ที่มา <http://solarcellcenter.com>, 2557)

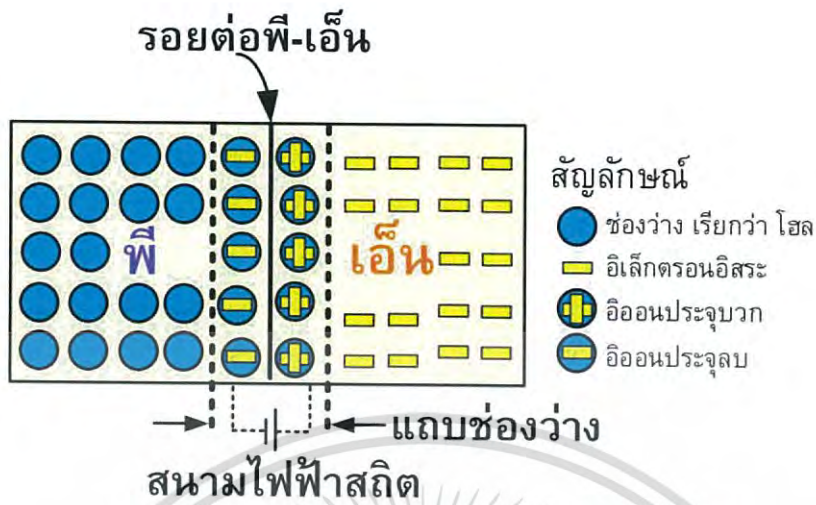
2.3 เซลล์ แผงและอุปกรณ์ประกอบระบบ

2.3.1 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นไฟฟ้าโดยตรง อาศัยกระบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic Effect) ซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในสารกึ่งตัวนำมีค่าแตกต่างกัน เมื่อได้รับแสงที่มีพลังงานมากพอ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ โครงสร้างที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเหมือนกับไดโอดทั่วไป ประกอบด้วยรอยต่อระหว่างวัสดุสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันสองชั้น ได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิดพีเป็นชั้นขั้วบวก และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเป็นชั้นขั้วลบ สารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้งานในลักษณะดังกล่าวส่วนมากเป็นซิลิกอน และเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย โดยส่วนใหญ่จะใช้การอธิบายสารกึ่งตัวนำที่ทำจากซิลิกอน แม้ว่าปัจจุบันจะมีสารกึ่งตัวนำที่ทำจากวัสดุชนิดอื่นก็ตาม

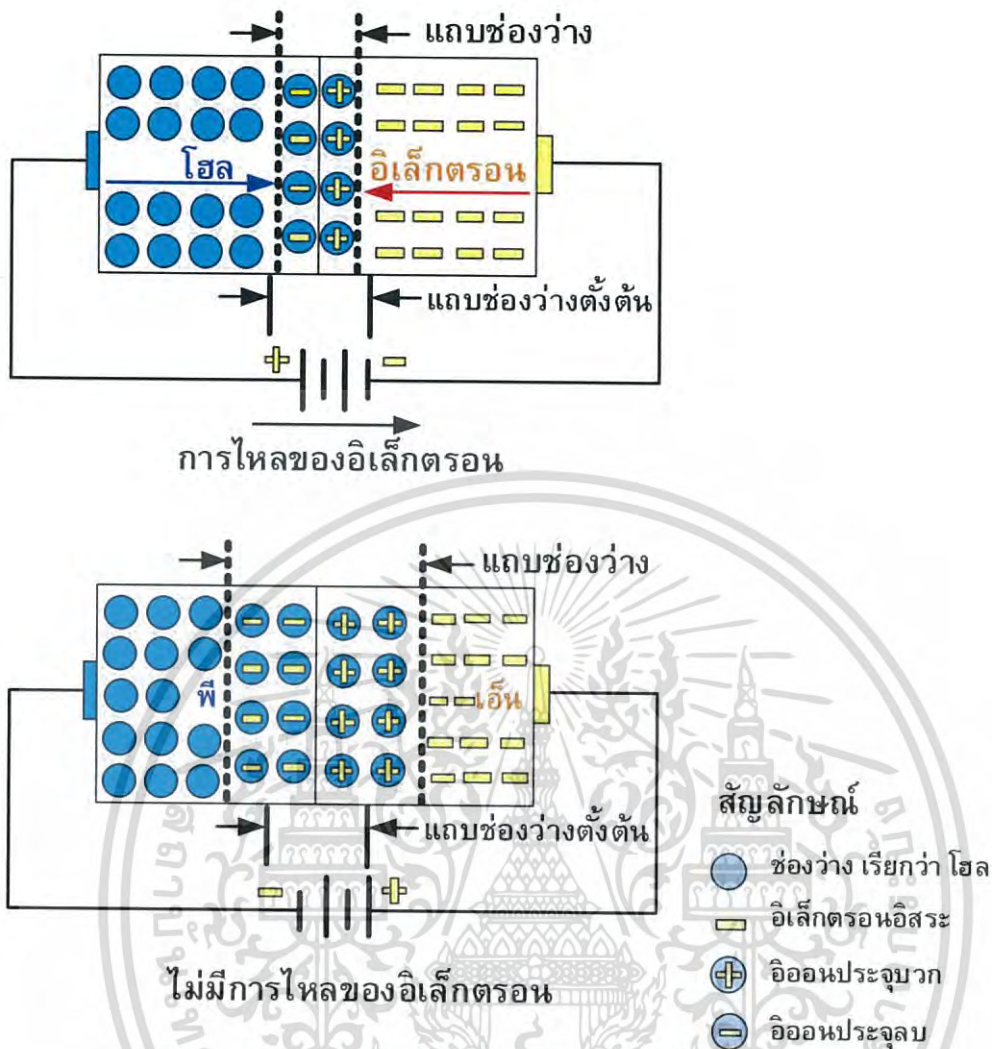
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพีผลิตขึ้นจากผลึกของซิลิกอนใช้สารเจือปน คือโบรอน เพื่อทำให้เป็นวัสดุขาดอิเล็กตรอนอิสระ ทั้งนี้การขาดอิเล็กตรอนทำให้เกิดช่องว่างเรียกว่า โฮล (Hole) และการขาดอิเล็กตรอนที่เป็นประจุลบ ทำให้อิเล็กตรอนที่ติดกับอนุภาคประจุบวก ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นผ่านการเติมสารเจือปน คือ ฟอสฟอรัส เพื่อทำให้เกิดอิเล็กตรอนส่วนเกิน ซึ่งจุดเชื่อมต่อเรียกว่า รอยต่อพี-เอ็น ดังแสดงในรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 โครงสร้างรอยต่อพี-เอ็นของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

การเชื่อมต่อกันของสารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติต่างกันจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า (Electrical field) ในบริเวณรอยต่อ โดยสนามไฟฟ้านี้มีลักษณะเหมือนกับสนามไฟฟ้าสถิต อันจะทำให้เกิดอนุภาคของประจุลบเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และอนุภาคของประจุบวกที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตรงข้าม ตัวอย่างเช่น การใช้หวีแปรงกับเส้นขนสัตว์ เป็นต้น



รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังบริเวณผลึกชนิดเอ็นทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ดังในรูปที่ 2.16 เมื่อต่อเข้ากับวงจรภายนอกจะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านตลอดวงจร การเคลื่อนที่ไปยังวงจรถ่ายนอกของอิเล็กตรอนในกรณีของสารกึ่งตัวนำโดยผ่านวัสดุตัวนำที่ติดอยู่กับผิวด้านหน้าของเซลล์ ในเวลาเดียวกันโฮลจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้ามผ่านเนื้อเซลล์จนถึงวัสดุตัวนำอีกส่วนหนึ่งที่ยึดติดอยู่กับด้านหลังของเซลล์ ทำให้ครบวงจรโดยร่วมกับอิเล็กตรอนที่อยู่อีกด้านหนึ่งของวงจรถ่ายนอก แต่ในทางตรงข้าม การไหลของอิเล็กตรอนไม่เกิดขึ้นหากไม่สามารถทำให้ครบวงจร

กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต้องอาศัยทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้า โดยที่กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อมีการไหลของอิเล็กตรอน และแรงดันไฟฟ้าเป็นผลมาจากสนามไฟฟ้าภายในบริเวณรอยต่อพี-เอ็น โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยวจะออกแบบให้มีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 โวลต์ที่กระแสไฟฟ้าประมาณ 2.5 แอมแปร์ ดังนั้นจะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 1.25 วัตต์ (ขึ้นอยู่กับ

กับรายละเอียดในการออกแบบ ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์แบบอื่นๆ อาจมีแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าสูงหรือต่ำกว่านี้)

2.3.1.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดต้นทุนด้านวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้ราคาเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น การแบ่งประเภทเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ตามการผลิตแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.17

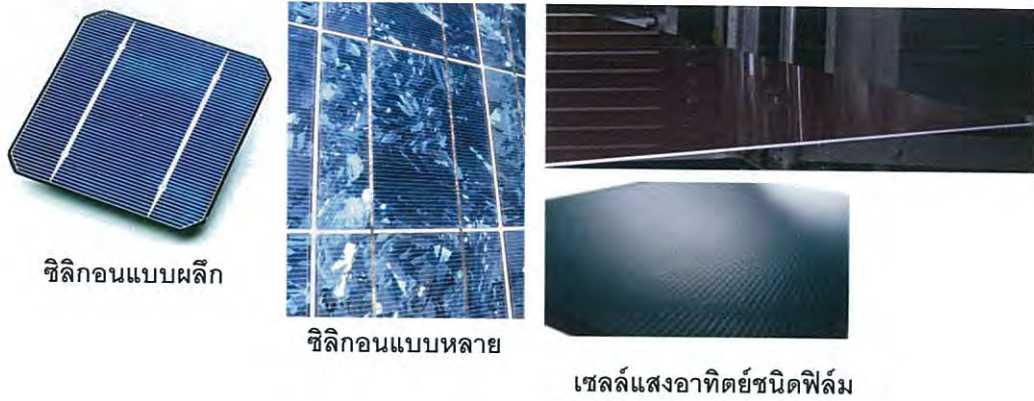


รูปที่ 2.17 ไตอะแกรมเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells) มีความแตกต่างกันตามชนิดของสารกึ่งตัวนำตั้งต้น (Semiconductor Material) เช่น ซิลิกอน (Si) และแกเลียม อาร์เซไนด์ (GaAs) เป็นต้น เซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิกอนมีกรรมวิธีในการผลิตหลายวิธี จึงมีให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม ขึ้นกับราคาและวัตถุประสงค์การใช้งาน ได้แก่ แบบผลึกเดี่ยว (Monocrystalline silicon cells) แบบแผ่นฟิล์มบาง (Silicon ribbon cells) แบบหลายผลึก (Polycrystalline silicon cells) แบบแผ่นบางหลายผลึก (Polycrystalline thin film silicon cells) เป็นต้น เซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มนี้ได้รับการยอมรับในเชิงพาณิชย์และมีประสิทธิภาพ 10-15 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้นทุนของวัสดุค่อนข้างสูง

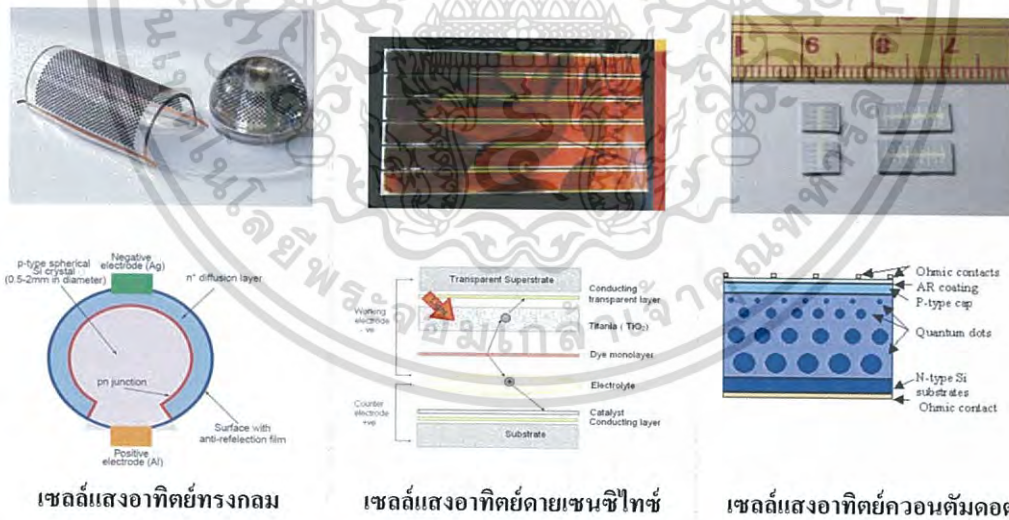
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin film Solar cells) ประกอบด้วย เซลล์ที่ผลิตจากอะมอร์ฟัสซิลิกอน เซลล์ที่ผลิตจากแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) และ เซลล์ที่ผลิตจากคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลเนียม (CIGS) มีการใช้งานในเชิงพาณิชย์และประสิทธิภาพที่ 6 - 10 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพจะน้อยกว่าเซลล์ชนิดผลึก แต่มีข้อดีของราคาถูกกว่า ส่วนการติดตั้งใช้งานในสภาวะจริงอายุการใช้งานและการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์ในระยะยาวยังอยู่ระหว่างการศึกษาวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาจากชนิดผลึกและชนิดฟิล์มบางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดการรั่วซึมและเพิ่มอายุการใช้งาน แบ่งตามการพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็น 3 แบบ ได้แก่ ทรงกลม (Spherical Micro Solar Cells) ดายเซนซีไทซ์ (Dye-sensitized Solar Cells) และ ควอนตัมดอต (Quantum Dot Solar Cells) ดังรูปที่ 2.19 เซลล์แสงอาทิตย์ทรงกลมจะสามารถรับแสงได้สามมิติ จึงเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแสง และมีน้ำหนักเบากว่าแบบแผ่นราบ เมื่อประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงลดต้นทุนลงได้ มีใช้งานเชิงพาณิชย์แต่ยังไม่แพร่หลาย



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ และโครงสร้างภายใน (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

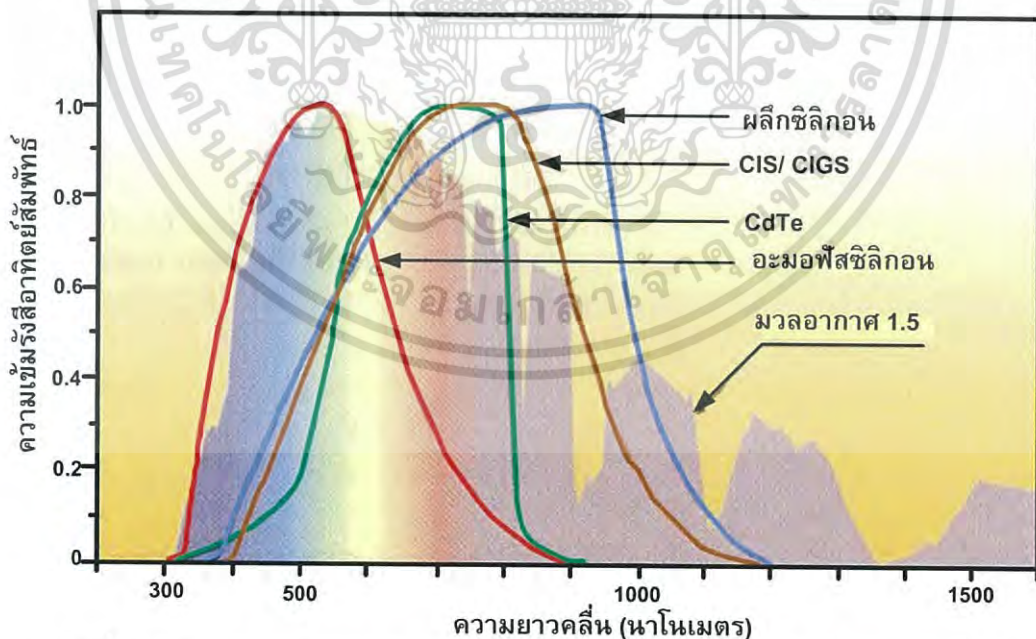
ดายเซนซีไทซ์มีจุดเด่นในความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยการออกแบบเซลล์ใช้แนวคิดเดียวกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช กล่าวคือ การเคลือบผิววัสดุที่ตัวนำด้วยไทเทเนียมออกไซด์ให้คล้ายกับคลอโรฟิลในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ปัจจุบันมีผลิตขายในเชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีประสิทธิภาพ 3-5 เปอร์เซ็นต์ ควอนตัมดอต (Quantum Dot Solar Cells: QD) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนผลทางเทอร์โมไดนามิกส์ของโฟตอนให้มีค่ามากที่สุด เป็นการพัฒนาจากข้อจำกัดของเซลล์ชนิดผลึก โดยเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุสารกึ่งตัวนำจาก 31-33 % เป็น 66 % และยังไม่มีการใช้งานเชิงพาณิชย์

2.3.1.2 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์

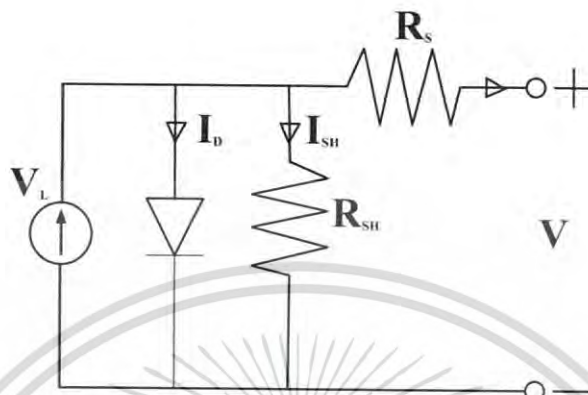
เป็นที่ทราบกันว่า รังสีอาทิตย์ประกอบด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และแสงอินฟราเรด หากพิจารณาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ต้องคำนึงถึงสเปกตรัมแสงและการตอบสนองต่อสเปกตรัมประกอบกัน ถึงแม้ว่า สเปกตรัมของรังสีอาทิตย์ช่วงค่อนข้างกว้างตั้งแต่ 380 - 1100 นาโนเมตร แต่ด้วยข้อจำกัดของเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิกอนที่ตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงช่วงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าและแสงอินฟราเรด ดังนั้นช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งานจริงจึงแคบลงรูปที่ 2.20 แสดงเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่แตกต่างกันของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ โดยแกนความเข้มรังสีอาทิตย์เทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์เฉพาะประเภทเดียวกัน ซึ่งอะมัลฟัสซิลิกอน (ชนิดฟิล์มบาง) ประสิทธิภาพน้อยกว่าผลึกซิลิกอน เนื่องจากมีช่วงการตอบสนองที่ความยาวคลื่นช่วงต้นของแสงมองเห็นด้วยตาเปล่าประมาณ 350 - 650 นาโนเมตร การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเดิม เช่น CdTe และ CIS หรือ CIGS เป็นต้น ทำให้ช่วงการตอบสนองได้เพิ่มขึ้น พิจารณาจากช่วงแถบกว้างของกราฟที่มากขึ้น



รูปที่ 2.20 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 ลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.21 การต่อวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

โดยทั่วไปสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า เริ่มต้นที่วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงรูปที่ 2.21 เป็นการต่อขนานระหว่างแหล่งกำเนิดแสง ไดโอด (รอยต่อพี-เอ็น) และความต้านทาน shunt และต่ออนุกรมกับความต้านทานอนุกรม ตามลำดับ เขียนเป็นสมการได้ตั้งสมการที่ 2.5 นั่นคือผลลัพธ์ของกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เกิดมาจากแหล่งพลังงานแสงหักลบด้วยกระแสที่ไหลผ่านไดโอดและผ่านความต้านทาน shunt ขณะกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทำให้เกิดค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละจุดขึ้น

สมการที่ 2.6 แสดงแรงดันไฟฟ้า ณ จุดใดๆ เท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ขาออกบวกด้วยผลคูณระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานอนุกรม

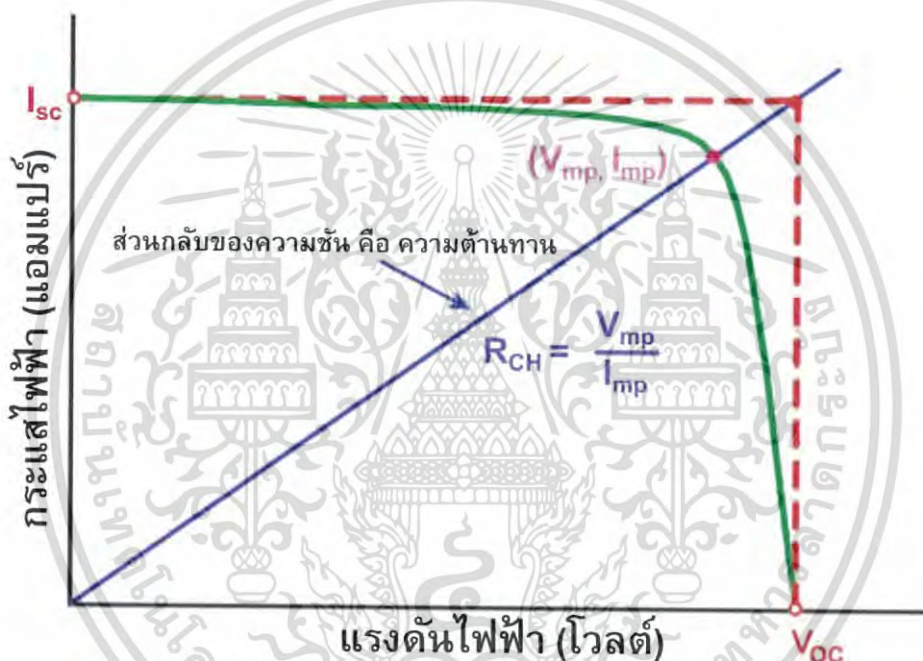
$$I = I_L - I_D - I_{SH} \quad (2.5)$$

$$V_j = V + IR_S \quad (2.6)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ที่บ่งบอกประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย กระแสลัดวงจร (I_{sc}) แรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) และฟิลต์แฟกเตอร์ (FF) รูปที่ 2.22 แสดงกระแสลัดวงจรและแรงดันวงจรเปิด คือกระแสไฟฟ้าขณะที่แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นศูนย์ เป็นค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่มีกระแสเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ส่วนฟิลต์แฟกเตอร์เป็นสัดส่วนระหว่างผลคูณแรงดันกับกระแสที่จุดทำงานสูงสุดและผลคูณของกระแสลัดวงจรกับแรงดันวงจรเปิดซึ่งมีค่า น้อยกว่าหนึ่ง นอกจากนี้มีพารามิเตอร์เกี่ยวกับความต้านทานในเซลล์แสงอาทิตย์เป็นประโยชน์ต่อ การติดตามพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์และการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ โดยคิดจากสัดส่วน ระหว่างค่าแรงดันที่จุดสูงสุดต่อกระแสที่จุดทำงานสูงสุดหรืออาจใช้สัดส่วนระหว่างค่าแรงดันวงจรเปิดต่อกระแสลัดวงจร



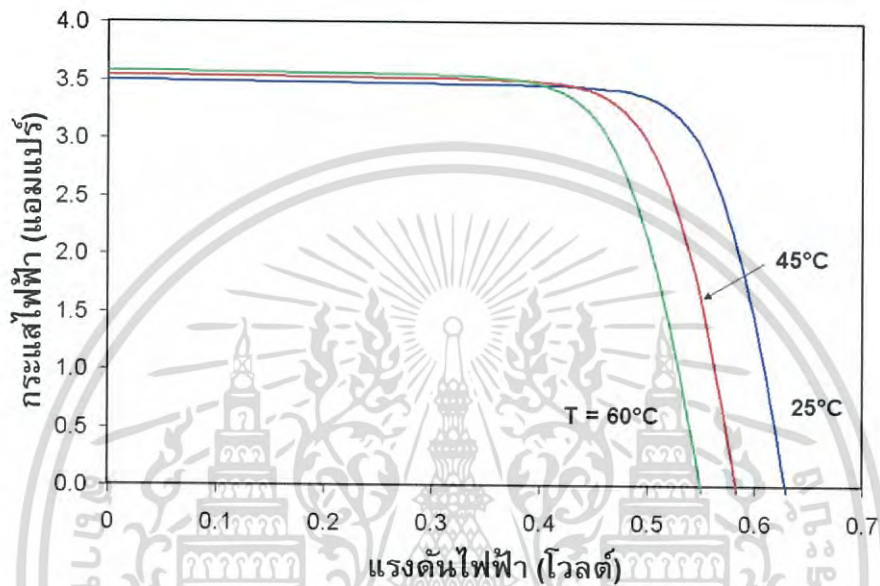
รูปที่ 2.22 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (IV-curve)
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

2.3.1.4 ปัจจัยที่ลดทอนประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

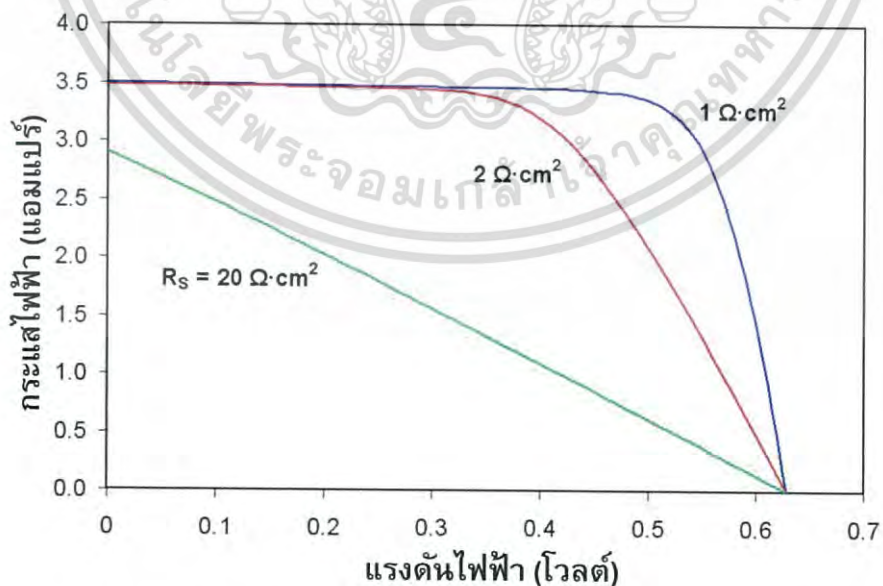
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นกับทั้งปัจจัยภายนอกและสมบัติของเซลล์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มรังสีอาทิตย์ ความต้านทาน Shunt และความต้านทานอนุกรม เป็นต้น โดยที่ประสิทธิภาพลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นั่นคือ สภาวะที่อุณหภูมิสูงระยะห่างของแถบพลังงานจะลดลง เป็นผลให้แรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยลงแต่ไม่ทำให้กระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงนัก (รูปที่ 2.23) ทั้งนี้ กระแสลัดวงจรหรือกระแสสูงสุดจะลดลงเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าน้อย เช่น ในวันที่ท้องฟ้ามีดีคริม มีเมฆบดบัง การบังเงาเนื่องจากเงาต้นไม้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันขาออกมีค่าลดลงแต่ไม่มีต่อค่าแรงดันวงจรเปิด หรือกล่าวได้ว่า ความต้านทานอนุกรมทำให้ค่าฟิลต์แพกเตอร์ลดลง หากค่านี้มีมาก ๆ จะทำให้กระแสลัดวงจรลดลงและ IV-curve เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.24 ค่าความต้านทาน Shunt ลดลงมากจะเป็นผลทำให้แรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจรมีค่าลดลงดังรูปที่ 2.25 และค่าฟิลต์แพกเตอร์ลดลง เช่นเดียวกับกรณีของความต้านทานอนุกรม

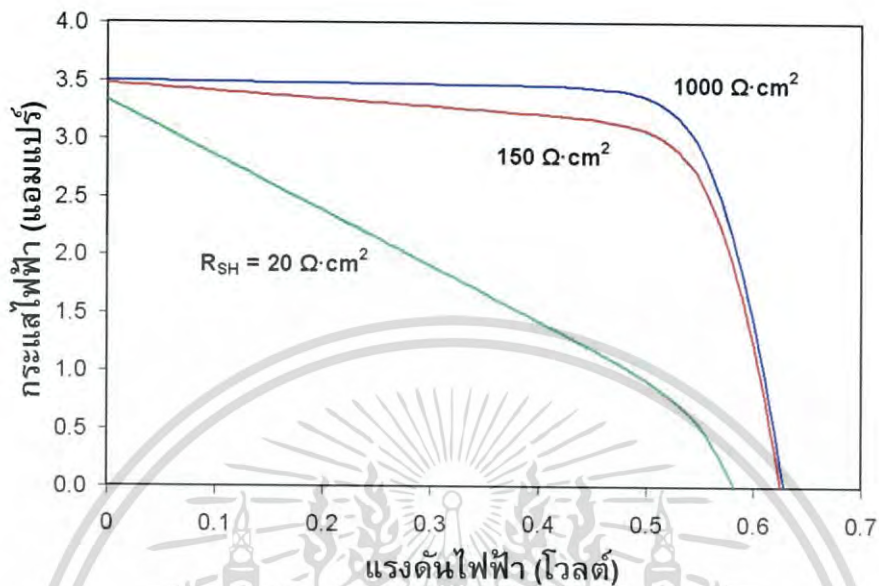


รูปที่ 2.23 ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)



รูปที่ 2.24 ผลของความต้านทาน Shunt ต่อลักษณะกระแสและแรงดัน (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

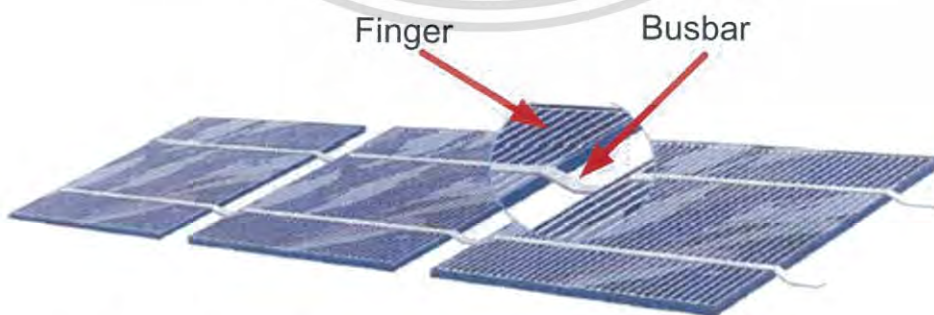
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 ผลของความต้านทานอนุกรมต่อลักษณะกระแสและแรงดัน (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

2.3.2 ลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์นำไปใช้งานในรูปแบบของแผงเซลล์ (Module) การเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นโดยนำแผงเซลล์มาเชื่อมต่อกันในรูปแบบของสตริง (String) หรืออะเรย์ (Array) รูปที่ 2.26 แสดงลักษณะทั่วไปของการเชื่อมต่อเซลล์ชนิดผลึก กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกดึงไปที่ตัวนำไฟฟ้าด้านหน้าและหลังของเซลล์ โดยด้านหน้ามีตัวนำเรียกว่า ฟิงเกอร์ (Fingers) ทำหน้าที่นำกระแสส่งต่อไปบัสบาร์ (Busbar) และไหลผ่านไปยังเซลล์ที่เชื่อมถึงกัน ฟิงเกอร์และบัสบาร์จะต้องบังเซลล์น้อยที่สุดและรับกระแสไฟฟ้าได้สูง เพื่อให้เซลล์รับแสงได้มากที่สุด และด้านรับแสงของเซลล์จะต้องเคลือบสารลดการสะท้อนแสง



รูปที่ 2.26 ลักษณะทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกนำมาประกอบเป็นแผงเซลล์ (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของกล่องต่อสายไฟ และบายพาสไดโอด ทาหน้าที่เชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างแผงเซลล์ และป้องกันการเกิดโพลต์ที่ตัวเซลล์ ลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์จะเปลี่ยนแปลงตามแสงแดดและ อุณหภูมิ มีลักษณะเดียวกันกับเซลล์แตกต่างกันที่ขนาดแรงดันและกระแสไฟฟ้า

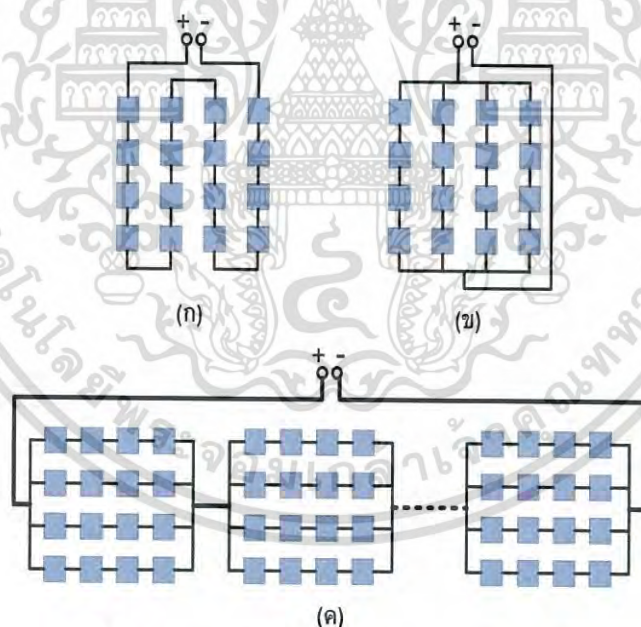
2.3.2.1 ลักษณะของแผงเซลล์ชนิดผลึกซิลิกอน

รูปแบบการเชื่อมต่อเซลล์ เพื่อทำเป็นแผงเซลล์มีอยู่ 3 แบบ คือ

1) แบบอนุกรม คือนำแต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมเป็น 1 แถว หรือ 1 สตริงใน 1 แผงดังรูปที่ 2.27 (ก) เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า หากแต่ละเซลล์มีแรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) ประมาณ 0.6 โวลต์เท่ากับทุก เซลล์และกระแสเท่ากัน แผงเซลล์จะมีแรงดัน V_{oc} เท่ากับจำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรมคูณกับแรงดัน V_{oc} ของเซลล์ กรณีนี้เท่ากับ 9.6 โวลต์ ส่วนกระแสที่ไหลผ่านจะไหลเท่ากับกระแสของหนึ่งเซลล์เท่านั้น

2) แบบอนุกรม-ขนาน คือนำแต่ละสตริงที่เซลล์ต่ออนุกรม เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า แล้วนำมาต่อ ขนานเพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.27 (ข) แต่ละสตริงมีเซลล์ต่ออนุกรม 4 เซลล์ ซึ่งทำให้มีแรงดันที่ แต่ละสตริงเท่ากับ 2.4 โวลต์ สมมติให้กระแสแต่ละสตริงเท่ากับ 5 แอมป์ ทำให้กระแสที่ได้จากแผงนี้ มีค่าเท่ากับผลรวมค่ากระแสของทุกสตริงที่ต่อขนานกัน ในที่นี้เท่ากับ 20 แอมป์

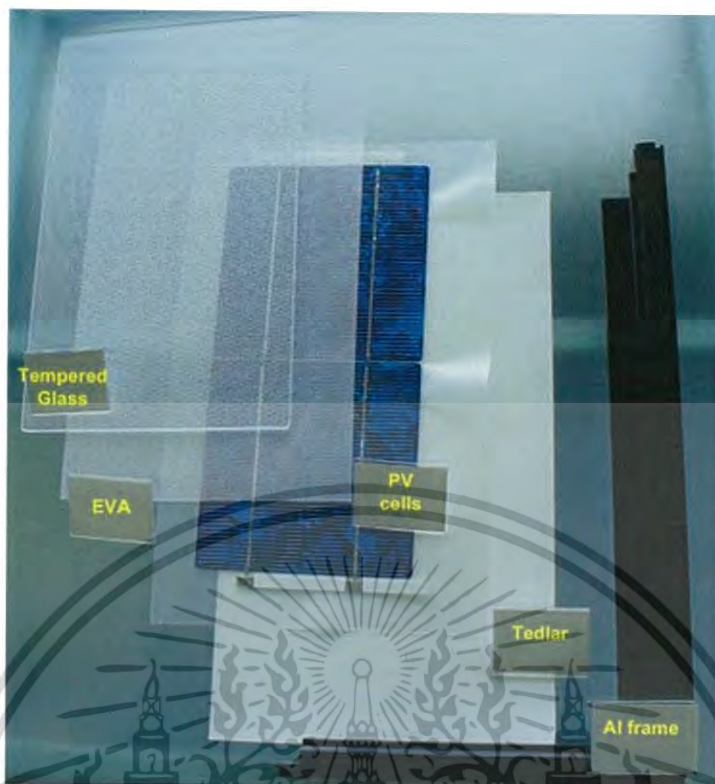
3) แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม คือนำแต่ละกลุ่มที่เชื่อมต่อกันตามแบบที่ 2 มาต่ออนุกรม ดังรูป ที่ 2.27 (ค) เพื่อเพิ่มทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.27 การต่อเซลล์แบบต่างๆ (ก) แบบอนุกรม
(ข) แบบอนุกรม-ขนาน และ (ค) แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

โดยส่วนใหญ่ส่วนประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับชนิดผลึกซิลิกอนมี 4 ส่วน ประกอบด้วย วัสดุประกบผิวหน้าเซลล์ วัสดุสำหรับห่อหุ้มเซลล์ (encapsulant) วัสดุแผ่นหลัง (back sheet) และเฟรม ดังรูปที่ 2.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 วัสดุประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

วัสดุกระจกผิวหน้า ทำหน้าที่กันน้ำ ใส่น้ำ ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรก รวมถึงแรงกระแทก สมบัติของวัสดุ คือ แสงสามารถส่องผ่านได้ดี ป้องกันแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) และระบายความร้อนได้ดี โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้เป็นผิวหน้าจะเป็นกระจกชนิด tempered low-iron ซึ่งมีราคาไม่สูง

วัสดุห่อหุ้มเซลล์ ช่วยในการจับยึดกันระหว่างวัสดุผิวหน้า ตัวเซลล์และวัสดุประกอบแผ่นหลังของแผงเซลล์ ซึ่งต้องทนทานต่ออุณหภูมิสูงและรังสีอัลตราไวโอเล็ต รวมทั้งให้แสงส่องผ่านได้ดี และระบายความร้อนได้ดี โดยส่วนใหญ่ใช้วัสดุจากพอลิเมอร์ที่เรียกว่า EVA ย่อมาจาก Ethyl vinyl acetate

วัสดุประกอบแผ่นหลัง ทำหน้าที่ป้องกันและเป็นแผ่นหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องมีสารมาบรรเทาความร้อนได้ดี และป้องกันน้ำและไอน้ำ โดยส่วนมากวัสดุที่นำมาใช้เป็นจากพอลิเมอร์แผ่นบางที่มีชื่อว่า Tedlar

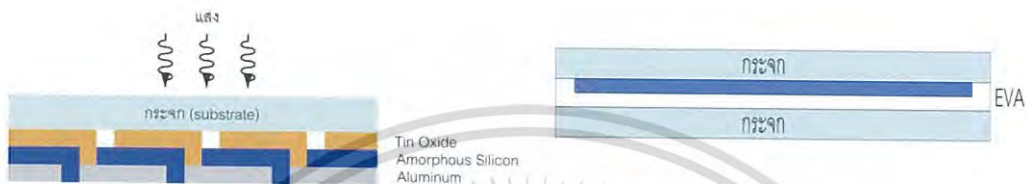
เฟรม (frame) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของแผงเซลล์ให้เพิ่มความแข็งแรงกับแผงเซลล์และเป็นส่วนป้องกันแรงกระแทกต่างๆ โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียม

2.3.2.2 ลักษณะของแผงเซลล์ชนิดฟิล์มบาง

แผงเซลล์ชนิดฟิล์มบางแบ่งได้ 2 แบบ คือ โครงสร้างแข็ง และ แบบอ่อนตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผงเซลล์แบบโครงสร้างแข็ง เซลล์ถูกสร้างลงบนกระจกโดยตรง จากนั้นทำการเชื่อมต่อทางไฟฟ้า แล้วจึงนำไปลามิเนตด้วยวัสดุห่อหุ้มทั้งด้านหน้าและด้านหลัง รูปที่ 2.29 (ก) แสดงส่วนประกอบของเซลล์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน (a-Si) ซึ่งกระจกทำหน้าที่เป็นซับสเตรท เทคโนโลยีของเซลล์ที่ใช้กระบวนการผลิตแบบนี้คือ CdTe, a-Si, เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน แบบเซลล์ซ้อนระหว่างอะมอร์ฟิซิลิคอน/อะมอร์ฟิซิลิคอน หรือ อะมอร์ฟิซิลิคอน/ไมโครคริสตัลไลน์ซิลิคอน หรือเรียกว่า Tandem , และ CIGS เป็นต้น รูปที่ 2.29 (ข) แสดงการประกอบแผงเซลล์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน (a-Si) แบบ Glass- Glass โดยที่ EVA หุ้มเฉพาะด้านหลัง



(ก) โครงสร้างเซลล์บนกระจก

(ข) ส่วนประกอบแผงเซลล์ แบบ Glass-Glass

รูปที่ 2.29 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน (a-Si)
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

แผงเซลล์แบบอ่อนตัว มีลักษณะของการเกาะติด (deposit) บนซับสเตรทที่อ่อนตัว ส่วนการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าขึ้นกับชนิดของซับสเตรท ถ้าวัสดุจากพวกฉนวนไฟฟ้า เช่น polyester หรือ polyimide สามารถใช้วิธีเดียวกับซับสเตรทที่เป็นกระจก แต่วัสดุจำพวกตัวนำไฟฟ้าต้องใช้วิธีการอื่น จากนั้นก็จะถูกนำไปลามิเนตด้วยวัสดุพอลิเมอร์ที่ไม่มีสีและยอมให้แสงผ่านได้ เช่น ETFE หรือ FEP

นอกจากนี้ การแบ่งแผงเซลล์สามารถแบ่งตามลักษณะการประกอบหรือวัสดุประกอบแผงเซลล์ เช่น

- วัสดุประกอบแผง เช่น แผงเทฟลอน แผง PVB และแผงเรซิน เป็นต้น
- เทคโนโลยีการประกอบแผง เช่น การลามิเนต เป็นต้น
- วัสดุซับสเตรท เช่น ฟิล์มบาง กระจกกับเทตลาร์ โลหะกับฟิล์ม อะคริลิกพลาสติก และกระจกกับกระจก เป็นต้น
- โครงสร้างเฟรม ได้แก่ แบบมีเฟรม และแบบไร้เฟรม
- การเพิ่มโครงสร้างพิเศษ เช่น toughened safety glass (TSG) กระจกนิรภัยหลายชั้น (laminated safety glass, LSG) และ กระจกฉนวน (insulating glass) เป็นต้น



รูปที่ 2.30 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอ่อนตัว
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหลากหลายของแผงเซลล์ได้เอื้ออำนวยต่อการสร้างสรรค์ในเชิงสถาปัตยกรรม ทำให้การพิจารณาเพื่อเลือกใช้ต้องควบคู่กันไปทั้งด้านประสิทธิภาพของแผงเซลล์ ความกลมกลืนกับตัวอาคารและเป็นไปตามกฎข้อบังคับการก่อสร้างหรือต่อเติมอาคาร เช่น

- สีสีน ขึ้นกับชนิดของเซลล์ การฉีกแผ่นหลังเซลล์ การเชื่อมต่อเซลล์ และชนิดของกระจก
- ความโปร่งแสง ขึ้นกับการจัดเรียงเซลล์และคุณลักษณะความโปร่งแสงของเซลล์
- ความสามารถในการยึดหยุ่น ขึ้นกับชนิดของซัสเตรท

การใช้สัญลักษณ์ส่วนใหญ่จะใช้ดังรูปที่ 2.31 กำหนดเป็นตัวเซลล์ หรือ แผงเซลล์ หรือระบบแผงเซลล์ ทั้งสตริงหรืออะเรย์

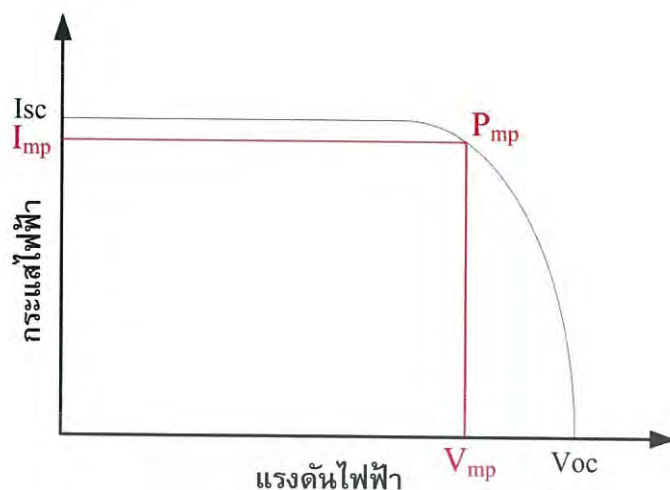


รูปที่ 2.31 สัญลักษณ์ของเซลล์แสงอาทิตย์
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

2.3.2.3 สมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

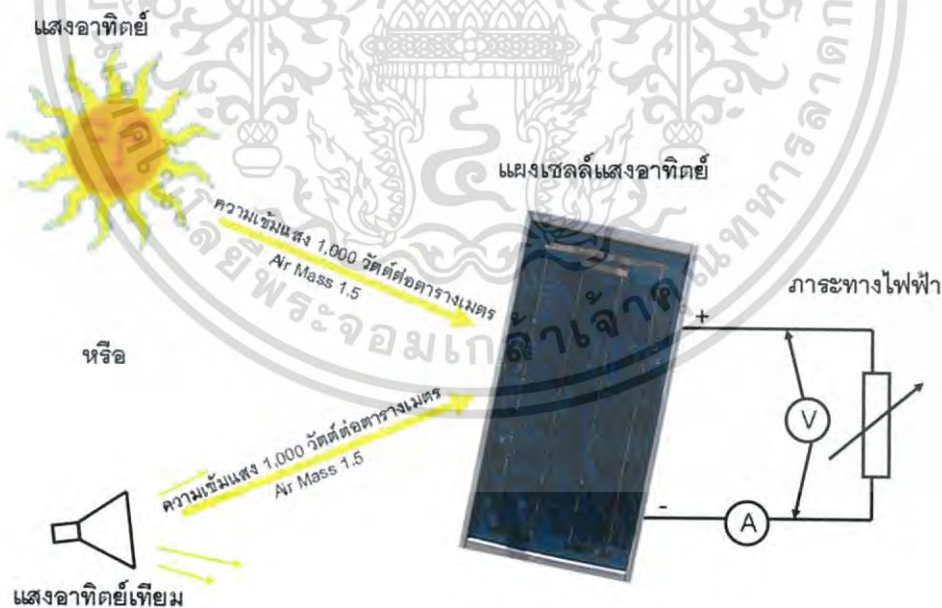
กระแสและแรงดันไฟฟ้า

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าเป็นกระแสตรง โดยที่แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิแผงเซลล์ รูปที่ 2.32 แสดงกราฟกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อกับโหลดที่แปรค่าตั้งแต่สภาวะวงจรรลัด (Short circuit) ถึงสภาวะวงจรถัด (Open circuit) โดยตัดแกนตั้งที่แรงดันเป็นศูนย์ จะได้ค่ากระแสที่สภาวะวงจรรลัด (Short circuit current: I_{sc}) ส่วนจุดตัดแกนนอนที่กระแสเท่ากับศูนย์จะได้ค่าแรงดันขณะวงจรถัด (Open circuit voltage: V_{oc}) เมื่อนำค่ากระแสคูณกับแรงดันก็จะได้กำลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งต้องมีจุดเดียวเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เรียกว่า กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด (Power at maximum point: P_{MP}) ส่วนกระแสกับแรงดันที่จุดนี้เรียกว่า กระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Current at maximum power point: I_{MP}) กับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Voltage at maximum power point: V_{MP}) ตามลำดับ



รูปที่ 2.32 กราฟกระแสกับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

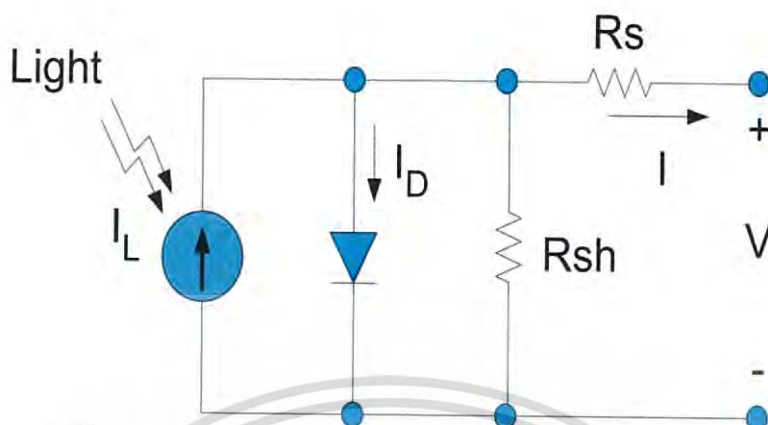
การระบุค่าสมรรถนะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์ได้จากการทดสอบวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V curve) โดยต่อภาระทางไฟฟ้าที่สามารถแปรค่าได้ตั้งแต่สภาวะวงจรเปิดไปจนถึงสภาวะวงจรลัดเข้ากับแผงเซลล์ แล้วให้แสงแก่แผงเซลล์ดังรูปที่ 2.33 โดยควบคุมสภาพแวดล้อมที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Test Condition, STC) คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร สเปกตรัมของแสงที่ Air Mass (AM) 1.5 และอุณหภูมิด้านหลังแผงเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.33 ไดอะแกรมการทดสอบวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.34 แบบจำลองคุณลักษณะทางสถิติของเซลล์แสงอาทิตย์
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

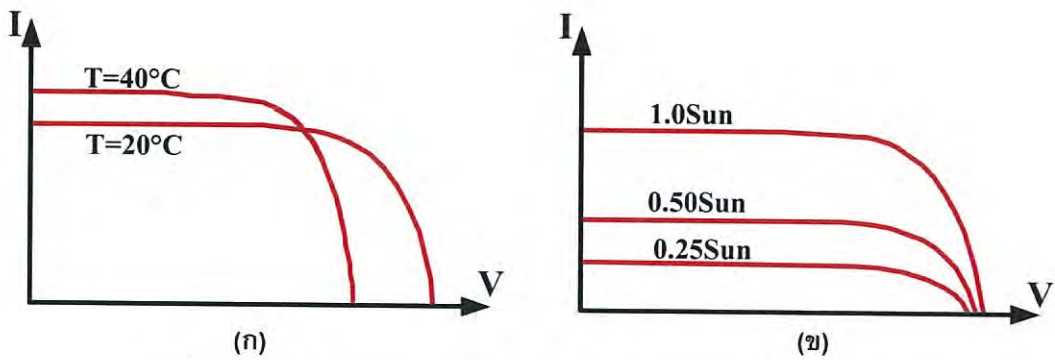
เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแทนด้วยวงจรสมมูล (Equivalent circuit) ดังรูปที่ 2.34 ประกอบด้วย แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อขนานกับไดโอด (รอยต่อพี-เอ็น) และ R_{sh} แล้วจึงต่ออนุกรมกับ R_s โดยกำหนดให้แหล่งจ่ายกระแสเป็นแบบกระแสคงที่ ซึ่งแปรผันตามความเข้มแสง ความต้านทานอนุกรม (R_s) เป็นค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจากจุดเชื่อมต่อ (wiring contact) ระหว่างตัวนำไฟฟ้ากับเซลล์ ส่วนความต้านทานขนาน (R_{sh}) เกิดขึ้นเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าในลักษณะไบอัสย้อนกลับให้กับไดโอด

ทางอุดมคติจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ ตรงกันข้ามกับความเป็นจริงจะมีกระแสไหลย้อนกลับในระดับต่ำ นั้นแสดงให้เห็นว่ามีเส้นทางที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้ ดังนั้นจึงแทนด้วยความต้านทานขนาน ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับความต้านทานอนุกรมที่มีค่าต่ำมาก สมการที่ 2.7 เป็นสมการทางสถิติของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีโซลิดสเตทฟิสิกส์ (Solid-state physic theory)

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{e(V - IR_s)}{kT} \right] - 1 \right\} - \frac{V}{R_{SH}} \quad (2.7)$$

ผลกระทบจากความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิ

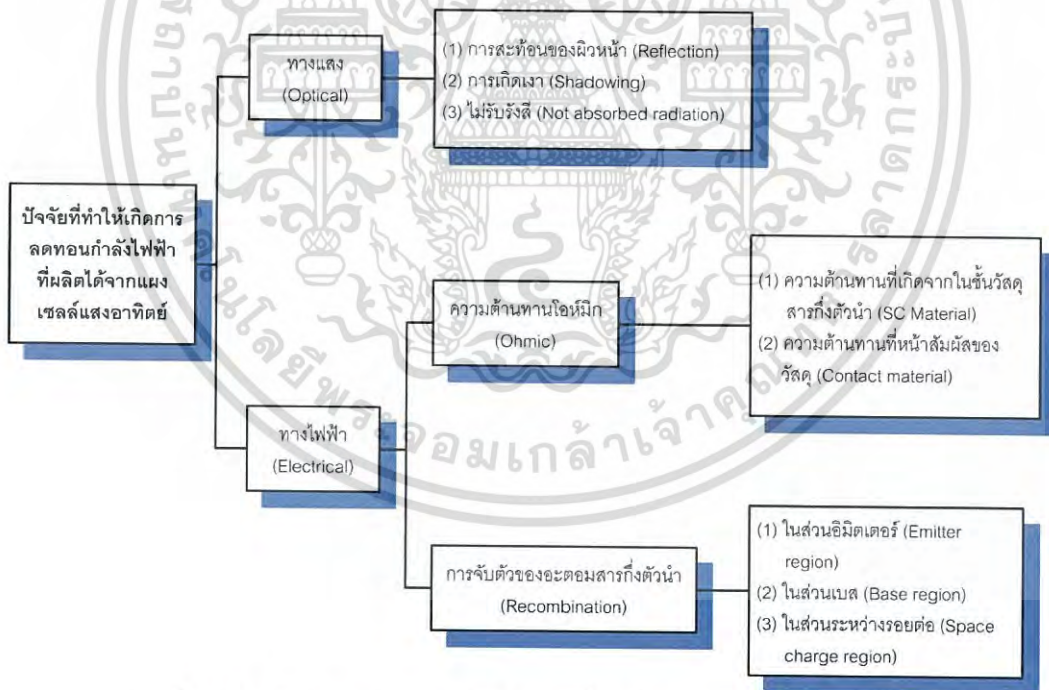
เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่สภาวะแวดล้อมต่างๆ จะได้กราฟ I-V Curve ที่ระดับต่างๆ ดังแสดงรูปที่ 2.35 โดยที่ (ก) เป็นกรณีที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์คงที่แต่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีผลทำให้แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง แต่กระแสไฟฟ้าวงจรลัดกลับมีค่าสูงขึ้น แต่กรณีจากรูปที่ 2.35 (ข) เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงจะทำให้กระแสวงจรลัดเพิ่มขึ้น และแรงดันวงจรเปิดมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 2.35 กราฟกระแสและแรงดันที่อุณหภูมิและความเข้มแสงค่าต่างๆ (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

ปัจจัยลดทอนกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การลดทอนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์มาจากสาเหตุหลัก 2 ประการคือ ทางแสง (optical) และทางไฟฟ้า (electrical) สำหรับทางแสง ปัจจัยที่มีผลต่อการรับแสง ได้แก่ การสะท้อน (reflection) การบังเงา (shadowing) และไม่รับรังสี (not absorbed radiation) ซึ่งการลดทอนสะท้อนแสงนั้นหา โดยการเคลือบสารป้องกันการสะท้อน (antireflection coating) และการทำเซอร์เฟซ

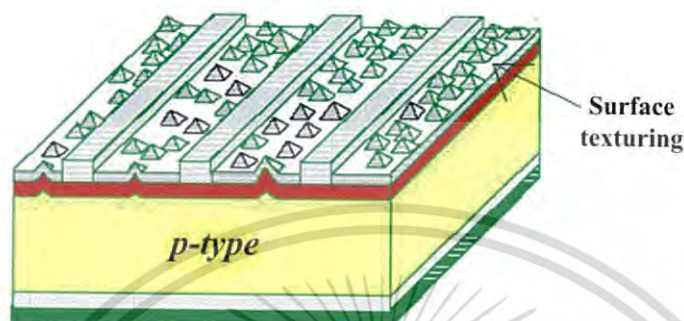


รูปที่ 2.36 ปัจจัยการลดทอนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

เทคนิคเซอร์ฟิ่ง (surface texturing) ดังรูปที่ 2.37 ส่วนการบังเงา ให้พิจารณาทิศทางของแสงและเงาในการติดตั้งระบบ เพื่อป้องกันการเงาบังแผงเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางไฟฟ้าแบ่งการสูญเสียเป็น 2 ส่วนคือ โห้หมมิก (ohmic losses) และการจับตัวของอะตอมสารกึ่งตัวนำ (recombination) ซึ่งการสูญเสียอันเนื่องจากการออกแบบและกระบวนการผลิตเซลล์ โดยที่ โห้หมมิก เป็นผลที่เกิดขึ้นจากตัววัสดุสารกึ่งตัวนำ และความต้านทานที่หน้าสัมผัสของวัสดุได้แก่วรอยต่อระหว่างโลหะตัวนำกับสารกึ่งตัวนำ ส่วนการสูญเสียจากการจับตัวของอะตอมสารกึ่งตัวนำเกิดขึ้นในชั้นอิมิตเตอร์ (Emitter layer) ส่วนเบส และระหว่างรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ

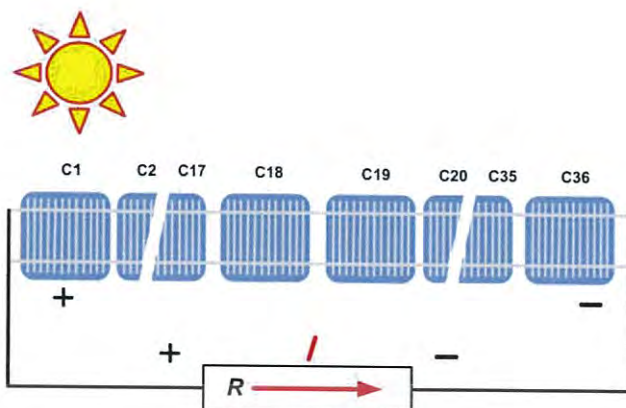


รูปที่ 2.37 ลักษณะของผิวหน้าของเซลล์ซึ่งผ่านการทำ surface texturing (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

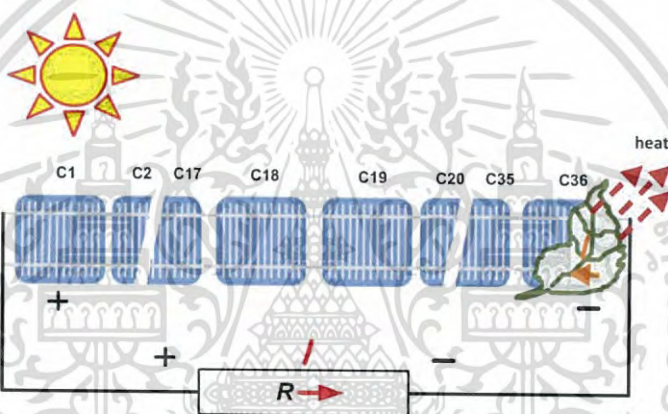
2.3.2.4 Junction Box, Bypass Diode และ Blocking Diode

การต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนจะมีค่าแรงดันวงจรเปิดหรือความต่างศักย์แต่ละเซลล์ประมาณ 0.6 โวลต์และสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอนประมาณ 0.6 - 0.9 โวลต์ และค่ากระแสไฟฟ้า (ขึ้นอยู่กับพื้นที่เซลล์) หลังการต่อเซลล์เป็นแผงเซลล์จะรวมสายไฟฟ้าเข้าด้วยกันโดยแยกเป็นขั้วบวกและขั้วลบไปยังกล่องรวมสายที่เรียกว่า Junction Box เพื่อนำไฟฟ้าไปใช้งานต่อไป

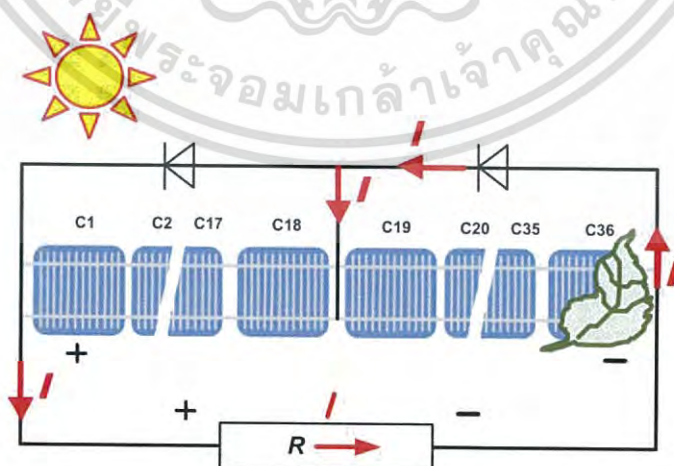
การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะไม่มีเงาบังแสดงได้ดังรูปที่ 2.38 แต่ถ้าเงาบังจากกรณีต่างๆ เช่น ใบไม้ และสิ่งปลูกสร้าง เป็นต้น จะทำให้แผงเซลล์มีค่ากระแสไฟฟ้าลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.39 เป็นผลทำให้กำลังไฟฟ้าโดยรวมของแผงเซลล์ลดลงอย่างมาก นอกจากนี้แล้วเมื่อเกิดเงาบังกับแผงเซลล์ ทำให้เกิดความร้อนที่ตัวเซลล์ขึ้น เนื่องจากเซลล์ที่ถูกบังจะทำหน้าที่เป็นภาระทางไฟฟ้าแทนที่จะเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน



รูปที่ 2.38 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อไม่มีเงาบังที่เซลล์
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)



รูปที่ 2.39 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีใบไม้บัง
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

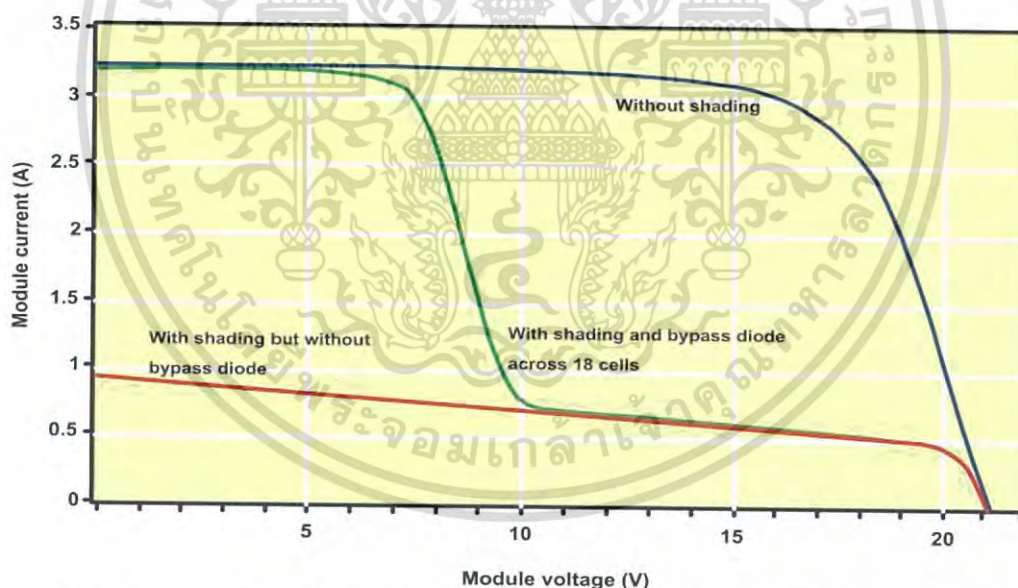


รูปที่ 2.40 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีใบไม้บังแต่มี Bypass Diode
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติการต่อเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแผงเซลล์นั้นจะต้องมี Bypass Diode เข้าไปในแผงเซลล์เพื่อทำหน้าที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านช่วงขณะในกรณีที่เกิดเงาบังหรือแม้กระทั่งกรณีที่เซลล์เสียหายถาวร แนวเส้นลูกศรในรูปที่ 2.40 แสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่าน Bypass Diode เมื่อมีใบไม้มาบัง และจะเห็นว่าถ้ามี Bypass Diode จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในแผงเซลล์เป็นปกติเนื่องจากกระแสไฟฟ้าจะไม่ไหลผ่านส่วนของแผงเซลล์ที่เกิดเงาบัง เป็นผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าโดยรวมจากแผงเซลล์มีการลดทอนเพียงเล็กน้อย

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนจะนำเซลล์มาต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มค่าแรงดันวงจรเปิดให้เหมาะกับการใช้งาน ซึ่งจำนวนเซลล์ในหนึ่งแผงประมาณ 36 - 40 เซลล์และใช้ Bypass Diode ประมาณ 2 ตัว และรูปที่ 2.41 เปรียบเทียบกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากแผงที่มี Bypass Diode และไม่มี Bypass Diode โดยที่เส้นสีน้ำเงินแสดงกระแสและแรงดัน แต่เมื่อไม่มีเงาบังพื้นที่เงาบังเซลล์หนึ่งเซลล์ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เซลล์ กรณีที่ไม่มี Bypass Diode (เส้นสีแดง) กระแสไฟฟ้าลดลงจากปกติเป็นอย่างมาก เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่เหลือเพียง 25 เปอร์เซ็นต์จากพื้นที่เซลล์ทั้งหมด แต่ถ้ามี Bypass Diode ที่เซลล์ 18 (C18 ในรูปที่ 2.40) จะทำให้กระแสไฟฟ้าวงจรลด และแรงดันวงจรเปิดเท่าเดิม (กราฟสีเขียว) เพียงแต่กำลังไฟฟ้าทั้งหมดลดลงเท่านั้น

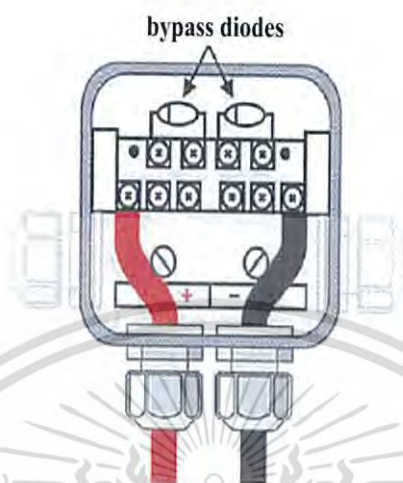


รูปที่ 2.41 การเปรียบเทียบ I-V Curve ที่มีและไม่มี Bypass Diode เมื่อมีการเกิดเงาบัง (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

การติดตั้ง Bypass Diode จะติดตั้งที่บริเวณกล่องรวมสาย (Junction Box) หลังแผงเซลล์ โดยเชื่อมต่อกับสายไฟฟ้าหลัก (Busbar) ซึ่งสายไฟฟ้าทั้งหมดจะถูกรวมที่กล่องรวมสายโดยแยกเป็นชุดเซลล์ย่อยๆ แล้วทำการเชื่อมต่อ Bypass Diode คร่อมลงไปตามแสดงในรูปที่ 2.42 ภายในกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

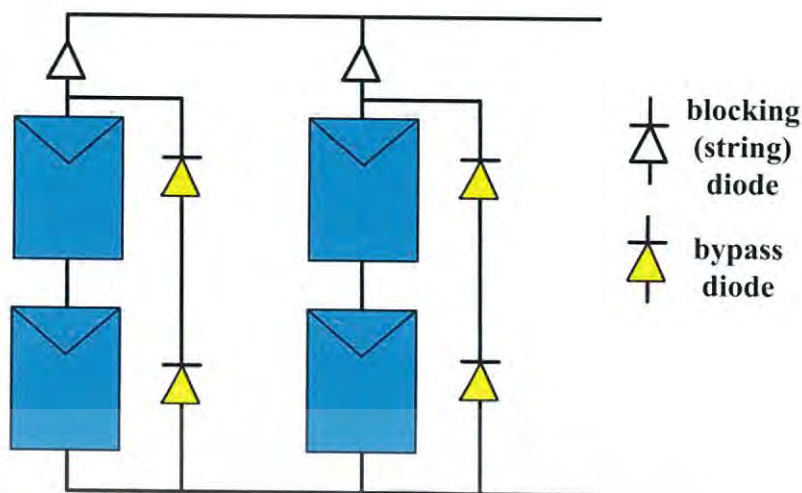
รวมสายจะมีขั้วไฟฟ้าทั้งขั้วบวกและขั้วลบที่พร้อมใช้งานและ Bypass Diode อยู่ด้วยกัน จึงสะดวกในการดูแลรักษาและซ่อมแซมหากเกิดการชำรุดขึ้นหลังจากใช้งาน หรือมีการปรับปรุงในอนาคต



รูปที่ 2.42 กล่องรวมสายไฟฟ้าที่มีการติดตั้ง Bypass Diode (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

ในอีกกรณีสำหรับการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระบบขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ จำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบของการผลิตไฟฟ้าที่ไม่เท่ากันของแต่ละสตริงซึ่งเกิดจากหลายปัจจัย อย่างเช่น การบังแดดเนื่องจากเมฆในบางสตริงของระบบโดยรวม คุณสมบัติของแผงเซลล์เองที่ไม่เท่ากัน มุมเอียงของการติดตั้งที่ไม่อยู่ในแนวระนาบเดียวกันทั้งหมด ด้วยปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาเป็นผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าอาจจะมีปรากฏการณ์ของความไม่เท่ากันในแต่ละสตริง ซึ่งจะทำให้สตริงที่มีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดกลายเป็นภาระทางไฟฟ้าชั่วคราวและมีการถ่ายเทพลังงานจากสตริงที่ยังคงผลิตกำลังไฟฟ้าได้ดีมายังสตริงที่มีค่าต่ำ ซึ่งทำให้กำลังไฟฟ้าโดยรวมมีค่าลดต่ำลง ดังนั้นเพื่อป้องกันภาวะดังกล่าว จึงจำเป็นต้องติดตั้ง Blocking Diode ที่บริเวณปลายสายของทุกสตริงเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลย้อนจากสตริงตัวอื่น อีกทั้งยังช่วยป้องกันไม่ให้สตริงตัวต่ำเกิด ความเสียหายเนื่องจากภาวะกระแสไฟฟ้าไหลย้อน

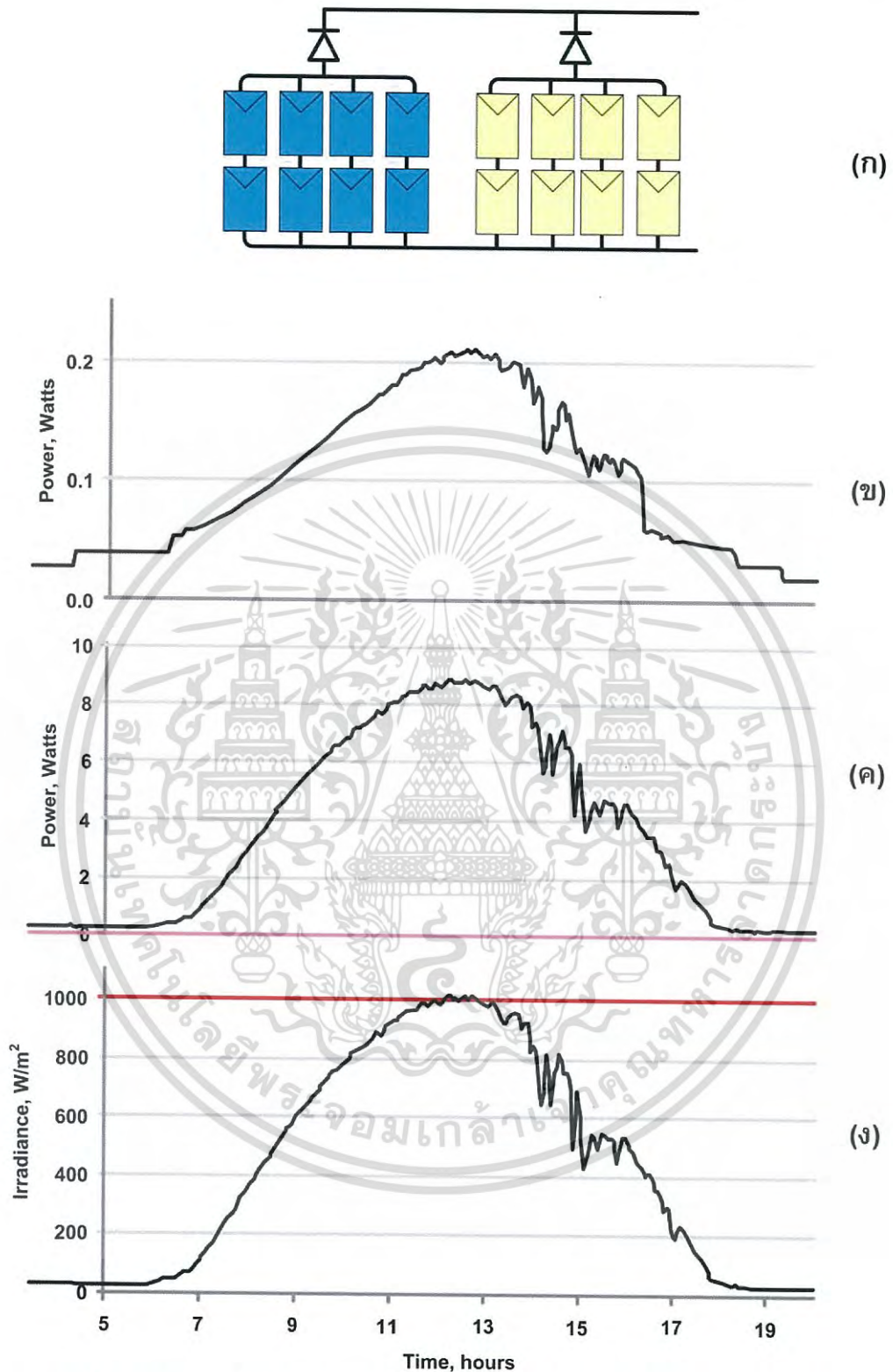
ปรากฏการณ์ดังกล่าวข้างต้นนี้ จะเห็นได้ว่าการติดตั้ง Bypass Diode ระหว่างแผงเซลล์เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวผ่านของกระแสไฟฟ้าเวลาการเกิดเงาบังหรือการเกิด Hot Spot ในแต่ละแผงภายในสตริง และการติดตั้ง Blocking Diode เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลย้อนเข้าสู่สตริง (รูปที่ 2.43) จะทำให้ระบบมีความคงที่ในการผลิตไฟฟ้าตลอดทั้งวันโดยที่ใดโอดแต่ละตัวจะทำหน้าที่ในเวลาที่เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ที่คาดไม่ถึง ซึ่งจะทำให้การผลิตไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอตลอดเวลา



รูปที่ 2.43 แผนภาพของระบบที่มีการติดตั้ง Bypass Diode
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

อย่างไรก็ตาม การติดตั้ง Blocking Diode ในระบบต้องคำนึงถึงผลของการสูญเสียแรงดันตกคร่อมของไดโอดที่เกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้และจะทำให้กำลังไฟฟ้าของระบบลดทอนไปส่วนหนึ่ง นอกจากนี้ในรูปที่ 2.44 เปรียบเทียบระบบขนาดเล็กที่มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าเท่ากันที่ประกอบด้วยระบบที่ไม่มี Blocking Diode รูป (ข) และระบบที่มี Blocking Diode รูป (ค) โดยที่สตริงด้านซ้ายของรูป (ก) แสดงสถานะสตริงที่เกิดเงบัง และเมื่อเปรียบเทียบกราฟระหว่างที่มีและไม่มี Blocking Diode เห็นได้ว่าระบบที่ไม่มี Blocking Diode จะให้ค่ากำลังไฟฟ้าต่ำมากทั้งนี้เนื่องจากผลของการเกิดภาวะทางไฟฟ้าและมีการไหลย้อนกลับสตริงที่มีเงบัง

ส่วนระบบที่มี Blocking Diode คงสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้โดยมีกำลังไฟฟ้าโดยรวมเท่ากับสตริงที่ไม่ถูกบังเงา (สตริงด้านขวาของรูป (ก))



รูปที่ 2.44 การเปรียบเทียบไฟฟ้าที่ผลิตได้ของระบบที่มีและไม่มี Blocking Diode (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ลักษณะของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (Grid-connected or Grid tied inverter) และอินเวอร์เตอร์แบบอิสระ (Stand-alone inverter) ในช่วงประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา งานวิจัยเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์สำหรับการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (Grid-connected PV inverters) ส่วนหนึ่งเน้นไปที่วงจรหรือเทคนิคการควบคุมใหม่ๆ ซึ่งเมื่ออาศัยความก้าวหน้าด้านโซลิตัสเตท ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะสร้างเอซีโมดูลที่กะทัดรัด ประสิทธิภาพสูง มีความไว้วางใจได้และมีราคาถูก

2.3.3.1 วงจรต่างๆ ในภาคกำลังของพีวีอินเวอร์เตอร์

วงจรของพีวีอินเวอร์เตอร์ต่างๆ สามารถแบ่งโดยอาศัยวิธีพิจารณาได้หลายวิธี เช่น มีการแยกโดดหรือไม่มีการแยกโดดทางไฟฟ้า (Isolated or non-isolated) มีหรือไม่มีภาคคลี่ (Unfolding stage) และการใช้หลักการมอดูเลทด้วยความกว้างของพัลส์ (PWM) หรือใช้หลักการเรโซแนนซ์ อย่างไรก็ตามถ้ามีการเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายความปลอดภัยเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นวงจรต่างๆ ที่จะนำมาเป็นภาคกำลังของพีวีอินเวอร์เตอร์จะแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามการมีการแยกโดดและไม่มีการแยกโดด

วงจรที่ไม่มีการแยกโดด

วงจรที่ไม่มีการแยกโดด หมายถึง การมีการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างเมนส์และแผงเซลล์ซึ่งการแยกโดดจะอาศัยการต่อผ่านหม้อแปลง ในแง่ความปลอดภัยทางไฟฟ้าการไม่มีการแยกโดดอาจยอมรับไม่ได้ อย่างไรก็ตามข้อดีจากการไม่มีหม้อแปลง คืออินเวอร์เตอร์จะมีขนาดเล็กและราคาถูก

- อินเวอร์เตอร์ที่ใช้แรงดันด้านเข้าสองขั้ว เป็นวงจรแบบหนึ่งซึ่งไม่มีภาคคลี่ แต่จำเป็นต้องมีแผงเซลล์สองกลุ่ม เพื่อให้สร้างคลื่นขายนี้นี้ได้ครบวัฏจักร ซึ่งเป็นข้อเสียอย่างหนึ่งของวงจรนี้ อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ไม่มีการเพิ่มแรงดัน ดังนั้นแต่ละกลุ่มของแผงเซลล์จะต้องสามารถสร้างแรงดันสูงสุดได้มากกว่าค่าแรงดันสูงสุดของเมนส์ (Mains) ซึ่งทำได้โดยการต่อแผงเซลล์อนุกรมกันหลายๆ แผง แต่การต่อแบบนี้ทำให้ความเป็นโมดูลของระบบลดลง คือไม่ใช่ระบบหนึ่งแผงเซลล์ต่อหนึ่งอินเวอร์เตอร์

- อินเวอร์เตอร์ที่ใช้การสังเคราะห์ทางดิจิทัล อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ทำงานโดยการคลี่ (Unfold) แรงดันด้านบวกของแรงดันขายนี้นี้ที่ต้องการได้จากการรวมแรงดันที่ได้จากแหล่งจ่ายแรงดันหลายๆ แหล่งที่ถูกต่ออนุกรมเข้าด้วยกัน

วงจรมีแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ส่วนแรกเป็นวงจรสังเคราะห์คลื่นรูปขายนี้นี้มีเอาท์พุทเป็นแอมป์โซลิตัสเตท และส่วนที่สองเป็นวงจรคลี่ วงจรนี้ต้องใช้แผงเซลล์หลายแผง ทำให้ความเป็นโมดูลของระบบลดลงเช่นกัน

- วงจรบริดจ์ที่อาศัยหลักการมอดูเลทความกว้างของพัลส์ แรงดันรูปคลื่นขายนี้นี้ถูกสร้างขึ้นจากวงจรบริดจ์ วงจรนี้แรงดันไฟฟ้าสลับด้านออกจะได้รับการแปลงไฟตรงด้านเข้าซึ่งเป็นแรงดันขั้วเดียว และการควบคุมแอมป์ลิจูดของกระแสด้านออกทำได้โดยการปรับค่าวัฏจักรงาน (Duty cycle, D) (เปอร์เซ็นต์ของเวลาที่สวิทช์นำกระแสเทียบกับคาบเวลาการทำงานของสวิทช์) ของพัลส์ PWM ที่ผลิตจากตัวควบคุม ถ้าช่วงเวลาที่สวิทช์นำกระแสมีค่ามากแอมป์ลิจูดของแรงดันด้านออกก็จะมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากวงจรนี้ไม่มีคุณสมบัติในการเพิ่มแรงดัน ทำให้ต้องใช้สวิตช์ของแผงเซลล์ที่มีพิกัดแรงดันด้านออกสูงกว่าแรงดันพีคของเมนส์

- **วงจรที่มีพื้นฐานจากวงจรทอนระดับ (Buck-boost)** โดยทั่วไปแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์มักมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันสูงสุดของเมนส์ กระแสที่ไหลจากแผงเซลล์สามารถรักษาให้ไหลในทิศทางเดียวได้โดยใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ซึ่งควบคุมได้ และแรงดันจากเมนส์ที่ผ่านวงจรเรียงกระแสแล้วจะมีค่ามากและน้อยกว่าแรงดันที่ได้จากแผงเซลล์สลับกันไป ดังนั้นวงจรแปลงผัน (Converter) ต้องมีความสามารถในการแปลงแรงดันขึ้นและลง

วงจรแปลงผันแบบ Buck-boost และ Cuk มีคุณสมบัติดังที่กล่าวมานี้ อย่างไรก็ตามดูเหมือนว่าด้านออกของวงจร Cuk ทำให้ยากต่อการกำหนดจุดตัดศูนย์ของกระแส วงจรนี้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ถ้าอัตราส่วนของแรงดันสูงสุดของเมนส์ต่อแรงดันพิกัดจากแผงเซลล์มีค่าสูงมาก

- **อินเวอร์เตอร์ที่ดัดแปลงมาจากวงจรแปลงผันแบบ Zeta สองวงจร** คือวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับสามารถสร้างขึ้นจากวงจรแปลงผันแบบ Zeta สองวงจร โดยจะถุกมอดูเลทแบบชายน์ และการสร้างครึ่งวงของรูปคลื่นชายน์จะทำงานในลักษณะ pulse-width modulation และจะมีการนำกระแสตลอดช่วงครึ่งวงของแรงดันเมนส์

ในวงจรแบบนี้จะมีสวิตช์ตัวหนึ่งทำงานที่ความถี่สูงและอีกหนึ่งตัวทำงานที่ความถี่ต่ำ ดังนั้นการสูญเสียจากการสวิตช์ในวงจรนี้จึงมีค่าน้อยกว่าวงจรอื่นๆ

วงจรที่มีการแยกโดด (Isolated circuit topologies)

วงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีการแยกโดดจะกันทางไฟฟ้าระหว่างเมนส์และแผงเซลล์ ทำให้มีความปลอดภัยทางไฟฟ้าสูงขึ้น โดยทั่วไปการแยกโดดโดยการใช้หม้อแปลง วงจรประเภทนี้หลายวงจรหม้อแปลงแยกโดดทำหน้าที่แปลงแรงดันขึ้นด้วย

- **วงจรอินเวอร์เตอร์แบบ Push-pull** มีหม้อแปลงแบบมีแทปกลางและภาคคี่ (Unfolding stage) วงจรทำงานโดยการใช้หม้อแปลงเพิ่มแรงดันที่ผลิตได้โดยวิธี pulse-width modulation มีสวิตช์ที่ถูกควบคุมด้วยวงจรถacking ให้กำลังงานสูงสุด (maximum power point tracking, MPPT) และวงจรควบคุมความเป็นชายน์ รูปคลื่นแรงดันที่ออกจากหม้อแปลง มีรูปร่างเป็นรูปคลื่นชายน์ที่ความถี่เมนส์ แรงดันนี้จะถูกแปลงเป็นแรงดันกระแสตรงโดยไดโอดเรกติไฟเออร์ชนิดความเร็วสูง ซึ่งสวิตช์ในวงจรทำงานประสานกันเป็นคู่ เป็นวงจรคี่ เพื่อกลับทิศทางกระแสที่ป้อนเข้าสู่วงจรเมนส์ทุกๆ ครึ่งวัฏจักร และทำงานร่วมกันเป็นวงจรความถี่ต่ำ

ข้อเสียสองประการของวงจรแบบนี้ คือการสูญเสียในการสวิตช์ มีค่าสูงเนื่องจากสวิตช์สองตัวนี้ทำงานในลักษณะ PWM นั่นคือเป็นการสวิตช์แบบแข็ง (Hard switching) ข้อเสียอีกประการคือหม้อแปลงถูกใช้งานไม่เต็มที่ คือใช้ครั้งละครั้งขดลวดเท่านั้น อย่างไรก็ตามหม้อแปลงในวงจรนี้ไม่ต้องมีการเก็บพลังงานและฟลักซ์แม่เหล็กในหม้อแปลงเป็นแบบสองขั้วทำให้แกนเหล็กของหม้อแปลงไม่อิ่มตัวง่าย

- วงจรที่ตัดแปลงมาจากวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ค (Fly back converter) เป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบทบ-ทอนระดับแบบหนึ่ง มีการแยกโถดระหว่างขั้วด้านเข้าและขั้วด้านออก ในวงจรมีอุปกรณ์แม่เหล็กไม่ใช่หม้อแปลง แต่เป็นตัวเหนี่ยวนำแบบสองขดลวด

ฟลักซ์แม่เหล็กในแกนหม้อแปลงของวงจรนี้เป็นแบบขั้วเดียว (Unipolar) ทำให้แกนหม้อแปลงอาจเกิดการอิ่มตัวได้ ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้วจะทำให้ความเหนี่ยวนำด้านปฐมภูมิลดลงกระแสด้านปฐมภูมิจะมีค่าสูงทำให้สวิตช์กำลังอาจเกิดการเสียหายได้ ดังนั้นหม้อแปลงควรถูกออกแบบให้อิ่มตัวได้ยาก

- วงจรที่มีพื้นฐานจากคอนเวอร์เตอร์แบบฟอร์เวิร์ด (Forward converter) เป็นรูปแบบหนึ่งของคอนเวอร์เตอร์แบบทอนระดับ ถ้าแปรค่าอัตราส่วนจนวนรอบของหม้อแปลงจะทำให้คอนเวอร์เตอร์นี้ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันได้

การควบคุมขนาดและรูปคลื่นของแรงดันขาออกทำโดยให้สวิตช์ทำงานในโหมดการมอดูเลทความกว้างของพัลส์ (Pulse-width-modulation) ขดลวดล้างอำนาจแม่เหล็ก (demagnetizing winding) และไดโอดต่ออนุกรม ทำหน้าที่กักพลังงานที่เก็บไว้ในแกนของหม้อแปลงคืนกลับสู่วงจรด้านขาเข้า โดยทั่วไปจนวนรอบของขดลวดตัวที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากัน แต่พิคตกระแสของขดลวดตัวที่ 2 มีค่าต่ำกว่าของขดลวดตัวที่ 1 เนื่องจากทำหน้าที่เป็นทางผ่านของกระแสล้างอำนาจแม่เหล็กเท่านั้น และเนื่องจากไม่จำเป็นต้องให้มีการแยกโถดทางไฟฟ้าอย่างมากระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดล้างอำนาจแม่เหล็ก ดังนั้นขดลวดทั้งสองขดนี้สามารถพันแบบ bifilar ได้ซึ่งจะช่วยลดความเหนี่ยวนำรั่วไหลระหว่างขดลวดทั้งสองนี้ได้

- วงจรที่มีพื้นฐานบนคอนเวอร์เตอร์แบบทอนสองวงจร (Topology based on double buck converter) แนวความคิดเบื้องหลังวงจรแบบนี้ คือพยายามเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรโดยการลดจำนวนสวิตช์ที่มีในส่วนของวงจรที่กระแสหลักไหลผ่าน ซึ่งการลดจำนวนสวิตช์ลงได้ก็จะเป็นการเพิ่มความเชื่อถือได้ของวงจรด้วย

- อินเวอร์เตอร์ที่มีวงจรแบบกึ่งบริดจ์ (Topology based on a half bridge circuit) อินเวอร์เตอร์แบบนี้จะมีวงจรกึ่งบริดจ์อยู่ในภาคการแปลงแรงดันไฟตรงเป็นไฟกระแสสลับ

วงจรแบบกึ่งบริดจ์มีข้อดีคือวงจรมีความง่ายเพราะมีอุปกรณ์น้อยเมื่อเทียบกับวงจรเต็มบริดจ์ วงจรกึ่งบริดจ์ จึงเหมาะที่จะใช้กับระบบที่มีแรงดันขาเข้าสูงเพราะแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันขาเข้า ทำให้ความเครียดทางไฟฟ้าของสวิตช์มีค่าต่ำกว่า

- อินเวอร์เตอร์ที่มีวงจรแบบเต็มบริดจ์ (Topology based on a full bridge circuit) ในกรณีนี้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอุปกรณ์กำหนดต่าง ๆ ก็จะมีค่าสูงกว่าในกรณีที่เป็นวงจรแบบครึ่งบริดจ์ อินเวอร์เตอร์ที่มีวงจรแบบเต็มบริดจ์จะเหมาะกับระบบที่มีแรงดันขาเข้าต่ำแต่กระแสสูง ข้อเสียของวงจรแบบเต็มบริดจ์คือวงจรโดยรวมจะมีความซับซ้อนกว่า

• อินเวอร์เตอร์ที่มีวงจรถ่ายโอนอนุกรมสองวงจร (Topology based on dual series resonant converter) เป็นการนำคอนเวอร์เตอร์ถ่ายโอนอนุกรมแบบครึ่งบริดจ์สองวงจรมาต่ออนุกรมกัน วงจรที่ได้จะทำตัวเป็นแหล่งกระแส

ข้อดีของวงจรแบบนี้มีสองประการคือ การทำงานที่ความถี่คงที่ ทำให้การออกแบบอุปกรณ์ทางแม่เหล็กและอุปกรณ์กรองความถี่ที่มีสมรรถนะดีที่สุดที่ความถี่ใดความถี่หนึ่ง และอินเวอร์เตอร์จะมีคุณสมบัติแฝงในการทนต่อการลัดวงจรและเปิดวงจรโดยอาศัยอิมพีแดนซ์ของวงจรถ่ายโอน ข้อเสียของวงจรคือวงจรมีความซับซ้อนมากเทียบกับอินเวอร์เตอร์แบบที่ใช้การควบคุมโดยการเปลี่ยนความถี่

2.3.3.2 สัญลักษณ์และหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

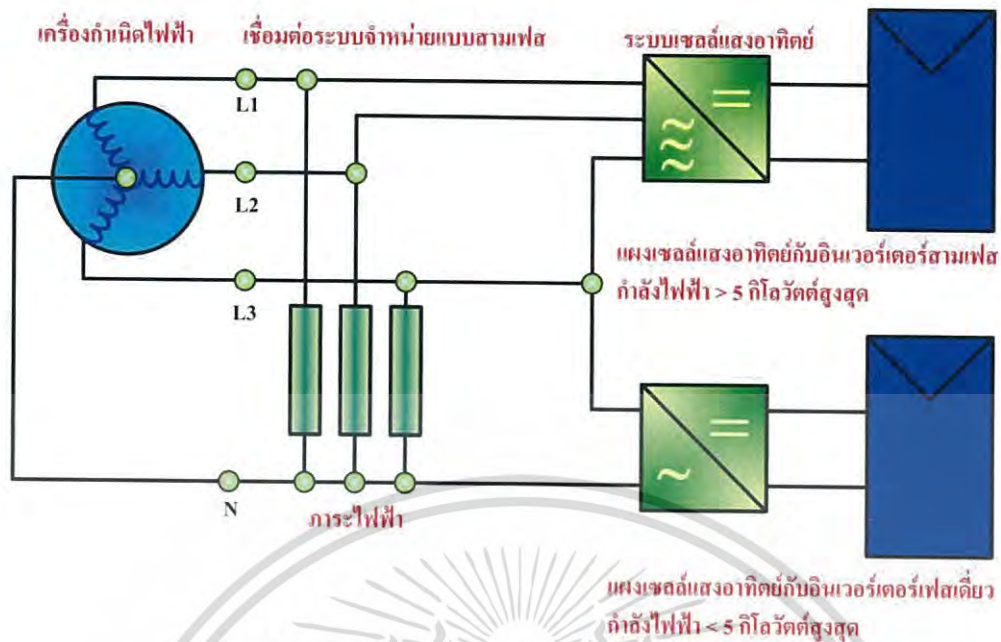
อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อบริดจ์ในระบบจำหน่ายในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV array) ระบบจำหน่าย (Grid) และภาระไฟฟ้า (AC loads) โดยรับไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งมีความถี่และแรงดันเดียวกับระบบจำหน่าย โดยสัญลักษณ์ในไดอะแกรมวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.45 ไดอะแกรมวงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์

(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

การเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายหลักโดยตรงหรือระบบจำหน่ายของอาคารมีความแตกต่างคือ การเชื่อมต่อโดยตรงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกป้อนเข้าสู่ระบบจำหน่ายโดยตรง แต่หากเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของอาคาร กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกนำไปใช้กับภาระของอาคารก่อน ส่วนที่เหลือเกินจึงจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบจำหน่ายหลัก ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้ สามารถใช้ได้กับทั้งระบบ 1 เฟสและ 3 เฟส ดังรูปที่ 2.46 เพื่อให้ป้อนกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายได้สูงสุดเสมอ อินเวอร์เตอร์ประเภทนี้จึงต้องทำงานที่จุดกำลังสูงสุด (MPP) ของพีวีเอเรย์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศ ดังนั้นตัวติดตามจุดกำลังสูงสุด (MPP Tracker) ภายในอินเวอร์เตอร์จึงต้องปรับจุดกำลังสูงสุดให้เหมาะสมกับค่าแรงดันและกระแสของพีวีเอเรย์ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งทำหน้าที่เป็น MPP Tracker จึงมีความจำเป็นต่ออินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.46 การเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายแบบสามเฟสกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

ในปัจจุบัน อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย สามารถใช้งานตามหน้าที่ดังนี้

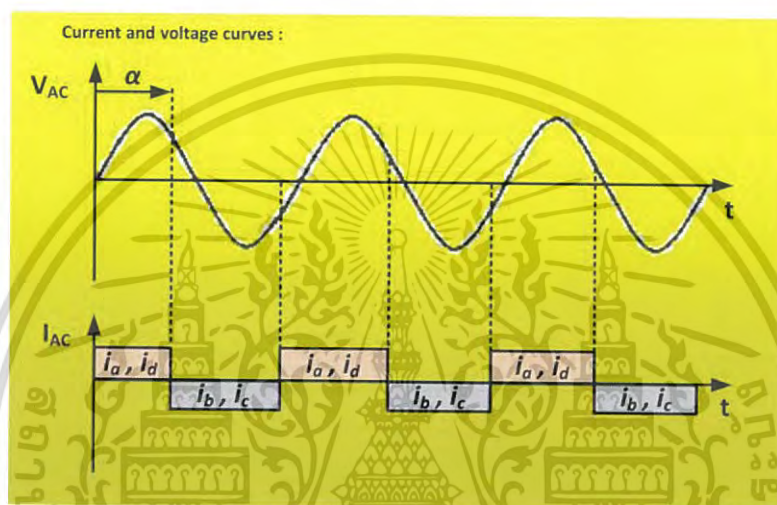
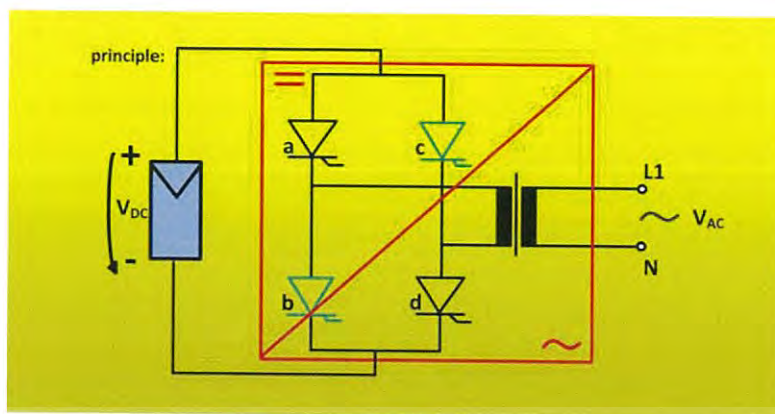
- แปลงพลังงานไฟตรงที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์หรือฟิวเจอร์เป็นพลังงานไฟสลับเข้าสู่ระบบจำหน่าย
- ปรับการทำงานของอินเวอร์เตอร์ให้ทำงานที่จุดกำลังสูงสุดของฟิวเจอร์
- สามารถบันทึกข้อมูลการทำงานของอินเวอร์เตอร์ได้
- มีฟังก์ชันป้องกันทั้งด้านไฟฟ้ากระแสตรง และไฟฟ้ากระแสสลับ

ในปัจจุบันอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายมีผู้ผลิตในหลายประเทศ ทั้งพิกัดเล็กไม่เกิน 10 กิโลวัตต์ และพิกัดขนาดใหญ่มากกว่า 10 กิโลวัตต์ หลักการทำงานแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ grid-controlled และ self-commutated inverter

2.3.3.3 อินเวอร์เตอร์แบบ Grid-controlled

ส่วนประกอบพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์ลักษณะนี้คือ วงจรบริดจ์ของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเช่นเดียวกับอินเวอร์เตอร์ทั่วไป ดังรูปที่ 2.47 อุปกรณ์สวิตซ์ที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ Thyristor และ IGBT อินเวอร์เตอร์แบบนี้จะใช้แรงดันของระบบจำหน่ายในการควบคุมการสวิตซ์เปิดและปิดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังแต่ละคู่ของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งในวงจรบริดจ์ โดยทำงานที่ความถี่ 50 เฮิร์ต ดังนั้นจึงเรียกอินเวอร์เตอร์ลักษณะนี้ว่า grid-controlled

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.47 หลักการของอินเวอร์เตอร์แบบ grid-controlled (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

หากระบบจำหน่ายไม่มีแรงดัน อินเวอร์เตอร์จะหยุดทำงานและเป็นเหตุผลที่อินเวอร์เตอร์แบบอิสระจึงไม่สามารถใช้งานแทนอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อบริการจำหน่ายได้ บางครั้งอาจจะเรียกอินเวอร์เตอร์ลักษณะนี้ว่า square-wave inverter เนื่องจากกระแสเอาต์พุตมีลักษณะเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (square wave) ซึ่งทำให้เกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ค่อนข้างสูงและต้องรับกำลังรีแอกตีฟจากระบบจำหน่ายปริมาณมากด้วย นอกจากนี้ยังต้องใช้หม้อแปลง 50 เฮิร์ต เพื่อแยกโดด (isolate) ออกจากระบบจำหน่าย การควบคุมการสวิตช์ในปัจจุบันจะใช้ผ่านอุปกรณ์ microprocessor เพื่อหน่วงมุม (delay angle control) สัญญาณการสวิตช์สำหรับการใช้งาน MPP Tracking

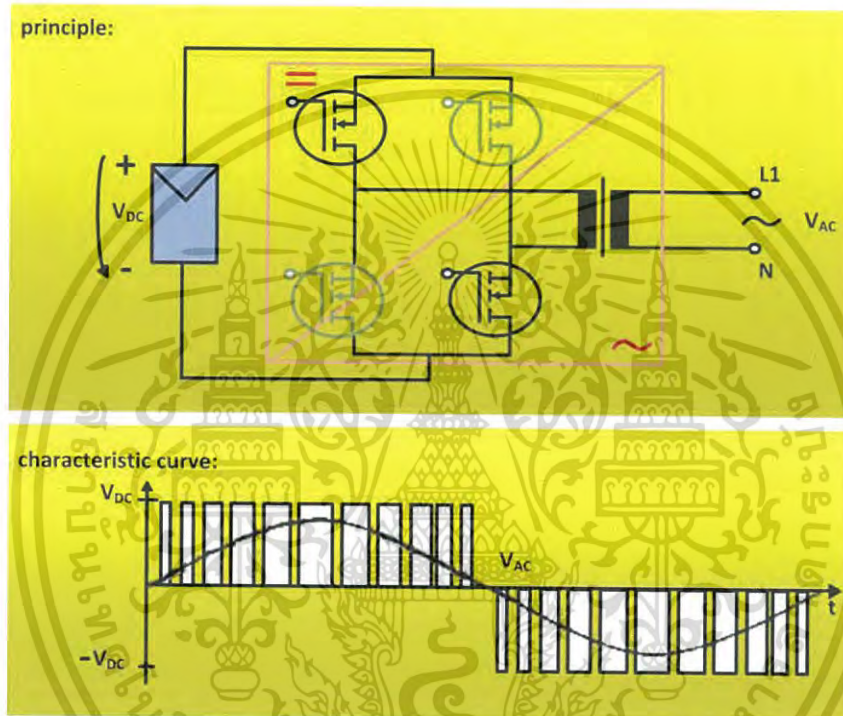
2.3.3.4 อินเวอร์เตอร์แบบ Self-commutated

ส่วนประกอบพื้นฐานเป็นวงจรถัดกันเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 2.48 แต่อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งในวงจรที่เลือกใช้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของระบบและระดับแรงดันระบบด้านไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถเลือกใช้อุปกรณ์ได้แก่ MOSFETs Bipolar transistor GTO และ IGBT อุปกรณ์เหล่านี้ใช้หลักการควบคุมแบบ pulse width modulation ซึ่งทำให้ได้สัญญาณรูปคลื่นซายน์ที่ดีกว่าการสวิตช์ที่ความถี่สูงประมาณ 10 - 100 กิโลเฮิร์ต ทำให้ช่วงการสวิตช์ (duration) และรูปของสัญญาณใกล้เคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นชายน์ เมื่อผ่านวงจรกรอง low pass filter แล้วทำให้กำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนเข้าสู่ระบบ มีลักษณะเช่นเดียวกับระบบจำหน่าย

ดังนั้นองค์ประกอบฮาร์โมนิกจะปรากฏเพียงอันดับต่ำเท่านั้น และกำลังรีแอกทีฟสำหรับ commutation ก็ยังต่ำด้วย อย่างไรก็ตาม การสวิตช์ด้วยความถี่สูงจะทำให้เกิด high-frequency interference หรือรู้จักดีว่าเป็นปัญหาของ electromagnetic compatibility (EMC) ซึ่งต้องการอุปกรณ์ป้องกันวงจรที่เหมาะสม โดยทั่วไปแล้วอินเวอร์เตอร์แบบนี้เหมาะสำหรับเป็นอินเวอร์เตอร์แบบอิสระ หากนำมาใช้กับอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ต้องคำนึงถึงความถี่ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ระบบจำหน่ายจะต้องซิงโครไนซ์กับความถี่ของระบบจำหน่าย



รูปที่ 2.48 หลักการของอินเวอร์เตอร์แบบ self-commutated inverter (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

อินเวอร์เตอร์แบบ self-commutated และอินเวอร์เตอร์แบบ grid-controlled ประกอบด้วยหม้อแปลงความถี่ต่ำ 50 เฮิร์ต เป็นอุปกรณ์สำหรับจับคู่แรงดันเข้ากับแรงดันของระบบและแยกโดดส่วนไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับออกจากกัน ในรูปที่ 2.49 เป็นอินเวอร์เตอร์แบบ self-commutated with low-frequency (LF) transformer ประกอบด้วยวงจรต่างๆ ดังนี้ (1) Step down converter (2) Full bridge circuit (3) Grid transformer (4) Maximum power point tracker (MPPT) และ (5) Monitoring circuit with ENS และ grid monitoring

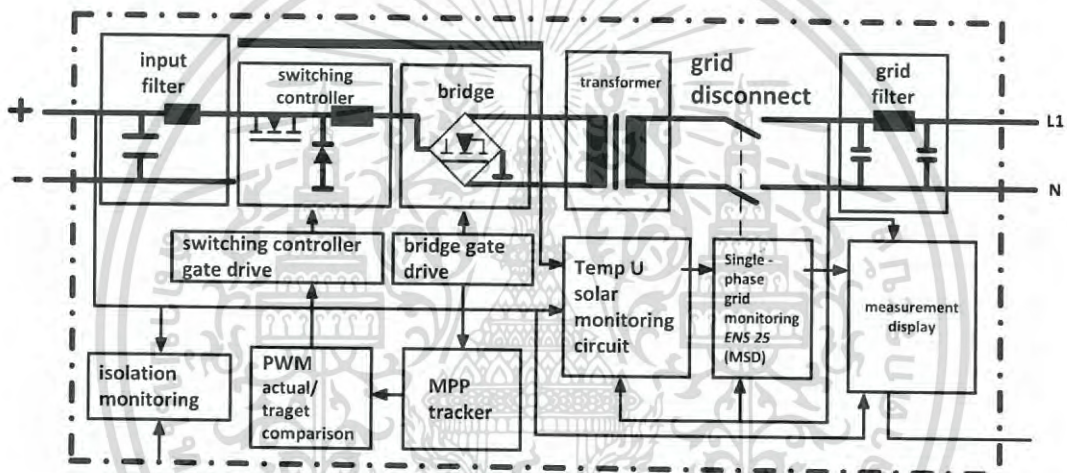
ข้อดีของการแยกโดดทางไฟฟ้าด้วยหม้อแปลงทำให้สามารถออกแบบระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับความปลอดภัยด้านแรงดันต่ำมากได้ นอกจากนี้ยังป้องกัน potential equalization, lightning protection, surge protection, grounding, electromagnetic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

interference อย่างไรก็ตามการใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำจะทำให้เกิดกำลังสูญเสียในหม้อแปลง ดังนั้นขนาดของอินเวอร์เตอร์จึงใหญ่ขึ้นตามขนาดหม้อแปลง จึงทำให้ราคาของอุปกรณ์เพิ่มขึ้นด้วย

กรณีของหม้อแปลงความถี่สูง หมายถึงหม้อแปลงซึ่งทำงานที่ความถี่ระดับ 10 - 50 กิโลเฮิร์ต หากเปรียบเทียบกับหม้อแปลงความถี่ต่ำจะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ขนาดและราคาต่ำกว่า อย่างไรก็ตามจะทำให้วงจรของอินเวอร์เตอร์มีความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น

กำลังไฟฟ้าสูญเสียของอินเวอร์เตอร์สามารถลดได้โดยไม่ต้องใช้หม้อแปลง ยังเป็นการลดทั้งขนาด น้ำหนักและราคาด้วย โดยทั่วไปแรงดันระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องสูงกว่า crest value ของแรงดันด้านระบบจำหน่าย หรือใช้ step-up dc to dc converter เพื่อเพิ่มแรงดัน เมื่อเพิ่มวงจร dc to dc converter ทำให้เกิดกำลังสูญเสียในอินเวอร์เตอร์มากขึ้น ซึ่งส่วนหนึ่งสามารถลดได้โดยไม่ต้องใช้หม้อแปลง



รูปที่ 2.49 ส่วนประกอบวงจรของอินเวอร์เตอร์ที่มีหม้อแปลงความถี่ต่ำ (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

สิ่งที่สำคัญของอินเวอร์เตอร์แบบไม่มีหม้อแปลง คือไม่มีการแยกโดดทางไฟฟ้าระหว่างวงจรกำลังด้านไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ดังนั้นจึงต้องการระดับความปลอดภัยของอุปกรณ์สูงขึ้น ด้วยทั่วไปมาตรฐานการติดตั้งและเชื่อมต่อระบบจำหน่ายต้องการการแยกวงจรด้านไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับออกจากกัน ซึ่งหากไม่มีต้องมีอุปกรณ์ป้องกัน universal current sensitivity (DIN VDE 0126) เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยา (reaction) ของอุปกรณ์ต่อ fault ทั้งด้านไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ซึ่งอุปกรณ์นี้อาจรวมอยู่ในส่วนวงจร ENS/MSD

ข้อควรระวังคือ อินเวอร์เตอร์ลักษณะนี้จะมีค่าความจุของกระแสปล่อยประจุ (capacitive discharge current) มากกว่า 30 มิลลิแอมแปร์ ระหว่างการทำงานปกติ ซึ่งสามารถไหลลงดินผ่านแผงเซลล์ ทำให้อุปกรณ์ป้องกันไฟรั่ว (residual current device, RCD) ซึ่งตัดการทำงานที่ 30 มิลลิแอมแปร์ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ การไม่แยกโดดทางไฟฟ้าจะทำให้ผลของ couple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electromagnetic interference pulse (electro-smog) ในแผงเซลล์เกิดได้ง่าย หมายความว่า อินเวอร์เตอร์ลักษณะนี้จะมีผลกระทบต่อด้านแม่เหล็กไฟฟ้าต่อสิ่งแวดล้อมสูงมาก

2.3.3.5 ลักษณะและสมบัติของอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อบรรณจําหนาย

ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (Conversion Efficiency)

เป็นพารามิเตอร์บอกรถึงการสูญเสียซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วยการสูญเสียเนื่องจากหม้อแปลง อุปกรณ์สวิตชิงและการจัดการด้านการใช้กำลังงานของอินเวอร์เตอร์และอื่นๆ ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.8 คือ

$$\eta_{con} = P_{AC} \text{ Input real power (of fundamental component)} / P_{DC} \text{ Input real power} \quad (2.8)$$

ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานขึ้นอยู่กับกำลังอินพุตและแรงดันอินพุตของอินเวอร์เตอร์ (ซึ่งมีค่าน้อย อาจไม่ต้องนำมาคิดผลก็ได้) การคิดผลจากแรงดันอินพุตต่อประสิทธิภาพอยู่บนฐานของการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในสภาวะจริงซึ่งสภาพอากาศ (อุณหภูมิและความเข้มแสงอาทิตย์) มีผลต่อการทำงานของแผงเซลล์

ประสิทธิภาพการติดตาม (Tracking Efficiency)

จากที่ได้กล่าวแล้วว่าอินเวอร์เตอร์ในปัจจุบันต้องมีฟังก์ชันการติดตามหาจุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์ ซึ่งการทำงานในหนึ่งวันของแผงเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิ ซึ่งจะเปลี่ยนจุดกำลังสูงสุดของแผง อินเวอร์เตอร์จึงต้องปรับและติดตามจุดกำลังสูงสุดโดยอัตโนมัติ คุณภาพของอินเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนแปลงไปตามจุดการทำงานที่เหมาะสมซึ่งอธิบายโดยประสิทธิภาพการติดตาม ดังสมการที่ 2.9

$$\eta_{CON} = P_{DC} \text{ instantaneous input real power} / P_{PV} \text{ maximum instantaneous PV array power} \quad (2.9)$$

การเปลี่ยนแปลง (fluctuation) ของจุดการทำงานเกิดจากการเชื่อมโยงระหว่าง grid voltage frequency ในด้านไฟฟ้ากระแสตรง และควมมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ผลกระทบของการขึ้นลงนี้จะชัดเจนในอินเวอร์เตอร์แบบไม่มีหม้อแปลง

ความเร็วในการเปลี่ยนแปลงของระบบ MPP Tracking จะส่งผลต่อค่าสูงสุดของความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาสั้นๆ เช่น ขณะเกิดเมฆเคลื่อนตัวผ่านอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ค่าสูงสุดของกำลังที่สูงมากกว่า 1000 วัตต์/ ตารางเมตร จะถูก cut off โดยซีดจำกัดกำลังของอินเวอร์เตอร์

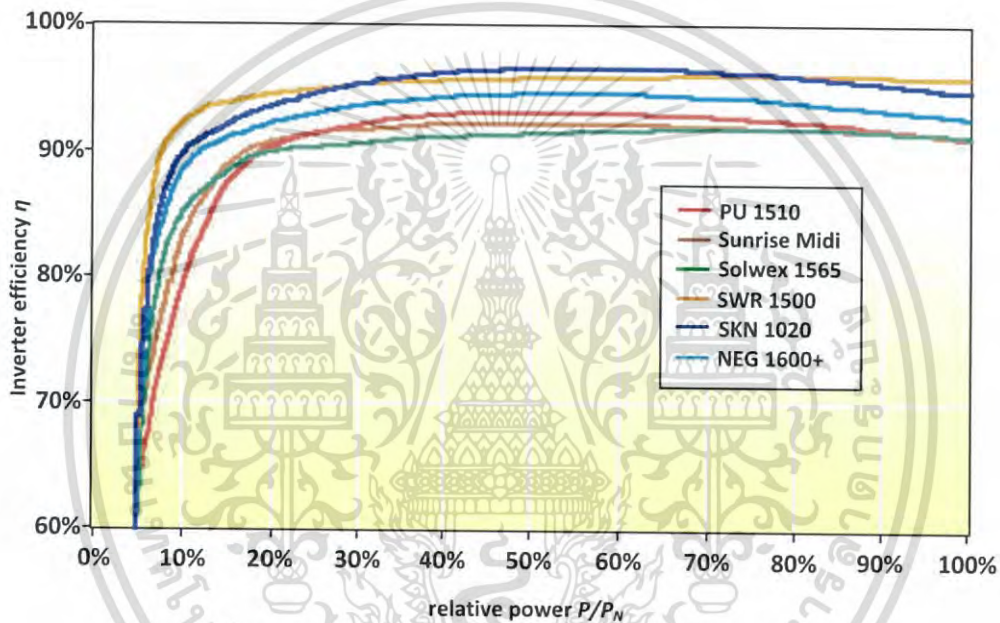
ประสิทธิภาพสถิติก (Static Efficiency)

ประสิทธิภาพสถิติกนี้อยู่ในรูปของผลคูณของประสิทธิภาพการแปลงพลังงานและประสิทธิภาพการติดตาม หรืออาจคำนวณได้จากที่ค่าภาระต่างๆ โดยทั่วไป ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานหมายถึงเมื่ออินเวอร์เตอร์ทำงานตามพิกัดแรงดันและพิกัดกระแสตามทีระบุ (nominal) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น nominal efficiency หรือผู้ผลิตบางรายอาจระบุประสิทธิภาพสูงสุด (maximum efficiency) ด้วย ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดจะอยู่ระหว่างเมื่ออินเวอร์เตอร์ทำงาน 50 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดกำลัง

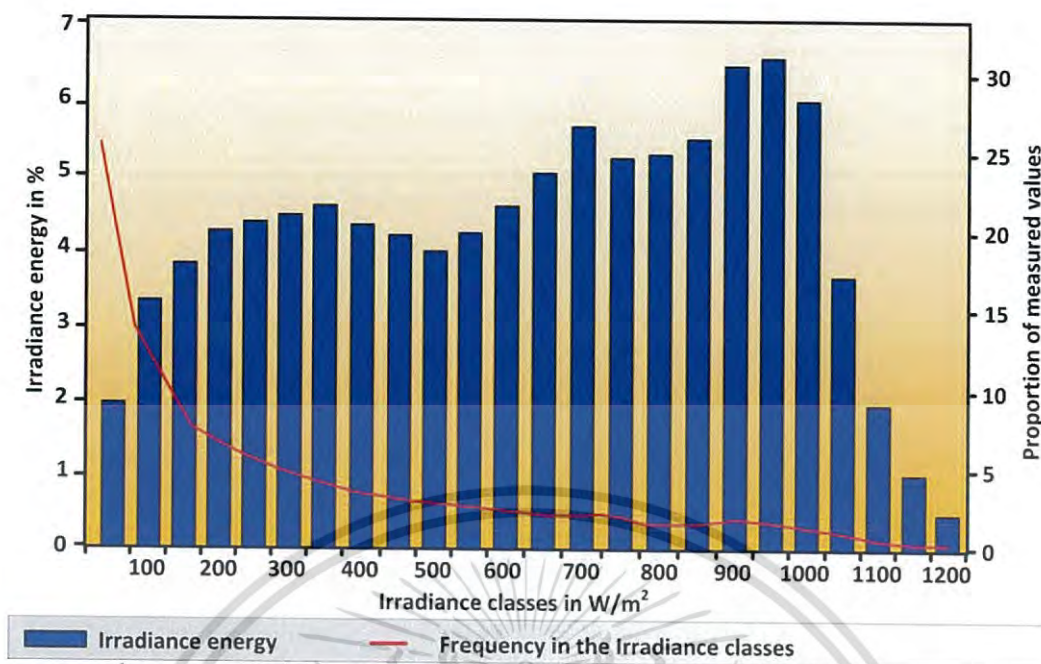
ประสิทธิภาพที่ระบุและประสิทธิภาพสูงสุดจะพิจารณาภายใต้เงื่อนไขของความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิค่าหนึ่งเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอาทิตย์อาจไม่นำมาคิดผลได้ หากอินเวอร์เตอร์ทำงานตามการเปลี่ยนแปลงของภาระและทำงานที่พิกัดเท่านั้น แต่สำหรับการพิจารณาในรูปของ solar yield ตลอดทั้งปีแล้ว ประสิทธิภาพจะแตกต่างกันไปแล้วแต่พิกัดของระบบ ดังนั้น efficiency characteristic curves ดังรูปที่ 2.50 จึงเหมาะสำหรับใช้พิจารณาอินเวอร์เตอร์เมื่อกล่าวถึงที่พิกัด ภายใต้อุณหภูมิแวดล้อมทำงานของอินเวอร์เตอร์และแรงดันอินพุตด้านไฟฟ้า กระแสตรง



รูปที่ 2.50 ตัวอย่าง characteristic curve ของอินเวอร์เตอร์ชนิดต่างๆ (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

ประสิทธิภาพแบบยูโร (Euro Efficiency)

การใช้งานและเปรียบเทียบอินเวอร์เตอร์อย่างง่าย ๆ บนฐานของประสิทธิภาพสามารถใช้วิธีการของมาตรฐานยุโรป (European standard) ในการกำหนดประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นวิธีถ่วงน้ำหนักค่าประสิทธิภาพเมื่อใช้งานในสภาพแวดล้อมของกลุ่มประเทศยุโรป พิจารณาจากรูปที่ 2.51 ซึ่งแสดงความถี่และพลังงานที่ระดับความเข้มแสงอาทิตย์ต่างๆ จากการแผ่รังสีอาทิตย์ตลอดหนึ่งปีในประเทศเยอรมัน



รูปที่ 2.51 ความถี่และพลังงานที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ตลอดหนึ่งปีในประเทศเยอรมัน (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

เนื่องจากความเข้มรังสีอาทิตย์บนแผงเซลล์จะขึ้นลงบ่อยครั้งในระหว่างวัน โดยพิจารณาว่าอินเวอร์เตอร์ทำงานภายใต้ภาระค่าต่างๆ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าเข้าชั่วคราว ถ้าภาระมีค่าน้อยมากเนื่องจากความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง

การรวมผลของสภาวะเมื่อภาระค่าต่างๆ จึงใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพตามมาตรฐานยุโรป ซึ่งดังแสดงในสมการที่ 2.10 โดยแบ่งการคิดประสิทธิภาพออกเป็น 6 ช่วงของค่าเอาต์พุต จะพิจารณาว่า อินเวอร์เตอร์ทำงานที่พิกัดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ของเวลาการทำงานตลอดปีทำงานที่ครึ่งหนึ่งของพิกัดเป็น 48 เปอร์เซ็นต์ของเวลาการทำงาน ส่วนอีก 4 ช่วงจะอธิบายได้ในลักษณะเดียวกัน การประสิทธิภาพตามมาตรฐานยุโรปทำให้เราสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่แตกต่างกันได้ แต่ให้สังเกตว่าค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้อ้างอิงสภาพภูมิอากาศของยุโรปกลาง

$$\eta_{Euro} = 0.03 \times \eta_{5\%} + 0.06 \times \eta_{10\%} + 0.13 \times \eta_{20\%} + 0.1 \times \eta_{30\%} + 0.48 \times \eta_{50\%} + 0.2 \times \eta_{100\%} \quad (2.10)$$

ปัจจุบันอินเวอร์เตอร์จะมีประสิทธิภาพตามมาตรฐานยุโรปอยู่ประมาณ 92-96 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ค่าประสิทธิภาพนี้ปกติจะใช้การคำนวณจากผู้ผลิตที่แรงดันที่ระบุเท่านั้น ซึ่ง MPPT Tracking จะทำงานครอบคลุมช่วงแรงดันกว้างๆ และประสิทธิภาพจะมีค่าขึ้นกับอุณหภูมิแวดล้อมและแรงดันอินพุตด้วย การวัดประสิทธิภาพจึงควรวัดตามมาตรฐาน IEC 61683, Photovoltaic Systems-Power Conditioners – Procedure for Measuring Efficiency ซึ่งกำหนดอุณหภูมิแวดล้อมที่ 25 องศาเซลเซียส และ ± 2 องศาเซลเซียส ที่แรงดันอินพุตต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรงดันขาเข้าต่ำสุด (minimum input voltage)
- แรงดันปกติ (nominal voltage)
- 90 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันขาเข้าสูงสุด (90% of the maximum input voltage)

พฤติกรรมขณะภาระเกิน (Overload Behavior)

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งถูกติดตั้งไม่ถูกทิศทาง (optimum orientation) หรือมีการบังเงา (Partial shading) จึงเป็นไปได้ที่จะลดความสามารถบางอย่างของอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบไว้ จึงต้องพิจารณาพฤติกรรมของอินเวอร์เตอร์เมื่อทำงานเกินพิกัด ถ้าอินเวอร์เตอร์จ่ายกำลังเกินพิกัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องจะทำงานภายใต้ภาระทางความร้อนที่มากขึ้น การจ่ายภาระเกินจะต้องไม่ทำให้อุปกรณ์ภายในเครื่องเกิดความร้อนจนทำให้เกิดความเสียหาย ซึ่งทำได้โดยใช้ power reduction control เมื่ออุณหภูมิของอุปกรณ์ถึงจุดวิกฤต กำลังไฟฟ้าจะถูกลดลงอัตโนมัติโดยเลื่อนจุดการทำงานทำให้อินเวอร์เตอร์ไม่ทำงานที่จุดกำลังสูงสุดหรือใช้การสวิตช์ซึ่งเป็นแบบเปิด-ปิดแทน

การบันทึกข้อมูลการทำงานของอินเวอร์เตอร์

ผู้ผลิตอินเวอร์เตอร์เกือบทุกรายจะผลิตอินเวอร์เตอร์ซึ่งมีฟังก์ชันบันทึกข้อมูลภายในตัวเครื่อง โดยตรงหรืออาจเป็นส่วนเพิ่มของอุปกรณ์ ข้อมูลเหล่านี้สามารถอ่านและแสดงผลบนหน้าจอของเครื่องหรือส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถติดตามและประเมินการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้ ข้อมูลทั่วไปซึ่งจะถูกบันทึกคือ

- ด้านอินพุต ได้แก่ แรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้า
- ด้านเอาต์พุต ได้แก่ แรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้า
- เวลาในการทำงานของอินเวอร์เตอร์
- ปริมาณพลังงานที่ผลิตได้
- สถานะของอินเวอร์เตอร์และความผิดปกติที่เกิดขึ้น

โดยข้อมูลเหล่านี้อาจถูกระบุเป็นรายวัน รายสัปดาห์ รายเดือนและรายปี

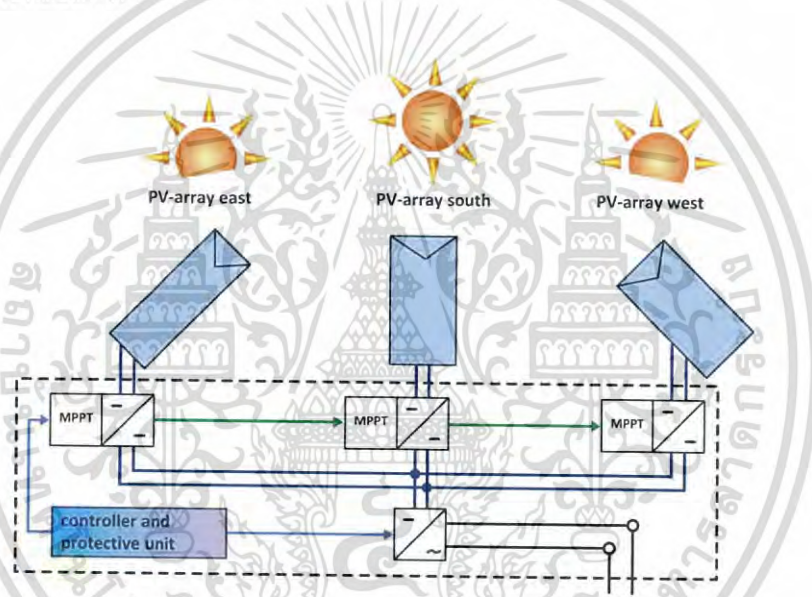
2.3.3.6 แนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อบริเวณจำหน่าย Inverter with multiple MPP tracker (Multi string concept)

แนวคิดทั่วไปสำหรับการใช้ multiple MPP tracker เพื่อลดการสูญเสียของพลังงาน อาจเรียกว่า multi string concept คือระบบถูกออกแบบเพื่อให้แผงเซลล์มีความเข้มแสงอาทิตย์เท่ากัน ถูกเชื่อมต่อวงจรเข้าด้วยกันเรียกว่า สตริง (string) แต่ละสตริงจะมีตัวแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งแยก MPP tracker ของแต่ละสตริง สำหรับการดำเนินงานที่จุดกำลังสูงสุดทำให้แต่ละสตริงมีจุดกำลัง

สูงสุดแตกต่างกัน กำลังไฟฟ้าแต่ละสตริงจะถูกส่งเข้าอินเวอร์เตอร์ผ่านบัส ซึ่งควบคุมแรงดันไฟตรงให้คงที่ด้วยตัวแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสตรง

Inverter with separate MPP tracker (String converter concept)

แนวคิดนี้คือ อินเวอร์เตอร์ถูกแยกจาก MPP tracker ซึ่งเรียกว่า string converter แต่ละสตริงจะมี string converter ดังรูปที่ 2.52 ตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรงของแต่ละสตริงจะจ่ายแรงดันสูงประมาณ 850 โวลต์ ซึ่งส่งจ่ายมายังอินเวอร์เตอร์ด้วยสายเคเบิลทำให้ระบบสามารถขยายสตริงได้ถึง 30,000 สตริง โดยมีอินเวอร์เตอร์เพียงหนึ่งตัว ข้อดีคือ แรงดันไฟตรงจากแต่ละสตริงของแผงสามารถแตกต่างกันได้ ดังนั้นในหนึ่งระบบอาจประกอบด้วยแผงเซลล์หลายๆ ชนิดสามารถกำหนดอุณหภูมิของแผงเซลล์ การจัดวางแผงเซลล์ ทิศทางการติดตั้งและการบังเงาเพื่อลดพลังงานสูญเสียได้ง่าย ซึ่งเหมาะสำหรับระบบขนาดเมกะวัตต์ แต่ข้อควรระวังคือ ต้องมีการป้องกันการเกิดสภาวะการทำงานแบบอิสระของแต่ละสตริง



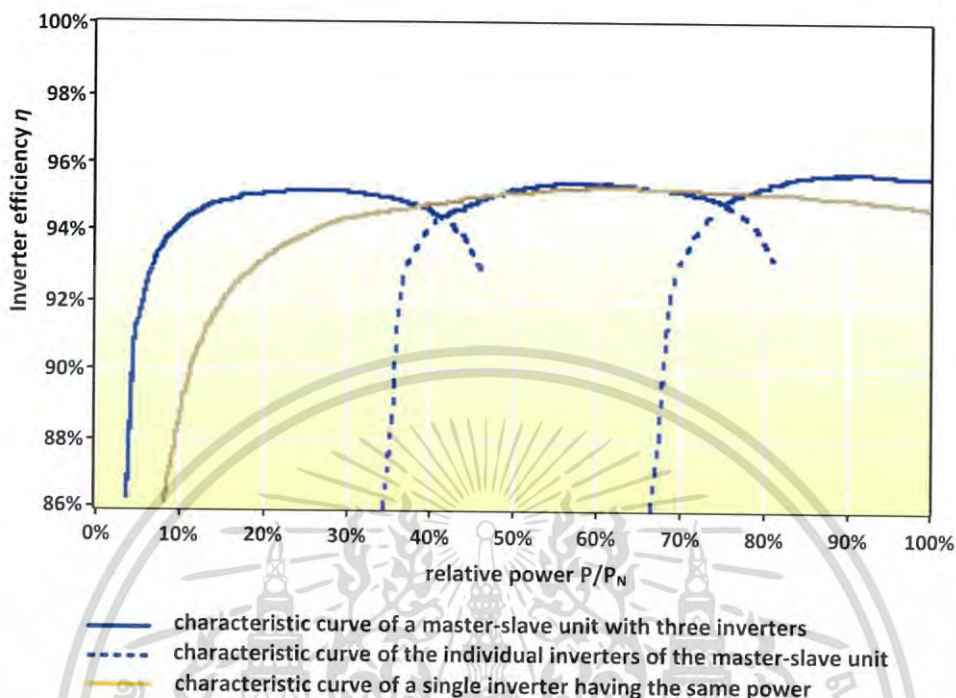
รูปที่ 2.52 รูปแบบแนวคิดของ multi string inverter
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

Master – slave concept in low power ranges

แนวคิดในการลดพลังงานสูญเสียอีกแนวคิดหนึ่ง คือแนวคิด master-slave โดยทั่วไปจะใช้กับอินเวอร์เตอร์ขนาดใหญ่ (20 กิโลวัตต์ขึ้นไป) โดยใช้อินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กหลายตัวทำงานด้วยกันเป็น master-slave เมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำจะมีเฉพาะอินเวอร์เตอร์ master เท่านั้นที่ทำงาน เมื่อพลังงานไฟฟ้าตามความเข้มรังสีอาทิตย์เกินกว่าขีดจำกัดของอินเวอร์เตอร์ master อินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็น slave ตัวแรกจะเริ่มทำงาน เมื่อพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีก อินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็น slave ตัวต่อไปจึงจะทำงาน ทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีที่สุด ดังรูปที่ 2.53 แสดงคุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์ master และ slave แต่ละตัวเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของการใช้งานอินเวอร์เตอร์เพียงตัวเดียว สังเกตว่าเมื่อระบบอินเวอร์เตอร์ master – slave ทำงานที่กำลังต่ำจะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์ขนาดใหญ่ตัวเดียว นอกจากนี้สามารถแยกอินเวอร์เตอร์ master และ slave ออกไปยังระบบแผงเซลล์ย่อยๆ (sub array) หรือสตริงเพื่อให้อินเวอร์เตอร์แต่ละตัวทำงานที่จุดกำลังสูงสุด



รูปที่ 2.53 Efficiency curve ของอินเวอร์เตอร์ master-slave ต่างๆ (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

Three phase concept in low power ranges

ระบบ 3 เฟสเหมาะสมสำหรับอินเวอร์เตอร์ต้องทำงานในช่วงกำลังต่ำ โดยมีข้อดีคือ ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงและยังเป็นการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ระบบ นอกจากนี้ยังสามารถใช้อุปกรณ์ป้องกันในระบบ 3 เฟสเพื่อทดแทนอุปกรณ์ป้องกัน (ENS) ภายในเครื่องได้อีกด้วย

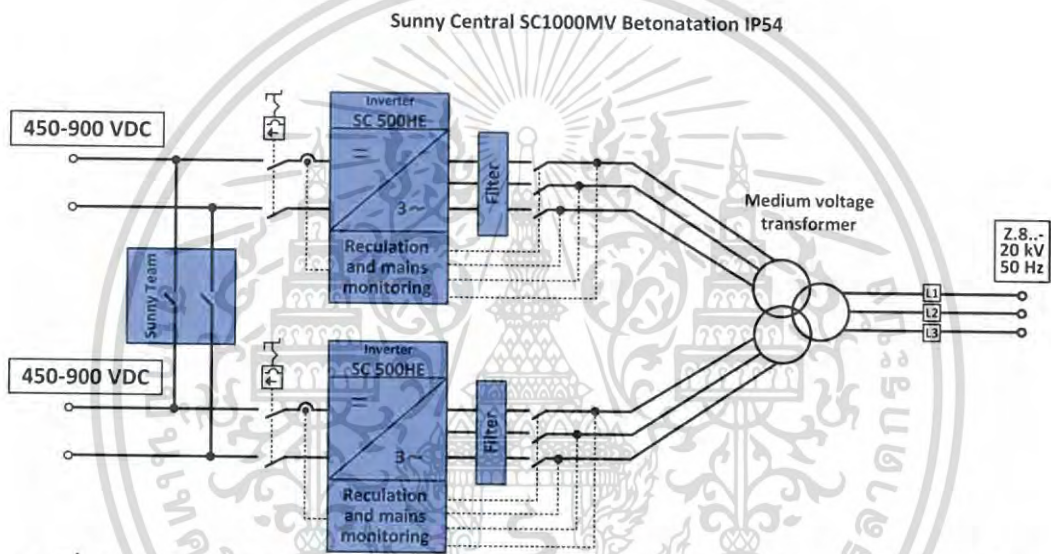
Developments relating to large-scale grid-connected inverters

แนวคิดเดิมคือ ใช้หม้อแปลงเพิ่มแรงดันเอาต์พุตเป็น 400 โวลต์และเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้น แต่เหมาะสำหรับอินเวอร์เตอร์ขนาดใหญ่คือที่พิกัด 500 kVA หรือสูงกว่าด้วยการป้อนเข้าสู่ระบบจำหน่ายแรงดันสูงโดยไม่ใช้หม้อแปลงแรงต่ำ ข้อดีคือ ทำให้การสูญเสียจากหม้อแปลงลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรป้อนเข้าสู่ระบบแรงดันต่ำและช่วยด้านราคาเนื่องจากการใช้หม้อแปลงแรงดันต่ำอีกด้วย อีกแนวคิดหนึ่งคือการใช้อินเวอร์เตอร์ master-slave ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของระบบอินเวอร์เตอร์แบบนี้คือ ทำให้ insulation resistance ของแต่ละระบบแผงเซลล์หรือฟิวเจอร์รี่ มีค่าสูงขึ้น เนื่องแรงดันของระบบแผงเซลล์ที่แยกออกไปจะต่ำกว่าระบบแผงเซลล์ของระบบทั้งหมดระบบเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ยังต้องคำนึงถึงเรื่องของการติดตามการทำงานของระบบอีกด้วยซึ่งรวมถึงอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศ (Weather station) ปัจจุบันการควบคุมและเฝ้าระวังระบบสามารถใช้งานผ่านซอฟต์แวร์แสดงผลและควบคุมได้ง่ายขึ้นและยังสามารถควบคุมระยะไกลผ่านอินเทอร์เน็ตซึ่งสามารถแสดงได้ทั้งค่าการวัด การแจ้งความผิดปกติและควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ตัวอย่างของซอฟต์แวร์แสดงดังรูปที่ 2.54

ผู้ผลิตอินเวอร์เตอร์กำลังให้ความสำคัญกับความสะดวกในการใช้งานอินเวอร์เตอร์มากขึ้น เช่น การใช้งานอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กในระบบหลายๆ ตัว ซึ่งเชื่อมโยงถึงกันได้โดยใช้เพียงสายเคเบิลเชื่อมต่อแต่ละโมดูลเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มกำลังเอาต์พุต หรือใช้วิธีการเพิ่มโมดูลสำหรับการเก็บข้อมูล ใช้งานอินเวอร์เตอร์ การแสดงผลรวมถึงฟังก์ชันการป้องกันอุปกรณ์ตามความต้องการของผู้ใช้งาน



รูปที่ 2.54 โดอะแกรมวงจรของอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อบริเวณขนาดใหญ่แบบป้อนแรงดันระดับกลางโดยตรง (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

ผู้ผลิตบางรายอาจเพิ่มระบบการวัดกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V curve) เข้าไว้ในอินเวอร์เตอร์ซึ่งสามารถวัดและส่งผลไปยังคอมพิวเตอร์ การวัดลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของระบบมีประโยชน์ในการชี้บ่งความผิดปกติที่เกิดขึ้นในการติดตั้ง เช่น การต่อกลับขั้ว ความเสียหายของเซลล์แสงอาทิตย์ในแผงเซลล์ การเชื่อมต่อสายเคเบิล เป็นต้น ทำให้การตรวจสอบระบบทำได้ง่ายขึ้นในด้านความคงทนในการใช้งานอินเวอร์เตอร์กลางแจ้ง ผู้ผลิตอาจใช้ active cooling system ให้ทำงานเฉพาะขณะที่จำเป็นเท่านั้น มาตรฐานและข้อกำหนดในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์กำหนดให้ใช้เมนส์ dc circuit breaker หรือ disconnector/isolator switch เป็นอุปกรณ์ที่ต้องติดตั้งระหว่างแผงเซลล์และอินเวอร์เตอร์ ซึ่งผู้ผลิตอาจมี electronic dc disconnector/isolator switch มาให้พร้อมอินเวอร์เตอร์แทนที่จะต้องใช้ circuit breaker เพื่อป้องกันการลัดวงจรด้านไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ลักษณะของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกออกแบบเพื่อให้การจ่ายประจุมีค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่อย่างต่อเนื่อง มีความแตกต่างจากแบตเตอรี่สำหรับการสตาร์ทเครื่องยนต์ซึ่งได้รับการออกแบบให้จ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากๆ ในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ ส่วนการแบ่งแบตเตอรี่โดยทั่วไปแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ แบบปฐมภูมิ (Primary Battery) และแบบทุติยภูมิ (Secondary Battery) โดยแบตเตอรี่ปฐมภูมิ หมายถึง แบตเตอรี่ที่ใช้งานได้เพียงครั้งเดียวแล้วจะต้องทิ้งไป เนื่องจากไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีแบบย้อนกลับใหม่ได้ ส่วนแบตเตอรี่ทุติยภูมิ คือแบตเตอรี่ที่สามารถทำการเก็บประจุไฟใหม่และนำกลับมาใช้งานได้ อีก หรือกล่าวคือสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีแบบย้อนกลับได้ ตัวอย่างเช่น ตะกั่ว-กรด นิเกิล-แคดเมียม นิเกิล-เหล็ก นิเกิล-ไฮไดรด์และลิเทียมแบตเตอรี่ เป็นต้น

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์นิยมใช้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียมใช้กับอุปกรณ์ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ เป็นต้น สำหรับแบตเตอรี่นิเกิล-เหล็กไม่นำมาใช้ เนื่องจากการคายประจุโดยตัวเองมีค่าสูง ส่วนแบตเตอรี่นิเกิล-ไฮไดรด์ราคาค่อนข้างสูงเมื่อคิดราคาต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมงเทียบกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด อย่างไรก็ตามค่าความจุของแบตเตอรี่นี้มีช่วงให้เลือกใช้งานได้ระดับหลายร้อยจนถึงพันแอมแปร์-ชั่วโมง และต้องการระบบป้องกันในวงจรการประจุจึงเหมาะสมกับการใช้งานในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่

แสดงส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ดังนี้



รูปที่ 2.55 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

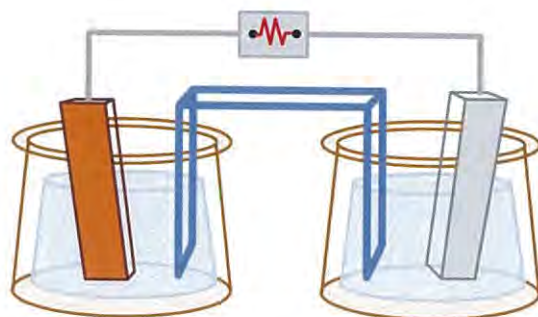
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เปลือกและฝาแบตเตอรี่ เพื่อใช้บรรจุกลุ่มแผ่นธาตุบวกและลบ โดยทั่วไปทำจากยางแข็ง หรือพลาสติกทนทานกรดกำมะถัน ซึ่งในรูปเป็นแบตเตอรี่ชนิด 12 โวลต์ แบ่งเป็น 6 ช่อง
2. กลุ่มแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ เป็นโครงตะกั่วผสมระหว่างตะกั่วกับพลวง หรือ ตะกั่วกับแคลเซียมแล้วฉาบอัดด้วยผงตะกั่วบริสุทธิ์ผสมสารเคมี แผ่นธาตุบวกมีเนื้อแผ่นสีน้ำตาล แผ่นธาตุลบมีเนื้อแผ่นสีเทา ซึ่งจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำกรดแล้วเกิดกระแสไฟฟ้า
3. แผ่นกั้น ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุบวกและลบสัมผัสกัน แผ่นกั้นอาจทำจากแผ่นยางพรม แผ่นพลาสติกที่มีรูพรุนเล็กๆ หรือแผ่นกระดาษสังเคราะห์ ช่วยให้เกิดการทำปฏิกิริยาทางเคมีได้อย่างดีระหว่างแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบเมื่อมีน้ำกรด
4. น้ำกรดผสมหรือน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ เป็นส่วนผสมระหว่างน้ำกลั่นและน้ำกรดกำมะถันชนิดเข้มข้น ทำให้เจือจาง โดยประเทศในเขตร้อนใช้น้ำกรดผสมที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.240-1.260 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
5. ฝาจุกแบตเตอรี่ ทำหน้าที่รักษาและมิให้น้ำกรดผสมออกจากช่องเซลล์แบตเตอรี่พร้อมระบายก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี จึงควรป้องกันและรักษาความสะอาดมิให้เกิดการอุดตัน

ความแตกต่างของโครงสร้างที่สำคัญระหว่างแบตเตอรี่แบบ Deep cycle lead-acid ซึ่งเหมาะสมใช้งานในระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดทั่วไป คือแผ่นตะกั่วของแบตเตอรี่แบบแรกเป็นของแข็งทึบ แต่ในแบตเตอรี่อีกแบบหนึ่งเป็นแบบของแข็งมีรูพรุนเหมือนฟองน้ำ ทั้งนี้อาจพบแบตเตอรี่แสดงไว้ที่ฉลากเป็น Deep cycle lead-acid แต่ภายในไม่ใช่แผ่นตะกั่วแบบของแข็งทึบ จึงอาจเรียกแบตเตอรี่นี้เป็นแบบผสมผสาน (hybrid battery) อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่แบบ Deep cycle lead-acid ถูกออกแบบให้สามารถจ่ายกระแสไฟได้ถึง 20 % ของค่าความจุ และสามารถทำการประจุได้หลายพันรอบ ทั้งนี้ หลายๆ บริษัทได้แนะนำว่า แบตเตอรี่แบบผสมผสานจะไม่สามารถจ่ายประจุได้ถึง 50 % ของค่าความจุ

การทำงานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่หรือเซลล์โวลตาอิก (Voltaic Cell) แสดงด้วยสองครึ่งเซลล์ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยสะพานเกลือเพื่อเป็นตัวกั้นระหว่างแต่ละเซลล์และยินยอมให้ส่งผ่านไอออนได้เท่านั้นแต่ไม่ยินยอมให้โมเลกุลของน้ำผ่านในรูปที่ 2.56 แสดงส่วนประกอบในเซลล์โวลตาอิก



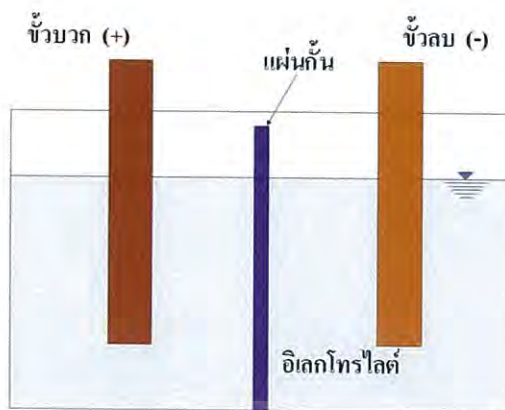
รูปที่ 2.56 ส่วนประกอบของเซลล์โวลตาอิก
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

แบตเตอรี่เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แบตเตอรี่ประกอบด้วยหนึ่งเซลล์โวลตาอิกหรือมากกว่าหนึ่งเซลล์ โดยแต่ละเซลล์โวลตาอิกประกอบด้วยสองครึ่งเซลล์ เป็นการต่อแบบขั้วบวกต่อกับขั้วลบเรียงเข้าเช่นนี้ไปตามลำดับ หรือเรียกว่าการต่ออนุกรม ทั้งนี้หนึ่งครึ่งเซลล์จะรวมถึงสารอิเล็กโทรไลต์และอิเล็กโทรดที่ส่งผ่านประจุลบเรียกว่า แอโนด ส่วนอีกครึ่งเซลล์โดยรวมสารอิเล็กโทรไลต์และอิเล็กโทรดที่ส่งผ่านประจุบวกคาโทด

ในปฏิกิริยารีดอกซ์ผลิตกำลังไฟฟ้านั้น จะประกอบด้วย ปฏิกิริยารีดักชันเป็นการเพิ่มอิเล็กตรอนและเกิดขึ้นในด้านคาโทด ขณะที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นการดึงอิเล็กตรอนเกิดขึ้นในด้านแอโนด ทั้งนี้อิเล็กโทรดจะไม่สัมผัสกันโดยตรงแต่จะเกิดเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าโดยอาศัยสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลว นอกจากนี้ยังอาจพบว่ากรณีแบตเตอรี่ที่มีหลายเซลล์จะใช้ครึ่งเซลล์ซึ่งมีสารอิเล็กโทรไลต์แตกต่างกันในแต่ละเซลล์และถูกปิดผนึกไว้ในบรรจุภัณฑ์

แต่ละครึ่งเซลล์จะมีแรงขับเคลื่อนทางไฟฟ้า (Electromotive force, emf) หรืออีเอ็มเอฟ จากค่านี้จะทราบความสามารถในการเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าจากภายในสู่ภายนอกเซลล์ ค่าอีเอ็มเอฟสุทธิของแบตเตอรี่ คือค่าความแตกต่างระหว่างอีเอ็มเอฟของแต่ละครึ่งเซลล์ทั้งหมด หรืออาจกล่าวได้ว่า ค่าอีเอ็มเอฟสุทธิ คือความแตกต่างระหว่างศักย์ของปฏิกิริยารีดักชันของแต่ละครึ่งเซลล์

แรงขับเคลื่อนทางไฟฟ้าหรือการเคลื่อนข้ามระหว่างขั้วของแบตเตอรี่เป็นค่าแรงดันที่ทราบได้จากการวัด โดยมีหน่วยเป็นโวลต์ แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่เป็นการอัดประจุหรือการคายประจุจะเท่ากับค่าอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่ ทั้งนี้แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ขณะจ่ายประจุจะมีค่าน้อยกว่าหากเทียบกับขนาดของแรงดันที่ขั้วขณะอัดประจุ เนื่องมาจากค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.57 เซลล์ไฟฟ้าพื้นฐาน
(ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

แบตเตอรี่อย่างง่ายประกอบด้วย 4 ส่วน ดังรูปที่ 2.57 ได้แก่ (1) ขั้วบวก (Positive Electrode) (2) ขั้วลบ (Negative Electrode) (3) อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) (4) แผ่นกั้น (Separator) โดยที่ขั้วบวกเป็นส่วนที่สูญเสียอิเล็กตรอน เนื่องจากการทำปฏิกิริยาทางเคมี ส่วนขั้วลบเป็นตัวรับอิเล็กตรอน สำหรับอิเล็กโทรไลต์จะเป็นตัวกลางให้ประจุไหลระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ และตัวกั้นเซลล์จะทำหน้าที่แยกทางไฟฟ้าในส่วน of ขั้วบวกและขั้วลบออกจากกัน

แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะถูกกำหนดโดยวัสดุที่ใช้สร้าง ซึ่งปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นแต่ละขั้วอิเล็กโทรดจะให้ค่าศักย์ทางไฟฟ้าค่าหนึ่ง เช่น ตะกั่ว-กรด ที่ขั้วบวกจะให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ (-) 1.685 โวลต์ ส่วนที่ขั้วลบจะให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ (+) 0.365 โวลต์ จากศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองทำให้ได้ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 2.05 โวลต์ ซึ่งค่าแรงดันทางไฟฟ้านี้จะเป็นศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

การเชื่อมต่อทางไฟฟ้าของเซลล์หลายเซลล์ภายในแบตเตอรี่ โดยให้ขั้วบวกของเซลล์หนึ่งต่อกับขั้วลบของเซลล์ถัดไป และต่อกันเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้เท่ากับผลรวมของแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเซลล์รวมกัน เรียกการต่อแบบนี้ว่า “การต่อแบบอนุกรมหรือการต่อแบบอันดับ” ส่วนวิธีการเพิ่มความจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่นั้น จะต้องต่อให้ขั้วบวกของทุกเซลล์เข้าด้วยกัน และขั้วลบของทุกเซลล์เข้าด้วยกัน เรียกการต่อแบบนี้ว่า “การต่อแบบขนาน”

นอกจากศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากแต่ละขั้วอิเล็กโทรดแล้ว ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ภายในแบตเตอรี่ก็มีผลต่อค่าแรงดันไฟฟ้าที่จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เพียงเล็กน้อย ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าโดยทั่วไปจากแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะประมาณ 2.15 โวลต์ สำหรับเซลล์นิเกิล-แคดเมียมให้แรงดันไฟฟ้าประมาณ 1.2 โวลต์ ส่วนเซลล์ลิเทียมให้แรงดันไฟฟ้าสูงถึง 4 โวลต์

2.3.5 ลักษณะเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระโดยทั่วไปประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่ และโหลดนั้น ซึ่งแรงดันไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 12 โวลต์, 24 โวลต์ และ 48 โวลต์ ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ถึง 14.4 โวลต์ หากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดผลึกซิลิกอนจำนวน 36 ถึง 40 เซลล์ มีแรงดันใช้งานได้ 15 ถึง 18 โวลต์ (ขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศ) ข้อจำกัดทางเทคนิคที่กำหนดให้แรงดันใช้งานต้องมากกว่าแรงดันการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ แม้ว่าอุณหภูมิจะสูงขึ้น ซึ่งในกรณีนี้จะเห็นว่าแรงดันใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงพอต่อการประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ แม้เกิดการสูญเสียแรงดันไฟฟ้าในสายไฟฟ้าและไดโอด (โดยทั่วไปไม่เกิน 2 %)



รูปที่ 2.58 ตัวอย่างเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าที่มีทั่วไป (ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าทำหน้าที่ประจุไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงในแบตเตอรี่และควบคุมไม่ให้ประจุไฟฟ้าเกิน (overcharging) หลักการทำงานของเครื่อง คือ ตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่ เพื่อกำหนดสถานะการประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่มีประจุอยู่เต็มแรงดันไฟฟ้าจะสูงขึ้น เช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าจะตัดการประจุเมื่อแรงดันสูงถึง 14.4 โวลต์และจะประจุไฟฟ้าใหม่อีกครั้งเมื่อแรงดันไฟฟาลดลงเหลือ 13.4 โวลต์ และทำหน้าที่เบี่ยงเบนไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อแรงดันไฟฟ้ามากเกินไป หรือต่ำกว่าแบตเตอรี่จะรับได้ ส่วนการป้องกันการจ่ายไฟฟ้าย้อนกลับจากแบตเตอรี่ไปยังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีไดโอด

ป้องกันกระแสไหลย้อน ซึ่งปกติจะมีรวมอยู่ในเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า ตัวอย่างเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.58

สรุปหน้าที่ของเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ควบคุมให้มีการประจุไฟฟ้าที่เหมาะสม
- ป้องกันการคายประจย้อนกลับ
- ป้องกันการประจุไฟฟ้าเกินกว่าแบตเตอรี่จะรับได้
- แสดงสถานะของแบตเตอรี่ (บางรุ่น)
- ป้องกันการคายประจุเกิน

เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้ามีอยู่ทั่วไปแบ่งได้ 4 แบบ คือ การประจุแบบอนุกรม (Series controllers) การประจุแบบขนาน (Shunt controllers/parallel controllers) การประจุแบบป้องกันการคายประจุเกิน (Deep discharge protection) และการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด (MPPT charge controllers)

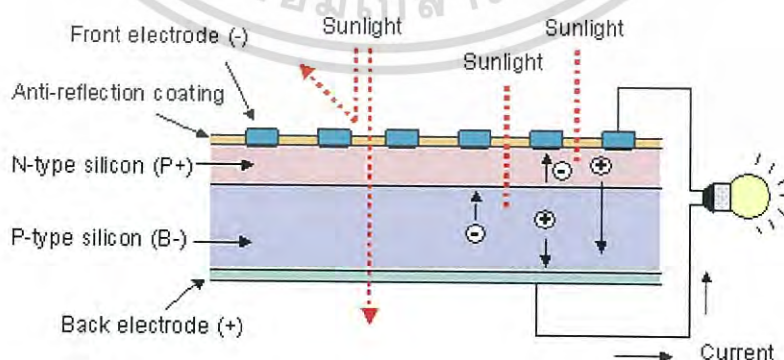
2.3.6 ระบบป้องกันฟ้าผ่า

ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่เกิดกับอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อฟ้าผ่า หรือเกิดการเหนี่ยวนำทำให้ความต่างศักย์สูง ในระบบทั่วไปมักไม่ใช้อุปกรณ์นี้ จะใช้สำหรับระบบขนาดใหญ่และมีความสำคัญเท่านั้น รวมถึงต้องมีระบบสายดินที่มีประสิทธิภาพด้วย

2.4 หลักการทำงาน และการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

2.4.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

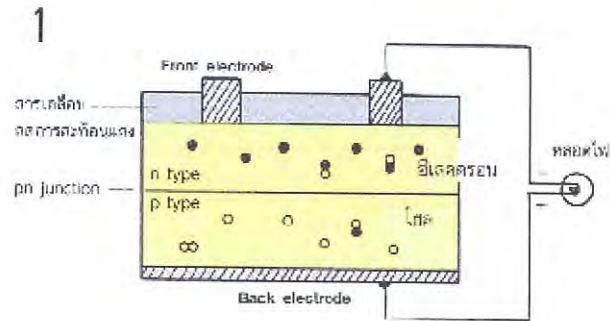
การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าง่ายๆ ดังกล่าวไปใช้งานได้ตามรูปที่ 2.59



รูปที่ 2.59 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

(ที่มา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, <http://www.3.egat.co.th>)

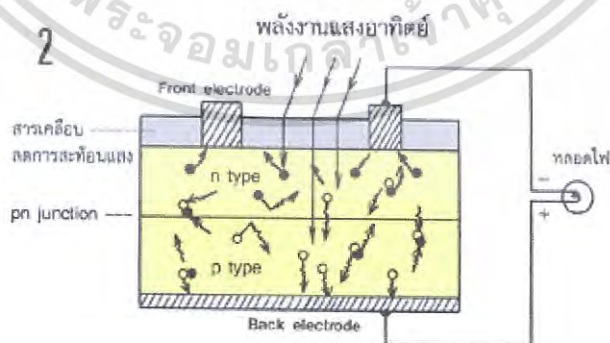
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.60 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 1
(ที่มา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, <http://www3.egat.co.th>)

n - type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้การโด๊ปกับด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์

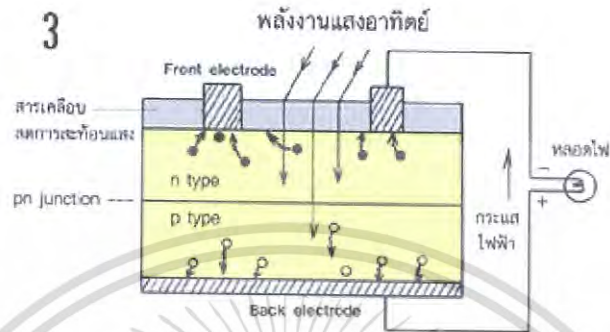
p - type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้การโด๊ปกับด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็น " เซลล์แสงอาทิตย์ " ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮลตามรูปที่ 2.60



รูปที่ 2.61 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 2
(ที่มา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, <http://www3.egat.co.th>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type ตามรูปที่ 2.61



รูปที่ 2.62 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 (ที่มา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, <http://www3.egat.co.th>)

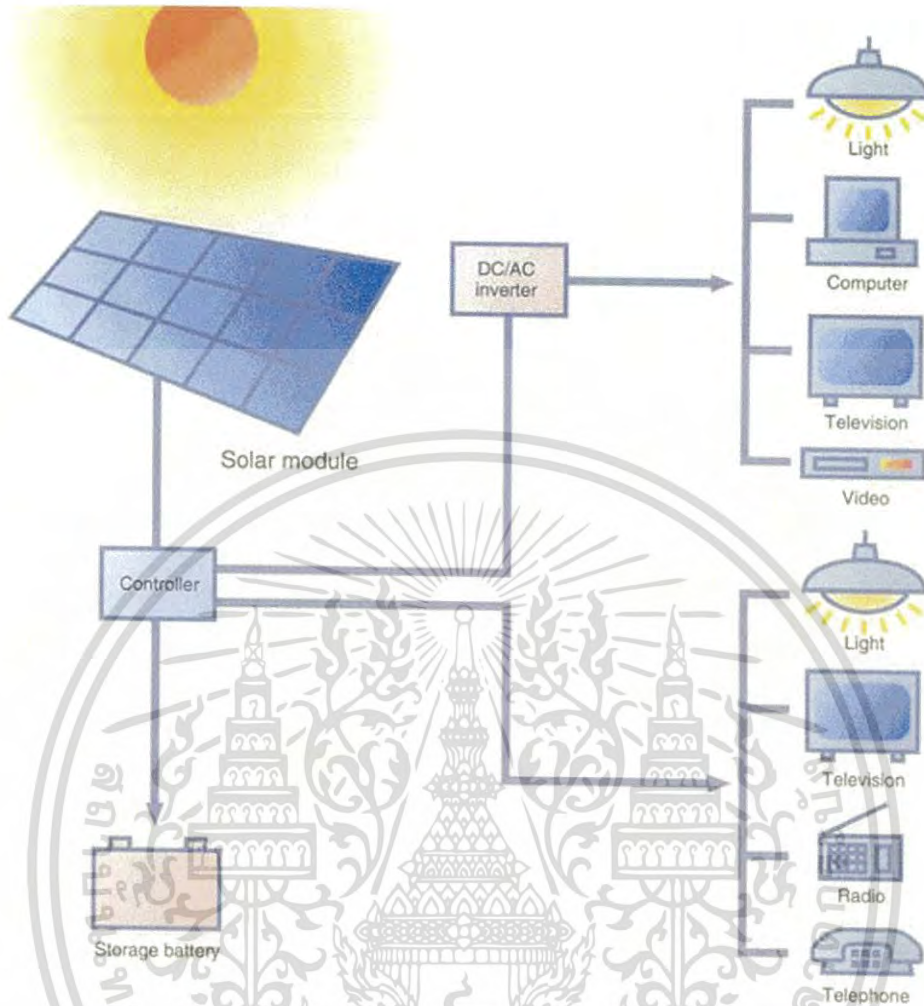
อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน ตามรูปที่ 2.62

2.4.2 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

- การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ

Stand-Alone System

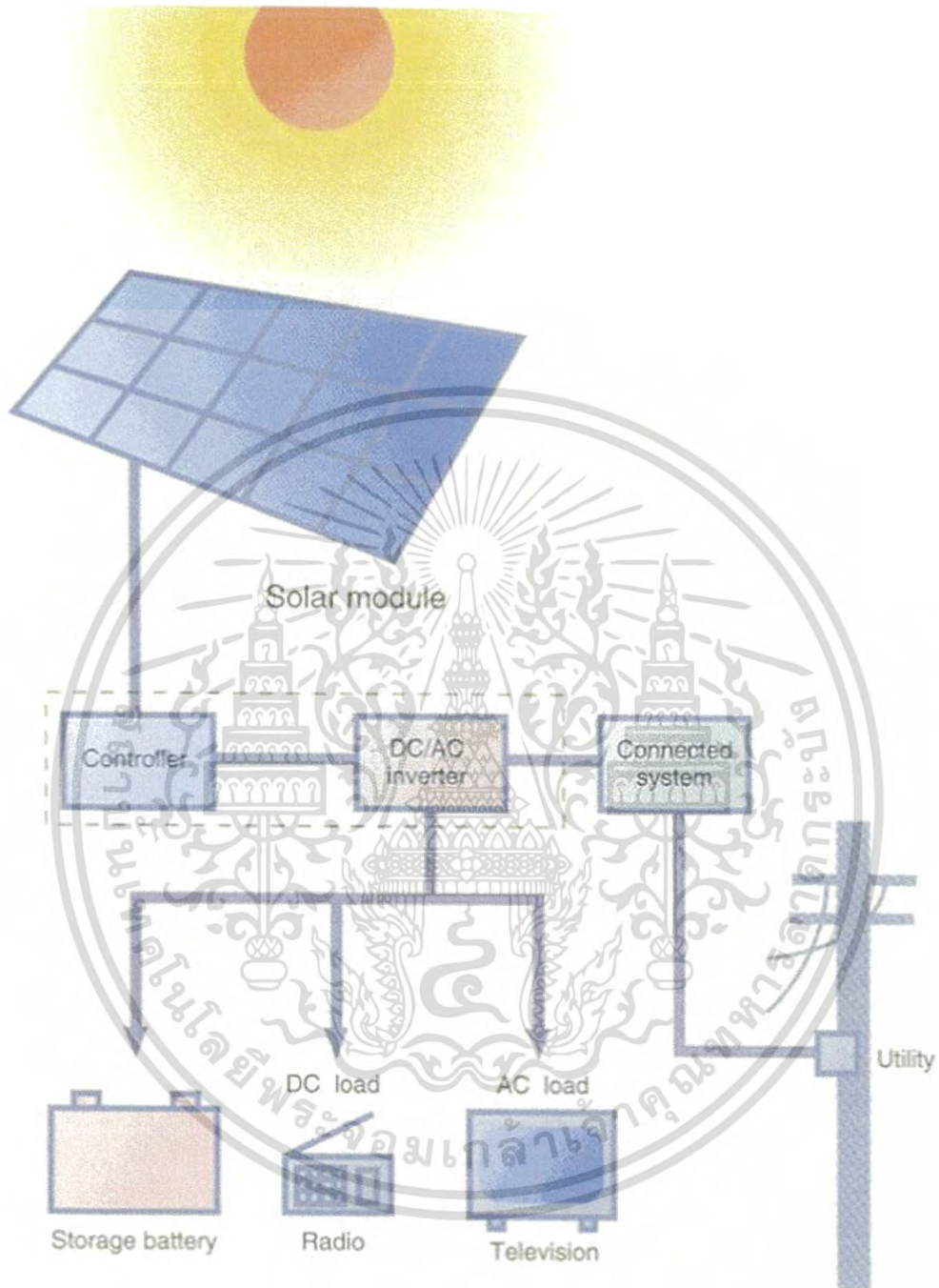


รูปที่ 2.63 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ
(ที่มา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, <http://www3.egat.co.th>)

- การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

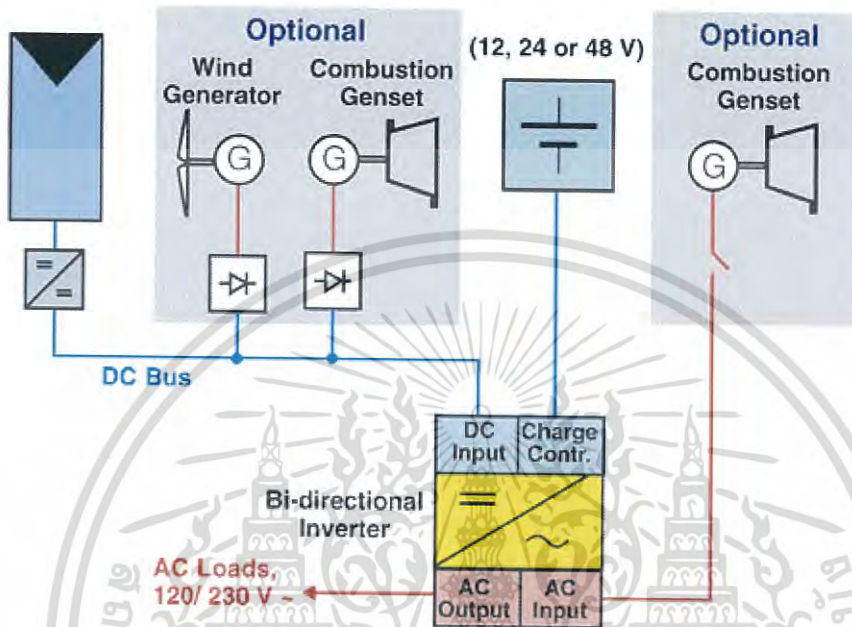
Grid Connected System



รูปที่ 2.64 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย
(ที่มา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, <http://www3.egat.co.th>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกรอกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรอกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ



รูปที่ 2.65 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (ที่มา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, <http://www3.egat.co.th>)

2.5 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

2.5.1 ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศา กับพื้นโลก ความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลท์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศา C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ V_{oc}) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศา C ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศา C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศา C เช่น อุณหภูมิ 30 องศา C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5$ องศา C) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ V_{oc} จะลดลง 0.525 V ($21\text{ V} \times 2.5\%$) เหลือเพียง 20.475 V ($21\text{V} - 0.525\text{V}$) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

2.5.3 ความต้านทาน

ความต้านที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ของวงจรเซลล์อาทิตย์ ซึ่งอาจทำให้ได้รับพลังงานได้น้อยลงและอาจเกิดอุณหภูมิที่สูงขึ้นซึ่งมีผลต่อการรับพลังงานในวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์

2.5.4 ท้องฟ้ามีดคริม มีเมฆบัง

ท้องฟ้ามีดคริม มีเมฆบัง ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ได้ไม่เต็มที่ แต่อาจจะเกิดในบางช่วงเวลา

2.5.5 การบังเงาเนื่องจากเงาต้นไม้ อาคาร

เงาที่เกิดจากต้นไม้และอาคาร ซึ่งมีผลกระทบในการรับพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ควรจะตรวจสอบว่ามีต้นไม้ หรือ อาคารบังหรือไม่ เพราะถ้าติดตั้งไปแล้วจะหาวิธีแก้ไขยาก

2.6 โปรแกรมแบบจำลอง MATLAB

MATLAB เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีประโยชน์หลายด้าน รวมทั้งมีการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมและบริษัทต่าง ๆ ทั่วโลก โดยจุดเด่นที่สำคัญที่สุดของ MATLAB คือ ความง่ายและสมบูรณ์แบบในการเขียนโปรแกรม ซึ่งทำให้เราสามารถหุ้มความคิดไปที่ขั้นตอนวิธีของเราได้ โดยไม่ต้องเสียเวลาศึกษาเรื่องการเชื่อมต่อหรือกังวลกับการประกาศตัวแปรชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้ ยังมีฟังก์ชันรองรับการคำนวณรูปแบบต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์มากมายเพียงพอให้เราสามารถสร้างโปรแกรมได้เกือบทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นโปรแกรมสำหรับงานวิจัยด้านต่าง ๆ โปรแกรมสั่งงานควบคุมเครื่องจักรหรือหุ่นยนต์ โปรแกรมฐานข้อมูลและเว็บ ฯลฯ แต่อย่างไรก็ตาม MATLAB ยังคงมีข้อเสียอยู่บ้าง เช่น ความล่าช้าในการประมวลผล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่ต้องการคำนวณแบบเวลาจริงอาจทำได้ไม่ทัน หรือโปรแกรมที่ทำการ Deployment ออกไปมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น แต่จุดด้อยเหล่านี้จะถูกปรับปรุงและแก้ไขให้ดีขึ้นใน MATLAB รุ่นต่อ ๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 MATLAB คือ

MATLAB คือ โปรแกรมการคำนวณเชิงตัวเลขที่มีสิ่งแวดล้อมในการคำนวณของตัวเอง (Numerical Computing Environment) และมีภาษาเฉพาะตัวในการเขียนโปรแกรมได้ โดย MATLAB มาจากคำ 2 คำรวมกัน คือ Matrix และ Laboratory ซึ่งหมายถึงห้องปฏิบัติการเมทริกซ์

MATLAB มีจุดกำเนิดในช่วงปี ค.ศ. 1970 ซึ่งในยุคเริ่มต้นนั้น MATLAB เป็นเพียงส่วนติดต่อกับภาษา Fortran เพื่อให้ใช้งานกับ LINPACK (ไลบรารีที่ใช้ในการคำนวณพีชคณิตเชิงเส้น) และ EISPACK (ไลบรารีที่ใช้ในการคำนวณค่าลักษณะเฉพาะ (Eigen Value) และเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (Eigen Vector) เพื่อให้ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องเรียนรู้การใช้งานภาษา Fortran

หลังจากนั้นในช่วงปี ค.ศ. 1984 บริษัท MathWorks ถูกก่อตั้งขึ้นเพื่อพัฒนา MATLAB และ MALTAB ถูกเขียนขึ้นใหม่ด้วยภาษา C พร้อมไลบรารี JACKPAC จากนั้น MALTAB ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนปัจจุบัน MATLAB มี GUI พัฒนาโดยภาษา Java และ Simulink ถูกผนวกเข้ากับ MATLAB

2.6.2 ประโยชน์ของ MATLAB

การพัฒนาโปรแกรมด้วย MATLAB มีความง่ายและเร็วกว่าภาษาอื่น ๆ เพราะมีไลบรารีจำนวนมากรองรับ และด้วยตัวลักษณะการทำงานเชิงเมทริกซ์ ทำให้เราสามารถจัดการกับอาร์เรย์ได้ง่ายดาย โค้ดโปรแกรมสั้นกะทัดรัด เหมาะกับการสร้างและทดสอบระเบียบวิธีใหม่ ๆ รองรับการทำงานกับกราฟิก รวมถึง GUI ทำให้สะดวกในการบ่อนค่าและแสดงผล นอกจากนี้ ยังสามารถติดต่อกับฮาร์ดแวร์และโปรแกรมภาษาอื่น ๆ ได้โดยเราสามารถแบ่งประโยชน์ของ MATLAB ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

- MATLAB เป็นโปรแกรมคำนวณ ที่รองรับทั้ง
 1. เชิงตัวเลข (Numeric) เราสามารถใช้เป็นเครื่องคำนวณธรรมดา หรือใช้งานฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์
 2. เชิงสัญลักษณ์ (Symbolic) เราสามารถคำนวณในเชิงตัวแปรได้ เช่น การอินเกรต หรือการแก้สมการต่าง ๆ แบบติดตัวแปร
- MATLAB สามารถเขียนเป็นโปรแกรมได้
 1. สามารถเขียนได้ทั้งแบบ Script ซึ่งทำงานในลักษณะชุดคำสั่งต่อเนื่อง หรือเขียนเป็น Function เพื่อใช้งานก็ได้
 2. สามารถใช้งานได้ทั้งแบบ Interpret หรือ Compile โดยเราสามารถ Compile โปรแกรม MATLAB ออกมาได้หลายชนิดทั้งแบบ Standalone หรือ Library เช่น .exe หรือ .dll เป็นต้น
 3. มี GUI รองรับ โดยสามารถเขียนได้ทั้งแบบใช้ GUIDE (คล้าย Visual Basic) หรือแบบไม่ใช้ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. รองรับการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุทั้งคลาสของ MATLAB เองหรือคลาสของภาษาอื่น เช่น Java หรือ .NET
 5. สามารถ Debug โปรแกรมได้ และในสถานการณ์ติดต่อภาษาอื่น ๆ สามารถ Compile ไปเพื่อทำการ Debug ในโปรแกรมอื่น เช่น Visual Studio ได้ด้วย
- MATLAB สามารถติดต่อหรือใช้งานร่วมกับโปรแกรม ภาษา ฮาร์ดแวร์ หรือเพิ่มข้อมูลรูปแบบต่าง ๆ ได้
1. สามารถเชื่อมต่อกับภาษาหรือโปรแกรมอื่น ๆ ได้ เช่น Java, C/C++, .NET, MS Excel โดยเราอาจให้โปรแกรมหลักเขียนโดย MATLAB แล้วเรียกใช้งานภาษาอื่นหรือให้ภาษาอื่นเป็นโปรแกรมหลักแล้วทำการเรียกใช้งาน MATLAB ก็ได้
 2. สามารถอ่านหรือเขียนเพิ่มข้อมูลสื่อสารแบบมาตรฐานได้ เช่น ข้อความ รูปภาพ เสียง วิดีโอ เป็นต้น
 3. สามารถติดต่อกับฮาร์ดแวร์ได้ กล้องวิดีโอ บอร์ด DSP เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ

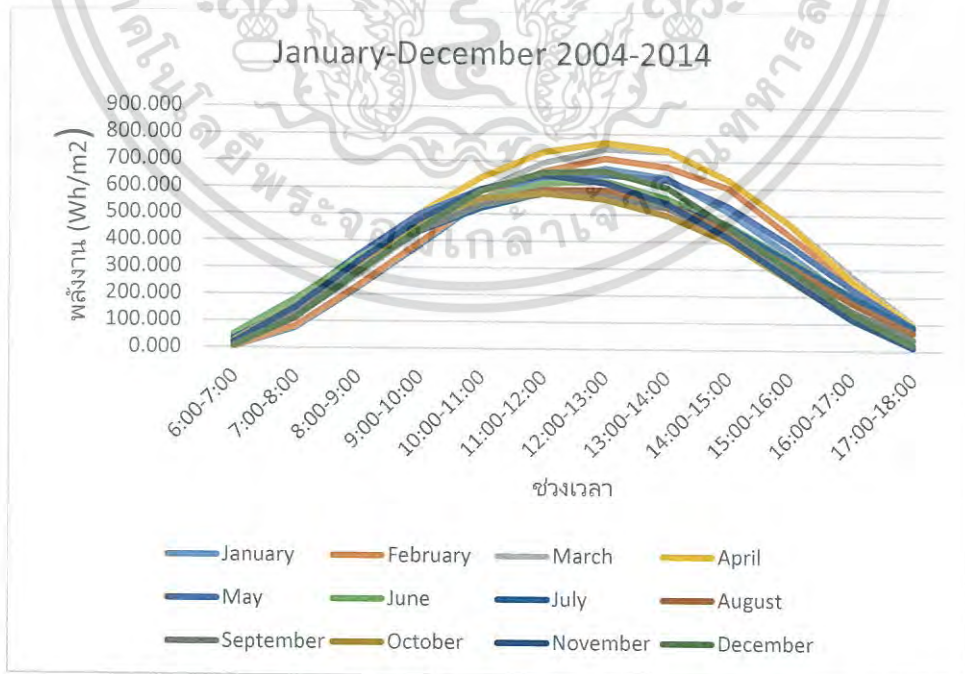
3.1 ศึกษาเรื่องปริมาณแสงอาทิตย์

ศึกษาเรื่องปริมาณแสงอาทิตย์ช่วงเวลา โดยใช้เครื่องมือวัดรังสีแสงอาทิตย์ “Pyranometer (EKO MS-802)” (รูปที่ 3.1)



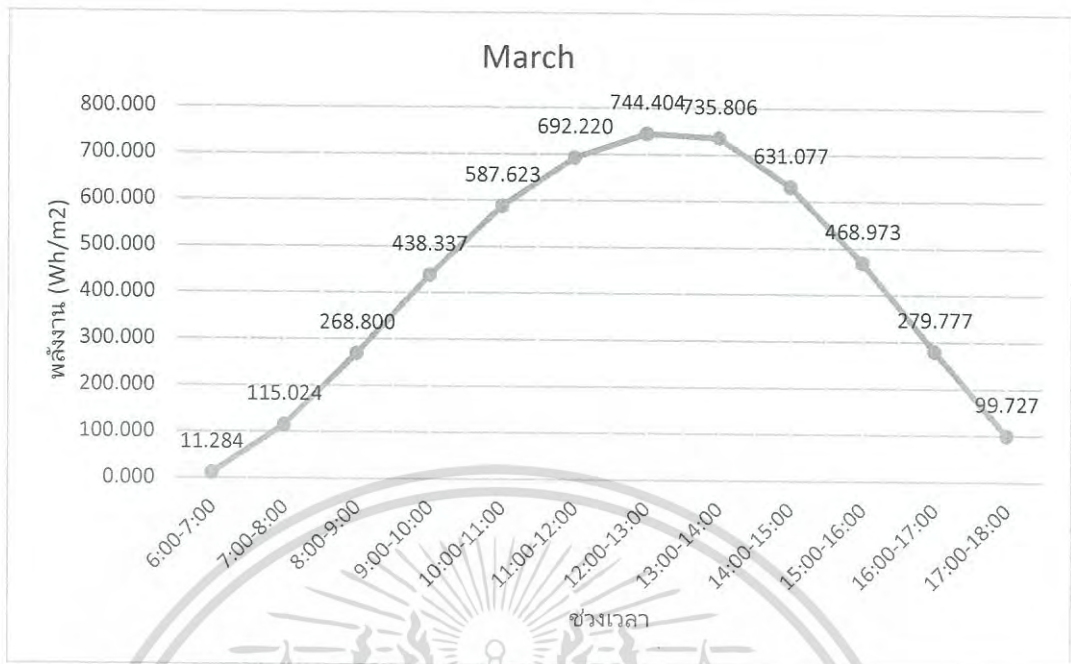
รูปที่ 3.1 เครื่องมือวัดรังสีแสงอาทิตย์ “Pyranometer (EKO MS-802)”
(ที่มา กรมอุตุนิยมวิทยา. www.tmd.go.th)

โดยเลือกเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 6:00-18:00 น. ตั้งแต่ปี 2004-2014 โดยใช้ รังสีรวม (Global solar radiation) ผลรวมของรังสีตรงและกระจายที่มาจากครึ่งวงกลมท้องฟ้าโดยวัด จากพื้นราบ ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยข้อมูลตารางได้แสดงในภาคผนวก ก. ดังตัวอย่างตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.2-3.14

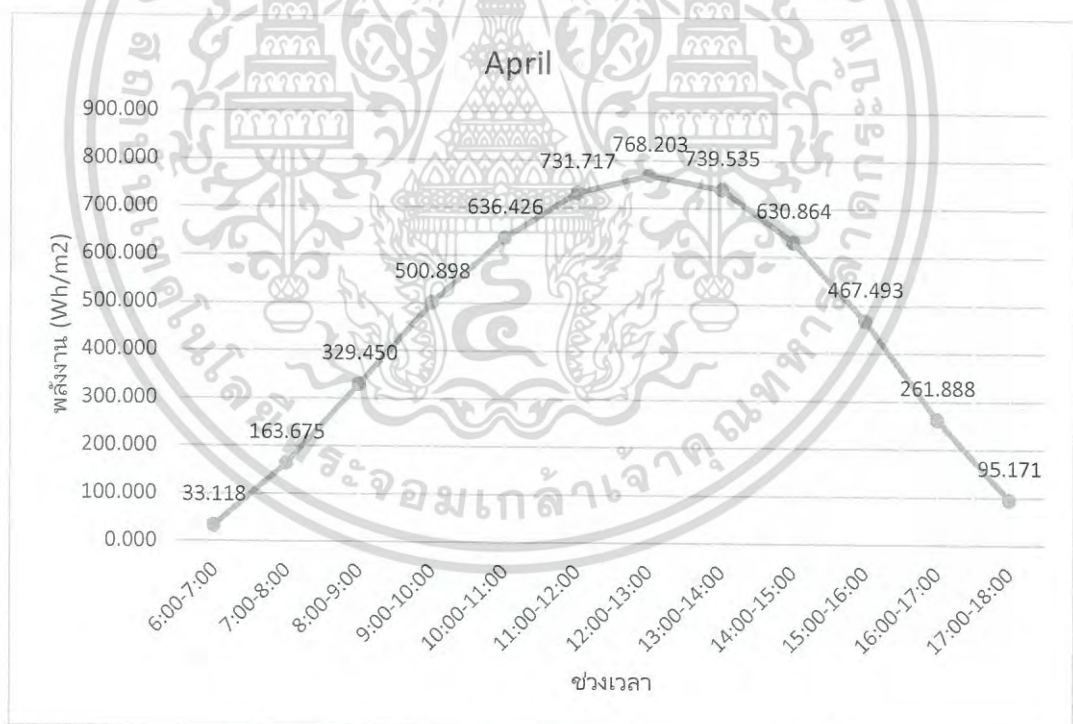


รูปที่ 3.2 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม 2004 - 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

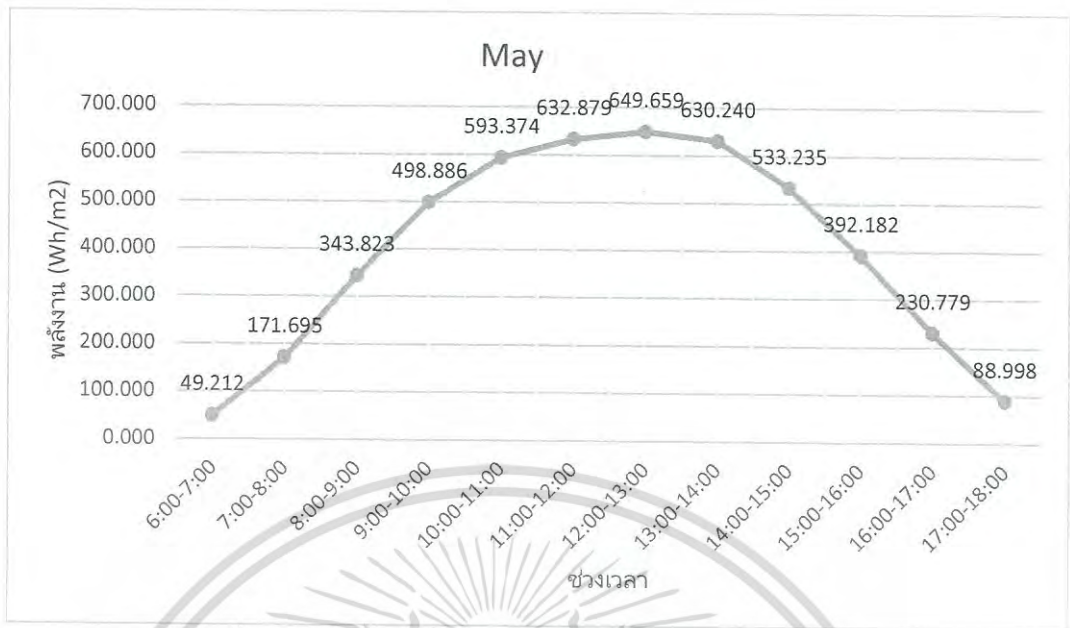


รูปที่ 3.5 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน มีนาคม 2004 - 2014

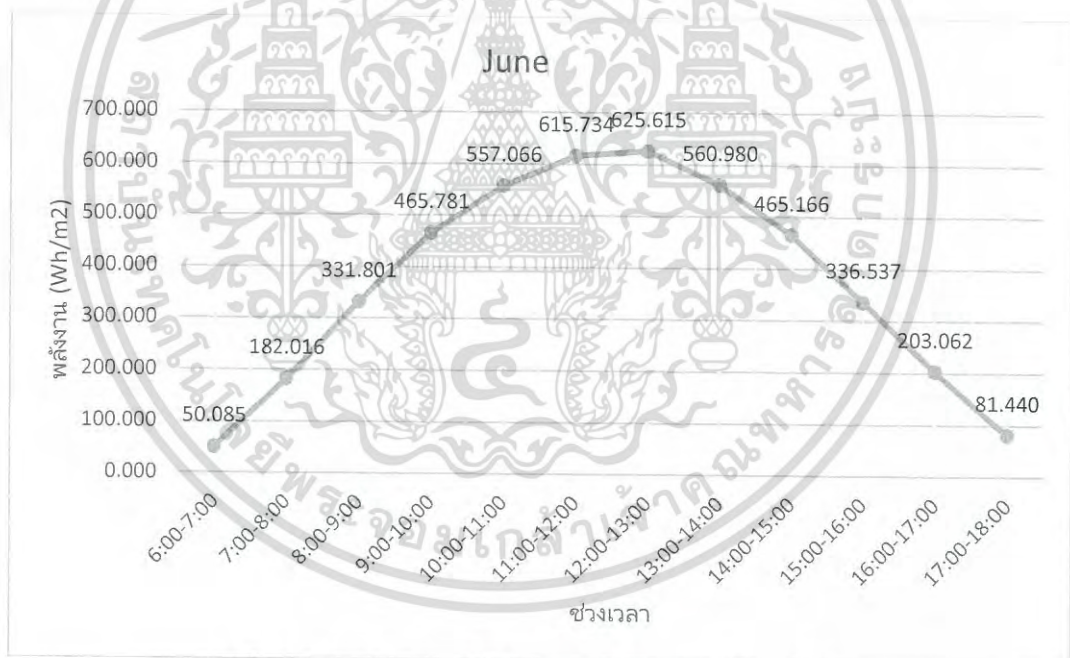


รูปที่ 3.6 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน เมษายน 2004 - 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

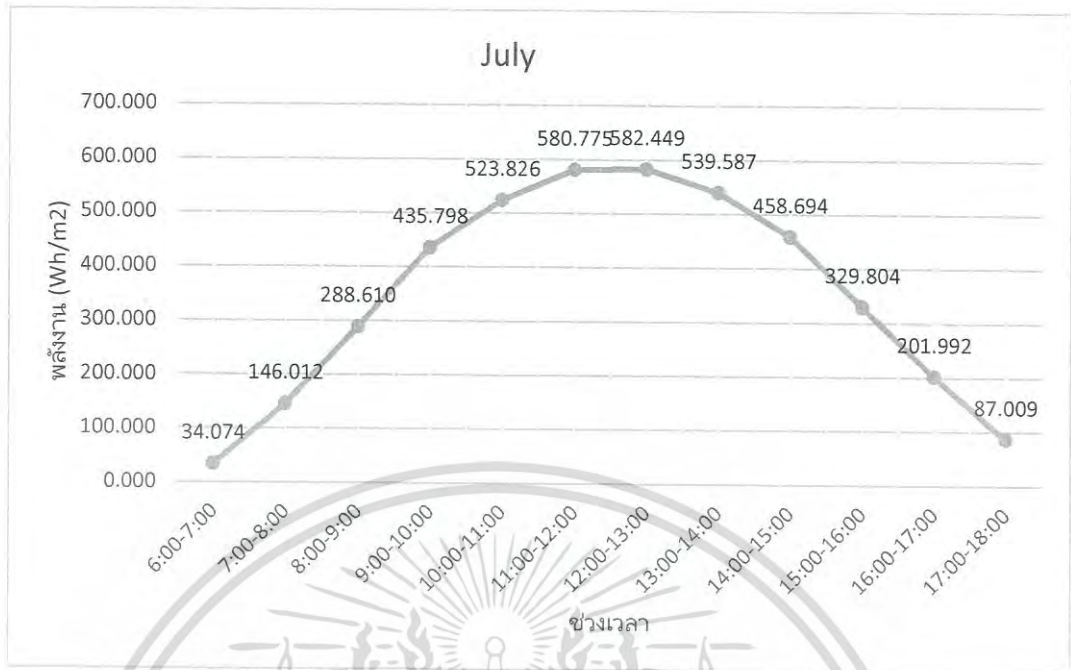


รูปที่ 3.7 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน พฤษภาคม 2014 - 2014

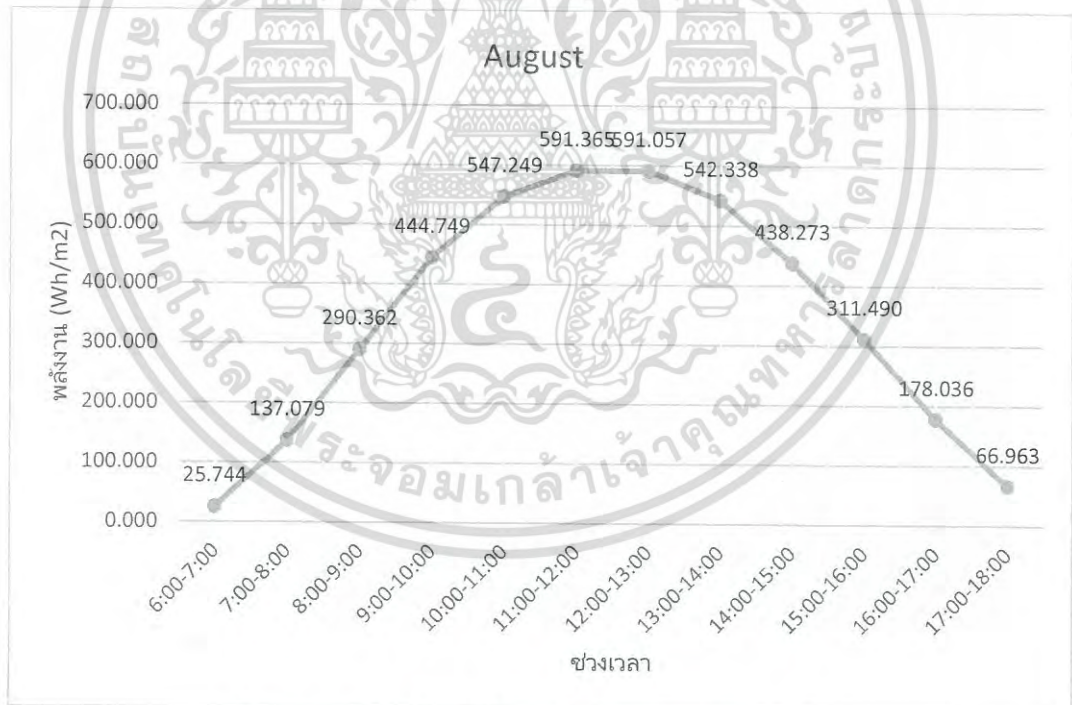


รูปที่ 3.8 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน มิถุนายน 2014 - 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

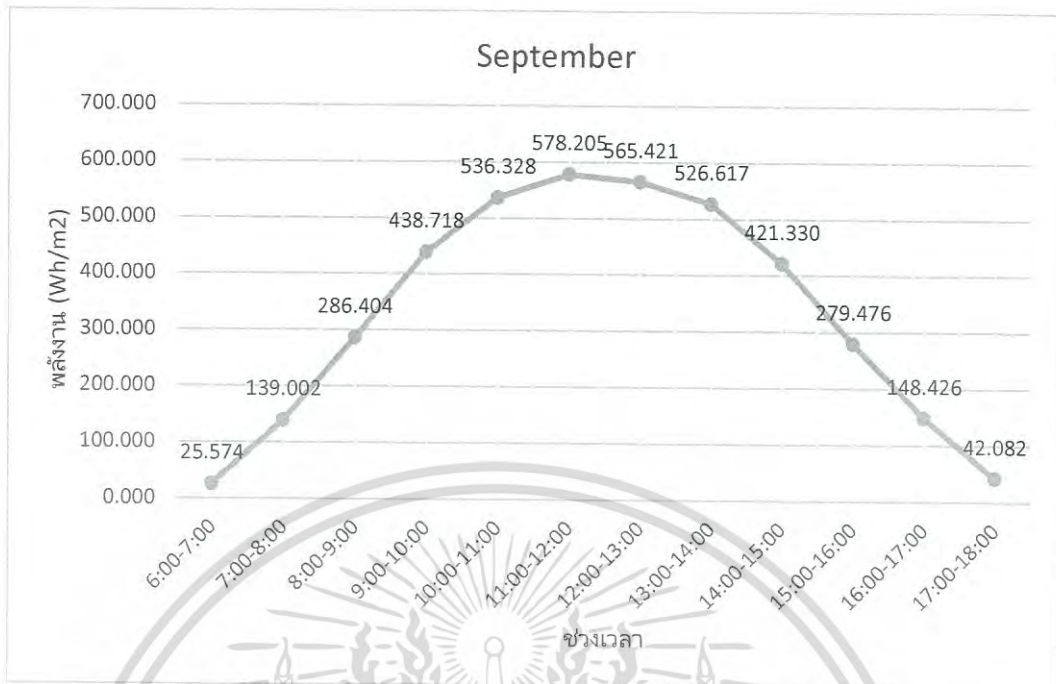


รูปที่ 3.9 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน กรกฎาคม 2004 - 2014

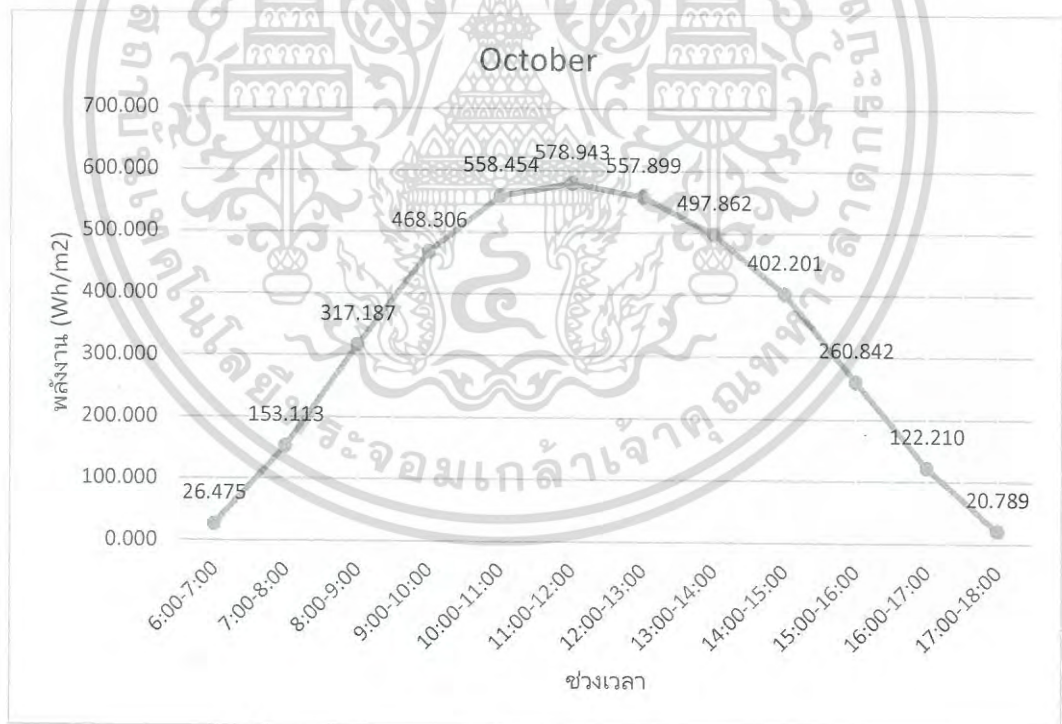


รูปที่ 3.10 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน สิงหาคม 2004 - 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

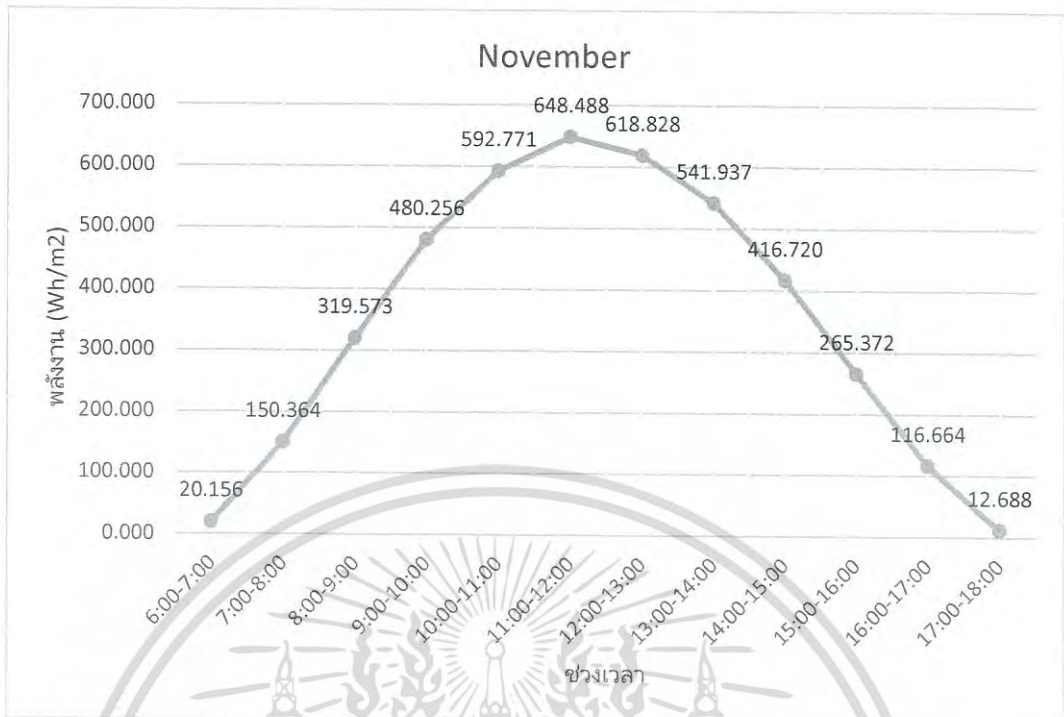


รูปที่ 3.11 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน กันยายน 2004 - 2014

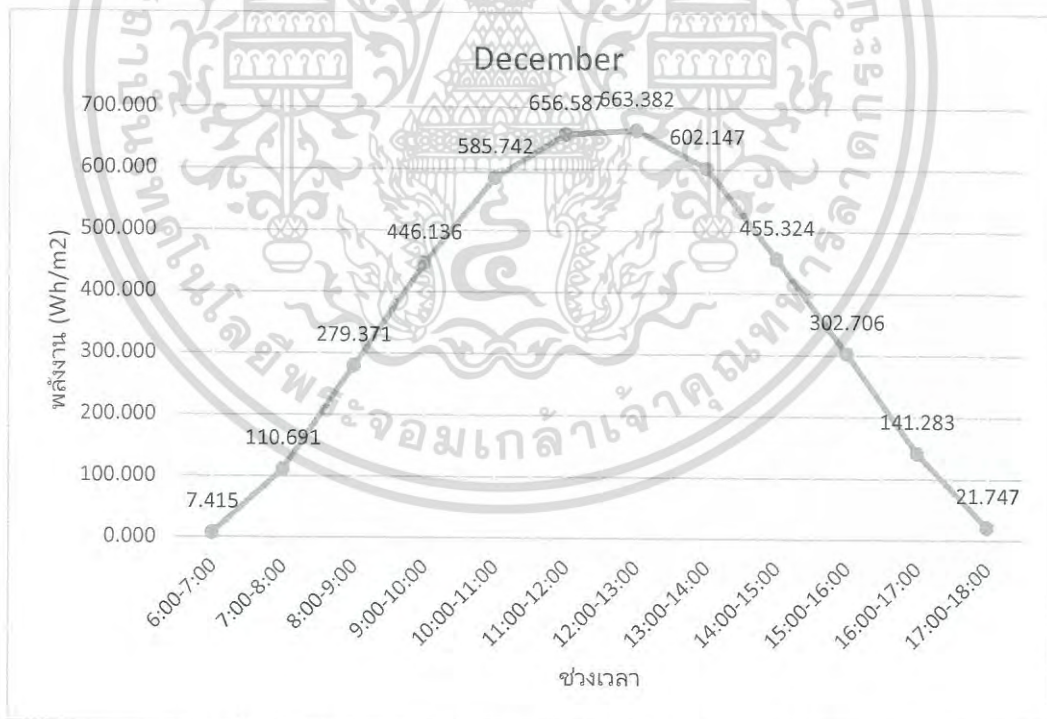


รูปที่ 3.12 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน ตุลาคม 2004 - 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน พฤศจิกายน 2014

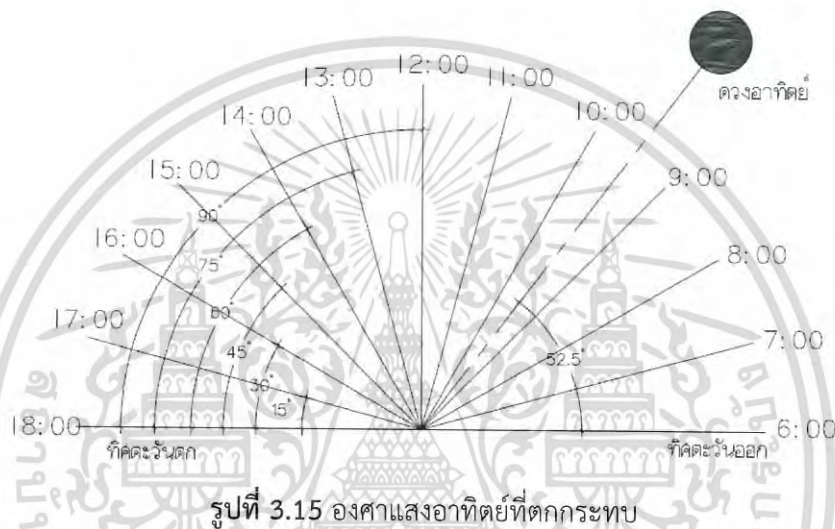


รูปที่ 3.14 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน ธันวาคม 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

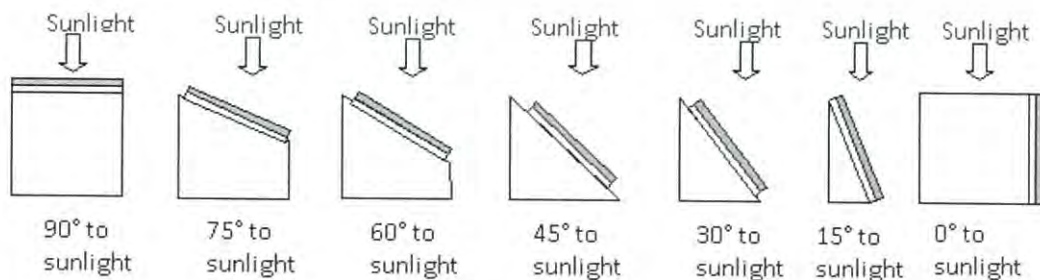
3.2 ศึกษาองศาแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ

ศึกษาองศาแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบโดยสมมุติให้ดวงอาทิตย์ ขึ้นทางทิศตะวันออกเวลา 6:00 นาฬิกา ตกทางทิศตะวันตกเวลา 18:00 นาฬิกา (รูปที่ 3.15) โดยเลือกช่วงเวลา 6:30 และเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 ชั่วโมง ไปถึงเวลา 17:30 ซึ่งจะได้มุม 7.5 องศาและจะเพิ่มขึ้นชั่วโมงละ 15 องศา ตามลำดับ จนถึงองศาที่ 172.5 ที่เวลา 17:30 โดยจะมีค่าทั้งหมด 12 ค่า โดยเลือกเวลา 6:30 , 7:30 , 8:30 , 9:30 , 10:30 , 11:30 , 12:30 , 13:30 , 14:30 , 15:30 , 16:30 , 17:30 และมีมุมแสงอาทิตย์เป็น 7.5 , 22.5 , 37.5 , 52.5 , 67.5 , 82.5 , 97.5 , 112.5 , 127.5 , 142.5 , 157.5 , 172.5 ตามลำดับ



3.3 ศึกษาการตั้งองศาแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์

ศึกษาการตั้งองศาแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบ่งเป็น 2 กรณี กรณีที่ 1 คือ เริ่มหันแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันออกเป็นองศาที่ 0 ปรับเปลี่ยนองศาไปครั้งละ 1 องศา ไปถึงองศาที่ 180 โดยจะหันแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันตก กรณีที่ 2 คือ เริ่มหันแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้เป็นองศาที่ 0 ปรับเปลี่ยนองศาไปครั้งละ 1 องศา ไปถึงองศาที่ 180 โดยจะหันแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศเหนือ ซึ่งในแต่ละกรณีจะมีค่าทั้งหมด 181 จำนวนน ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 องศาแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 กำหนดขนาดแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์

กำหนดขนาดแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ สมมุติให้มีขนาด 1 ตารางเมตร โดยกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์
(ที่มา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, <http://www3.egat.co.th>)

3.5 ศึกษาชนิดและความสูงของต้นไม้

ศึกษาชนิดของต้นไม้ ตำแหน่งในการปลูกต้นไม้ขนาดใหญ่ รอบๆ อาคาร ที่พบในเขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพฯ ส่วนมากเป็นต้นไม้ที่ให้ร่มเงาและมีความสูงประมาณ 3-20 เมตร เช่น ประดู่ หนาม ปาล์ม มะขาม ก้ามปู ราชพฤกษ์ กระถินณรงค์ กระถินเทพา มะกอกน้ำ ยูคาลิปตัส ตะแบก อินทนิล ดินเบ็ด(พญาสัตบรรณ) ป๊อบ ยี่โถ ปัตตาเวีย ไทร มะม่วง ขนุน เป็นต้น ซึ่งในการทดลองครั้งนี้จะเลือกใช้ลักษณะต้นไม้ที่มีความสูงกว่าหลังคาบ้านพักอาศัย 2 ชั้น ประมาณ 1.50 – 2.50 เมตร เช่น มะขาม ประดู่ ก้ามปู ไทร มะม่วง ขนุน ยูคาลิปตัส เป็นต้น โดย กำหนดความสูงของต้นไม้โดยความสูงจากศูนย์กลางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ถึงยอดต้นไม้ในการทดลองนี้ไว้ตั้งแต่ 1.50 – 2.50 เมตร โดยเพิ่มค่าครึ่งละ 0.1 เมตร ซึ่งจะได้ค่าทั้งหมด 11 ค่า

3.6 ศึกษาและกำหนดความทึบแสงของต้นไม้

ศึกษาและกำหนดความทึบแสงของต้นไม้ โดยกำหนดจากลักษณะต้นไม้ทั้งในกรณีที่มีแต่กิ่งก้านจนถึงมีใบทึบ ซึ่งจะใช่ค่าความทึบที่ 10 % เพิ่มขึ้นครึ่งละ 10 % ไปถึง 100 % โดยได้ค่าในการทดลองนี้เลือกใช้ที่ ความทึบ 10 % , 20 % , 30 % , 40 % , 50 % , 60 % , 70 % , 80 % , 90 % , 100 %

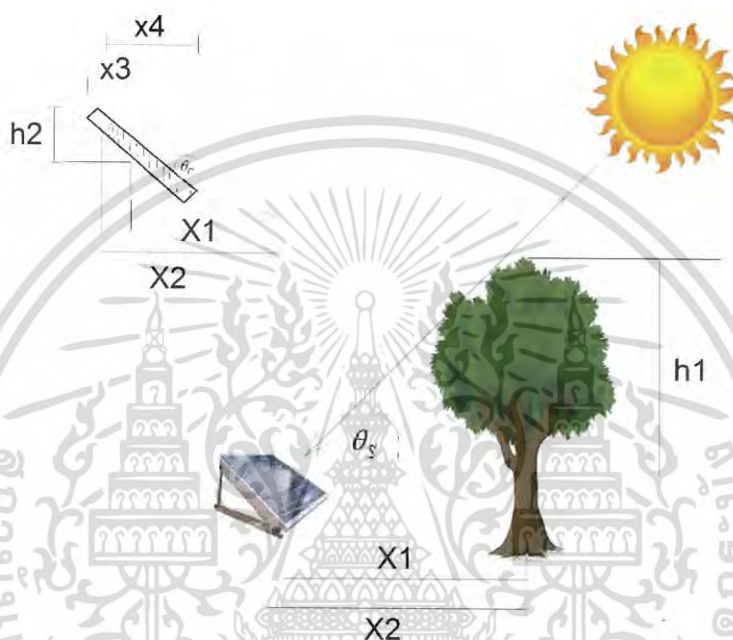


รูปที่ 3.18 แสดงเงาของต้นไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 กำหนดระยะห่างระหว่างต้นไม้และเซลล์แสงอาทิตย์

กำหนดระยะห่างระหว่างต้นไม้และเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจากการสำรวจเก็บข้อมูลมีระยะห่างจากศูนย์กลางต้นไม้ถึงศูนย์กลางเซลล์อาทิตย์มีค่าอยู่ที่ประมาณ 1.50 – 6.00 เมตร ซึ่งจำลองให้แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคาบ้านพักอาศัย 2 ชั้น โดยจากการกำหนดการทดลองจะได้รูปแบบการทดลองดังรูปที่ 3.19 โดยเพิ่มค่าครึ่งละ 0.50 เมตร และจะสมมุติต้นไม้ที่ปลูกทางทิศตะวันออกและตะวันตก

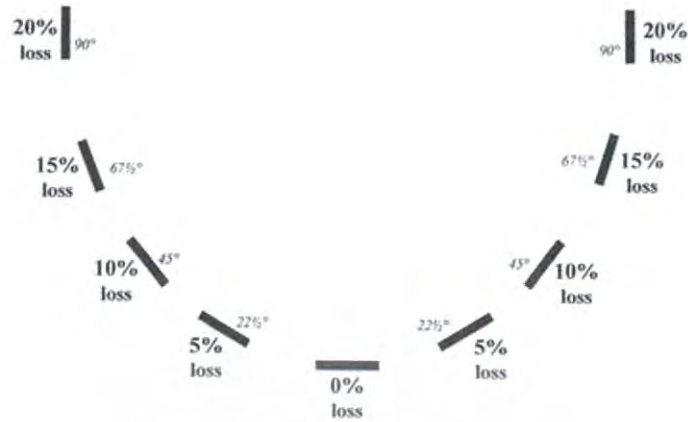


รูปที่ 3.19 รูปแบบการทดลอง

3.8 พิจารณาค่าความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์

พิจารณาค่าความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์กับการตั้งองศาของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ จากรูปที่ 3.20 โดยอ้างอิงจากหนังสือ Solar Electricity Handbook 2012 ซึ่งได้ระบุไว้ว่า ในกรณีที่แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้สัมผัสแสงแดดโดยตรงจะมีค่าความสูญเสียพลังงานประมาณอยู่ที่ 20 % และจะมีค่าความสูญเสียพลังงานประมาณ 0.22 % ทุก 1 องศาที่เปลี่ยนไปจากแนวแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ การตั้งองศาของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์มีผลกับค่าความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์ โดยถ้าแสงของดวงอาทิตย์ตกกระทบกับตั้งฉากกับแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงจะมีค่าความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์ 0 % แล้วจะมีค่าความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้นเมื่อแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนไป 0.22 % ต่อ 1 องศา มากที่สุดที่ 20 % เมื่อแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ขนานกับมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ โดยในการทดลองครั้งนี้ มีการเลือกใช้การตั้งมุมแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ 1-180 องศา

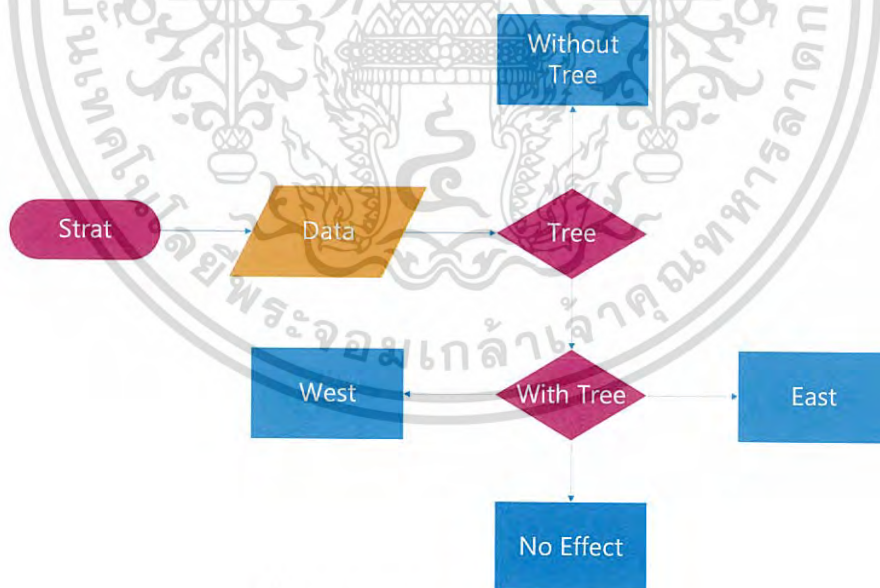
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แสดงมุมของเซลล์แสงอาทิตย์กับกับสูญเสียพลังงาน
(ที่มา <http://www.solarelectricityhandbook.com>)

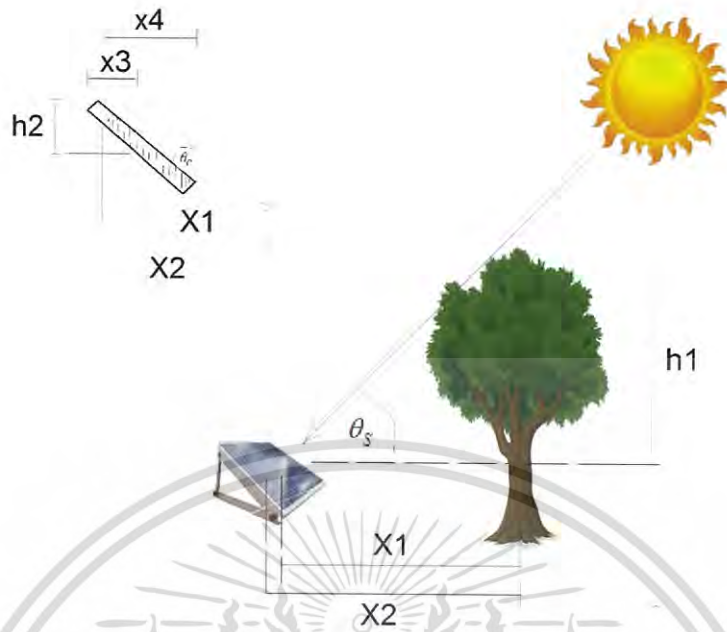
3.9 การประเมินค่าพลังงานแสงอาทิตย์

การทำกรประเมินค่าพลังงานแสงอาทิตย์จะแยกกรณีโดยรวมได้โดยจากรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 รูปแบบในการประเมินค่าพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 การกำหนดตัวแปรในการประเมินค่าพลังงาน

โดยเมื่อนำรูปแบบจากรูปที่ 3.21 มารวมกับการกำหนดตัวแปรในรูปที่ 3.22 และทำการประเมินค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา ของแต่ละตัวอย่างที่กำหนด โดยจะได้สมการการลดทอนของพลังงานแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.23 และเนื่องจากจำนวนกรณีศึกษาที่มีจำนวนมากการคำนวณข้อมูลในหนึ่งไฟล์ใช้เวลาแล้วจำนวนข้อมูลที่จัดเก็บมากและมีความยุ่งยากในการตรวจสอบค้นหา และคัดเลือกข้อมูล ดังนั้นจึงได้เลือกแบบข้อมูลการคำนวณผลเป็นการกรอกข้อมูลโดยเลือกว่ามีต้นไม้หรือไม่ องศาแสงอาทิตย์เป็นค่าเท่าไร ต้นไม้อยู่ในทิศทางใด ซึ่งจะทำให้มี ข้อมูลแล้วนำมา รวมกันจึงจะได้แยกเป็นกรณีทั้งหมดได้ดังนี้

โดย

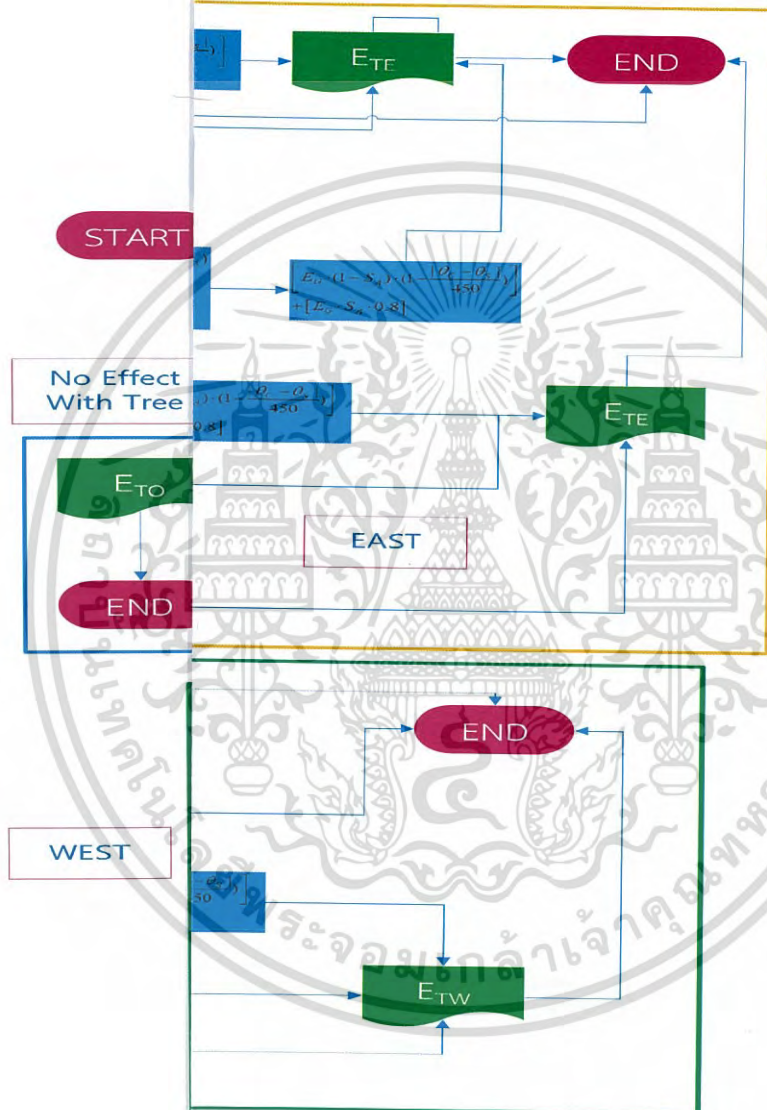
- E_G คือ ค่าพลังงานที่ได้จากการเก็บข้อมูล
- θ_s คือ มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์
- θ_c คือ องศาของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์
- E_{TO} คือ ค่าพลังงานที่แสงอาทิตย์ไม่ตกกระทบแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง
- E_S คือ พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยไม่มีต้นไม้
- E_{TE} คือ พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยมีต้นอยู่ทางทิศตะวันออก
- E_{TW} คือ พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยมีต้นอยู่ทางทิศตะวันตก
- X_1 คือ ค่าระยะห่างจากศูนย์กลางต้นไม้ถึงศูนย์กลางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์
- X_2 คือ ระยะของเงาต้นไม้จากศูนย์กลางต้นไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- X_3 คือ ระยะของแผ่นตามแนวราบจากศูนย์กลางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์
- S คือ ค่าความทึบของต้นไม้, S_0 คือ ค่าระยะเงาของต้นไม้ที่อยู่ในแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์
- S_A คือ ค่าระยะเงาของต้นไม้ที่อยู่ในแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ที่คูณกับความทึบของต้นไม้
- h_1 คือ ค่าความสูงของต้นไม้ตั้งแต่ระดับกลางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ถึงยอดต้นไม้
- h_2 คือ ระยะของแผ่นตามแนวตั้งจากศูนย์กลางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

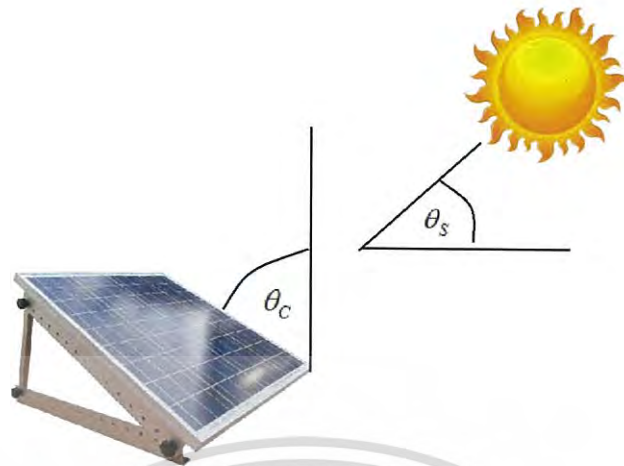
โดยสามารถอธิบายสมการหลัก 6 สมการได้ดังนี้

- พบว่าพลังงานจะลดลงเมื่อมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ไม่ตั้งฉากกับเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะค่าความสูญเสียพลังงานประมาณ 0.22% ทุก 1 องศาที่ห่างจากมุมตั้งฉาก โดยอ้างอิงจากหนังสือ Solar Electricity Handbook 2012

สมการชุดที่ 1 (สมการที่ 3.1) จากรูปที่ 3.24 ในกรณีที่แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้สัมผัสแสงแดดโดยตรงจะมีค่าความสูญเสียพลังงานประมาณอยู่ที่ 20%



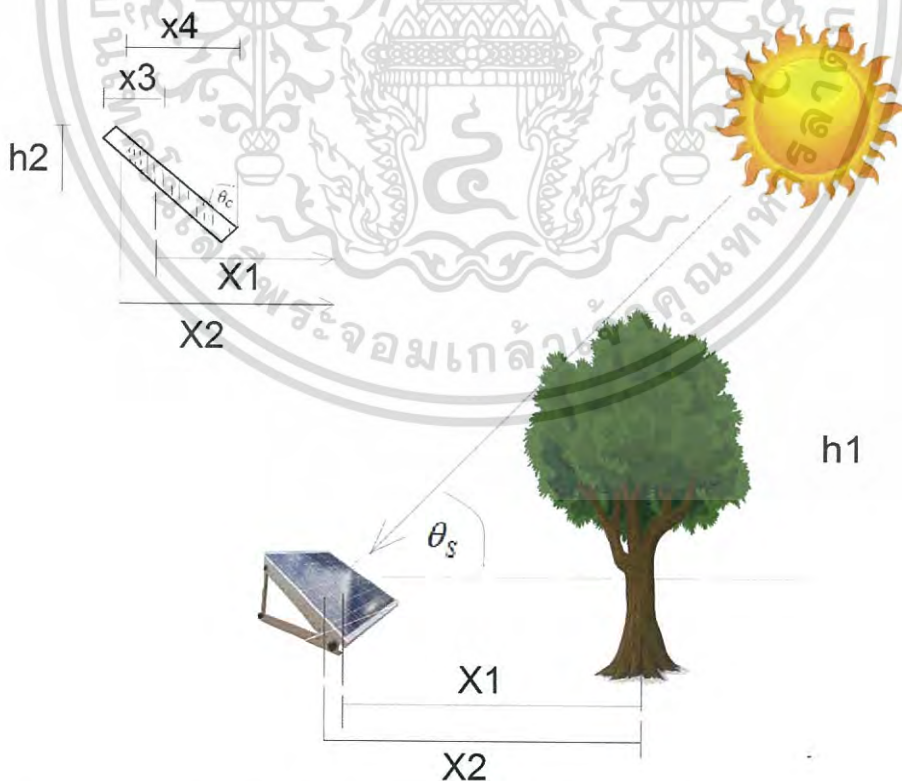
สมการชุดที่ 2 (สมการที่ 3.2) เกิดจากค่าความสูญเสียพลังงานประมาณ 0.22% ทุก 1 องศาที่ห่างจากมุมตั้งฉาก แต่ไม่ถึงกรณีที่แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้สัมผัสแสงแดดโดยตรง ($0^\circ < |\theta_c - \theta_s| < 90^\circ$) ดังรูปที่ 3.25 และสมการที่ 3.2



รูปที่ 3.25 แสดงถึงมุมแสงอาทิตย์ตกกระทบ

$$E_G \cdot \left(1 - \frac{|\theta_c - \theta_s|}{450}\right) \quad (3.2)$$

สมการชุดที่ 3 (สมการที่ 3.3) แสดง พื้นที่เงาต้นไม้ตกกระทบโดยแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์หันด้านรับแสงอาทิตย์ ($\theta_c \geq 90^\circ$) ดังรูปที่ 3.26 และสมการที่ 3.3



รูปที่ 3.26 แสดงพื้นที่เงาต้นไม้ตกกระทบโดยแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์หันด้านรับแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

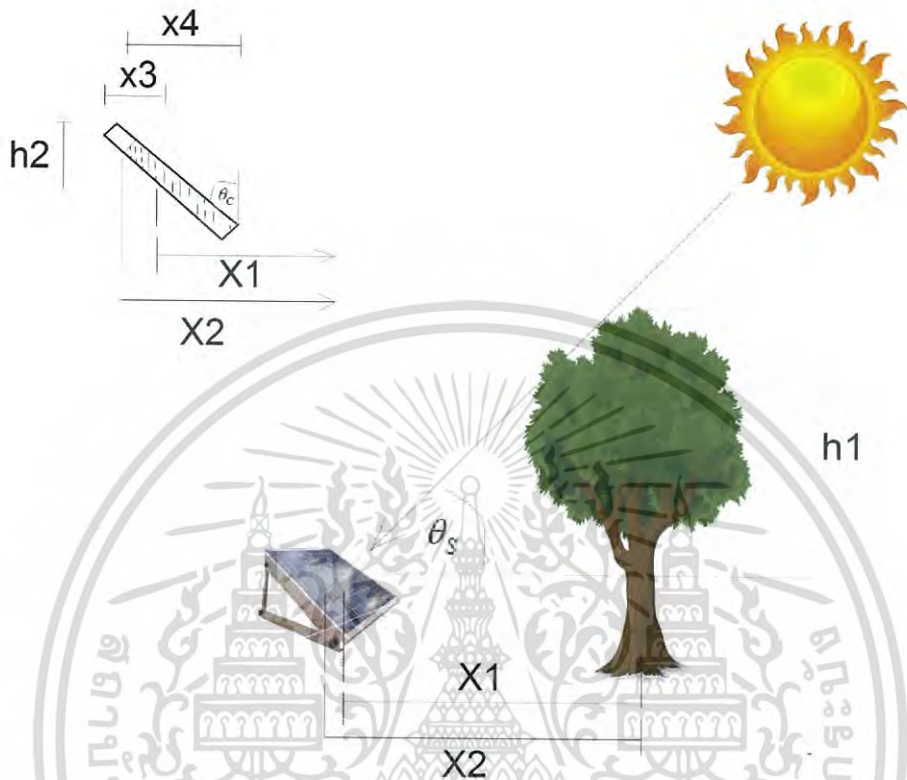
$$\begin{aligned}
 X_3 &= (0.5) \sin \theta_c \\
 h_2 &= |(0.5) \cos \theta_c| \\
 \frac{h_1 + h_2}{|\tan \theta_s|} &= X_2
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

สมการชุดที่ 4 (สมการที่ 3.4) แสดง พื้นที่เงาต้นไม้ตกกระทบโดยแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์หลบแสงอาทิตย์ ($\theta_c \leq 90^\circ$) ดังรูปที่ 3.27 และสมการที่ 3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการชุดที่ 5 (สมการที่ 3.5) แสดงการหาความทึบทั้งหมดบนแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 3.28 และสมการที่ 3.5



รูปที่ 3.28 แสดงการกำหนดค่าตัวแปร

$$\begin{aligned}
 X_4 &= X_2 - (X_1 - X_3) \\
 \frac{X_4}{2X_3} &= S_o \\
 S \cdot S_o &= S_A
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

สมการชุดที่ 6 (สมการที่ 3.6) แสดงวิธีการหาค่าพลังงานที่ลดทอนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีรวมเงาของต้นไม้โดยนำค่าความสูญเสียพลังงานประมาณ 0.22% ทุก 1 องศาที่ห่างจากมุมตั้งฉาก มาคิดรวม และกรณีที่แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้สัมผัสแสงแดดโดยตรงจะมีค่าความสูญเสียพลังงานประมาณอยู่ที่ 20% ดังรูปที่ 3.28 และสมการที่ 3.6

$$\begin{aligned}
 &\left[E_G \cdot (1 - S_A) \cdot \left(1 - \frac{|\theta_c - \theta_s|}{450}\right) \right] \\
 &+ [E_G \cdot S_A \cdot 0.8]
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

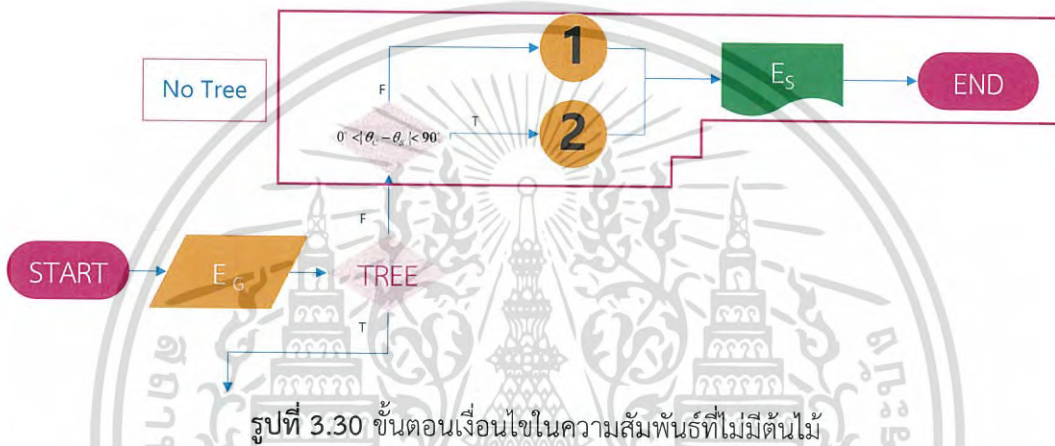
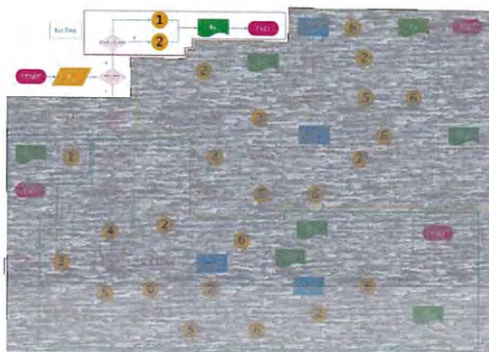
จากการศึกษา ทำให้ทราบถึงจำนวนขั้นตอนที่มีทั้งหมด 3,516,122 กรณี ซึ่งจำเป็นต้องมีเครื่องมือในการช่วยจำลองและคำนวณค่าพลังงาน เพื่อลดเวลาและขั้นตอนในการหาค่าพลังงานที่เกิดจากการลดทอนของปัจจัยโดยรอบของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยสามารถแบ่งเป็นช่วงกรณีและตัวอย่างการเขียนโปรแกรมได้ดังนี้ ดังรูปที่ 3.30 ถึง รูปที่ 3.37 ซึ่งโปรแกรม MATLAB สามารถเขียนโดยเริ่มจากการกำหนดตัวแปรต่างๆ ในโปรแกรม ต่อไปเป็นการระบุจำนวนขั้นตอนโดยกำหนดเป็น $cc=0$ และจำนวนขั้นตอนที่เพิ่มขึ้นจะกำหนดด้วยสมการ $cc=cc+1$; จากนั้นกำหนดความสัมพันธ์หรือระยะค่าความสัมพันธ์ ตัวอย่าง เช่น $Eg = \text{input}(\text{'Input Eg = \n'}$); เป็นการป้อนค่าพลังงาน ต่อไปเป็นการกำหนดเงื่อนไขต่างๆ เช่นตัวอย่างดังรูปที่ 3.29 For $z_c=0:1:180$ เป็นการกำหนดองศาเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเริ่มที่ 0 องศา เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 องศา จนถึงค่าที่ 180 องศา ต่อไปเป็นการกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ ตัวอย่างเช่น $\text{if } \text{abs}(z_c-z_s)>90$; เป็นการหาผลต่างของเซลล์แสงอาทิตย์และองศาของแสงอาทิตย์ว่าต่างกันเกิน 90 องศาหรือไม่ ซึ่งถ้าไม่เกินจะไปต่อยังสมการ $E_s(cc, :) = E_g * 0.8$; แต่ถ้าเกินจะไปต่อยังสมการ $\text{else } E_s(cc, :) = E_g * (1 - (\text{abs}(z_c-z_s)/450))$; และใช้ end เป็นการจบเงื่อนไขในการตัดสินใจนั้นๆ จากนั้นจะนำค่าที่คำนวณได้ไปจัดเก็บในคำสั่ง $\text{xlswrite}(\text{'ENS.xlsx'}, E_s, 2, \text{'C2:C182'})$ โดยกำหนดไฟล์ที่เลือกจัดเก็บข้อมูล และตำแหน่งการเก็บข้อมูล

```
cc=0;
for z_c=0:1:180
    cc=cc+1;
    if abs(z_c-z_s)>90
        Es(cc,:)=Eg*0.8;
    else
        Es(cc,:)=Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450));
    end
end
xlswrite('EN2.xlsx',Es,2,'C2:C182') % [headers; values];
```

รูปที่ 3.29 ตัวอย่างการกำหนดสมการในการคำนวณ

ขั้นตอนเงื่อนไขและการเขียนโปรแกรมในความสัมพันธ์ที่ไม่มีต้นไม้



รูปที่ 3.30 ขั้นตอนเงื่อนไขในความสัมพันธ์ที่ไม่มีต้นไม

```

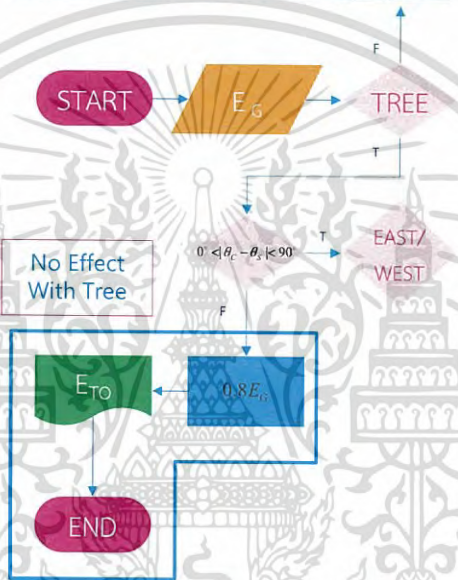
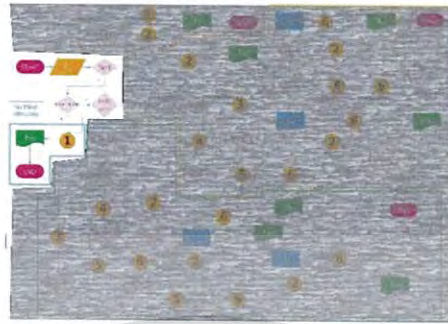
1
2 - Treecon=input('Tree =1 or not= 0 : \n');
3 - c66=0;c77=0;i11=0;ccc3=0;
4
5 - switch Treecon
6 -   case 0
7 -     z_s=input('Input Zeta S = \n');
8 -     Eg=input('Input Eg = \n');
9 -     cc=0;
10 -    for z_c=0:1:180
11 -      cc=cc+1;
12 -      if abs(z_c-z_s)>90
13 -        Es(cc,:)=Eg*0.8;
14 -      else
15 -        Es(cc,:)=Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450));
16 -      end
17 -    end
18 -    xlsxwrite('EN2.xlsx',Es,2,'C2:C182') % [headers; values];
19 -    %% start2
20 -   case 1
21 -     z_s=input('Input Zeta S = \n');
22 -     Eg=input('Input Eg = \n');cc=0;
23 -     EW=input('Select East=0 or West =1 : \n');
24 -
25 -     for z_c=0:1:180
26 -       cc=cc+1;

```

รูปที่ 3.31 การเขียนโปรแกรมในความสัมพันธ์ที่ไม่มีต้นไม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนเงื่อนไขและการเขียนโปรแกรมในความสัมพันธ์ที่ปลูกต้นไม้แต่ต้นไม้ไม่ผลกระทบบกับเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3.32 ขั้นตอนเงื่อนไขในความสัมพันธ์ที่ปลูกต้นไม้แต่ต้นไม้ไม่ผลกระทบบกับเซลล์แสงอาทิตย์

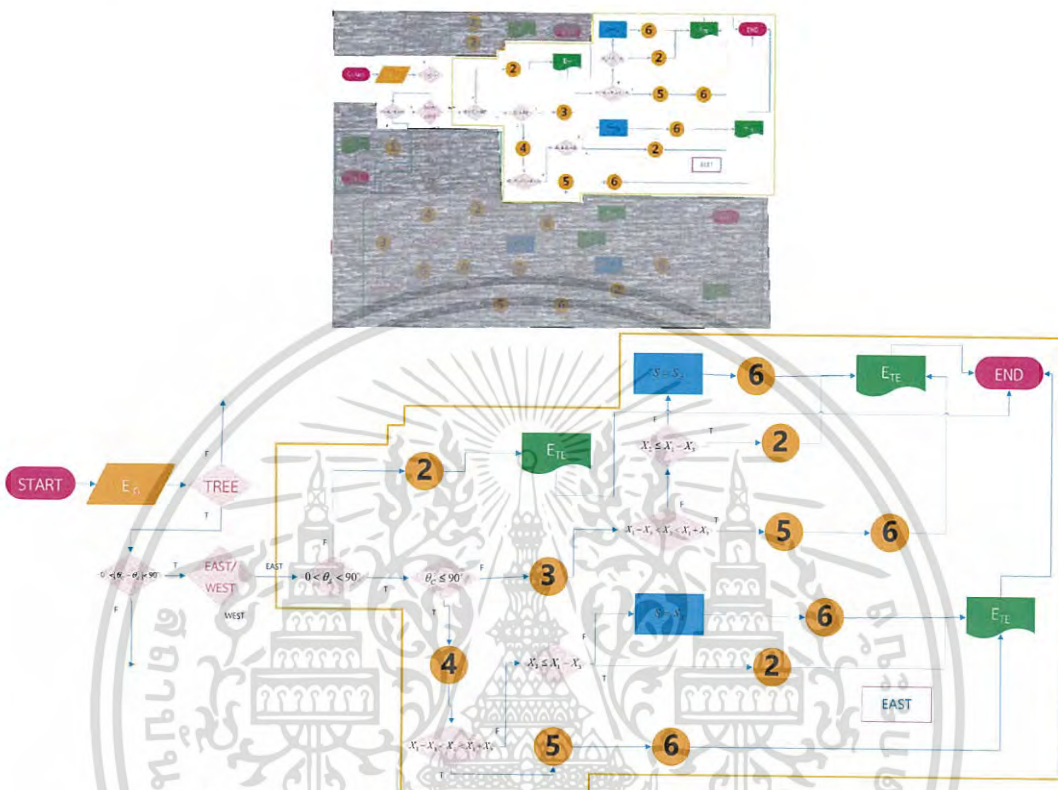
```

13 -         Es(cc,:) = Eg*0.8
14 -     else
15 -         Es(cc,:) = Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450))
16 -     end
17 - end
18 -     xlswrite('EN2.xlsx',Es,2,'C2:C182') %[headers; values];
19 - %% start2
20 - case 1
21 -     z_s=input('Input Zeta S = \n');
22 -     Eg=input('Input Eg = \n');cc=0;
23 -     EW=input('Select East=0 or West = 1 : \n');
24 -
25 -     for z_c=0:1:180
26 -         cc=cc+1;
27 -         if abs(z_c-z_s)>90
28 -             Eto(cc,:) = Eg*0.8
29 -         else
30 -             cc1=0;cc2=0;cc3=0;cc4=0;cc5=0;cc6=0;cc8=0;
31 -             switch EW
32 -                 case 0 %East EW=0
33 -                     for z_c=0:1:180;
34 -                         cc1=cc1+1;
35 -                         if z_s>=90
36 -                             if abs(z_c-z_s)<90
37 -                                 Ete(cc1,:) = Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450))

```

รูปที่ 3.33 การเขียนโปรแกรมในความสัมพันธ์ที่ปลูกต้นไม้แต่ต้นไม้ไม่ผลกระทบบกับเซลล์แสงอาทิตย์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนเงื่อนไขและการเขียนโปรแกรมในความสัมพันธ์ที่ต้นไม้ปลูกทางทิศตะวันออก ซึ่งการปลูกต้นไม้ทางทิศตะวันตกจะมีขั้นตอนเงื่อนไขและการเขียนโปรแกรมที่คล้ายกันจะมีปรับเปลี่ยนเพียงเครื่องหมาย



รูปที่ 3.34 ขั้นตอนเงื่อนไขในความสัมพันธ์ที่ต้นไม้ปลูกทางทิศตะวันออก

```

21 - z_s=input('Input Zeta S = \n');
22 - Eg=input('Input Eg = \n');cc=0;
23 - EW=input('Select East=0 or West =1 : \n');
24 -
25 - for z_c=0:1:180
26 -     cc=cc+1;
27 -     if abs(z_c-z_s)>90
28 -         Etc(cc,:) =Eg*0.8
29 -     else
30 -         cc1=0;cc2=0;cc3=0;cc4=0;cc5=0;cc6=0;cc8=0;
31 -         switch EW
32 -             case 0 %East EW=0
33 -                 for z_c=0:1:180;
34 -                     cc1=cc1+1;
35 -                     if z_s>=90
36 -                         if abs(z_c-z_s)<90
37 -                             Etc(cc1,:) =Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450))
38 -                         else
39 -                             Etc(cc1,:) =Eg*0.8
40 -                         end
41 -                     else
42 -                         if z_c>90 %AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
43 -                             x3=0.5*sin(z_c);
44 -                             h2=abs(0.5*cos(z_c));
45 -                             for h1=1.5:0.1:2.5

```

รูปที่ 3.35 การเขียนโปรแกรมในความสัมพันธ์ที่ต้นไม้ปลูกทางทิศตะวันออก (1/3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

41 -
42 -
43 -     else
44 -         if z_c>90 %AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
45 -             x3=0.5*sin(z_c);
46 -             h2=abs(0.5*cos(z_c));
47 -             for h1=1.5:0.1:2.5
48 -                 x2=h1+h2/abs(tan(z_s))
49 -                 for x1=1.5:0.5:6
50 -                     cc2=cc2+1;
51 -                     if x2<=x1-x3
52 -                         Ete(cc2,:)=Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450))
53 -                     elseif x2>=x1-x3
54 -                         Ete(cc2,:)=Eg*0.8
55 -                     else
56 -                         x4=x2-(x1-x3);
57 -                         So=x4/2*x3;
58 -                         SSo=SA; %?????
59 -                         Ete=(Eg*(1-SA)*((1-(abs(z_c-z_s)/450))))+(Eg*SA*0.8)
60 -                     end
61 -                 end
62 -             end
63 -         else % z_c<=90
64 -             x3=0.5*sin(z_c);
65 -             h2=abs(0.5*cos(z_c));
66 -             for h1=1.5:0.1:2.5
67 -                 x2=h1-h2/abs(tan(z_s))

```

รูปที่ 3.36 การเขียนโปรแกรมในความสัมพันธ์ที่ต้นไม้ปลูกทางทิศตะวันออก (2/3)

```

61 -
62 -     else % z_c<=90
63 -         x3=0.5*sin(z_c);
64 -         h2=abs(0.5*cos(z_c));
65 -         for h1=1.5:0.1:2.5
66 -             x2=h1-h2/abs(tan(z_s));
67 -             for x1=1.5:0.5:6
68 -                 cc3=cc3+1;
69 -                 if x2<=x1-x3
70 -                     Ete(cc3,:)=Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450))
71 -                 elseif x2>=x1-x3
72 -                     Ete(cc3,:)=Eg*0.8
73 -                 else
74 -                     x4=x2-(x1-x3);
75 -                     So=x3.*(x4/2);
76 -                     S=0.1:.1:1;
77 -                     jjj=0;
78 -                     for ij=1:length(S)
79 -                         jjj=jjj+1;
80 -                         SA(ij,jjj)=S(ij)*So;
81 -                     end
82 -                     % i11=0;
83 -                     for z_c = 0:1:180
84 -                         A111=0;
85 -                         for i11=1:length(SA)
86 -                             i11=i11+1;
87 -                             %SA=So.*S; %?????
88 -                             Ete(cc3,:)=(Eg*(1-SA(i11))*((1-(abs(z_c-z_s)/450))))+(Eg*SA(i11)*0.8) %BBBBBBBBBBBBBBB
89 -                         end

```

รูปที่ 3.37 การเขียนโปรแกรมในความสัมพันธ์ที่ต้นไม้ปลูกทางทิศตะวันออก (3/3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลและวิเคราะห์การทดลอง

4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้ระหว่างโปรแกรม MATLAB กับการคำนวณมือ

ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้ระหว่างโปรแกรม MATLAB กับการคำนวณมือ โดยแสดงในบางกรณี ซึ่งแสดงผลเปรียบเทียบในตารางที่ 4.1 ถึง ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม MATLAB และการคำนวณมือ ในแบบที่ไม่มีการปลุกต้นไม้ โดยเปรียบเทียบในบางกรณี ในค่าเฉลี่ยเดือนเมษายน ปี 2004-2014

Eg	θ_s	θ_c	ผลจาก MATLAB	ร้อยละพลังงานที่สูญเสีย	ผลจากการคำนวณมือ	ร้อยละพลังงานที่สูญเสีย	ผลต่างจากการวิเคราะห์
33.12	7.50	45.00	30.36	8.33%	30.36	8.33%	0
		90.00	27.05	18.33%	27.05	18.33%	0
		135.00	26.49	20.00%	26.49	20.00%	0
731.72	82.50	45.00	670.74	8.33%	670.74	8.33%	0
		90.00	719.52	1.67%	719.52	1.67%	0
		135.00	646.35	11.67%	646.35	11.67%	0
768.20	97.50	45.00	678.58	11.67%	678.58	11.67%	0
		90.00	755.40	1.67%	755.40	1.67%	0
		135.00	704.19	8.33%	704.19	8.33%	0
467.49	142.50	45.00	373.99	20.00%	373.99	20.00%	0
		90.00	412.95	11.67%	412.95	11.67%	0
		135.00	459.70	1.67%	459.70	1.67%	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม MATLAB และการคำนวณมือ ในแบบที่มี การปลูกต้นไม้ทางด้านทิศตะวันออก โดยเปรียบในบางกรณี ในค่าเฉลี่ยเดือนกุมภาพันธ์ ปี 2004-2014

Eg	θ_s	θ_c	h1	x1	S (ค่าความถี่)	ผลจาก MATLAB	ร้อยละพลังงานที่สูญเสีย	ผลจากการคำนวณมือ	ร้อยละพลังงานที่สูญเสีย	ผลต่างจากการวิเคราะห์
1.96	7.50	45.00	1.50	2.00	20%	1.75	10.67%	1.75	10.67%	0
					60%	1.66	15.33%	1.66	15.33%	0
				4.00	20%	1.75	10.67%	1.75	10.67%	0
					60%	1.66	15.33%	1.66	15.33%	0
		90.00	2.00	2.00	20%	1.59	18.67%	1.59	18.67%	0
					60%	1.58	19.33%	1.58	19.33%	0
				4.00	20%	1.59	18.67%	1.59	18.67%	0
					60%	1.58	19.33%	1.58	19.33%	0
		135.00	1.50	2.00	20%	1.56	20.00%	1.56	20.00%	0
					60%	1.56	20.00%	1.56	20.00%	0
				4.00	20%	1.56	20.00%	1.56	20.00%	0
					60%	1.56	20.00%	1.56	20.00%	0
672.50	97.50	45.00	1.50	2.00	20%	594.05	11.67%	594.05	11.67%	0
					60%	594.05	11.67%	594.05	11.67%	0
				4.00	20%	594.05	11.67%	594.05	11.67%	0
					60%	594.05	11.67%	594.05	11.67%	0
		90.00	2.00	2.00	20%	661.30	1.67%	661.30	1.67%	0
					60%	661.30	1.67%	661.30	1.67%	0
				4.00	20%	661.30	1.67%	661.30	1.67%	0
					60%	661.30	1.67%	661.30	1.67%	0
		135.00	1.50	2.00	20%	616.46	8.33%	616.46	8.33%	0
					60%	616.46	8.33%	616.46	8.33%	0
				4.00	20%	616.46	8.33%	616.46	8.33%	0
					60%	616.46	8.33%	616.46	8.33%	0
357.14	142.50	45.00	1.50	2.00	20%	285.71	20.00%	285.71	20.00%	0
					60%	285.71	20.00%	285.71	20.00%	0
				4.00	20%	285.71	20.00%	285.71	20.00%	0
					60%	285.71	20.00%	285.71	20.00%	0
		90.00	2.00	2.00	20%	315.47	11.67%	315.47	11.67%	0
					60%	315.47	11.67%	315.47	11.67%	0
				4.00	20%	315.47	11.67%	315.47	11.67%	0
					60%	315.47	11.67%	315.47	11.67%	0
		135.00	1.50	2.00	20%	351.19	1.67%	351.19	1.67%	0
					60%	351.19	1.67%	351.19	1.67%	0
				4.00	20%	351.19	1.67%	351.19	1.67%	0
					60%	351.19	1.67%	351.19	1.67%	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับอยู่ใต้เห็นใบเขียวระโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม MATLAB และการคำนวณมือ ในแบบที่มีการปลูกต้นไม้ทางด้านทิศตะวันออก โดยเปรียบในบางกรณี ในค่าเฉลี่ยเดือนสิงหาคม ปี 2004-2014

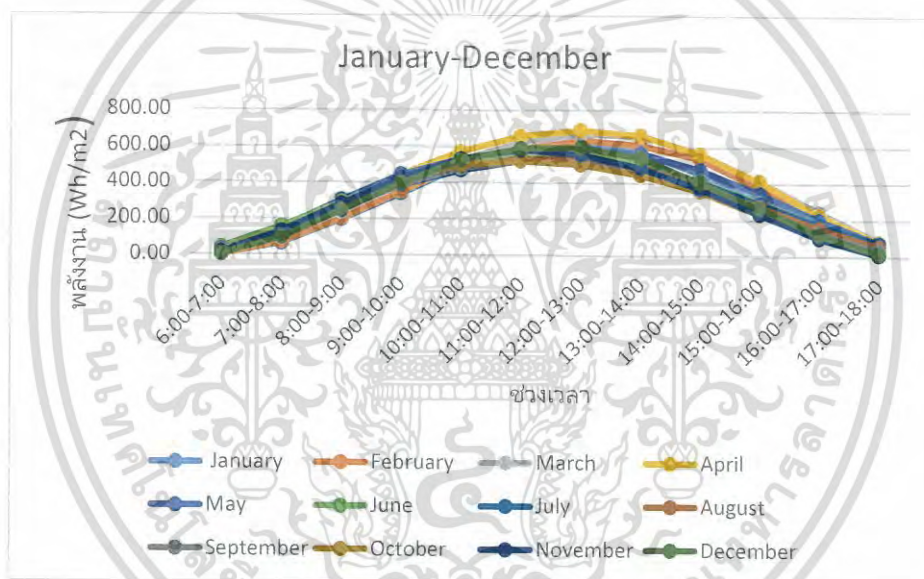
Eg	θ_s	θ_c	h1	x1	S (ค่าความทึบ)	ผลจาก MATLAB	ร้อยละพลังงานที่สูญเสีย	ผลจากการคำนวณมือ	ร้อยละพลังงานที่สูญเสีย	ผลต่างจากการวิเคราะห์
25.76	7.50	45.00	1.50	2.00	20%	23.61	8.33%	23.61	8.33%	0
					60%	23.61	8.33%	23.61	8.33%	0
				4.00	20%	23.61	8.33%	23.61	8.33%	0
					60%	23.61	8.33%	23.61	8.33%	0
		90.00	2.00	2.00	20%	21.03	18.33%	21.03	18.33%	0
					60%	21.03	18.33%	21.03	18.33%	0
				4.00	20%	21.03	18.33%	21.03	18.33%	0
					60%	21.03	18.33%	21.03	18.33%	0
		135.00	1.50	2.00	20%	20.60	20.00%	20.60	20.00%	0
					60%	20.60	20.00%	20.60	20.00%	0
				4.00	20%	20.60	20.00%	20.60	20.00%	0
					60%	20.60	20.00%	20.60	20.00%	0
591.06	97.50	45.00	1.50	2.00	20%	522.10	11.67%	522.10	11.67%	0
					60%	522.10	11.67%	522.10	11.67%	0
				4.00	20%	522.10	11.67%	522.10	11.67%	0
					60%	522.10	11.67%	522.10	11.67%	0
		90.00	2.00	2.00	20%	581.21	1.67%	581.21	1.67%	0
					60%	581.21	1.67%	581.21	1.67%	0
				4.00	20%	581.21	1.67%	581.21	1.67%	0
					60%	581.21	1.67%	581.21	1.67%	0
		135.00	1.50	2.00	20%	541.80	8.33%	541.80	8.33%	0
					60%	541.80	8.33%	541.80	8.33%	0
				4.00	20%	541.80	8.33%	541.80	8.33%	0
					60%	541.80	8.33%	541.80	8.33%	0
311.49	142.50	45.00	1.50	2.00	20%	249.19	20.00%	249.19	20.00%	0
					60%	249.19	20.00%	249.19	20.00%	0
				4.00	20%	249.19	20.00%	249.19	20.00%	0
					60%	249.19	20.00%	249.19	20.00%	0
		90.00	2.00	2.00	20%	269.96	13.33%	269.96	13.33%	0
					60%	259.58	16.67%	259.58	16.67%	0
				4.00	20%	275.15	11.67%	275.15	11.67%	0
					60%	275.15	11.67%	275.15	11.67%	0
		135.00	1.50	2.00	20%	306.30	1.67%	306.30	1.67%	0
					60%	306.30	1.67%	306.30	1.67%	0
				4.00	20%	306.30	1.67%	306.30	1.67%	0
					60%	306.30	1.67%	306.30	1.67%	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม MATLAB และการคำนวณมือในบางกรณี พบว่าการทำงานของโปรแกรมมีค่าผลที่ได้เท่ากับการคำนวณโดยมือ ซึ่งทำให้ทราบว่าผลการผลที่ได้รับจากโปรแกรมมีความถูกต้อง

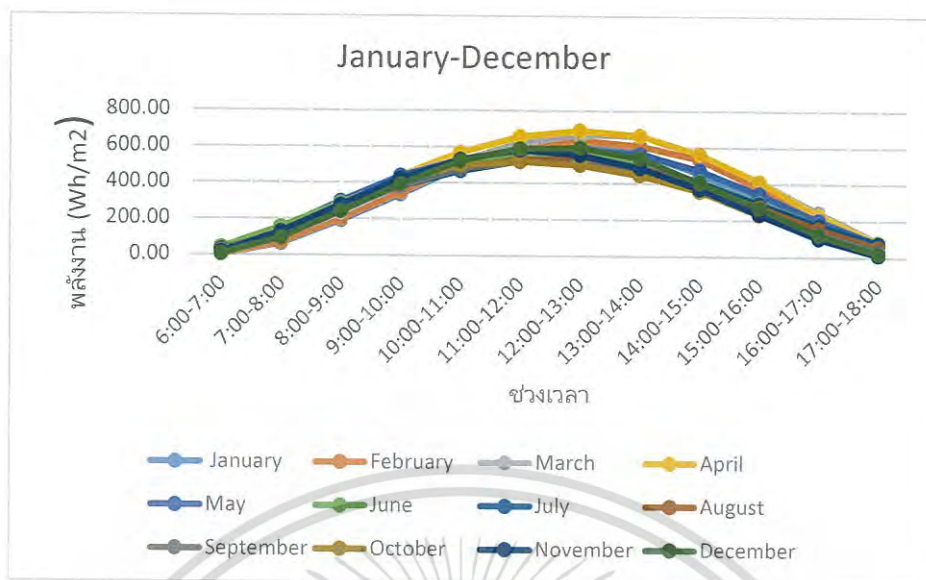
4.2 ผลการประมาณค่าพลังงานจากผลกระทบของต้นไม้ที่อยู่ใกล้แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์

โดยนำค่าลดทอนของพลังงานแสงอาทิตย์มาหาค่าพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ ซึ่งจากขั้นตอนในบทที่ 3 สามารถแสดงค่าลดทอนของพลังงานแสงอาทิตย์ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.3 (เพิ่มเติมภาคผนวก ค.)

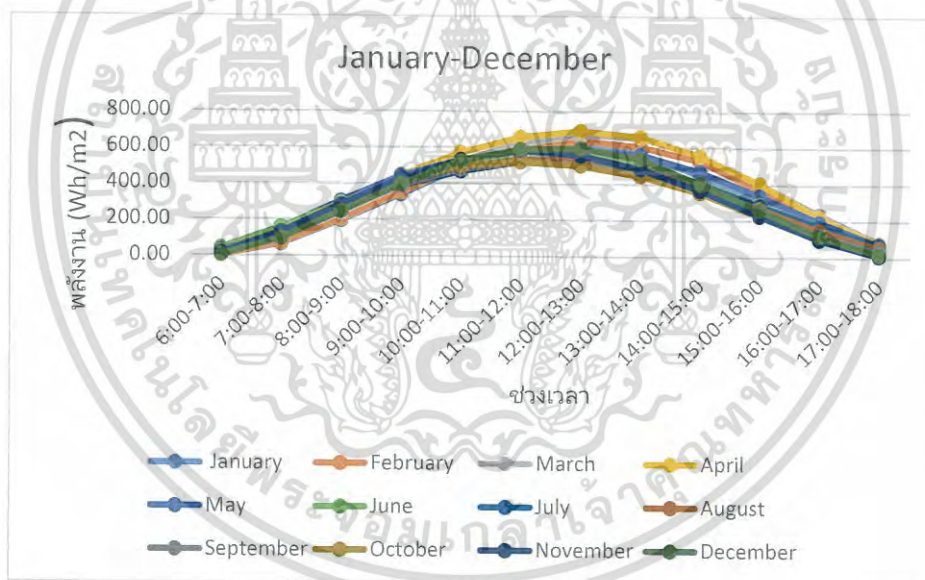


รูปที่ 4.1 พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยไม่มีต้นไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยมีต้นอยู่ทางทิศตะวันออก



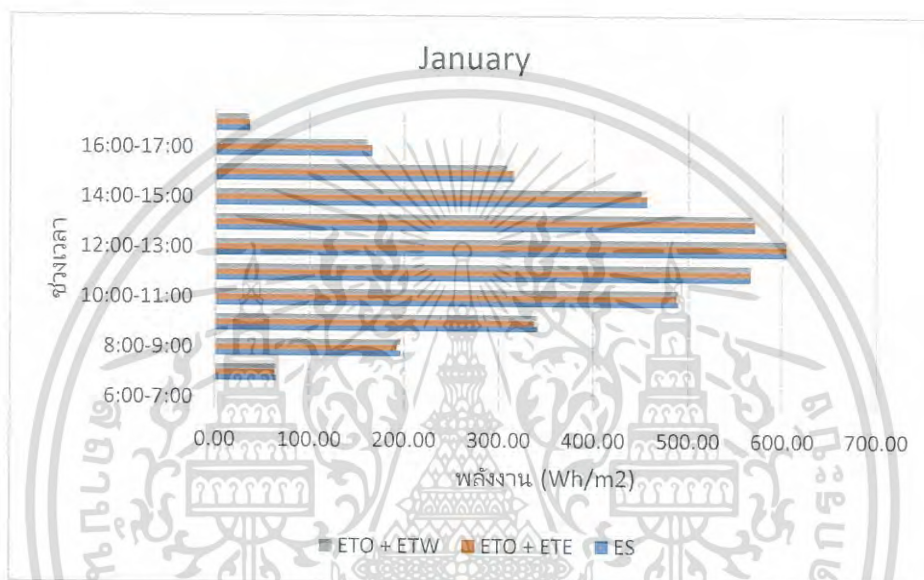
รูปที่ 4.3 พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยมีต้นอยู่ทางทิศตะวันตก

ในรูปที่ 4.2 พบว่าค่าพลังงานที่ลดไปจากรูปที่ 4.1 จะอยู่ในช่วงเช้า เพราะการปลูกต้นไม้ทางทิศตะวันออกจะมีผลกระทบเพียงช่วงเวลาเช้า เช่นเดียวกับรูปที่ 4.3 พบว่าค่าพลังงานที่ลดไปจากรูปที่ 4.1 จะอยู่ในช่วงเย็น เพราะการปลูกต้นไม้ในทางทิศตะวันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

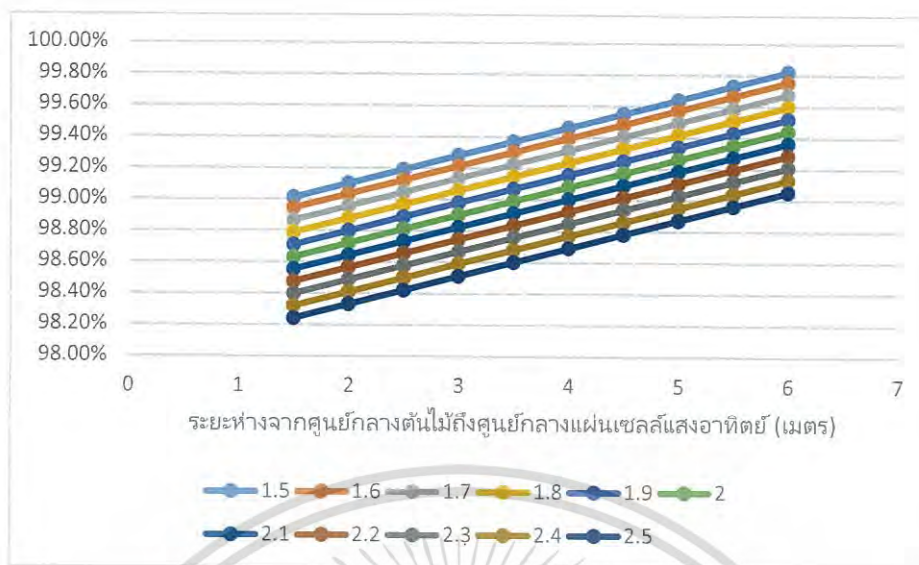
4.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกต้นไม้อยู่ใกล้เคียง และแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีต้นไม้อยู่โดยรอบ

ผลจากเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ได้จากการลดทอนทั้ง 3 กรณี โดยมี 1.พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยไม่มีต้นไม้ 2.พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยมีต้นอยู่ทางทิศตะวันออก 3.พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยมีต้นอยู่ทางทิศตะวันตก โดยแสดงในรูปที่ 4.4 และผลที่ได้จากค่าลดทอนเพิ่มเติมจากต้นไม้โดยแสดงดังรูปที่ 4.5 (ค่าจากภาคผนวก ค.)



รูปที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ถูกลดทอน 3 กรณี

จากรูปที่ 4.4 พบว่าการเปรียบเทียบทำให้ทราบถึงการปลูกต้นไม้บริเวณทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออกของตัวอาคารมีผลกระทบน้อยมากโดยสามารถดูเพิ่มเติมได้ที่รูปที่ 4.5 และทราบทำให้เห็นว่าปลูกต้นไม้ทางทิศตะวันออกจะมีผลกระทบเพียงช่วงเช้า และการปลูกต้นไม้ทางทิศตะวันตกจะมีผลกระทบเพียงช่วงเย็น



รูปที่ 4.5 ค่าลดทอนเพิ่มเติมที่เกิดขึ้นจากต้นไม้ โดยสัมพันธ์กับระยะ

4.4 วิเคราะห์การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า

4.4.1 ค่าพลังงานสูญเสียที่เกิดจากต้นไม้

จากการทดลองประมาณค่าโดยประเมินพลังงานที่เก็บได้มาจากกรมอุตุนิยมวิทยาตั้งแต่ปี 2004-2014 โดยพิจารณาองศาดวงอาทิตย์ องศาแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ ความสูงของต้นไม้ ระยะห่างของต้นไม้และความทึบของต้นไม้ พบว่าผลกระทบจากต้นไม้ในขอบเขตที่กำหนดมีค่าโดยเฉลี่ยลดลงประมาณ 0.18 % ถึง 3.51 % จากผลการประเมินที่ไม่มีต้นไม้บริเวณโดยรอบ ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าต้นไม้อาจจะมีการผลัดใบในบางฤดูทำให้แสงเข้ากระทบได้มากขึ้น หรือ ตำแหน่งที่ปลูกต้นไม้กับบริเวณที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ (อาคารบ้านเรือน) มีระยะห่างพอสมควรและมีความสูงไม่มากนัก หรือ พลังงานแสงอาทิตย์ที่กระจายมาจากบริเวณอื่นแม้จะมีต้นไม้มาบังเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งอาจจะเกิดได้หลายกรณี

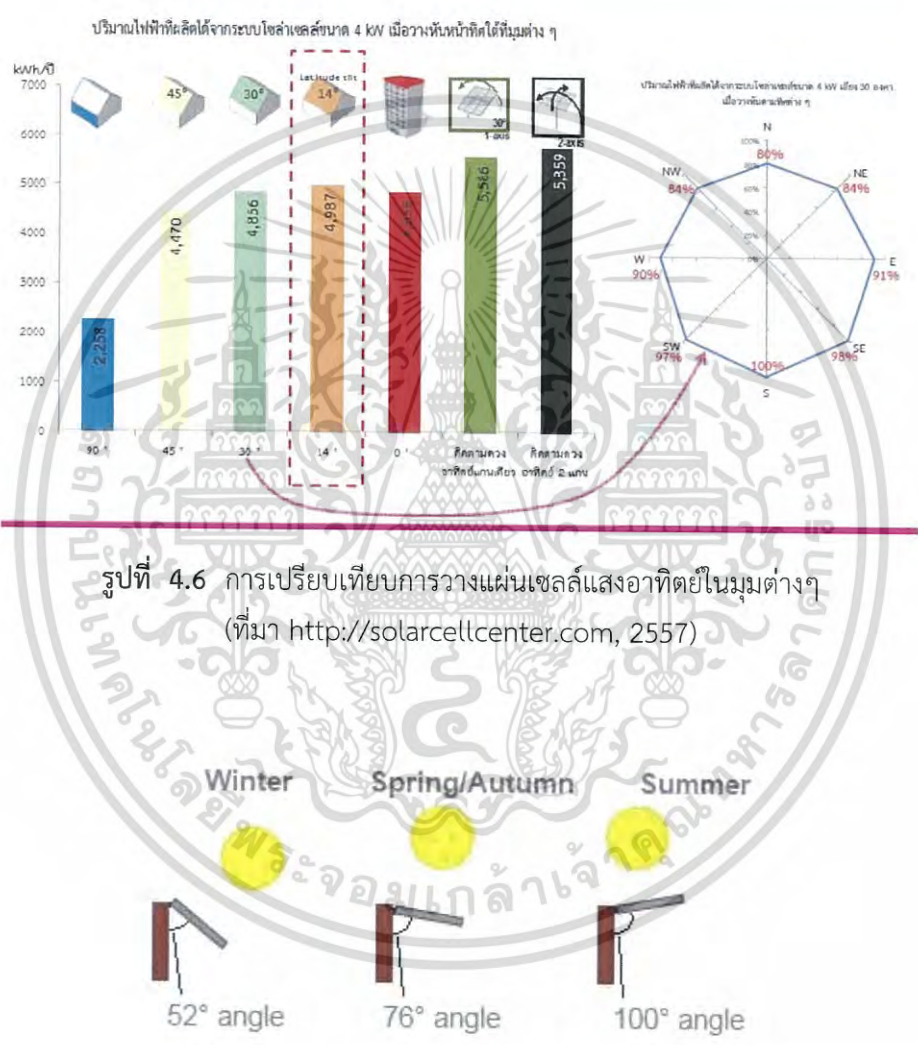
4.4.2 ค่ามุมการวางเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมในการศึกษานี้

จากการทดลองครั้งนี้ทำให้ทราบถึงมุมประมาณที่เหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ค่าจากสมมุติฐานพบว่า ในการติดตั้งแผ่นทางทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก พบว่ามุมที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 97.5 องศา และมีค่าลดทอนอยู่ที่ 0.11% แต่ถ้ามีข้อจำกัดในการวางทางทิศตะวันตกจะสามารถวางทางทิศตะวันออกได้ที่มุมประมาณ 83.5 องศา ซึ่งมีค่าลดทอนอยู่ที่ 0.11% เท่ากันแต่ค่าพลังงานในช่วงบ่ายหรือทางทิศตะวันตกมีมากกว่า ส่วนในการติดตั้งแผ่นทางทิศใต้-ทิศเหนือพบว่ามุมที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 90.0 องศา เพราะสามารถรับแสงอาทิตย์ได้กว้างที่สุดซึ่งมีค่าลดทอนอยู่ที่ 0.03% แต่มีสิ่งที่จะต้องคำนึงอีกประการคือสถานที่ตั้งและภูมิประเทศซึ่งถ้าประเทศไทยนั้นตำแหน่งที่ตั้งจะอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 15 องศาเหนือก็ควรปรับแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์มาที่ประมาณ 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศา ส่วนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทางทิศเหนือมีความเหมาะสมน้อยเพราะเป็นทิศที่ได้พลังงานน้อยที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับรูปที่ 4.6 หรือถ้าแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ปรับองศาได้จะเป็นไปตาม รูปที่ 4.7 โดยหันแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทางทิศใต้

Bangkok Sun Chart and Solar Cell System Placement



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบการวางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ในมุมต่างๆ (ที่มา <http://solarcellcenter.com>, 2557)

รูปที่ 4.7 การปรับองศาเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล (ที่มา <http://www.solarelectricityhandbook.com>, 2559)

จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิตพลังงานส่วนมากมาจากองศาของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ และจากการทดลองทำให้ทราบถึงจำนวนชั้นตอนที่มีทั้งหมด 3,516,122 กรณี ซึ่งจำเป็นต้องมีเครื่องมือในการช่วยจำลองและคำนวณค่าพลังงาน เพื่อลดเวลาและชั้นตอนในการหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพลังงานที่เกิดจากการลดทอนของปัจจัยโดยรอบของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการประมวลค่าพลังงานทั้งหมดในการทดลองนี้ใช้เวลาโดยประมาณ 4 ชั่วโมง 53 นาที

จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลในการลดทอนค่าพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุดในการวิจัยในครั้งนี้เป็นมุมมองของเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนต้นไม้มียปัจจัยน้อย ซึ่งอาจมาจากการปลูกต้นไม้ในเมืองมีการปลูกต้นไม้ที่มีความสูงไม่มากนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทำให้ทราบถึงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับโดยมีปัจจัยผลกระทบจากต้นไม้อื่นๆ โดยมีความสัมพันธ์จากองศาของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ ความทึบของต้นไม้อื่นๆ ความสูงของต้นไม้อื่นๆและระยะห่างของต้นไม้อื่นๆกับเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าผลกระทบค่าพลังงานลดทอนที่เกิดจากเงาต้นไม้อื่นๆกับเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยอยู่ 0.18% - 3.51% ซึ่งเป็นค่าผลกระทบที่น้อยมากและอาจเกิดการการปลูกต้นไม้อื่นๆในเมืองที่มีขนาดไม่สูงจากหลังคาตึกและมีระยะห่างจากตัวอาคารพอสมควร และผลกระทบที่เกิดจากต้นไม้อื่นๆจะพบได้แต่ในช่วงเช้าและเย็น จึงทำให้มีผลกระทบกับพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์น้อย ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบมากที่สุดในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์คือองศาการติดตั้งและทิศทางของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นแล้วการปลูกต้นไม้อื่นๆบริเวณรอบ ๆ อาคารขนาดเล็กจึงสามารถปลูกได้โดยรอบอาคาร แต่อาจจะต้องคำนึงถึงทิศทางแสงอาทิตย์และทิศทางลม จึงแนะนำให้ว่าการปลูกต้นไม้อื่นๆในกรุงเทพมหานครควรปลูกต้นไม้อื่นๆทางทิศใต้และทางทิศตะวันตก เนื่องจากเป็นทิศที่รับแสงแดดปริมาณมาก ซึ่งการปลูกต้นไม้อื่นๆในทิศใต้และทางทิศตะวันตกจะช่วยให้แสงแดดเข้าในอาคารได้น้อยลง ช่วยลดปริมาณการใช้เครื่องปรับอากาศได้ ส่วนทิศทางการวางเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดในกรุงเทพมหานครควรเลือกวางทางทิศใต้ที่ประมาณ 15 องศาที่ขนานกับแนวราบ ลำดับต่อไปเป็นทางทิศตะวันตก แล้วทิศตะวันออก สุดท้ายเป็นทางทิศเหนือ ซึ่งงานวิจัยในลักษณะนี้ไม่เคยมีการทำมาก่อนรวมทั้งเชิงการปฏิบัติจริง ถ้ามีการทดลองจริงอาจจะทำให้ค่าที่ได้มีความละเอียดมากขึ้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้วอาจจะมีการวางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะที่หลากหลาย และองศาของดวงอาทิตย์ในแต่ละฤดูก็จะมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งอาจทำให้เกิดค่าความแตกต่างจากงานวิจัยนี้

สุดท้ายแบบจำลองในการทดลองนี้ ทำให้เห็นว่า โปรแกรมแบบจำลองสามารถช่วยลดขั้นตอน และ เวลา ในการคิดหาค่าต่างๆ ในหลายกรณี ทั้งยังสะดวกต่อการแก้ไขขั้นตอน หรือสูตร และจำลองหาค่าที่ต้องการได้โดยมีความผิดพลาดน้อยกว่าการคำนวณโดยมนุษย์ ซึ่งในงานวิจัยที่ได้แสดงถึงแนวโน้มการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์จากแบบจำลอง

บรรณานุกรม

- ดร.ทรงยศ นาคอริยกุล, **คู่มือการใช้งาน MATLAB เบื้องต้น**, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- ศ.ดร. จงจิตรี ทิรัญลาภ, **กระบวนการพลังงานรังสีอาทิตย์รูปความร้อน**, 2541, บทที่1รังสีอาทิตย์และการวัด หน้า 20-24
- กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, www.tmd.go.th และ <http://ozone.tmd.go.th>.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, **พลังงานแสงอาทิตย์**, www.dede.go.th
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, **การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์**, 2556
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, **เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์**, <http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>
- สำนักงานกรุงเทพมหานคร, www.bangkok.go.th
- บริษัท มหานครเอ็นจิเนียริง แอนด์ ดีเวลลอปเมนต์ จำกัด, **ทิศทางตำแหน่งหลังคาบ้านที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์**, <http://solarcellcenter.com/en/content/3--solar-cell-placement>
- Michael Boxwell, 2012, **Solar Electricity Handbook 2012 Edition**, Warwickshire : Greenstream Publishing
- David J. Spiers, 1989, **Solar Electricity and Solar Fuels**, Helsinki University of Technology
- N. Phuangpornpitak, S. Kumar. 2007. "PV hybrid systems for rural electrification in Thailand." **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Volume 11, Issue 7 : 1530-1543.
- Janjai et al. 2011. 2013. "Mapping Global Solar Radiation from Long-Term Satellite Data in the Tropics Using an Improved Model. " **International Journal of Photoenergy**. Volume 2013 : 11 pages.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

David J. Spiers, 1989, **Solar Electricity and Solar Fuels**, Helsinki University of Technology

H.S. Rauschenbach, 1980, **Solar cell array design handbook**, Van Nostrand Reinhold,

Michael Boxwell, 2012, **Solar Angle Calculator**, www.solarelectricityhandbook.com

http://www.egco.com/th/energy_knowledge_solar1.asp

<http://www.eppo.go.th/vrs/VRS49-09-Solar.html>

http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php

<http://electrical.about.com/od/electricalbasics/f/driploopoutdoor.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell

<http://www.mathworks.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ค่าพลังงานตั้งต้นที่ได้จากการเก็บผลตั้งแต่ปี 2004-2014

ในภาคผนวกนี้ได้แสดงถึงค่าพลังงานที่เก็บได้จากการสำรวจของกรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยนำมาเฉลี่ยกันตั้งแต่ปี 2004 ถึง ปี 2014 ดังแสดงในตารางต่อไป (ตารางที่ ก.1 ถึง ก.12)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน มกราคม 2004 - 2014

	January											
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00
2004	0.86	27.14	87.03	150.50	200.38	229.45	250.38	238.10	192.48	139.00	78.55	19.79
2005	0.97	26.23	78.06	133.32	194.42	227.23	245.45	239.68	209.03	144.52	81.03	21.16
2006	1.35	34.68	101.10	169.74	227.29	249.61	261.77	252.45	216.42	157.16	84.26	21.03
2007	0.87	30.33	91.35	148.00	217.06	244.10	258.58	241.16	200.52	146.87	82.61	21.48
2008	0.86	27.66	71.21	142.83	200.20	235.30	258.03	250.07	204.97	147.23	83.90	22.83
2009												
2010	0.02	20.89	67.97	117.60	168.02	199.14	203.78	203.38	151.81	106.41	56.96	13.03
2011	0.54	25.64	78.25	137.13	201.44	238.11	256.51	235.80	179.07	120.47	59.00	12.21
2012	0.00	18.36	63.76	107.56	161.53	188.59	192.71	182.46	131.68	92.30	45.69	5.14
2013	0.02	23.97	71.50	118.41	177.73	209.99	237.55	214.51	175.16	114.19	57.36	8.66
2014	1.54	33.86	91.31	152.26	219.12	247.45	256.24	235.37	182.22	117.55	55.30	10.32
x0.01												
MJ/m2	0.70	26.88	80.16	137.74	196.72	226.90	242.10	229.30	184.33	128.57	68.47	15.57
MJ/m2	0.007	0.269	0.802	1.377	1.967	2.269	2.421	2.293	1.843	1.286	0.685	0.156
KJ/m2	7.037	268.752	801.554	1377.353	1967.193	2268.958	2421.015	2292.986	1843.350	1285.709	684.658	155.651
Wh/m2	1.955	74.653	222.654	382.598	546.442	630.266	672.504	636.941	512.042	357.141	190.183	43.237
Deg	7.5	22.5	37.5	52.5	67.5	82.5	97.5	112.5	127.5	142.5	157.5	172.5

ตารางที่ ก.2 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน กุมภาพันธ์ 2004 – 2014

	February											
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00
2004	1.55	33.14	96.90	158.24	221.10	265.00	283.62	274.55	237.79	183.41	112.34	38.17
2005	1.40	30.72	93.20	151.60	203.28	249.68	276.00	281.48	248.33	188.28	114.84	38.84
2006	2.15	37.41	100.81	169.33	213.74	243.63	250.85	236.15	210.74	156.30	98.07	31.19
2007	1.86	37.54	101.75	171.43	227.75	274.96	293.68	291.36	255.46	192.57	115.39	38.68
2008	1.24	26.88	80.36	143.20	203.12	227.72	254.88	233.28	217.64	153.76	92.68	31.96
2009	2.27	30.72	74.99	134.87	199.05	245.35	251.87	192.45	193.28	127.06	73.02	20.82
2010	0.11	25.67	78.17	125.30	189.86	247.32	262.52	264.39	236.62	157.69	93.68	31.89
2011	0.45	25.45	71.10	128.06	184.20	218.77	241.05	231.03	192.60	131.15	77.47	22.62
2012	0.00	21.87	69.61	122.54	180.66	212.13	232.42	224.12	194.46	135.51	76.53	24.04
2013	1.12	27.17	74.01	128.18	188.64	212.31	225.80	210.58	175.33	119.03	64.11	17.46
2014	0.65	24.70	69.56	125.34	182.41	220.23	235.47	245.00	216.96	143.48	81.55	24.24
x0.01												
MJ/m2	1.16	29.21	82.77	141.65	199.44	237.92	255.29	244.04	216.29	153.48	90.88	29.08
MJ/m2	0.012	0.292	0.828	1.416	1.994	2.379	2.553	2.440	2.163	1.535	0.909	0.291
KJ/m2	11.638	292.059	827.693	1416.453	1994.378	2379.182	2552.878	2440.363	2162.920	1534.771	908.821	290.825
Wh/m2	3.233	81.127	229.915	393.459	553.994	660.884	709.133	677.879	600.811	426.325	252.450	80.785
Deg	7.5	22.5	37.5	52.5	67.5	82.5	97.5	112.5	127.5	142.5	157.5	172.5

ตารางที่ ก.3 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน มีนาคม 2004 – 2014

	March											
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00
2004	4.58	46.26	110.68	172.26	235.16	257.52	284.03	287.06	250.77	198.55	122.19	45.58
2005	5.16	45.68	103.90	157.13	205.58	254.94	284.61	289.57	255.03	191.97	108.45	39.11
2006	5.29	48.23	111.19	182.03	248.68	280.45	292.71	293.84	248.03	195.45	123.32	42.65
2007	6.75	54.29	117.07	181.54	228.43	271.93	315.61	302.46	261.82	196.57	121.36	46.79
2008	5.32	50.29	115.42	186.65	247.65	278.55	292.00	282.10	248.90	188.87	115.45	41.90
2009	1.91	26.18	66.75	130.28	182.48	227.35	245.64	263.69	232.31	191.11	126.16	55.73
2010	3.82	43.60	101.17	163.07	229.01	274.88	282.02	258.61	220.44	151.98	87.51	27.85
2011	2.65	26.77	67.03	110.04	148.51	179.18	184.80	181.46	144.38	106.60	64.06	21.52
2012	1.44	31.70	85.30	140.49	186.08	229.36	250.98	240.87	198.66	138.25	77.66	28.72
2013	5.04	45.12	99.70	166.58	208.25	250.17	257.53	256.09	216.51	144.24	78.82	20.80
2014	2.71	37.38	86.23	145.75	207.17	236.87	257.91	258.03	222.20	153.54	82.93	24.27
x0.01												
MJ/m2	4.06	41.41	96.77	157.80	211.54	249.20	267.99	264.89	227.19	168.83	100.72	35.90
MJ/m2	0.041	0.414	0.968	1.578	2.115	2.492	2.680	2.649	2.272	1.688	1.007	0.359
KJ/m2	40.622	414.087	967.680	1578.012	2115.444	2491.991	2679.855	2648.902	2271.876	1688.304	1007.197	359.016
Wh/m2	11.284	115.024	268.800	438.337	587.623	692.220	744.404	735.806	631.077	468.973	279.777	99.727
Deg	7.5	22.5	37.5	52.5	67.5	82.5	97.5	112.5	127.5	142.5	157.5	172.5

ตารางที่ ก.4 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน เมษายน 2004 - 2014

	April											
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00
2004	14.28	69.34	135.17	207.17	266.07	313.14	324.93	311.93	268.86	209.14	115.83	39.48
2005	14.57	66.82	129.86	182.18	233.14	276.14	296.38	286.00	232.38	182.10	98.31	36.59
2006	15.46	71.04	128.36	181.57	227.25	276.50	307.29	290.61	239.86	167.89	100.50	43.64
2007	14.70	67.80	126.50	191.77	242.83	265.97	269.37	249.23	229.76	178.97	101.40	36.53
2008	14.20	67.37	142.03	197.43	238.47	278.23	304.43	277.77	235.53	177.67	108.57	37.87
2009	9.51	55.39	118.07	188.40	218.15	240.78	235.29	225.85	185.55	147.29	85.88	38.33
2010	11.81	59.92	120.41	185.29	248.24	277.16	285.02	286.11	245.49	172.73	93.45	32.94
2011	5.73	42.57	95.96	147.52	179.37	205.59	219.63	234.09	196.96	138.18	78.06	28.23
2012	9.22	45.88	110.10	178.09	230.95	267.10	277.50	272.05	233.00	174.70	97.02	33.23
2013	12.44	52.93	100.33	164.41	210.91	240.44	244.87	237.86	204.20	140.98	72.32	20.55
2014	9.24	49.09	97.83	159.71	224.87	256.56	277.38	257.06	226.64	161.63	85.73	29.48
x0.01												
MJ/m2	11.92	58.92	118.60	180.32	229.11	263.42	276.55	266.23	227.11	168.30	94.28	34.26
MJ/m2	0.119	0.589	1.186	1.803	2.291	2.634	2.766	2.662	2.271	1.683	0.943	0.343
KJ/m2	119.225	589.232	1186.019	1803.234	2291.133	2634.183	2765.531	2662.327	2271.110	1682.974	942.797	342.614
Wh/m2	33.118	163.675	329.450	500.898	636.426	731.717	768.203	739.535	630.864	467.493	261.888	95.171
Deg	7.5	22.5	37.5	52.5	67.5	82.5	97.5	112.5	127.5	142.5	157.5	172.5

ตารางที่ ก.5 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน พฤษภาคม 2004 – 2014

	May											
	6:00- 7:00	7:00- 8:00	8:00- 9:00	9:00- 10:00	10:00- 11:00	11:00- 12:00	12:00- 13:00	13:00- 14:00	14:00- 15:00	15:00- 16:00	16:00- 17:00	17:00- 18:00
2004	20.29	71.55	132.13	185.58	217.61	240.87	237.29	233.16	182.10	142.32	85.87	33.71
2005	21.94	79.84	143.00	181.23	225.94	247.19	271.58	262.42	209.00	165.16	102.19	39.48
2006	19.41	72.45	138.07	178.48	193.03	209.93	225.79	208.76	198.90	160.03	98.28	36.69
2007	22.11	74.33	122.00	162.48	203.48	214.15	225.78	217.70	188.22	132.59	75.07	30.52
2008	19.58	77.29	153.04	216.96	239.89	247.14	251.00	234.68	199.68	149.61	92.52	38.56
2009	12.06	53.31	102.36	155.39	198.52	197.88	194.25	200.86	165.69	117.88	65.04	24.43
2010	18.68	65.25	103.79	174.48	191.25	211.45	209.71	210.65	174.53	127.23	83.65	37.10
2011	12.75	0.54	104.25	160.14	202.71	223.53	226.76	231.88	200.20	144.85	80.35	29.51
2012	11.00	52.85	113.83	180.04	212.81	233.80	226.07	210.50	185.93	133.16	71.07	25.20
2013	20.53	69.98	129.97	190.17	231.84	248.29	257.30	244.40	206.18	138.49	77.71	22.95
2014	16.53	62.52	119.10	190.63	232.68	231.97	247.12	240.74	201.17	141.71	82.12	34.28
x0.01												
MJ/m2	17.72	61.81	123.78	179.60	213.61	227.84	233.88	226.89	191.96	141.19	83.08	32.04
MJ/m2	0.177	0.618	1.238	1.796	2.136	2.278	2.339	2.269	1.920	1.412	0.831	0.320
KJ/m2	177.165	618.102	1237.763	1795.989	2136.146	2278.366	2338.772	2268.863	1919.645	1411.857	830.803	320.394
Wh/m2	49.212	171.695	343.823	498.886	593.374	632.879	649.659	630.240	533.235	392.182	230.779	88.998
Deg	7.5	22.5	37.5	52.5	67.5	82.5	97.5	112.5	127.5	142.5	157.5	172.5

ตารางที่ ก.6 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน มิถุนายน 2004 - 2014

	June											
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00
2004	18.37	66.93	118.43	159.50	199.83	207.23	214.73	184.73	175.30	135.21	74.79	34.67
2005	22.53	75.97	136.80	175.67	217.97	259.10	271.73	247.27	190.37	142.80	96.33	40.67
2006	22.17	78.27	138.50	189.07	224.20	258.40	236.27	214.63	177.53	121.60	77.73	33.07
2007	25.60	82.30	147.37	203.97	236.17	267.53	262.10	229.13	197.30	144.83	90.03	34.40
2008	20.31	70.77	128.96	194.31	228.85	231.12	246.77	207.27	192.96	163.92	95.23	35.58
2009	19.19	68.89	117.98	159.24	199.56	218.37	245.38	216.20	164.71	122.81	72.31	27.07
2010	13.21	56.88	111.60	158.10	178.39	184.99	201.38	227.87	184.85	102.58	59.32	28.54
2011	10.67	43.86	88.65	137.46	174.66	201.84	202.18	165.84	131.30	94.88	59.14	24.78
2012	13.72	57.77	101.74	154.67	180.86	209.96	215.66	193.51	140.29	100.90	59.07	22.13
2013	20.07	67.55	122.90	167.41	191.98	202.68	180.65	144.97	122.90	78.45	45.71	14.25
2014	12.52	51.60	101.00	145.10	173.52	197.08	200.59	190.06	164.55	124.70	74.46	27.35
x0.01												
MJ/m2	18.03	65.53	119.45	167.68	200.54	221.66	225.22	201.95	167.46	121.15	73.10	29.32
MJ/m2	0.180	0.655	1.194	1.677	2.005	2.217	2.252	2.020	1.675	1.212	0.731	0.293
KJ/m2	180.307	655.258	1194.483	1676.812	2005.437	2216.643	2252.213	2019.527	1674.599	1211.532	731.025	293.183
Wh/m2	50.085	182.016	331.801	465.781	557.066	615.734	625.615	560.980	465.166	336.537	203.062	81.440
Deg	7.5	22.5	37.5	52.5	67.5	82.5	97.5	112.5	127.5	142.5	157.5	172.5

ตารางที่ ก.7 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน กรกฎาคม 2004 – 2014

	July											
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00
2004	14.45	59.71	121.48	177.32	225.58	251.16	268.48	231.52	209.97	167.16	104.61	47.55
2005	14.32	59.77	112.13	169.87	204.52	231.35	233.06	201.94	168.68	116.81	80.42	38.71
2006	13.84	56.39	111.32	159.10	184.39	207.77	220.45	209.42	172.42	116.06	67.00	33.90
2007	17.62	64.21	115.43	171.69	209.23	211.20	207.83	201.83	181.67	126.53	85.30	36.87
2008	16.06	62.84	122.84	174.13	200.39	224.32	224.23	201.97	175.52	124.26	86.97	45.13
2009	9.81	47.14	94.85	139.24	185.44	207.83	188.71	167.15	140.46	107.69	64.57	29.94
2010	9.72	44.90	95.66	156.78	176.21	206.72	199.32	187.28	145.12	101.55	59.03	27.40
2011	10.37	49.51	101.38	158.86	190.98	210.59	206.30	188.68	157.58	119.31	70.88	14.94
2012	6.53	38.81	82.79	128.30	161.57	184.55	183.79	195.60	171.21	118.81	63.70	26.06
2013	13.57	49.59	95.00	146.56	147.49	164.51	167.58	155.06	124.61	92.81	52.28	18.32
2014	8.63	45.34	90.00	143.90	188.55	199.87	206.74	196.32	169.20	115.04	65.13	25.75
x0.01												
MJ/m ²	12.27	52.56	103.90	156.89	188.58	209.08	209.68	194.25	165.13	118.73	72.72	31.32
MJ/m ²	0.123	0.526	1.039	1.569	1.886	2.091	2.097	1.943	1.651	1.187	0.727	0.313
KJ/m ²	122.668	525.644	1038.995	1568.873	1885.774	2090.791	2096.816	1942.512	1651.298	1187.296	727.172	313.233
Wh/m ²	34.074	146.012	288.610	435.798	523.826	580.775	582.449	539.587	458.694	329.804	201.992	87.009
Deg	7.5	22.5	37.5	52.5	67.5	82.5	97.5	112.5	127.5	142.5	157.5	172.5

ตารางที่ ก.8 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน สิงหาคม 2004 – 2014

	August											
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00
2004	10.90	57.87	116.48	175.77	209.30	224.37	234.03	208.58	180.61	128.48	75.42	31.35
2005	13.16	62.23	117.84	168.06	214.87	228.03	237.45	217.35	166.19	128.00	84.00	31.23
2006	11.87	48.06	105.74	160.45	196.42	204.19	222.06	193.06	162.13	123.16	81.77	34.00
2007	10.55	51.87	99.42	159.29	214.65	232.35	219.97	193.39	152.39	116.55	70.47	29.57
2008	12.58	58.06	127.81	180.06	226.03	236.65	234.94	217.90	178.26	128.26	74.23	29.03
2009	8.16	48.28	98.35	157.55	183.45	215.19	203.30	203.43	154.25	107.13	66.33	30.33
2010	3.85	34.12	86.07	141.36	160.95	176.57	179.91	170.63	129.46	90.53	46.15	14.14
2011	5.82	40.45	99.47	152.63	192.36	226.64	190.00	165.66	156.88	114.46	55.93	16.87
2012	6.96	46.90	100.40	153.31	183.08	195.37	195.85	183.70	168.91	103.09	44.49	15.27
2013	12.13	56.71	106.08	171.02	206.71	213.03	217.36	189.04	143.10	90.62	49.37	14.06
2014	5.96	38.28	92.18	141.70	179.28	189.42	205.71	204.90	143.37	103.22	56.87	19.33
x0.01												
MJ/m2	9.27	49.35	104.53	160.11	197.01	212.89	212.78	195.24	157.78	112.14	64.09	24.11
MJ/m2	0.093	0.493	1.045	1.601	1.970	2.129	2.128	1.952	1.578	1.121	0.641	0.241
KJ/m2	92.678	493.485	1045.304	1601.096	1970.095	2128.914	2127.804	1952.418	1577.781	1121.362	640.931	241.068
Wh/m2	25.744	137.079	290.362	444.749	547.249	591.365	591.057	542.338	438.273	311.490	178.036	66.963
Deg	7.5	22.5	37.5	52.5	67.5	82.5	97.5	112.5	127.5	142.5	157.5	172.5

ตารางที่ ก.11 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน พฤศจิกายน 2004 – 2014

	November											
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00
2004	9.23	66.47	138.30	207.23	242.90	276.23	262.63	231.47	187.13	128.73	63.03	9.03
2005	8.23	58.37	124.90	174.13	207.23	220.33	207.87	178.83	153.40	99.13	43.93	8.10
2006	8.37	59.03	130.93	195.63	234.83	266.90	266.47	242.37	189.57	126.00	62.90	9.47
2007	10.53	65.53	136.59	200.28	242.45	268.34	255.03	222.66	176.93	111.07	43.50	5.73
2008	7.40	53.12	111.11	176.96	217.89	251.18	239.54	208.57	162.89	105.93	52.39	6.96
2009	5.97	48.04	103.88	160.21	203.34	232.01	235.66	210.53	157.50	102.38	45.31	3.68
2010	3.48	38.92	93.27	148.10	194.99	213.71	205.00	175.79	127.77	78.31	34.89	2.76
2011	5.96	54.65	118.81	181.63	233.71	244.82	224.75	206.52	142.92	81.97	35.12	1.47
2012	4.28	40.01	86.76	128.91	163.28	183.66	168.71	143.09	109.22	63.56	26.95	1.06
2013	9.71	59.52	113.85	169.30	203.23	212.17	188.39	157.34	118.66	71.54	24.59	0.03
2014	6.64	51.78	107.11	159.43	203.51	198.65	196.50	168.91	124.20	82.25	29.37	1.93
x0.01												
MJ/m2	7.26	54.13	115.05	172.89	213.40	233.46	222.78	195.10	150.02	95.53	42.00	4.57
MJ/m2	0.073	0.541	1.150	1.729	2.134	2.335	2.228	1.951	1.500	0.955	0.420	0.046
KJ/m2	72.562	541.311	1150.461	1728.921	2133.977	2334.557	2227.780	1950.973	1500.193	955.338	419.990	45.675
Wh/m2	20.156	150.364	319.573	480.256	592.771	648.488	618.828	541.937	416.720	265.372	116.664	12.688
Deg	7.5	22.5	37.5	52.5	67.5	82.5	97.5	112.5	127.5	142.5	157.5	172.5

ตารางที่ ก.12 พลังงานโดยเฉลี่ยในเดือน ธันวาคม 2004 – 2014

	December											
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00
2004	3.10	42.68	111.26	179.58	225.06	261.10	262.10	240.55	195.10	130.81	63.03	11.19
2005	3.06	38.26	98.55	158.52	202.13	223.39	218.65	191.84	152.35	107.45	52.26	8.74
2006	3.58	46.06	116.26	185.10	231.06	258.39	264.16	245.97	187.74	123.32	58.39	11.10
2007	3.13	46.65	113.16	178.03	225.42	263.16	269.65	242.55	188.84	134.35	66.97	12.10
2008	2.94	42.03	110.55	181.45	232.90	264.03	260.61	234.71	178.55	118.65	60.84	11.19
2009	0.97	34.21	89.28	142.14	208.02	223.88	233.34	215.80	159.08	105.57	51.35	8.02
2010	1.84	31.45	81.79	127.61	174.85	201.45	198.22	187.80	144.42	98.95	45.64	6.84
2011	1.03	34.62	90.95	149.18	205.61	227.06	235.44	216.79	152.49	93.43	38.65	3.07
2012	1.38	33.05	85.39	137.29	189.46	197.56	209.09	185.08	136.76	89.86	39.98	4.24
2013	5.66	49.48	108.56	167.19	214.15	243.69	236.92	206.64	143.82	87.35	31.51	1.80
2014												
x0.01												
MJ/m2	2.67	39.85	100.57	160.61	210.87	236.37	238.82	216.77	163.92	108.97	50.86	7.83
MJ/m2	0.027	0.398	1.006	1.606	2.109	2.364	2.388	2.168	1.639	1.090	0.509	0.078
KJ/m2	26.694	398.487	1005.737	1606.091	2108.672	2363.712	2388.174	2167.731	1639.167	1089.741	508.618	78.291
Wh/m2	7.415	110.691	279.371	446.136	585.742	656.587	663.382	602.147	455.324	302.706	141.283	21.747
Deg	7.5	22.5	37.5	52.5	67.5	82.5	97.5	112.5	127.5	142.5	157.5	172.5

ภาคผนวก ข.

สูตรและขั้นตอนการเขียนสมการในโปรแกรม Matlab

ในภาคผนวกนี้ได้แสดงถึงการป้อนค่าสมการในโปรแกรม Matlab แสดงดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Treecon=input('Tree =1 or not= 0 : \n');
c66=0;c77=0;iii=0;ccc3=0;

switch Treecon
    case 0
        z_s=input('Input Zeta S = \n');
        Eg=input('Input Eg = \n');
        cc=0;
        for z_c=0:1:180
            cc=cc+1;
            if abs(z_c-z_s)>90
                Es(cc,:)=Eg*0.8
            else
                Es(cc,:)=Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450))
            end
        end
        xlswrite('EN2.xlsx',Es,2,'C2:C182') %[headers; values];
        %% start2
    case 1
        z_s=input('Input Zeta S = \n');
        Eg=input('Input Eg = \n');cc=0;
        EW=input('Select East=0 or West =1 : \n');
        for z_c=0:1:180
            cc=cc+1;
            if abs(z_c-z_s)>90
                Eto(cc,:)=Eg*0.8
            else
                cc1=0;cc2=0;cc3=0;cc4=0;cc5=0;cc6=0;cc8=0;
                switch EW
                    case 0 %East EW=0
                        for z_c=0:1:180;
                            cc1=cc1+1;
                            if z_s>=90
                                if abs(z_c-z_s)<90
                                    Ete(cc1,:)=Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450))
                                else
                                    Ete(cc1,:)=Eg*0.8
                                end
                            end
                        else
                            if z_c>90 %
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
                    x3=0.5*sin(z_c);
                    h2=abs(0.5*cos(z_c));
                    for h1=1.5:0.1:2.5
                        x2=h1+h2/abs(tan(z_s))
                        for x1=1.5:0.5:6
                            cc2=cc2+1;
                            if x2<=x1-x3
                                Ete(cc2,:)=Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450))
                            elseif x2>=x1-x3
                                Ete(cc2,:)=Eg*0.8
                            else
                                x4=x2-(x1-x3);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

for h1=1.5:0.1:2.5
    %%
    x2=h1-h2/abs(tan(z_s));
    for x1=1.5:0.5:6
        cc3=cc3+1;
        if x2<=x1-x3

            for z_c = 0:1:180
                %iii=0;
                % for iii=1:1:length(SA)
                    iii=iii+1;

                    % Ete(cc3,:)=Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450)) %✓
                    Ete(cc3,:)=Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450))
                    % end
                end

                Ete(cc3,:)=Eg*0.8 %✓
            else
                x4=x2-(x1-x3);
                So=x4.*(x3/2);
                S=0.1:1:1;
                jjj=0;
                for ij=1:1:length(S)
                    jjj=jjj+1;
                    SA(:,jjj)=S(ij)*So;
                end
                % iii=0;
                for z_c = 0:1:180
                    %iii=0;
                    for iii=1:1:length(SA)
                        iii=iii+1;
                        %SA=So.*S; %????
                        Ete(cc3,:)=(Eg*(1-SA(iii)))+(1-(abs(z_c-z_s)
/450)))+(Eg*SA(iii)*0.8) %FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
                    end
                end
            end
        end
    end
else
    %%
    %
    z_c=0:1:180;
    x3=0.5*sin(z_c);

    for h1=1.5:0.1:2.5
        %%
        x2=h1-h2/abs(tan(z_s));
        for x1=1.5:0.5:6
            ccc3=ccc3+1 ;
            if x2<=x1-x3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

h2(c66,:)=abs(0.5*cos(z_c));
end

% for h1= 1.5:0.1:2.5
h1=linspace(1.5,2.5,181);
h1=h1';
h2=abs(0.5*cos(z_c)); % h2(c66,:)=abs(0.5*cos
(z_c));

x2=h1+h2./abs(tan(z_s));

c6666=0;
x1=1.5:0.5:6;% for x1=1.5:0.5:6

length_x3=length(x3);

for l3=1:1:length_x3
if x2<=x1(1)-x3(l3)
c6666=c6666+1;
Ete=Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450))
elseif x2>=x1(1)-x3(l3)
c6666=c6666+1;
Ete=Eg*0.8
else
x4=x2-(x1(1)-x3(l3));
%So=x4/2*x3;
for S=0.1:0.1:1;
cc8= cc8+1;
So=x4/2*x3(l3);
SA=So.*S;%SSo=SA; %?????
Ete=(Eg*(1.-SA)*((1-(abs(z_c-z_s)
/450))))+(Eg.*SA*0.8)
end
end
%
if x2<=x1(2)-x3(l3)
c6666=c6666+1;
Ete=Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450))
elseif x2>=x1(2)-x3(l3)
c6666=c6666+1;
Ete=Eg*0.8
else
x4=x2-(x1(2)-x3(l3));
%So=x4/2*x3(l3);
for S=0.1:0.1:1;
cc8= cc8+1;
So=x4/2*x3(l3);
SA=So.*S;%SSo=SA; %?????

Ete=(Eg*(1.-SA)*((1-(abs(z_c-z_s)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

Ete(cc4,:) = Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450))
end
else
if z_c < 90
x3 = 0.5*sin(z_c);
h2 = abs(0.5*cos(z_c));
%for
h1 = 1.5:0.1:2.5
cc5 = cc5+1;
x2 = h1+h2/abs(tan(z_s))
%end
for x1 = 1.5:0.5:6
if x2 <= x1-x3
Ete = Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450))
elseif x2 >= x1-x3
Ete = Eg*0.8
else
x4 = x2-(x1-x3);
%So = x4/2*x3;
for S = 0.1:0.1:1;
cc8 = cc8+1;
So = x4/2*x3;
SA = So.*S; %SSo = SA; %?????
Ete = (Eg*(1-SA))*((1-(abs(z_c-z_s)/450))) + (Eg.*SA*0.8)
end
end
end
%end
else % z_c >= 90
x3 = 0.5*sin(z_c);
h2 = abs(0.5*cos(z_c));
x2 = h1-h2/abs(tan(z_s));
for x1 = 1.5:0.5:6
cc6 = cc6+1;
if x2 <= x1-x3
Ete = Eg*(1-(abs(z_c-z_s)/450))
elseif x2 >= x1-x3
Ete = Eg*0.8
else
x4 = x2-(x1-x3);
Se = x4/2*x3;
SSo = SA; %?????
Ete = (Eg*(1-SA))*((1-(abs(z_c-z_s)/450))) +
(Eg.*SA*0.8)
end
end
end
end
%end
%end
%end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%           %end
%           % end
% %end
xlswrite('EN2.xlsx',Treecon,2,'A2')
%xlswrite('EN2.xlsx',EW,2,'F2')
%xlswrite('EN2.xlsx',Ete,2,'d2:d182') % [headers; values];
%xlswrite('EN2.xlsx',Eto,2,'H2:H182')
%xlswrite('EN2.xlsx',Ete,2,'J2:J182')

%else
%   Eto=Eg*0.8
%end

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ผลปฏิบัติงานจากค่าลดทอนที่ได้จากสมการ

ในภาคผนวกนี้ได้แสดงถึงค่าปฏิบัติงานที่ลดทอนจากสมการ แสดงดังตารางต่อไปนี้ (ตารางที่ ค.1 ถึง ตารางที่ ค.4)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยไม่มีต้นไม้

	พลังงาน(Wh/m ²)											
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00
January	1.68	65.09	196.57	340.91	489.87	566.70	604.68	571.00	456.25	315.30	165.82	37.10
February	2.77	70.73	202.98	350.59	496.64	594.23	637.61	607.70	535.35	376.38	220.11	69.33
March	9.68	100.29	237.31	390.58	526.79	622.41	669.33	659.63	562.32	414.03	243.94	85.58
April	28.42	142.71	290.85	446.32	570.54	657.92	690.73	662.98	562.13	412.72	228.34	81.67
May	42.24	149.70	303.54	444.53	531.95	569.05	584.14	565.00	475.14	346.24	201.21	76.38
June	42.99	158.70	292.93	415.03	499.40	553.64	562.52	502.91	414.48	297.11	177.05	69.89
July	29.24	127.31	254.80	388.31	469.60	522.20	523.71	483.73	408.72	291.17	176.12	74.67
August	22.09	119.52	256.35	396.29	490.60	531.72	531.45	486.19	390.52	275.00	155.23	57.47
September	21.95	121.19	252.85	390.92	480.81	519.89	508.40	472.10	375.42	246.73	129.41	36.11
October	22.72	133.50	280.03	417.28	500.64	520.55	501.63	446.32	358.38	230.28	106.55	17.84
November	17.30	131.10	282.13	427.93	531.41	583.09	556.42	485.83	371.32	234.28	101.72	10.89
December	6.36	96.51	246.64	397.53	525.10	590.37	596.48	539.81	405.71	267.24	123.18	18.66
Deg	7.5	22.5	37.5	52.5	67.5	82.5	97.5	112.5	127.5	142.5	157.5	172.5

ตารางที่ ค.2 พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยมีต้นอยู่ทางทิศตะวันออก

	พลังงาน(Wh/m ²)											
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00
January	1.62	63.29	192.60	336.89	487.62	566.70	604.68	571.00	456.25	315.30	165.82	37.10
February	2.68	68.77	198.88	346.45	494.36	594.23	637.61	607.70	535.35	376.38	220.11	69.33
March	9.34	97.51	232.52	385.97	524.37	622.41	669.33	659.63	562.32	414.03	243.94	85.58
April	27.43	138.75	284.98	441.06	567.92	657.92	690.73	662.98	562.13	412.72	228.34	81.67
May	40.75	145.55	297.41	439.28	529.50	569.05	584.14	565.00	475.14	346.24	201.21	76.38
June	41.48	154.30	287.01	410.13	497.10	553.64	562.52	502.91	414.48	297.11	177.05	69.89
July	28.22	123.78	249.65	383.73	467.44	522.20	523.71	483.73	408.72	291.17	176.12	74.67
August	21.32	116.21	251.17	391.61	488.34	531.72	531.45	486.19	390.52	275.00	155.23	57.47
September	21.18	117.84	247.74	386.30	478.59	519.89	508.40	472.10	375.42	246.73	129.41	36.11
October	21.92	129.80	274.37	412.36	498.34	520.55	501.63	446.32	358.38	230.28	106.55	17.84
November	16.69	127.47	276.44	422.88	528.96	583.09	556.42	485.83	371.32	234.28	101.72	10.89
December	6.14	93.84	241.66	392.84	522.69	590.37	596.48	539.81	405.71	267.24	123.18	18.66
Deg	7.5	22.5	37.5	52.5	67.5	82.5	97.5	112.5	127.5	142.5	157.5	172.5

ตารางที่ ค.3 พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้จากการลดทอน โดยมีต้นอยู่ทางทิศตะวันตก

	พลังงาน(Wh/m ²)											
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00
January	1.68	65.09	196.57	340.91	489.87	566.70	604.68	568.38	450.87	308.93	161.23	35.80
February	2.77	70.73	202.98	350.59	496.64	594.23	637.61	604.91	529.03	368.78	214.01	66.89
March	9.68	100.29	237.31	390.58	526.79	622.41	669.33	656.60	555.68	405.67	237.18	82.58
April	28.42	142.71	290.85	446.32	570.54	657.92	690.73	659.93	555.49	404.39	222.01	78.81
May	42.24	149.70	303.54	444.53	531.95	569.05	584.14	562.40	469.53	339.24	195.64	73.70
June	42.99	158.70	292.93	415.03	499.40	553.64	562.52	500.59	409.59	291.11	172.14	67.44
July	29.24	127.31	254.80	388.31	469.60	522.20	523.71	481.50	403.89	285.29	171.24	72.05
August	22.09	119.52	256.35	396.29	490.60	531.72	531.45	483.96	385.91	269.44	150.93	55.45
September	21.95	121.19	252.85	390.92	480.81	519.89	508.40	469.93	370.99	241.75	125.83	34.85
October	22.72	133.50	280.03	417.28	500.64	520.55	501.63	444.27	354.15	225.63	103.60	17.21
November	17.30	131.10	282.13	427.93	531.41	583.09	556.42	483.60	366.93	229.55	98.90	10.51
December	6.36	96.51	246.64	397.53	525.10	590.37	596.48	537.33	400.93	261.84	119.77	18.01
Deg	7.5	22.5	37.5	52.5	67.5	82.5	97.5	112.5	127.5	142.5	157.5	172.5

ตารางที่ ค.4 ค่าลดทอนเพิ่มเติมที่เกิดขึ้นจากต้นไม้ โดยสัมพันธ์กับระยะ (เมตร)

h1\l1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
1.5	99.01%	99.10%	99.19%	99.28%	99.37%	99.46%	99.55%	99.64%	99.73%	99.82%
1.6	98.94%	99.03%	99.12%	99.21%	99.30%	99.39%	99.48%	99.57%	99.66%	99.75%
1.7	98.86%	98.95%	99.04%	99.13%	99.22%	99.31%	99.40%	99.49%	99.58%	99.67%
1.8	98.79%	98.88%	98.97%	99.06%	99.15%	99.24%	99.33%	99.42%	99.51%	99.60%
1.9	98.71%	98.80%	98.89%	98.98%	99.07%	99.16%	99.25%	99.34%	99.43%	99.52%
2	98.63%	98.72%	98.81%	98.90%	98.99%	99.08%	99.17%	99.26%	99.35%	99.44%
2.1	98.55%	98.64%	98.73%	98.82%	98.91%	99.00%	99.09%	99.18%	99.27%	99.36%
2.2	98.47%	98.56%	98.65%	98.74%	98.83%	98.92%	99.01%	99.10%	99.19%	99.28%
2.3	98.40%	98.49%	98.58%	98.67%	98.76%	98.85%	98.94%	99.03%	99.12%	99.21%
2.4	98.32%	98.41%	98.50%	98.59%	98.68%	98.77%	98.86%	98.95%	99.04%	99.13%
2.5	98.24%	98.33%	98.42%	98.51%	98.60%	98.69%	98.78%	98.87%	98.96%	99.05%

ภาคผนวก ง.

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

ในภาคผนวกนี้ได้แสดงผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 8-10 กรกฎาคม 2558 ณ โรงแรมเดอะชาयน์ พัทยาเหนือ จ.ชลบุรี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์กับการปลูกต้นไม้ในเมือง Relationship between Solar Power and Plantation for Urban Cities

ศุภกร ประพัทธ์สร^{1*} และ ชลิตา อยู่ตะนา²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ. กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar power) ที่จะนำมาใช้ในการผลิตเป็นความร้อนหรือผลิตกระแสไฟฟ้า นั้นมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ (Solar irradiance) ในแต่ละพื้นที่ที่ทำการศึกษา ซึ่งปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับช่วงเวลาและฤดูกาลอันเนื่องมาจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์และสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นในการติดตั้งแผงโซลาร์พาแนล (Solar Panels) เพื่อใช้ในการรวบรวมและผลิตกระแสไฟฟ้า จากรังสีแสงอาทิตย์จึงควรพิจารณาตำแหน่งให้มีความสอดคล้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และ ฤดูกาล ในแต่ละช่วงเวลา จากการศึกษาพิจารณาตำแหน่งการวางแผงโซลาร์พาแนลพบว่า การปรับเปลี่ยนตำแหน่งการวางโซลาร์พาแนลให้สัมพันธ์กับตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแต่ละเดือนในหนึ่งปี ทำให้สามารถผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้มากกว่าการวางแผงโซลาร์พาแนลในแนวตั้ง หรือ แนวราบ แต่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและค่าเนิ่นการสูง อีกทั้งหากพิจารณารังสีแสงอาทิตย์ที่ ตกกระทบโดยตรงต่อแผงโซลาร์พาแนลระหว่างฤดูร้อนเปรียบเทียบกับฤดูหนาว ช่วงเวลาที่ยังเปรียบ เทียบกับหลังเที่ยงวัน รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบ่งจากร่มเงาของต้นไม้ใหญ่ที่ปลูกในเมือง และ ข้อมูลปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ในประเทศไทยตอนกลาง (กรุงเทพมหานคร) ปัจจัยดังกล่าวมีผลกระทบ โดยตรงต่อการปริมาณรังสีแสงอาทิตย์และปริมาณพลังงานจากแสงอาทิตย์ ทำให้กล่าวได้ว่าตำแหน่งที่เหมาะสม ในการวางแผงโซลาร์พาแนลเป็นตำแหน่ง การวางแผงโซลาร์พาแนลในแนว ราบเมื่อเปรียบเทียบกับการวางในแนวตั้ง

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์, โซลาร์พาแนล, รังสีแสงอาทิตย์, ต้นไม้ใหญ่

Abstract

Solar Irradiance is a measure of how much solar power you are getting at particular locations. This irradiance varies throughout the year depending on the seasons. It also varies throughout the day, depending on the position of the sun in the sky, and the weather. Therefore, installation position of solar panels used to collect solar irradiance and produce solar energy have to think about these factors. According to the result of this study, the best installation position of solar panels

* ศุภกร ประพัทธ์สร

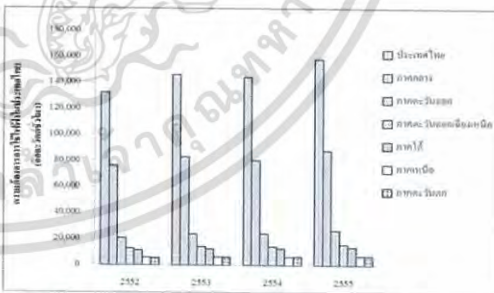
E-mail address: benz.suphakorn@gmail.com

is on adjust turn out the year comparing to flat and vertical positions. However, the installation, operation and maintenance cost of adjust turn out the year is the highest one. Also, winter and summer seasons, as well as time periods (before and after noon) affect direct solar irradiance and solar transmit to the shade of urban trees to solar panels if Thailand information are included. Solar panels are on flat surface is better than vertical surface

Keywords: Solar Irradiance, Solar Power, Plantation

1. บทนำ

ประเทศไทยมีการใช้งานพลังงานหลายชนิด ในหลากหลายรูปแบบ เพื่อการพัฒนาประเทศ ทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ความต้องการการใช้พลังงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ไฟฟ้ามีเพิ่มมากขึ้นทั้งในระดับภูมิภาคและระดับประเทศ (รูปที่ 1) การรณรงค์ให้ประชาชนรู้จักการใช้พลังงานอย่างมีคุณค่าและการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ จึงมีอย่างกว้างขวางในสังคมปัจจุบัน ตัวอย่างเช่นการปิดสวิทช์ไฟฟ้าเมื่อไม่ได้ใช้งาน การปลูกต้นไม้ใหญ่เพื่ออาศัยร่มเงาจากต้นไม้ในการบังแดดเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศ และการใช้ผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้ในครัวเรือน ตลอดจนขายคืนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้แก่การไฟฟ้า



รูปที่ 1 ความต้องการการใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยจำนวนตามภูมิภาค ปี 2552-2555

ที่มา กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (<http://www.dede.go.th>) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าการรณรงค์บางหัวข้อ มีความขัดแย้งในบางประการ กล่าวคือ การปลูกต้นไม้ใหญ่ในเมืองมีความสำคัญเพราะร่มเงาจากต้นไม้สามารถป้องกันแสงแดดในช่วงกลางวัน ทำให้ผู้อยู่อาศัยในตัวอาคาร ไม่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากแสงแดด และ ลดความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า ของเครื่องปรับอากาศลงได้ แต่ในทางตรงกันข้าม การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ตามอาคารพักอาศัย ก็ไม่ควรมีเงาต้นไม้บังแสงแดด ซึ่งเปลี่ยนทิศทางการส่องสว่างไปตลอดช่วงเวลาที่มันแสงแดด

งานวิจัยหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตำแหน่งต่างๆของการปลูกต้นไม้ขนาดใหญ่รอบๆอาคารพักอาศัยในเมืองหากผู้อยู่อาศัยในตัวอาคารนั้นต้องการติดตั้งระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพิจารณากรณีศึกษาได้แก่ กรุงเทพมหานคร

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะได้รับเมื่อมีการปลูกต้นไม้ขนาดใหญ่ในตำแหน่งต่างๆ รอบๆ อาคารพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร

1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษาการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบต่างๆ และ ในแต่ละช่วงเวลา

1.2.2 ศึกษาตำแหน่งของการปลูกต้นไม้ใหญ่ในเมืองขนาดใหญ่ต่างๆ และปริมาณแสงแดดที่ได้ในแต่ละช่วงเวลา

1.2.3 ประเมินความสัมพันธ์ของพลังงานแสงอาทิตย์หากมีการปลูกต้นไม้ใหญ่อบบ่งในทิศทางต่างๆ แยกเป็นกรณี โดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์

1.2.4 พลังงานแสงอาทิตย์ ทิศทางของแสงแดดระหว่างวัน ลักษณะการปลูกต้นไม้ใหญ่รอบอาคาร และ ชนิดของต้นไม้ ที่พิจารณาจากกรณีศึกษา คือ กรุงเทพมหานคร

2. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น มีแสงแดดตลอดปี จัดเป็นประเทศที่มีศักยภาพสูงประเทศหนึ่งในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีผลการศึกษาศักยภาพของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในประเทศในรอบ 8 ปี จากปี 2538-2545 (Janjai et al. 2011) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและตอนกลางของประเทศไทยเป็นตำแหน่งที่มีศักยภาพสูงในการผลิตใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า กล่าวคือ สามารถผลิตได้ถึง 1350-1400 kWh/m² year ค่าใช้จ่ายในการผลิตมีเพียง 0.30 USD/kWh ซึ่งมีความเหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์ในการพิจารณาคัดเลือกพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกที่สำคัญของประเทศไทย นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเรื่องการใช้งาน แผงโซลาร์เซลล์ หรือ Photovoltaic (PV) เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า (Phuangpompitak and Kumar 2007) พบว่า การผลิตกระแสไฟฟ้าจาก PV ควรมีการใช้ร่วมกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานด้านอื่นๆ เพื่อให้เกิดเสถียรภาพในการใช้งาน ในกรณีที่มีบางช่วงเวลาที่ขาดพลังงานแสงอาทิตย์เช่นตอนกลางคืน หรือ ฤดูฝน แต่หากมีระบบผสมผสานการผลิตกระแสไฟฟ้า (PV hybrid systems) ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความเหมาะสมในการพิจารณาพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกที่สำคัญ

ในกรณีชนบท หรือ พื้นที่ที่มีที่ว่างในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า นิยมที่จะติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เป็นระบบใหญ่ๆ ส่วนในกรณีชุมชนเมืองนั้นนิยมการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาอาคารพักอาศัย หรือ อาคารสำนักงาน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการใช้งานในอาคารนั้นๆ แต่หากมีพลังงานไฟฟ้าเหลือจะมีการขายคืนให้แก่การไฟฟ้า เป็นการ

สร้างรายได้ ลดรายจ่าย ให้แก่ผู้อยู่อาศัยในตัวอาคาร ปัญหาที่สำคัญของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในชุมชนเมืองนั้น ชุมชนเมืองมีการปลูกต้นไม้ขนาดใหญ่รอบตัวอาคาร ซึ่งตำแหน่งในการปลูกต้นไม้ และ ชนิดของต้นไม้ ไม่ได้มีการวางแผนไว้รองรับ การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ (Staley 2014) โดยงานวิจัยส่วนใหญ่เรื่องการปลูกต้นไม้ใหญ่รอบๆ ตัวอาคารที่เป็นที่นิยมในเมืองขนาดใหญ่ทั่วไป มักมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อลดปริมาณมลพิษทางอากาศ (Nowak and Crane 2002) การรักษามลพิษของปริมาณคาร์บอนในดิน รวมถึง ในชั้นบรรยากาศ (Nowak et al. 2006) และ การรักษามลพิษทางธรรมชาติในหลากหลายด้าน (Long and Ramachandran Nair 1999) มีน้อยมากที่จะมุ่งเน้นศึกษาเรื่องตำแหน่งของการปลูกต้นไม้ในเมืองสัมพันธ์กับการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์

ประเภทของรังสีดวงอาทิตย์

2.1 รังสีตรง (Direct solar radiation) รังสีที่ส่องตรงมาที่ผิวโลก

2.2 รังสีกระจาย (Diffuse solar radiation) รังสีที่กระจายระจายในท้องฟ้า

2.3 รังสีรวม (Global solar radiation) ผลรวมของรังสีตรงและกระจายที่มาจากครึ่งวงกลมท้องฟ้าโดยวัดจากพื้นราบไม่มีรังสีกระจายจากผิวโลก

2.4 รังสีรวม (Total radiation) ผลรวมของรังสีตรงและกระจายจากท้องฟ้า และรังสีกระจายจากผิวโลก โดยวัดจากพื้นเอียง

2.5 รังสีโลก (Terrestrial radiation) เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่คลื่นยาวที่ปลดปล่อยออกที่ผิวโลก และโดยที่ก๊าซต่างๆ ฝุ่นละออง และเมฆในบรรยากาศ โดยบางส่วนถูกดูดกลืนภายในบรรยากาศ โดยที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน (27 องศาเซลเซียส) พลังงาน 99.99 เปอร์เซ็นต์ของรังสีโลกมีช่วงคลื่นยาวระหว่าง 3000 นาโนเมตร และ 99 เปอร์เซ็นต์ยาวกว่า 5000 นาโนเมตรและที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้สเปกตรัมจะมีช่วงคลื่นที่ยาวกว่านี้

2.6 รังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) เป็นพลังงานที่ปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์ รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบขอบบรรยากาศเรียกว่า รังสีที่นอกโลก (Extraterrestrial Solar Radiation) ซึ่ง ประกอบด้วย ช่วงคลื่นสั้น ตั้งแต่ 290-300 นาโนเมตร ถึง 97 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของรังสีนอกโลกที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงผิวโลกจะถูกกระจายและดูดกลืนโดยโมเลกุลของก๊าซต่างๆ อนุภาคดิน และเมฆที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ การแปรรังสีดวงอาทิตย์ตามคุณสมบัติและช่วงคลื่น

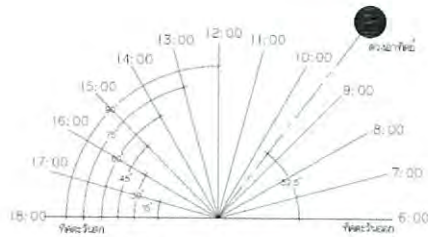
3. ขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 ศึกษาเรื่องปริมาณแสงอาทิตย์ ช่วงเวลา โดยใช้เครื่องมือวัดรังสีแสงอาทิตย์ "Pyranometer (EKO MS-802)" (รูปที่ 2)

รูปที่ 2 เครื่องมือวัดรังสีแสงอาทิตย์ "Pyranometer (EKO MS-802)"

โดยเลือกเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 9:00-10:00 น. ตั้งแต่ปี 2004-2014 โดยแบ่ง ฤดูเป็น 3 ฤดู 1.ฤดูร้อน (ช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม) 2.ฤดูฝน (ช่วงเดือนมิถุนายน-ตุลาคม) 3.ฤดูหนาว (ช่วงเดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) โดยใช้ รังสีตรง (Direct solar radiation) รังสีที่ส่องตรงมาที่ผิวโลก ในการวิเคราะห์ ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา

3.2 ศึกษาของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ โดยสมมุติให้ดวงอาทิตย์ ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียง 6:00 นาฬิกา ตกทางทิศตะวันตกเวลา 18:00 นาฬิกา (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 องศาแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ

3.3 ศึกษาการตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ยกตัวอย่างมา 3 ระดับโดยหันเข้าหาดวงอาทิตย์ อ้างอิงจากหนังสือ Solar Electricity Handbook [1]

3.3.1 มุม 90 องศา ตั้งขนานกับพื้น

3.3.2 มุม 53 องศา จากแนวตั้งฉากกับพื้น

3.3.3 มุม 38 องศา จากแนวตั้งฉากกับพื้น

3.4 กำหนดขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สมมุติให้มีขนาด 1 ตารางเมตร โดยกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร

3.5 ศึกษาชนิดของต้นไม้ ตำแหน่งในการปลูกต้นไม้ขนาดใหญ่ รอบๆ อาคาร ที่พบในเขตภาคกระบี่ จังหวัดกระบี่ ส่วนมากเป็นต้นไม้ที่ให้ร่มเงาและมีความสูงประมาณ 3-20 เมตร เช่น ประดู่ พะยอม ปาล์ม มะขาม ก้ามปู ราชพฤกษ์ กระถินณรงค์ กระถินเทพา มะกอกน้ำ ยูคาลิปตัส ตะแบก อินทนิล ตีนเป็ด(พญาสัตบรรณ) บิข ยี่โถ บัดดาเวีย ไทร มะม่วง ขนุน เป็นต้น[6] ซึ่งในการทดลองครั้งนี้จะเลือกใช้ลักษณะต้นไม้ที่มีความสูงกว่าหลังคาบ้านพักอาศัย 2 ชั้น ประมาณ 1.50 – 2.50 เมตร เช่น มะขาม ประดู่ ก้ามปู ไทร มะม่วง ขนุน ยูคาลิปตัส เป็นต้น

3.6 ศึกษาและกำหนดความทึบแสงของต้นไม้ โดยกำหนดจากลักษณะต้นไม้ สามารถแบ่งความทึบแสงของต้นไม้โดยประมาณได้ 3 ระดับ

- 3.6.1 ความทึบแสงที่ 10%
- 3.6.2 ความทึบแสงที่ 50%
- 3.6.3 ความทึบแสงที่ 90%

3.7 กำหนดความสูงจากศูนย์กลางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถึงยอดต้นไม้ โดยจากการเก็บข้อมูลสามารถประมาณได้ 3 ระดับ

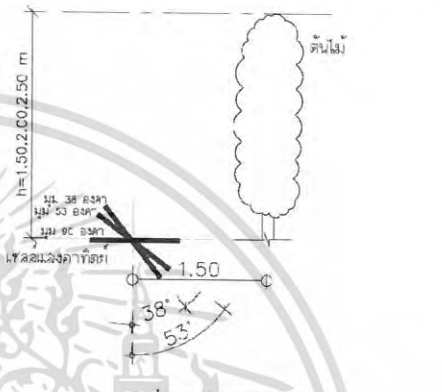
3.7.1 ความสูงจากศูนย์กลางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถึงยอดต้นไม้ 1.50 เมตร

3.7.2 ความสูงจากศูนย์กลางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถึงยอดต้นไม้ 2.00 เมตร

3.7.3 ความสูงจากศูนย์กลางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถึงยอดต้นไม้ 2.50 เมตร

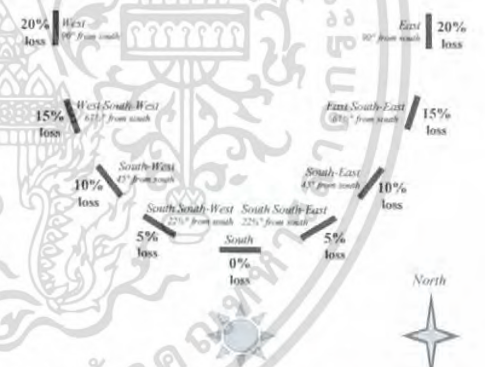
3.8 กำหนดระยะห่างระหว่างต้นไม้และเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจากการสำรวจเก็บข้อมูลมีระยะห่างจากศูนย์กลางต้นไม้ถึงศูนย์กลางเซลล์อาทิตย์โดยเฉลี่ยที่ 1.50 เมตร ซึ่งจำลองให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคาบ้านพักอาศัย 2 ชั้น โดยจากการกำหนดการทดลองจะได้รูปแบบการทดลองดังรูปที่ 4

ดวงอาทิตย์



รูปที่ 4 รูปแบบการทดลอง

3.9 พิจารณาค่าความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์กับการตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากรูปที่ 5



รูปที่ 5 ลักษณะการตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์ [1]

3.10 ทำการประเมินค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา ของแต่ละตัวอย่างที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลและวิเคราะห์การทดลอง

4.1 จากเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 9:00-10:00 น. ตั้งแต่ปี 2004-2014 โดยแบ่งฤดูเป็น 3 ฤดู ได้ค่าพลังงานตามนี้ คือ

4.1.1 ฤดูร้อน (ช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม) ได้พลังงาน 1.50 MJ/m²

4.1.2 ฤดูฝน (ช่วงเดือนมิถุนายน-ตุลาคม) ได้พลังงาน 1.26 MJ/m²

4.1.3 ฤดูหนาว (ช่วงเดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) ได้พลังงาน 1.53 MJ/m²

โดยใช้ รังสีตรง (Direct solar radiation) รังสีที่ส่องตรงมาที่ผิวโลก ซึ่งได้จากการบินข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา [2]

4.2 องศาที่ดวงอาทิตย์ตกกระทบในช่วง 9:00 - 10:00 เป็นมุม 37.5 องศาจากแนวตั้ง (รูปที่ 3)

4.3 การตั้งองศาของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์มีผลกับค่าความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์ โดยถ้าแสงของดวงอาทิตย์ตกกระทบตั้งฉากกับแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงจะมีความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์ 0 % แล้วจะมีความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเมื่อแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนไป 0.22 % ต่อ 1 องศา มากที่สุดที่ 20 % เมื่อแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ขนานกับมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ โดยในการทดลองครั้งนี้มีการเลือกใช้การตั้งมุมแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แบบ โดยจะมีความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนี้

4.3.1 ที่ 90 องศา ตั้งขนานกับพื้น และมุมแสงอาทิตย์ที่ตก 37.5 องศาจากแนวตั้ง จะมีผลต่างอยู่ที่ 37.5 องศา ทำให้มีความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ $0.22 \times 37.5 = 8.25 \%$

4.3.2 มุม 53 องศา จากแนวตั้งฉากกับพื้น และมุมแสงอาทิตย์ที่ตก 37.5 องศาจากแนวตั้ง จะมีผลต่างอยู่ที่ 0.5 องศา ทำให้มีความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ $0.22 \times 0.5 = 0.11 \%$

4.3.3 มุม 38 องศา จากแนวตั้งฉากกับพื้น และมุมแสงอาทิตย์ที่ตก 37.5 องศาจากแนวตั้ง จะมีผลต่างอยู่ที่ 15.5 องศา ทำให้มีความสูญเสียพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ $0.22 \times 0.5 = 3.41 \%$

4.4 ความหยาบแสงของต้นไม้ ในการทดลองนี้เลือกใช้ที่ 3 ระดับ คือ

- 4.4.1 ความหยาบแสงที่ 10%
- 4.4.2 ความหยาบแสงที่ 50%
- 4.4.3 ความหยาบแสงที่ 90%

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ กำหนดขนาดแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ สมมติให้มีขนาด 1 ตารางเมตร โดยกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ระยะห่างระหว่างต้นไม้และเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระยะห่างจากศูนย์กลางต้นไม้ถึงศูนย์กลางเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยที่ 1.50 เมตร ความสูงจากศูนย์กลางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่บนหลังคาบ้านพักอาศัย 2 ชั้นถึงยอดต้นไม้ และ มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ ทำให้ทราบถึงปริมาณแสงที่ตกกระทบถึง แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 4 โดยได้ค่าเปอร์เซ็นต์แสงตั้งที่ตกกระทบแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนี้

4.5.1 ความสูงจากศูนย์กลางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ถึงยอดต้นไม้ 1.50 เมตร เงาของต้นไม้มีความยาวจากต้นไม้ออกไป 1.11 เมตร ซึ่งทำให้เงาของต้นไม้บังเซลล์แสงอาทิตย์ อยู่ 11 เซนติเมตร ทำให้ให้แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ 89 %

4.5.2 ความสูงจากศูนย์กลางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ถึงยอดต้นไม้ 2.00 เมตร เงาของต้นไม้มีความยาวจากต้นไม้ออกไป 1.48 เมตร ซึ่งทำให้เงาของต้นไม้บังเซลล์แสงอาทิตย์ อยู่ 48 เซนติเมตร ทำให้ให้แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ 52 %

4.5.3 ความสูงจากศูนย์กลางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ถึงยอดต้นไม้ 2.50 เมตร เงาของต้นไม้มีความยาวจากต้นไม้ออกไป 1.85 เมตร ซึ่งทำให้เงาของต้นไม้บังเซลล์แสงอาทิตย์ อยู่ 85 เซนติเมตร ทำให้ให้แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ 15 %

4.6 ทำการประเมินค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา ของแต่ละตัวอย่างที่กำหนด โดยจะได้สมการการลดทอนของพลังงานแสงอาทิตย์ ดังสมการที่ (1)

$$E = E_t \times D \times S \times T \tag{1}$$

โดย E คือ ค่าพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์, E_t คือ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์, D คือ ค่าผลกระทบบางจากองศาเซลล์แสงอาทิตย์, S คือ ค่าผลกระทบบางที่ของต้นไม้, T คือ ค่าผลกระทบบางสูงและระยะห่างของต้นไม้

ซึ่งจากสมการที่ 1 สามารถแสดงค่าลดทอนของพลังงานแสงอาทิตย์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าลดทอนของพลังงานแสงอาทิตย์

องศาแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์	ความหยาบแสงของต้นไม้	ความสูงจากศูนย์กลางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ถึงยอดต้นไม้(เมตร)		
		1.50	2.00	2.50
		พลังงาน (MJ/m ²)		
90° (Flat)	10%	0.9175x0.9x0.89	0.9175x0.9x0.52	0.9175x0.9x0.15
	50%	0.9175x0.5x0.89	0.9175x0.5x0.52	0.9175x0.5x0.15
	90%	0.9175x0.1x0.89	0.9175x0.1x0.52	0.9175x0.1x0.15
53°	10%	0.9989x0.9x0.89	0.9989x0.9x0.52	0.9989x0.9x0.15
	50%	0.9989x0.5x0.89	0.9989x0.5x0.52	0.9989x0.5x0.15
	90%	0.9989x0.1x0.89	0.9989x0.1x0.52	0.9989x0.1x0.15
38°	10%	0.9659x0.9x0.89	0.9659x0.9x0.52	0.9659x0.9x0.15
	50%	0.9659x0.5x0.89	0.9659x0.5x0.52	0.9659x0.5x0.15
	90%	0.9659x0.1x0.89	0.9659x0.1x0.52	0.9659x0.1x0.15

4.7 ผลการประมาณค่าพลังงาน

โดยนำค่าลดทอนของพลังงานแสงอาทิตย์มาหาค่าพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับโดยแสงดังตารางที่ 2-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ค่าพลังงานในช่วงฤดูร้อน (ช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม)

พลังงาน (MJ/m ²)	องศาแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์	ความทึบแสงของต้นไม้	ความสูงจากศูนย์กลางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ถึงยอดต้นไม้(เมตร)		
			1.50	2.00	2.50
			พลังงาน (MJ/m ²)		
1.50	90°(Flat)	10%	1.10	0.64	0.19
		50%	0.61	0.36	0.10
		90%	0.12	0.07	0.02
	53°	10%	1.20	0.70	0.20
		50%	0.67	0.39	0.11
		90%	0.13	0.08	0.02
	38°	10%	1.16	0.68	0.20
		50%	0.64	0.38	0.11
		90%	0.13	0.08	0.02

ตารางที่ 3 ค่าพลังงานในช่วงฤดูฝน (ช่วงเดือนมิถุนายน-ตุลาคม)

พลังงาน (MJ/m ²)	องศาแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์	ความทึบแสงของต้นไม้	ความสูงจากศูนย์กลางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ถึงยอดต้นไม้(เมตร)		
			1.50	2.00	2.50
			พลังงาน (MJ/m ²)		
1.26	90°(Flat)	10%	0.93	0.54	0.16
		50%	0.51	0.30	0.09
		90%	0.10	0.06	0.02
	53°	10%	1.01	0.59	0.17
		50%	0.56	0.33	0.09
		90%	0.11	0.07	0.02
	38°	10%	0.97	0.57	0.16
		50%	0.54	0.32	0.09
		90%	0.11	0.06	0.02

ตารางที่ 4 ค่าพลังงานในช่วงฤดูหนาว (ช่วงเดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์)

พลังงาน (MJ/m ²)	องศาแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์	ความทึบแสงของต้นไม้	ความสูงจากศูนย์กลางแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ถึงยอดต้นไม้(เมตร)		
			1.50	2.00	2.50
			พลังงาน (MJ/m ²)		
1.53	90°(Flat)	10%	1.12	0.66	0.19
		50%	0.62	0.36	0.11
		90%	0.12	0.07	0.02
	53°	10%	1.22	0.72	0.21
		50%	0.68	0.40	0.11
		90%	0.14	0.08	0.02
	38°	10%	1.18	0.69	0.20
		50%	0.66	0.38	0.11
		90%	0.13	0.08	0.02

5. สรุป

จากการทดลองทำให้ทราบถึงค่าพลังงานแสงอาทิตย์โดยประมาณในช่วงเวลาหนึ่งโดยมีปัจจัยผลกระทบเป็นต้นไม้ โดยพบว่าค่าพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้มีค่าลดลงโดยมีผลจาก องศาของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความสัมพันธ์กับการตกกระทบของแสงอาทิตย์ ความทึบของต้นไม้ ซึ่งถ้าต้นไม้มีความทึบมากจะทำให้รังสีแสงอาทิตย์ลงไปถึงเซลล์แสงอาทิตย์ได้น้อยลง ความสูงของต้นไม้และระยะห่างของต้นไม้กับเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งความสูงและระยะห่างของต้นไม้ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีโอกาสรับรังสีแสงอาทิตย์ได้น้อยลงเนื่องจากเงาของต้นไม้บังแสงอาทิตย์ที่ตกถึงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Michael Boxwell, "Solar Electricity Handbook", Greenstream Publishing, 2012, หน้า 41-49.
- [2] กรมอุทกนิยามวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, www.tmd.go.th, <http://ozone.tmd.go.th>.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, www.dede.go.th
- [4] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, www.egat.co.th/re
- [5] ศ.ดร. จงจิตร หิรัญลาภ, "กระบวนการพลังงานรังสีอาทิตย์รูปความร้อน", 2541, บทที่ 1 รังสีอาทิตย์และการวัด หน้า 20-24
- [6] สำนักงานกรุงเทพมหานคร, www.bangkok.go.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายศุภกร ประพัทธ์สร
วัน เดือน ปีเกิด 15 พฤศจิกายน 2533 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ 120 ซอยรามอินทรา58แยก3-13 ถนนรามอินทรา แขวงรามอินทรา เขต
คันนายาว กรุงเทพฯ 10230
ประวัติการศึกษา 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.) ออกแบบโครงสร้างอาคารและสะพาน
2.) ควบคุมงานก่อสร้าง
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย
พ.ศ.2556-2558 ตำแหน่งวิศวกรโยธา บริษัท ชงโคเทคโนโลยี จำกัด
- ผลงานการออกแบบโครงสร้างอาคาร
- ผลงานการควบคุมงานก่อสร้าง
พ.ศ.258-ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกรรมโครงสร้างและสะพาน บริษัท ทีม คอนสตรัคชั่น แมเนจ
เมนท์ จำกัด
- ผลงานการออกแบบโครงสร้างสถานีระดับรถไฟฟ้ารางคู่
- ผลงานการออกแบบโครงสร้างสะพานรถยนต์
- ผลงานการจัดทำแบบโครงสร้างมาตรฐานงานที่เกี่ยวข้องกับถนนของกรม
ทางหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้