ศูนย์พลังงานทดแทนเพื่ออนาคต:
การพิสูจน์และสร้างระบบบริหารจัดการพลังงานแสงอาทิตย์

FUTURE CENTER:
VERIFICATION AND IMPLEMENTATION OF SOLAR ENERGY MANAGEMENT

โดย

ชุติภาส เกษประทุม

มหันทน์ธ์ ศิริโภคพัฒน์

ฉาชิต ตำสอาด

อภิธร วงศ์สุขเกษม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ศูนย์พลังงานทดแทนเพื่ออนาคต:
การพิสูจน์และสร้างระบบบริหารจัดการพลังงานแสงอาทิตย์
FUTURE CENTER:
VERIFICATION AND IMPLEMENTATION OF SOLAR ENERGY MANAGEMENT

โดย

ชุติภาส เกษประทุม
มหัฆพันธ์ ศิริโภคพัฒน์
สาธิต ดำสอาด
อภิธร วณสุขเกษม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

FUTURE CENTER:
VERIFICATION AND IMPLEMENTATION OF SOLAR ENERGY MANAGEMENT

CHUTIPAS GESPRATOOM
MAHAKKAPAN SIRIPOKKAPAT
SATIT DUMSAARD
APITORN WANASUKKASAM

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

ปีการศึกษา 2556

ศูนย์พลังงานทดแทนเพื่ออนาคต: การพิสูจน์และสร้างระบบบริหารจัดการพลังงานแสงอาทิตย์

FUTURE CENTER: VERIFICATION AND IMPLEMENTATION OF SOLAR ENERGY MANAGEMENT

โดย

ชุติภาส เกษประทุม
มหัฆพันธ์ ศิริโภคพัฒน์
สาธิต ดำสอาด
อภิธร วณสุขเกษม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชาย ชมพูอินไหว
ผศ.ดร.เชาว์ ชมพูอินไหว

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

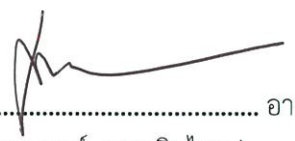
เรื่อง ศูนย์พลังงานทดแทนเพื่ออนาคต: การพิสูจน์และสร้างระบบบริหารจัดการพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

1. นาย ชุติภาส เกษประทุม
2. นาย มหัฆพันธ์ ศิริโภคพัฒน์
3. นาย สาธิต ดำสอาด
4. นาย อภิธร วณสุขเกษม



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว)

เรื่อง ศูนย์พลังงานทดแทนเพื่ออนาคต:
การพิสูจน์และสร้างระบบบริหารจัดการพลังงานแสงอาทิตย์

นาย ชุติภาส เกษประทุม
นาย มหัมพันธ์ ศิริโภคพัฒน์
นาย สาธิต ดำสอาด
นาย อภิธร วณสุขเกษม
ผศ.ดร. ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร. เชาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและออกแบบระบบพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า และใช้จ่ายภาระทางไฟฟ้าของโครงการ Future Center ศึกษาอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบ เสนอวิธีการเลือกอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ติดตั้ง ซึ่งจะมีการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันลมและระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้โปรแกรมในการออกแบบจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับ Inverter รวมทั้งศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของแสงอาทิตย์ของประเทศไทยออกมาเป็นรูปแบบของกราฟกำลังการผลิตในแต่ละช่วงเวลา โดยวิเคราะห์ออกมาเป็นกราฟพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์(Solar Curve) วิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มแสงในแต่ละฤดู เพื่อใช้ในการบริหารและจัดการพลังงานที่ผลิตได้ ศึกษาข้อกำหนดการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์และผลกระทบเมื่อเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบจำหน่าย โดยปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นต้นแบบในการออกแบบและบริหารจัดการระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะสามารถพัฒนาระบบนี้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

FUTURE CENTER:
VERIFICATION AND IMPLEMENTATION OF SOLAR ENERGY MANAGEMENT

Mr. Chutipas Gespratoom
Mr. Mahakkapan Siripokkapat
Mr. Satit Dumsaard
Mr. Apitorn Wanasukkasam
Asst.Prof.Dr. Chai Chompoo-inwai Supervisor
Asst.Prof.Dr. Chow Chompoo-inwai Supervisor
Year 2013

ABSTRACT

This thesis presents the design and management of solar energy system for Future Center. Describe how to choose suitable inverter for installation area. Develop electricity management system for Future Center. The solar behavior was studied for calculating the amount of solar electricity as power curves and compare power curves from each season. Study connection requirements of the solar cells and the effects when connected solar cells to distribution system. This thesis is a prototype for the design and management of solar powered electricity system. This system can be developed for more efficiency in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จบรรลุตามเป้าหมายไปได้ด้วยดีและมีความสมบูรณ์ ต้องขอขอบคุณ ผศ.ดร.ชาย ชมพูอินไหว และ ผศ.ดร.เชาว์ ชมพูอินไหว ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ที่คอยให้คำแนะนำ ปรึกษา ช่วยเหลือและชี้แนะในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านคณาจารย์ทุกท่าน ที่สอนให้วิชาความรู้ ให้ความช่วยเหลือ คำชี้แนะคำปรึกษาแนวทางในเรื่องต่างๆอันมีส่วนสำคัญที่มีความเกี่ยวข้องในการจัดทำปริญญานิพนธ์ เพื่อใช้เป็นสื่อในการจัดการเรียนรู้สามารถนำไปปรับประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในขั้นต่อไป

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณพี่ๆในห้อง ESIRC ทุกท่าน ที่คอยเป็นที่ปรึกษา แนะนำเสริมความรู้จากประสบการณ์ที่ผ่านมา เพื่อนำมาจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีข้อมูลถูกต้อง ครบถ้วนและมีความสมบูรณ์ที่สุด

คณะผู้จัดทำได้ระลึกถึงและขอขอบพระคุณบุคคลที่เป็นผู้ให้กำเนิดหรือบุพการี คือ บิดา มารดา อันเป็นที่รักและเคารพอย่างยิ่ง ที่ให้ความรู้ ให้ความรัก ให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และให้กำลังใจที่ดีเสมอมา จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อทุกท่านที่มีความสนใจต้องการจะศึกษาหาความรู้ในเรื่องนี้ จึงขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน	2
1.5 แผนการดำเนินโครงงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์	5
2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าอย่างไร	5
2.1.2 การใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์	6
2.2 ความรู้เกี่ยวกับรังสีดวงอาทิตย์	7
2.2.1 ภูมิศาสตร์ของโลก	7
2.2.2 รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลก	8
2.2.3 ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย	9
2.3 อุปกรณ์ที่สำคัญของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.3.1.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.3.1.2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์	14
2.3.1.3 รูปแบบการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 เครื่องประจุแบตเตอรี่	16
2.3.3 แบตเตอร์รี่	16
2.3.3.1 ลักษณะการต่อแบตเตอรี่	16
2.3.3.2 ความสามารถในการจัดเก็บพลังงาน	17
2.3.4 อินเวอร์เตอร์	18
2.3.4.1 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับระบบอิสระ	18
2.3.4.2 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับระบบออนกริด	18
2.4 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์	19
2.4.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ	20
2.4.1.1 ระบบไฟฟ้ากระแสตรง	20
2.4.1.2 ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ	21
2.4.1.3 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน	21
2.4.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย	22
2.5 ผลกระทบทางด้านเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อระบบจำหน่าย	23
2.5.1 การเปลี่ยนแปลงแรงดันของระบบ	23
2.5.2 การเพิ่มของกระแสลัดวงจร	25
2.5.3 คุณภาพแรงดันไฟฟ้า	25
2.5.4 การป้องกันระบบไฟฟ้า	26
2.5.5 ความมั่นคงของระบบไฟฟ้า	27
2.6 โครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่อยู่อาศัย	27
2.6.1 ลักษณะการทำงาน	27
2.6.2 การเชื่อมต่อระบบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ กับไฟฟ้าระบบจำหน่าย	27
2.6.3 มาตรการส่งเสริมการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคา	28
2.6.4 การขออนุญาตเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายเข้าระบบ	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง	29
3.1 สถานที่การก่อสร้างของโครงการวิจัย	31
3.2 บริเวณที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ลงบนโครงการวิจัย	32
3.3 เลือกขนาดของ Inverter ให้เหมาะสมในแต่ละพื้นที่	32
3.4 ชนิดของแผงโซล่าเซลล์	39
3.5 การติดตั้งแผงโซล่าเซลล์เข้ากับ Inverter	40
บทที่ 4 ผลการทดลอง	64
4.1 ผลการออกแบบประกอบสร้างของโครงการวิจัย	64
4.2 ผลการออกแบบจุดติดตั้ง Solar Cell	65
4.3 ผลการออกแบบติดตั้งแผง Solar Cell ในแต่ละพื้นที่	65
4.4 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ	74
4.5 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากข้อมูลของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทน	84
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	98
เอกสารอ้างอิง	100
ภาคผนวก	102
ภาคผนวก ก ข้อมูลของ Inverter	103
ภาคผนวก ข ข้อมูลของแผงโซล่าเซลล์	114
ภาคผนวก ค รายชื่อผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่มีผลทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนด การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	117
ภาคผนวก ง แนวทางการทดสอบอินเวอร์เตอร์	119
ภาคผนวก จ บทความวิชาการ	121
ประวัติผู้เขียน	126

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 การเกิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 5
2.2 การใช้ประโยชน์ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 6
2.3 การแบ่งเส้นศูนย์สูตรของโลก 7
2.4 รังสีอาทิตย์ 8
2.5 การกระจายความเข้มแสงในประเทศไทยในแต่ละเดือน 9
2.6 ความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ในแต่ละเดือน 10
2.7 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย 11
2.8 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 12
2.9 กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์
ที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ระดับต่างๆ 13
2.10 Amorphous Silicon Solar Cell 13
2.11 Polycrystalline Silicon Solar Cell 13
2.12 Amorphous Silicon Solar Cell 13
2.13 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ 14
2.14 รูปแบบการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ 15
2.15 การต่อแบบอนุกรมเพื่อต้องการแรงดันเพิ่มขึ้น 16
2.16 การต่อแบบขนานเพื่อต้องการกระแสเพิ่มขึ้น 17
2.17 การต่อแบบผสมเพื่อต้องการแรงดันและกระแสเพิ่มขึ้น 17
2.18 ประเภทของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 19
2.19 ส่วนประกอบของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 19
2.20 ไดอะแกรมระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power System) 20
2.21 ไดอะแกรมของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power System) 21
2.22 ลักษณะของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid Power System) 22
2.23 ส่วนประกอบของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย 22
2.24 การแปรเปลี่ยนของแรงดันตามระยะทางลงไปตามระบบจำหน่ายแบบรัศมี 23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.25 ตัวอย่างหนึ่งของการเกิดปัญหา 'Islanding' 26
3.1 ขอบเขตงานจากภาพรวมของระบบภายในโครงการ Future Renewable Center 29
3.2 Flow Chart กระบวนการทำงานของกลุ่ม
The Design & Management of Solar Energy System 30
3.3 พื้นที่ก่อสร้างโครงการวิจัย 31
3.4 พื้นที่บริเวณที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ 32
3.5 ภาพแผงโซล่าเซลล์ที่ใช้ในโครงการ 39
3.6 ภาพเริ่มขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius 41
3.7 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 2 41
3.8 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 3 42
3.9 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 4 42
3.10 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 5 43
3.11 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 6 43
3.12 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 7 44
3.13 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 8 44
3.14 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 9 45
3.15 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 10 45
3.16 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 11 46
3.17 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 12 47
3.18 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 13 48
3.19 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 14 49
3.20 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 15 49
3.21 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 16 50
3.22 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 17 51
3.23 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 18 52
3.24 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 19 53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.25 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 20 54
3.26 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 21 55
3.27 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 22 56
3.28 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 23 57
3.29 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 24 58
3.30 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 25 59
3.31 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 26 60
3.32 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 27 61
3.33 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 28 62
3.34 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 29 63
4.1 ภาพการออกแบบโดยรวมของโครงการวิจัย Future Center Project 64
4.2 อาคาร Future Center ณ วันที่ 15 มีนาคม 2557 64
4.3 ภาพการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์บนพื้นที่ของโครงการ Future Center 65
4.4 พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณ Future Center 66
4.5 ผลการจำลองการออกแบบแผงโซล่าเซลล์บริเวณอาคาร Future Center ของ Inverter เทคโนโลยีที่ 1 67
4.6 รูปแบบการต่อแผงโซลล่าเซลล์เข้า Inverter อาคาร Future Center 67
4.7 พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณ หลังคาลานจอดรถและบริเวณหลังคา Workshop & Warehouse 68
4.8 ผลการจำลองการออกแบบแผงโซล่าเซลล์บริเวณหลังคาลานจอดรถและบริเวณหลังคา Workshop & Warehouse ของ Inverter เทคโนโลยีที่ 1 69
4.9 ผลการจำลองการออกแบบแผงโซล่าเซลล์บริเวณหลังคาลานจอดรถและบริเวณหลังคา Workshop & Warehouse ของ Inverter เทคโนโลยีที่ 2 69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.10 รูปแบบการต่อแผงโซลล่าเซลล์เข้า Inverter บริเวณหลังคาลานจอดรถและบริเวณหลังคา Workshop & Warehouse 70
4.11 พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณหลังคาทางเดิน ฝั่งซ้าย และ ฝั่งขวา 71
4.12 ผลการจำลองการออกแบบแผงโซล่าเซลล์บริเวณหลังคาทางเดินฝั่งซ้ายและขวา ของ Inverter เทคโนโลยีที่ 3 72
4.13 ผลการจำลองการออกแบบแผงโซล่าเซลล์บริเวณหลังคาทางเดินฝั่งซ้ายและขวา ของ Inverter เทคโนโลยีที่ 4 72
4.14 รูปแบบการต่อแผงโซลล่าเซลล์เข้า Inverterบริเวณหลังคาทางเดินฝั่งซ้ายและขวา 73
4.15 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนมกราคม ปี2556 77
4.16 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนกุมภาพันธ์ ปี2556 78
4.17 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนมีนาคม ปี2556 78
4.18 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนเมษายน ปี2556 79
4.19 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนพฤษภาคม ปี2556 79
4.20 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนมิถุนายน ปี2556 80
4.21 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนกรกฎาคม ปี2556 80
4.22 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนสิงหาคม ปี2556 81
4.23 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนกันยายน ปี2556 81
4.24 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนตุลาคม ปี2556 82
4.25 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนพฤศจิกายน ปี2556 82
4.26 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนธันวาคม ปี2556 83
4.27 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนมกราคม 84
4.28 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนกุมภาพันธ์ 85
4.29 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนมีนาคม 86
4.30 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนเมษายน 87
4.31 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนพฤษภาคม 88
4.32 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนมิถุนายน 89

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.33 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนกรกฎาคม 90
4.34 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนสิงหาคม 91
4.35 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนกันยายน 92
4.36 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนตุลาคม 93
4.37 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนพฤศจิกายน 94
4.38 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนธันวาคม 95
4.39 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center ในแต่ละฤดู 96
4.40 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center เฉลี่ยในหนึ่งวัน 96
4.41 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เทียบกับความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลด 97
5.1 สรุปภาพรวมการออกแบบการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ และInverter 98
ก-1 Inverter เทคโนโลยีที่ 1 104
ก-2 Inverter เทคโนโลยีที่ 4 106
ก-3 Inverter เทคโนโลยีที่ 3 108
ก-4 Inverter เทคโนโลยีที่ 2 112
ข-1 แผงโซลาเซลล์ 115

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงแผนการดำเนินโครงงาน	3
2.1 แสดงระดับแรงดันของระบบจำหน่าย	24
2.2 แสดงขนาดของระบบกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถติดตั้งที่จุดต่างๆ	24
2.3 แสดงแสดงอัตราการรับซื้อไฟในรูปแบบ FIT	28
3.1 คุณสมบัติชอง เทคโนโลยีที่ 1	33
3.2 คุณสมบัติชอง เทคโนโลยีที่ 4	34
3.3 คุณสมบัติชอง เทคโนโลยีที่ 3	36
3.4 คุณสมบัติของ เทคโนโลยีที่ 2	36
3.5 คุณสมบัติของแผงโซล่าเซลล์	40
4.1 แสดงข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติสำหรับประเทศไทยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร	74
4.2 แสดงข้อมูลค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างในประเทศไทย	75
4.3 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์	76
4.4 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนมกราคม	84
4.5 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนกุมภาพันธ์	85
4.6 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนมีนาคม	86
4.7 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนเมษายน	87
4.8 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนพฤษภาคม	88
4.9 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนมิถุนายน	89
4.10 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนกรกฎาคม	90
4.11 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนสิงหาคม	91
4.12 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนกันยายน	92
4.13 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนตุลาคม	93
4.14 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนพฤศจิกายน	94
4.15 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนธันวาคม	95

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-1 ข้อมูลของ Inverter เทคโนโลยีที่ 1	105
ก-2 ข้อมูลของ Inverter เทคโนโลยีที่ 4	107
ก-3 ข้อมูลของ Inverter เทคโนโลยีที่ 3	109
ก-4 ข้อมูลของ Inverter เทคโนโลยีที่ 2	112
ข-1 ข้อมูลของแผงโซลาเซลล์	116
ค-1 รายชื่อเทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์ที่มีผลทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	118

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สถานการณ์ และความต้องการทางด้านพลังงานของประเทศ ปัจจุบันมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่กว่าร้อยละ 50 ของความต้องการนี้เราจำเป็นต้องมีการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ซึ่งราคาทางด้านพลังงานที่นำเข้านี้ก็มีความผันผวนอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้เกิดความไม่มั่นคงในการจัดหาและการใช้พลังงานของประเทศ ดังนั้น การมีพลังงานทดแทนคือทางเลือกโดยเฉพาะพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นพลังงานที่หลายประเทศเห็นความสำคัญ และใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรมแล้ว ทั้งนี้จึงมีโครงการ Future Center หรือ ศูนย์พลังงานงานทดแทนเพื่ออนาคต ขึ้นมา เพื่อศึกษาและวิจัยการนำพลังงานทางเลือกอื่นมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าแทน

พลังงานทดแทนหรือพลังงานทางเลือก เป็นพลังงานรูปแบบใหม่ที่ทั่วโลกต่างให้การยอมรับและสนใจศึกษาเนื่องจากเป็น พลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ ซึ่งพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์หรือโซล่าเซลล์เป็นอีกหนึ่งพลังงานที่รับการสนับสนุน และส่งเสริมให้มีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นพลังงานทดแทนที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่ใช้ได้โดยไม่มีวันหมด ซึ่งสอดคล้องกับแหล่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านราคาต้นทุนที่ยังสูงอยู่ทำให้การใช้ประโยชน์ ยังไม่ทั่วถึง โดยส่วนใหญ่จะเป็นผู้ที่รายได้สูงที่เห็นถึงประโยชน์ หรือเป็นผู้ที่อยู่ห่างไกลหรือมีข้อจำกัดทางด้านสภาพแวดล้อมแต่ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐให้มีการติดตั้งหรือใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพ หรือเพื่อการศึกษา และจากการหาข้อมูลในเบื้องต้นพบว่าในสภาพปัจจุบัน มีผู้ที่ใช้แผงโซลาร์เซลล์แล้ว และประสบปัญหาเรื่องของการบำรุง ดูแลและรักษา ทำให้แผงที่มีอยู่เกิดการชำรุดไม่สามารถใช้งานได้ ทั้งที่อายุการใช้งานของแผงโซลาร์เซลล์ประมาณ 20 ปีขึ้นไป โดยมีสาเหตุจากการขาดความรู้ด้านการบำรุงดูแล รักษา ตลอดจนการซ่อมแซมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในเบื้องต้น นอกจากนี้ ช่างหรือผู้ที่มีความรู้ในด้านการซ่อมแซมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีจำกัดเฉพาะ บริษัทที่จำหน่ายยังไม่มีการกระจายตัวในวงกว้าง

จากข้อมูลดังกล่าว คณะผู้จัดทำได้รู้และเห็นถึงปัญหาต่างๆ จึงเกิดแนวคิดที่จะนำมาศึกษาค้นคว้าและวิจัยเพื่อพัฒนาการผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและแพร่หลายในสภาพสังคมนี้มากยิ่งขึ้น และได้จัดทำโครงการนี้ขึ้นเพื่อช่วยลดภาระและสามารถนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นจึงเป็นแนวคิดในการจัดตั้ง Future Center ขึ้นเพื่อศึกษาค้นคว้า พัฒนาด้านพลังงานทดแทนให้มีประสิทธิภาพ และผลักดันการใช้พลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้าใช้ให้มากยิ่งขึ้น ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่เหมาะสมมากในการผลิตไฟฟ้า จึงมีแนวคิดที่จัดทำโครงงานที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าขึ้น โดยจะเริ่มทำการศึกษาค้นคว้าการทำงานของระบบ การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ศึกษาค้นคว้าพฤติกรรมของแสงอาทิตย์แล้วนำมาใช้ในการคาดการณ์การผลิตไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ รวมไปถึงศึกษาข้อกำหนดการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบจำหน่าย และผลกระทบของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อระบบจำหน่าย เพื่อสร้างระบบบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อสร้างนวัตกรรมด้านการใช้เซลล์แสงอาทิตย์
2. เพื่อเป็นต้นแบบและขยายผลในการพัฒนาการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้
3. เพื่อ เพิ่มขีดความสามารถด้านการประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์
4. เพื่อศึกษาและออกแบบระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ในโครงการ Future Center
5. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับใช้ในการออกแบบและวางแผนระบบไฟฟ้าของโครงการ Future Center
6. เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆที่อาจมีผลกระทบต่อการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด
7. เพื่อศึกษาและออกแบบระบบบริหารจัดการพลังงานแสงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

ทำการศึกษาและออกแบบระบบพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ได้เพียงพอต่อการจ่ายภาระทางไฟฟ้าของโครงการ Future Center และศึกษาอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบ อันได้แก่ แบตเตอร์รี่ (Battery),แบตเตอรี่ชาร์จเจอร์ (Battery Charger) และ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งจะมีการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันลมและระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้า แล้วใช้โปรแกรม Greenius ในการออกแบบจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับ อินเวอร์เตอร์ ศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของแสงอาทิตย์ของประเทศไทยในแต่ละช่วงเวลา โดยวิเคราะห์ออกมาเป็นกราฟพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์(Solar Curve) เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของกำลังการผลิตไฟฟ้าในแต่ละฤดู เพื่อใช้ในการบริหารและจัดการพลังงานที่ผลิตได้เพื่อจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าของ Future Center รวมทั้งศึกษาข้อกำหนดในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ ที่มา การผลิต การออกแบบ ติดตั้ง รวมถึงการประยุกต์ใช้
2. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

3. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนดการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย และผลกระทบจากแสงแสงอาทิตย์เมื่อเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

4. สำรวจและวิเคราะห์พฤติกรรมของแสงอาทิตย์ในพื้นที่ของโครงการ ในแต่ละวัน เดือน ปี และฤดู เพื่อทำเป็นกราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นรายชั่วโมงในแต่ละวันของแต่ละเดือนเดือน (Solar Curve)

5. ออกแบบและวิเคราะห์การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เพียงพอต่อความต้องการในการใช้พลังงานในโครงการ Future Center

6. ออกแบบการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับ Inverter แต่ละตัว ในแต่ละพื้นที่ได้อย่างเหมาะสมโดยใช้โปรแกรม Greenius

7. ศึกษาข้อกำหนดการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบจำหน่ายและผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบจำหน่าย

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินโครงงาน

	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
ปรึกษาวางแผนงานและแบ่งงาน									
เลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ									
ศึกษาข้อกำหนดการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบจำหน่าย									
ศึกษาผลกระทบของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อระบบจำหน่าย									
ออกแบบอุปกรณ์การติดตั้งแผงโซล่าเซลล์									
วิเคราะห์พลังงานที่คาดว่าจะได้จากแสงอาทิตย์ของแต่ละเดือน									
รายงานและสรุปผลการวิจัย									

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้รู้ถึงการการประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านต่างๆ

2. โครงการนี้สามารถนำมาเป็นต้นแบบและขยายผลในการพัฒนาและสาธิตการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้

3. เป็นการสร้างนวัตกรรมด้านการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันและอนาคต

4. ทำให้เข้าใจส่วนประกอบและอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ อินเวอร์เตอร์ (Inverter), แบตเตอรี่ (Battery) และแบตเตอรี่ชาร์จเจอร์ (Battery Charger)

5. สามารถใช้โปรแกรม Greenius ในการออกแบบการเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ได้

6. เข้าใจถึงหลักการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

7. สามารถใช้พลังงานร่วมในการผลิตไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

8. สามารถออกแบบระบบบริหารจัดการพลังงานแสงอาทิตย์ได้

9. เข้าใจข้อกำหนดของการเชื่อมต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบจำหน่าย และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเชื่อมต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบจำหน่าย

10. โครงการนี้สามารถนำมาเป็นต้นแบบให้กับชุมชนหรือ พื้นที่ที่ห่างไกลจากสายส่งและต้องการผลิตไฟฟ้าใช้เองได้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

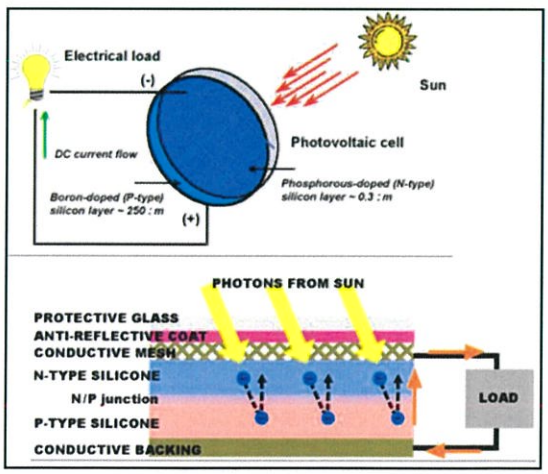
2.1 ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

พลังงานแสงจากดวงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้าดังกล่าวสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตไฟฟ้าอื่นๆ โดยสามารถใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรง เช่นระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในรถยนต์ และใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับโดยผ่านอินเวอร์เตอร์

ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าโดยแสงอาทิตย์นั้น จะแปรผันตรงความเข้มของแสงอาทิตย์แต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากความร้อนของแสงอาทิตย์จะทำให้ประสิทธิภาพลดต่ำลง ดังนั้นการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ควรอยู่บริเวณกลางแจ้ง หันแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาดวงอาทิตย์และเว้นช่องว่างเพื่อช่วยระบายความร้อนด้านหลังจะได้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยมากที่สุด

2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้อย่างไร [1]

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและความต่างศักย์ที่ผิวทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นเมื่อมีการเชื่อมต่อระหว่างผิวทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะเกิดการไหลของอิเล็กตรอน เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างผิวทั้งสองด้านของเซลล์แสงอาทิตย์ การไหลของอิเล็กตรอนทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นวิธีการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงที่ง่ายที่สุด ดังนั้นหากเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงสภาพสารกึ่งตัวนำและมีแสงอาทิตย์ตกกระทบสู่ผิวเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา (ในทางปฏิบัติผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานประมาณ 20 ปี)

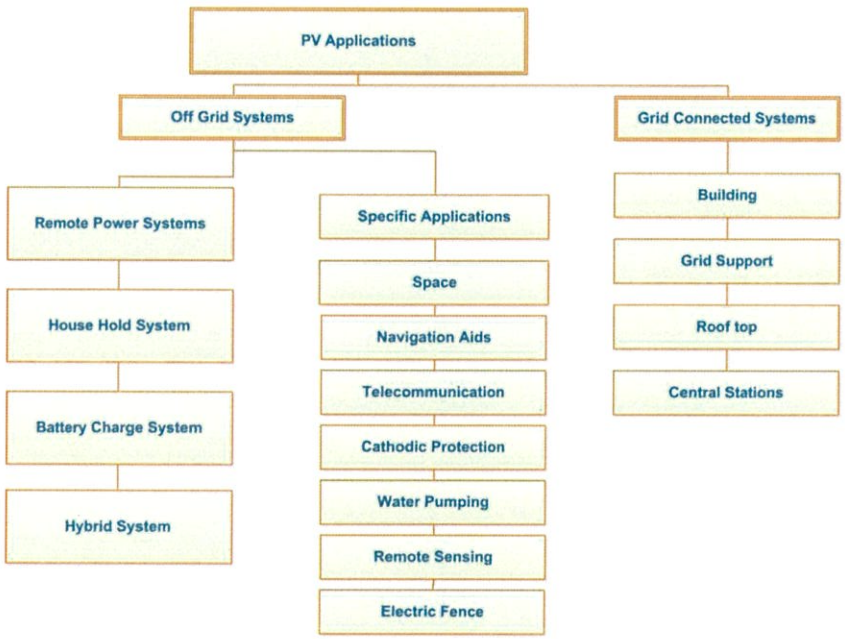


รูปที่ 2.1 การเกิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ตัวอย่างเช่นหากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ 100 วัตต์ เมื่อมีความเข้มแสง 1,000 W/m^2 นั่นคือที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 500 W/m^2 ก็จะผลิตไฟฟ้าได้ 50 W เป็นต้น โดยทั่วไปประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 7%-19% ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.2 การใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

ในพื้นที่ห่างไกลจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เป็นทางเลือกที่เหมาะสม เนื่องจากราคาไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตมีราคาต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์เบนซินและดีเซลในระยะยาว แต่เนื่องจากต้องใช้เงินลงทุนเริ่มต้นสูงมากกว่าระบบผลิตไฟฟ้าแบบอื่นๆ ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการลงทุนก่อสร้างระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.2 การใช้ประโยชน์จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

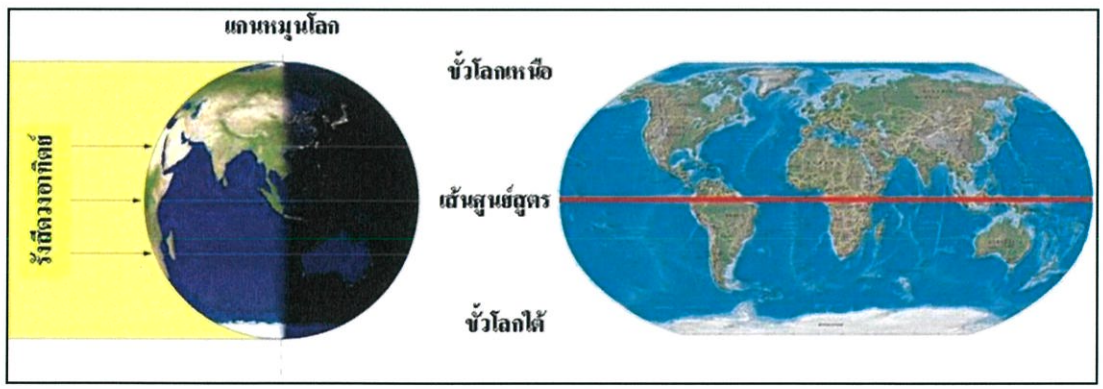
อย่างไรก็ตามพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่มีค่าเชื้อเพลิง สะอาด และมีใช้อย่างไม่จบสิ้น ดังนั้นผลการประชุมคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ จึงมีมติเห็นชอบโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา หรือโซล่าร์ รูฟท็อป (Solar PV Rooftop) ตามที่กระทรวงพลังงานเสนอ เพื่อสนับสนุนให้ภาคประชาชน ครัวเรือน ภาคธุรกิจอุตสาหกรรม ริเริ่มลงทุนติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาพื้นที่พักอาศัย หรือสถานประกอบการของตนเองเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้เอง ขณะเดียวกันหากมีไฟฟ้าส่วนเหลือใช้สามารถนำส่วนนี้ขายคืนให้รัฐบาล เข้าสู่ระบบให้การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้ [2]

2.2 ความรู้เกี่ยวกับรังสีดวงอาทิตย์ [3]

รังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ สามารถทราบค่าในรูปความเข้มรังสีอาทิตย์ W/m^2 ซึ่งขึ้นกับวันที่และเวลา รวมถึงตำแหน่งบนพื้นโลก รังสีอาทิตย์ประกอบด้วยสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 0.3 ถึง 3 ไมโครเมตร เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดสามารถตอบสนองต่อสเปกตรัมได้แตกต่างกัน ดังนั้นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจึงต่างกัน ในการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ การใช้งานและการบำรุงรักษาระบบมีความจำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในพื้นที่นั้น และลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้งาน

2.2.1 ภูมิศาสตร์ของโลก [4]

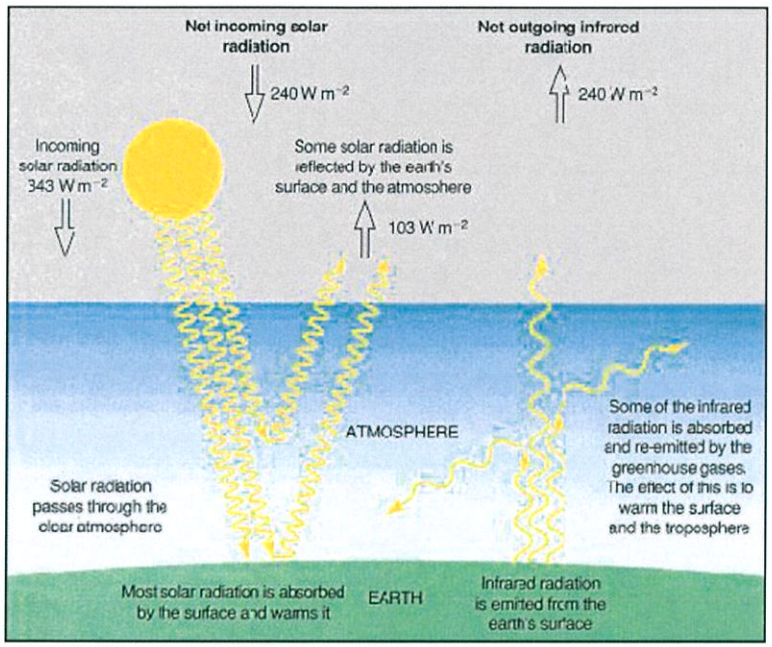
โลกมีลักษณะเป็นทรงกลมรี วิธีเพื่อบอกตำแหน่งบนพื้นโลกจะระบุได้โดยเส้นแนวตั้งและเส้นแนวนอนเรียกว่า เส้นเมอริเดียน (Meridian) และเส้นศูนย์สูตร (Equator) ทางภูมิศาสตร์กำหนดเส้นศูนย์สูตร คือ เส้นสมมติรอบดาวเคราะห์ที่ตั้งฉากกับแกนหมุนของดาวเคราะห์ และมีระยะห่างจากขั้วเหนือและขั้วใต้เท่ากัน เส้นศูนย์สูตรจะแบ่งดาวเคราะห์เป็นซีกเหนือและซีกใต้โดยมีละติจูดเท่ากับศูนย์องศา พื้นที่บนเส้นศูนย์สูตรนี้ช่วงเวลาของกลางวันและกลางคืนยาวนานเกือบเท่ากันตลอดทั้งปี นอกจากนี้พื้นที่ซึ่งอยู่บนตำแหน่งเส้นละติจูดต่างกันจะมีสภาพอากาศ (Climate) และกาลอากาศ (Weather) แตกต่างกัน เส้นละติจูดมีตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา โดยที่ละติจูด 90 องศาที่ขั้วโลกเหนือจะนับเป็น 90 องศาเหนือ ส่วนขั้วโลกใต้นับเป็น 90 องศาใต้



รูปที่2.3 การแบ่งเส้นศูนย์สูตรของโลก [4]

2.2.2 รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลก [5]

รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลกได้ผ่านกระบวนการดูดกลืนและการแผ่รังสีอาทิตย์โดยก๊าซในบรรยากาศส่งผลให้สเปคตรัมแสงอาทิตย์เปลี่ยนไปซึ่งโมเลกุลของก๊าซ ฝุ่นละอองและเมฆ ทำให้รังสีอาทิตย์กระจัดกระจาย (Scatter) และสะท้อน (Reflect)



รูปที่ 2.4 รังสีอาทิตย์ [5]

ประเภทของรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลกที่ควรทราบ

1. รังสีตรง (Beam or Direct Radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกบนผิวรับแสงด้วยทิศทางที่แน่นอน ณ เวลาหนึ่งเวลาใด ซึ่งทิศของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์ เนื่องจากรังสีตรงมีทิศทางแน่นอนและมีลำแสงขนานจึงสามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีตรงได้

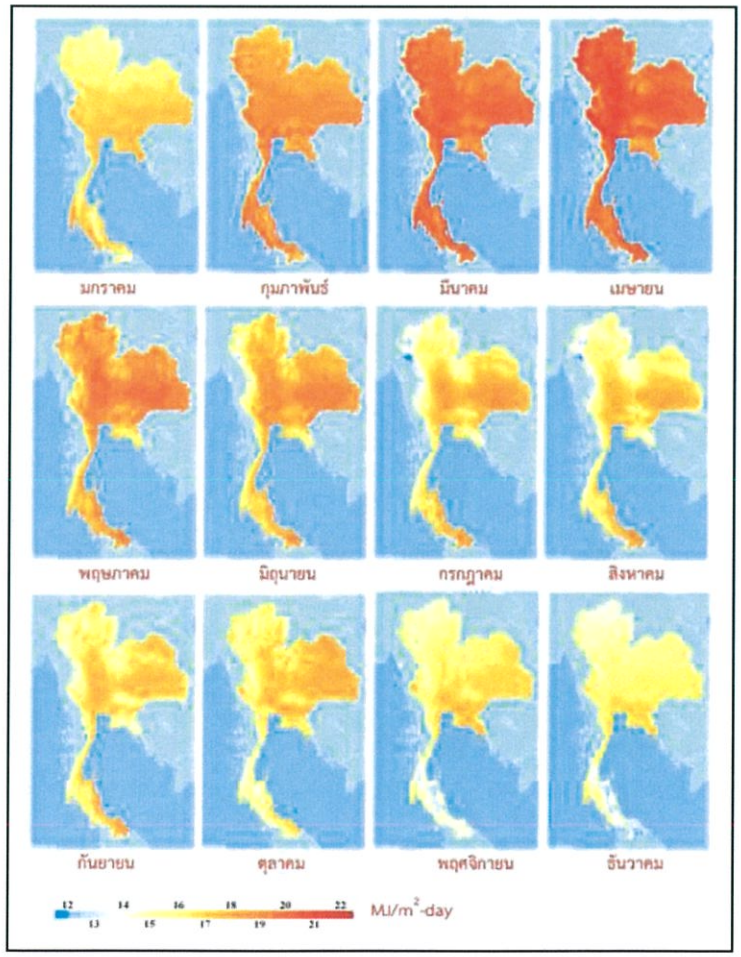
2. รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนและกระจายโดยก๊าซและ ฝุ่นละอองรวมถึงวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับแสง รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางในท้องฟ้าจึงไม่สามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีกระจายได้

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

การเปลี่ยนแปลงของรังสีรวม รังสีตรงและรังสีกระจายในแต่ละวันจะมีความแตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณเมฆ ฝุ่นละออง และหมอกควัน และฤดูกาลที่เปลี่ยนไป ดังนั้นปริมาณรังสีรวม รังสีกระจาย และรังสีตรงจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งปี สำหรับประเทศไทยฤดูแล้งมีค่ารังสีรวมและรังสีตรงสูงเพราะท้องฟ้าโปร่ง แต่ฤดูฝนจะมีรังสีส่วนมากเป็นรังสีกระจายและรังสีรวมน้อย

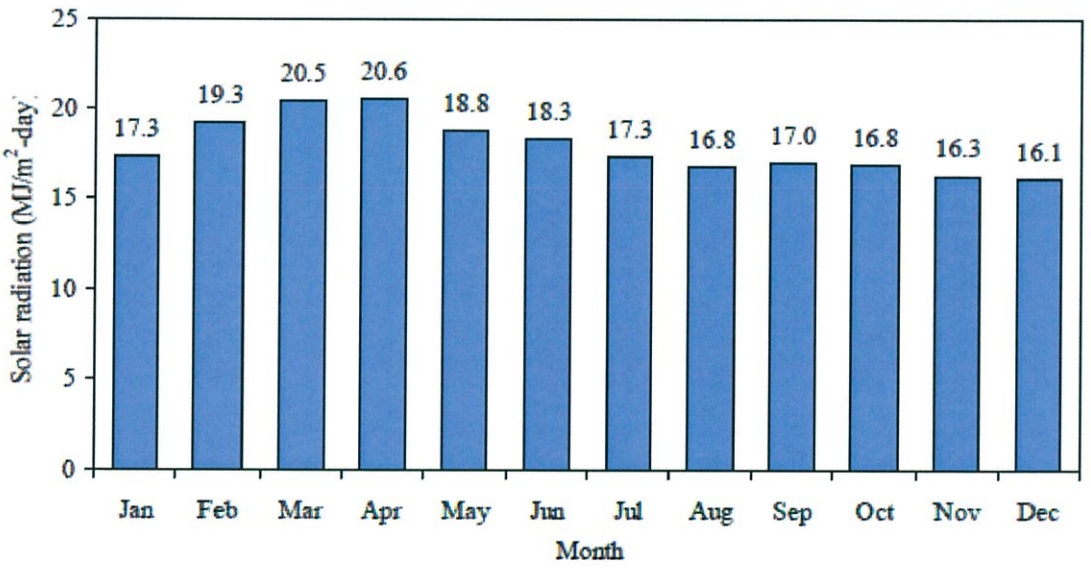
2.2.3 ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย [6]

โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งขึ้นอยู่กับรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในพื้นที่นั้น การศึกษาเพื่อทราบปริมาณรังสีอาทิตย์บนพื้นโลกนั้นจะเป็นแนวทางการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับประเทศไทยศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีค่าค่อนข้างสูง จากการที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน(พพ.)ได้วิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม ประกอบกับข้อมูลที่วัดได้จากภาคพื้นดินซึ่งมีสถานีตรวจวัดอยู่ทั่วประเทศ พบว่าประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งมีผลต่อความเข้มรังสีดวงอาทิตย์



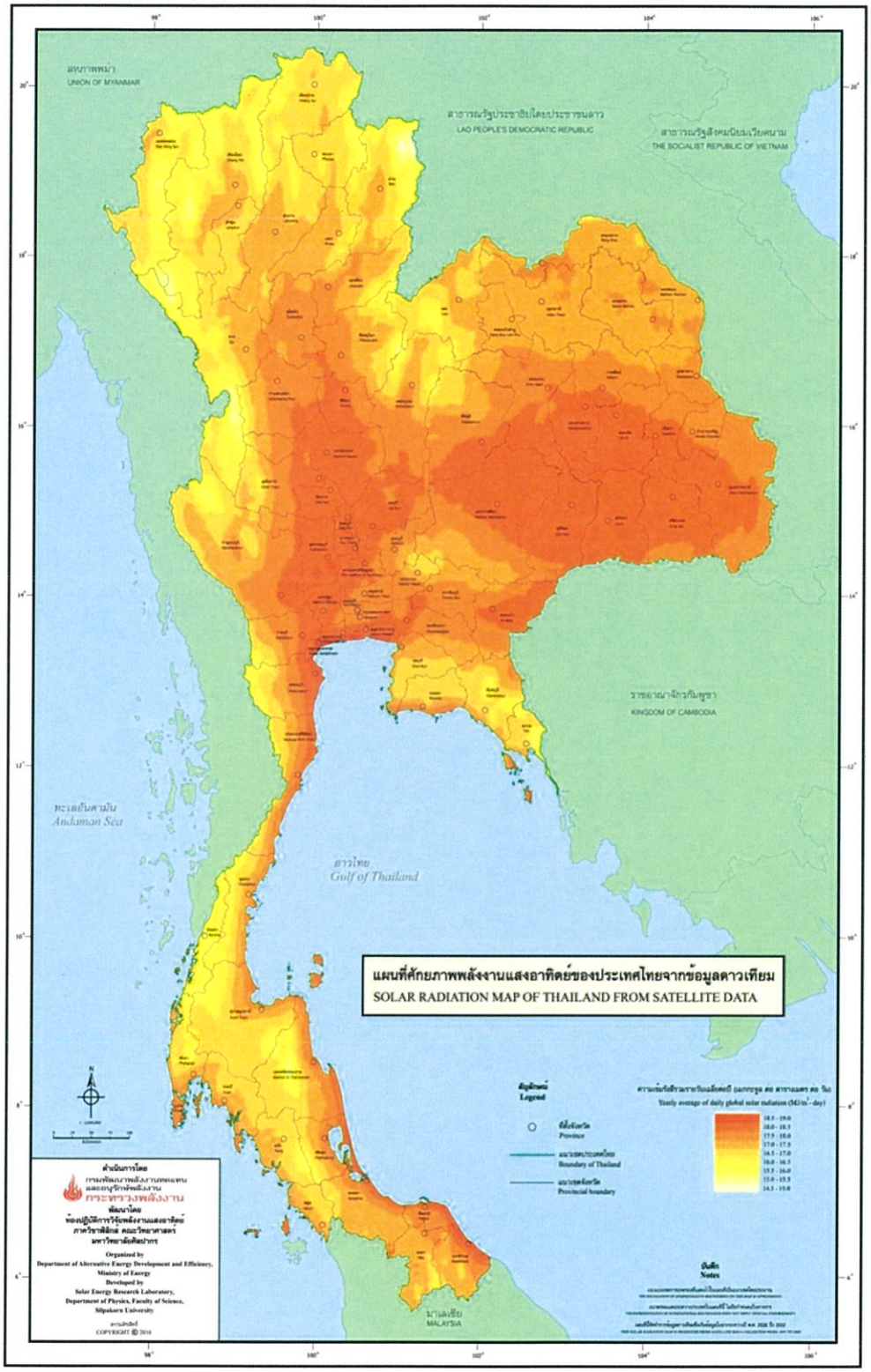
รูปที่ 2.5 การกระจายความเข้มแสงในประเทศไทยในแต่ละเดือน [6]

รังสีดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และยังขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศอีกด้วย ซึ่งในช่วงเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ภาคใต้ฝั่งตะวันตกจะได้รับรังสีสูง แต่ภาคใต้ฝั่งตะวันออกจะมีค่าต่ำกว่าเนื่องจากได้รับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้มีเมฆฝนปกคลุม ส่วนภาคอื่นๆถึงแม้ว่าจะมีอากาศแจ่มใสแต่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์อยู่ใต้เส้นศูนย์สูตรทำให้มีมุมรังสีตกกระทบมากและได้รับรังสีน้อยกว่าภาคใต้ อีกทั้งภาคเหนือยังมีภูมิประเทศที่เป็นภูเขามีเมฆหมอกปกคลุมทำให้ได้รับรังสีดวงอาทิตย์น้อยกว่าภาคอื่นๆ ในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายนเป็นฤดูแล้งท้องฟ้าแจ่มใสมีเมฆปกคลุมน้อยทำให้ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ค่อนข้างสูงโดยเฉพาะเดือนเมษายน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมและยังมีฝนตกทั่วพื้นที่ จึงทำให้รังสีดวงอาทิตย์มีค่าลดลงเรื่อยๆไปจนถึงเดือนตุลาคม หลังจากเดือนตุลาคมถึงแม้ว่าจะมีลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่านประเทศไทย แต่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์นั้นอยู่ใต้เส้นศูนย์สูตร ทำให้ได้รับรังสีดวงอาทิตย์น้อยเช่นเดียวกับเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ [3]



รูปที่ 2.6 ความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ในแต่ละเดือน [6]

จากการศึกษาวิเคราะห์และเก็บข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้จัดทำ “แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย” ซึ่งจะแสดงความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ในบริเวณต่างๆของประเทศไทยในรูปแบบค่ารายวันเฉลี่ยต่อปีในหน่วย MJ/m^2-day [7]



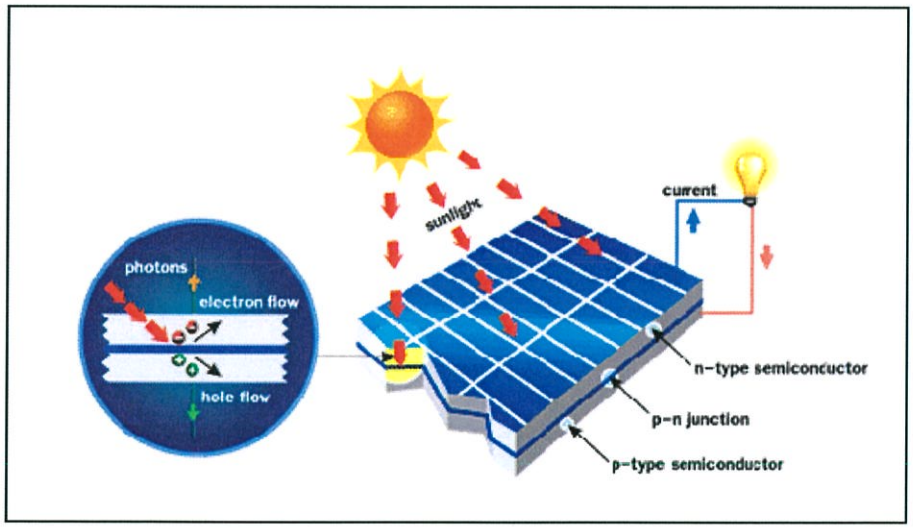
รูปที่ 2.7 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย [8]

2.3 อุปกรณ์ที่สำคัญของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ [8]

เซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรง จึงสามารถนำไปใช้ได้เฉพาะอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น หากต้องการนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับหรือเก็บสะสมพลังงานไว้ใช้ต่อไป จะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ทำงานร่วมกันเป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีอุปกรณ์สำคัญๆ มีดังนี้

2.3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) [8]

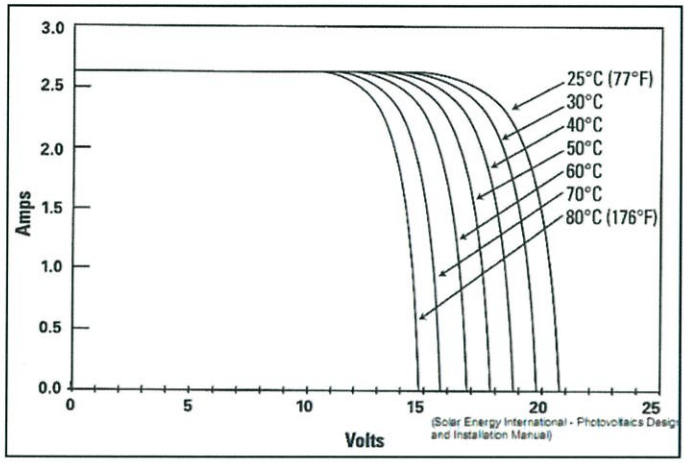
Solar Cell หรือ PV Cell ซึ่ง PV ย่อมาจาก Photovoltaic เกิดจากการรวม 2 คำ คือ photo หมายถึงแสง และ volt หมายถึงแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นคำว่า Photovoltaic จึงหมายถึงการสร้างพลังงานไฟฟ้าโดยการแปลงพลังงานที่มาจากแสง โดยเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง จะทำให้ครบวงจรไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น



รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [8]

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยซิลิกอนบางๆ 2 ชั้นประกอบกัน ชั้นหนึ่งจะมีฟอสฟอรัสจำนวนหนึ่งเจือปน เรียกว่า n-type (ขั้วลบ) และอีกชั้นหนึ่งจะมีโบรอนเจือปน เรียกว่า p-type (ขั้วบวก) เมื่อมีแสงมาตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้จำนวนอิเลคตรอนในชั้น n มีมากกว่าในชั้น p และมีความต่างศักย์ทางไฟฟ้าเกิดขึ้นที่รอยต่อพี-เอ็น (p-n junction) ถ้ามีการต่อวงจรภายนอกจะทำให้อิเลคตรอนไหลจากด้าน n-type ผ่านอุปกรณ์ไปยังด้าน p-type

ลักษณะแรงดันและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง ที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ระดับต่างๆ จะเห็นได้ว่าระดับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ถ้ามีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูง กำลังไฟฟ้าก็จะจะมีค่าสูงด้วย นอกจากนี้อุณหภูมิก็มีผลต่อสมรรถนะโดยเฉพาะเซลล์แสงอาทิตย์แบบชนิดผลึกเดี่ยว (Single-crystal silicon) ซึ่งสมรรถนะจะลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.9 กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ระดับต่างๆ [7]

2.3.1.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ [6]

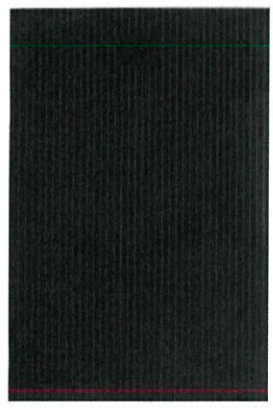
เซลล์แสงอาทิตย์แบ่งชนิดตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ



รูปที่ 2.10 Single Crystalline Silicon Solar Cell [8]



รูปที่ 2.11 Polycrystalline Silicon Solar Cell [8]



รูปที่ 2.12 Amorphous Silicon Solar Cell [8]

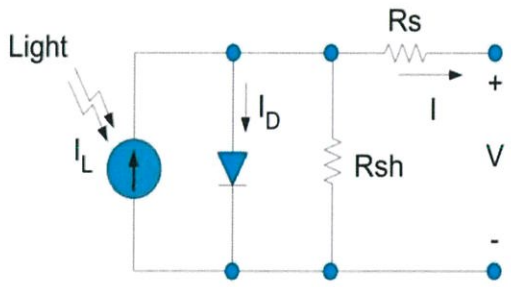
1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือ Monocrystalline Silicon Solar Cell และชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก

2. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบาง น้ำหนักเบามาก แต่ประสิทธิภาพเพียง 5-10%

3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์, แคดเมียม เทลเลอไรด์ และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20-25% แต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต

2.3.1.2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

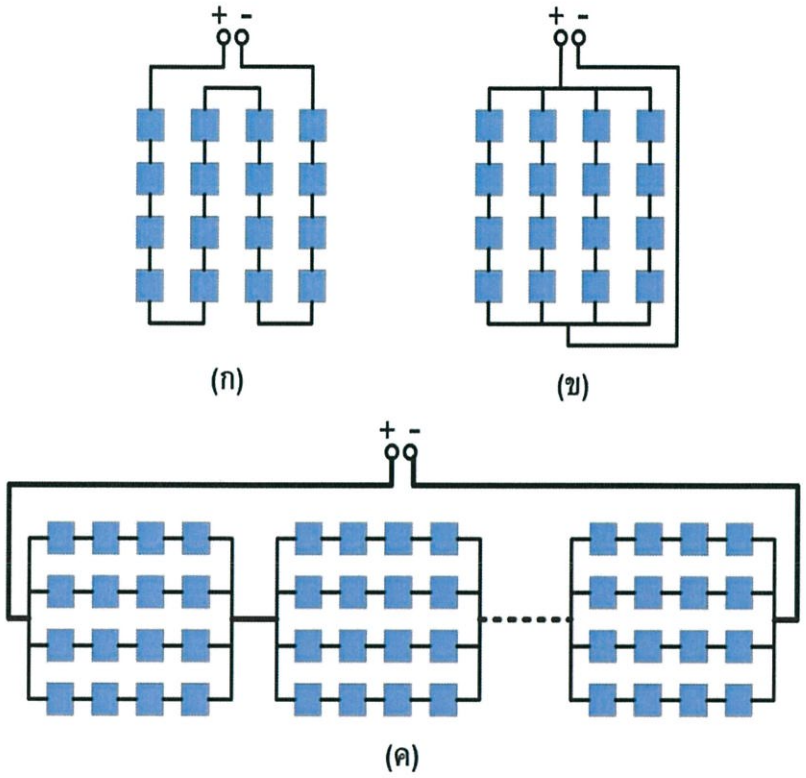
เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแทนด้วยวงจรสมมูล (Equivalent circuit) ประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อขนานกับไดโอด รอยต่อพี-เอ็น (p-n junction) และส่วนความต้านทานชั้นท์ (Rsh) แล้วจึงต่ออนุกรมกับความต้านทานอนุกรม (Rs) โดยกำหนดให้แหล่งจ่ายกระแสเป็นแบบกระแสคงที่ ซึ่งแปรผันตามความเข้มแสง ความต้านทานอนุกรมเป็นค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจากจุดเชื่อมต่อ (wiring contact) ระหว่างตัวนำไฟฟ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนความต้านทานชั้นท์ (Rsh) เกิดขึ้นเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าในลักษณะไบอัสย้อนกลับให้กับไดโอด



รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

ในทางอุดมคติจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ ซึ่งตรงกันข้ามกับความเป็นจริงจะมีกระแสไหลย้อนกลับในระดับต่ำ นั่นแสดงให้เห็นว่ามีเส้นทางที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้ ดังนั้นจึงแทนด้วยความต้านทานชั้นท์ (Rsh) ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับความต้านทานอนุกรม (Rs) ที่มีค่าต่ำมาก

2.3.1.3 รูปแบบการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ [1]



รูปที่ 2.14 รูปแบบการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

1. แบบอนุกรม คือนำแต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมเป็น 1 แถว หรือ 1 สตริงใน 1 แผง ดังรูปที่ 2.14 (ก) เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า

2. แบบอนุกรม-ขนาน คือนำแต่ละสตริงที่เซลล์ต่ออนุกรม เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า แล้วนำมาต่อขนานเพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.14 (ข)

3. แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม คือนำแต่ละกลุ่มที่เชื่อมต่อกันตามแบบที่ 2 มาต่ออนุกรม ดังรูปที่ 2.14 (ค) เพื่อเพิ่มทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้า

2.3.2 เครื่องประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger) [9]

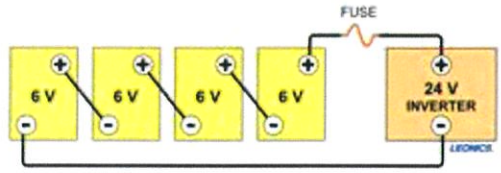
เครื่องประจุแบตเตอรี่ทำหน้าที่ในการประจุกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่ อีกทั้งยังสามารถควบคุมการประจุให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมถึงการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ด้วย หากแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็มแล้ว เครื่องประจุแบตเตอรี่จะหยุดหรือลดการประจุกระแสไฟฟ้า และส่วนใหญ่เครื่องประจุแบตเตอรี่จะมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนให้กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า รวมไปถึงในกรณีแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงอีกด้วย ซึ่งในระบบพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เครื่องประจุแบตเตอรี่ในกรณีที่ต้องการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่เท่านั้น

2.3.3 แบตเตอรี่ (Battery) [9]

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เพื่อใช้ในเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือแหล่งจ่ายอื่นไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ หรือนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ แบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกออกแบบเพื่อให้การจ่ายประจุมีค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่อย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้รับการออกแบบให้จ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากๆ ในชั่วระยะเวลาหนึ่งๆ ส่วนการแบ่งแบตเตอรี่โดยทั่วไปแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือแบบปฐมภูมิ (Primary Battery) และแบบทุติยภูมิ (Secondary Battery) โดยแบตเตอรี่ปฐมภูมิ หมายถึง แบตเตอรี่ที่ใช้งานได้เพียงครั้งเดียวแล้วจะต้องทิ้งไป เนื่องจากไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีแบบย้อนกลับใหม่ได้ ส่วนแบตเตอรี่ทุติยภูมิ คือแบตเตอรี่ที่สามารถทำการเก็บประจุไฟใหม่และนำกลับมาใช้งานได้อีก หรือกล่าวคือสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีแบบย้อนกลับได้ ตัวอย่างเช่น ตะกั่ว-กรด นิเกิล-แคดเมียม นิเกิล-เหล็กนิเกิล-ไฮไดรด์และลิเทียมแบตเตอรี่ เป็นต้น

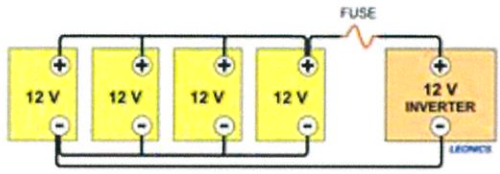
2.3.3.1 ลักษณะการต่อแบตเตอรี่ [10]

ลักษณะการต่อแบตเตอรี่ มีผลต่อขนาดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับความต้องการนำไปใช้งาน และจะต้องเป็นแบตเตอรี่ชนิดเดียวกันเท่านั้นที่สามารถเชื่อมต่อกันได้ หากต้องการแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นให้นำแบตเตอรี่มาต่อแบบอนุกรม โดยการเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมจะนำขั้วบวกของแบตเตอรี่ลูกที่ 1 ต่อเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ลูกที่ 2 และนำขั้วบวกของแบตเตอรี่ลูกที่ 2 ต่อเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ลูกที่ 3 ทำเช่นนี้ต่อไปจนได้แรงดันไฟฟ้าตามที่ต้องการ แรงดันไฟฟ้ารวมของแบตเตอรี่ทั้งหมดจะเท่ากับผลรวมของแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละลูกมารวมกัน และกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ทั้งหมดเท่ากับค่าของกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลูกเดียวเท่านั้นไม่เปลี่ยนแปลง



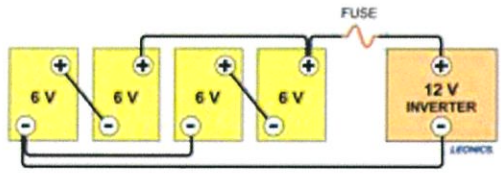
รูปที่ 2.15 การต่อแบบอนุกรมเพื่อต้องการแรงดันเพิ่มขึ้น [10]

หากต้องการกระแสไฟฟ้ามากขึ้นให้นำแบตเตอรี่มาต่อแบบขนาน โดยจะนำขั้วบวกของแบตเตอรี่ลูกที่ 1 ต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ลูกที่ 2 และนำขั้วบวกของแบตเตอรี่ลูกที่ 2 ต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ลูกที่ 3 และนำขั้วลบของแบตเตอรี่ลูกที่ 1 ต่อเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ลูกที่ 2 และนำขั้วลบของแบตเตอรี่ลูกที่ 2 ต่อเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ลูกที่ 3 ทำเช่นนี้ต่อไปจนได้กระแสไฟฟ้าตามที่ต้องการ กระแสไฟฟ้ารวมของแบตเตอรี่ทั้งหมดจะเท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละลูกมารวมกัน และแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ทั้งหมดเท่ากับค่าของแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลูกเดียวเท่านั้นไม่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 2.16 การต่อแบบขนานเพื่อต้องการกระแสเพิ่มขึ้น [10]

ในการเชื่อมต่อแบตเตอรี่นั้นยังมีการเชื่อมต่อแบบผสมซึ่งจะได้ทั้งกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น โดยจะต่อแบตเตอรี่ทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน โดยนำลักษณะการต่อเชื่อมแบตเตอรี่ 2 แบบมารวมกันเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.17 การต่อแบบผสมเพื่อต้องการแรงดันและกระแสเพิ่มขึ้น [10]

2.3.3.2 ความสามารถในการจัดเก็บพลังงาน

ความจุของแบตเตอรี่ในการบรรจุพลังงานนั้นมีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour; Ah) ยกตัวอย่างเช่น พลังงานในแบตเตอรี่ 12 V 100 Ah เท่ากับ 12V x 100Ah หรือ 12V x 100A x 3600s จะได้เท่ากับ 4.32 MJ ถ้าแบตเตอรี่ 100 Ah เท่ากับว่าแบตเตอรี่จะจ่ายกระแส 1 แอมแปร์ ได้ต่อเนื่องเป็นเวลา 100 ชั่วโมง หรือแบตเตอรี่จ่ายกระแส 10 แอมแปร์ ได้ต่อเนื่องเป็นเวลา10 ชั่วโมง เช่นเดียวกับแบตเตอรี่จ่ายกระแส 5 แอมแปร์ ได้ต่อเนื่องเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งทั้งหมดนี้ล้วนแต่จ่ายกระแสเท่ากับ 100 Ah ทั้งสิ้น

จะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากันอาจมีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าต่างกันได้ ดังนั้น การจะทราบความจุของแบตเตอรี่ต้องทราบถึงอัตราการจ่ายกระแสด้วย มักกำหนดเป็นจำนวนชั่วโมงของการจ่ายกระแสเต็มที่การกำหนดขนาดของแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ในการจัดเก็บพลังงาน, อัตราการจ่ายประจุสูงสุด, อัตราการประจุสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่จะนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน

2.3.4 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) [11]

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่หรือเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V สำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในบ้านทั่วไป โดยทั่วไปแล้วอินเวอร์เตอร์จะออกแบบวงจรภายในโดยใช้วงจร Switching แปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับโดยมีความถี่ 50 Hz แต่ในบางระบบเช่นระบบขนาดเล็กผู้ผลิตอาจจะรวมวงจรอินเวอร์เตอร์กับเครื่องประจุแบตเตอรี่เข้าด้วยกัน ในการออกแบบจะต้องออกแบบให้มีขนาดกำลังไฟฟ้าสูงกว่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานประมาณ 15-20% เนื่องจากอินเวอร์เตอร์จะมีประสิทธิภาพประมาณ 80-85 %

โดยทั่วไปอินเวอร์เตอร์จะแบ่งแยกตามระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีอยู่สองแบบใหญ่ๆด้วยกัน ได้แก่ อินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับระบบสแตนอโลน(Stand-Alone System) และอินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับระบบออนกริด (On-grid System)

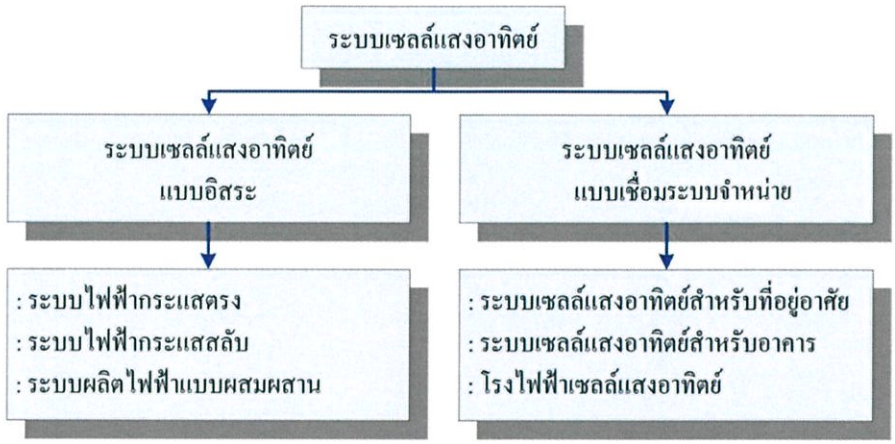
2.3.4.1อินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับระบบอิสระ (Stand-Alone System) [12]

ระบบอิสระ (Stand-Alone System) คือระบบที่ไม่มีปฏิสัมพันธ์กับการไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์แบบนี้จะมีหลักการทำงานเบื้องต้นที่กล่าวไปคือ รับพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ (เวลากลางคืนจากพลังงานที่ชาร์จไว้โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน) แล้วแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อจ่ายให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับต่อไป

2.3.4.2 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับระบบออนกริด (On-grid System) [12]

ระบบออนกริด (On-grid System) หรือระบบที่ทำงานสัมพันธ์กับการไฟฟ้า มีชื่อเรียกอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้โดยทั่วไปว่า กริดไทน์อินเวอร์เตอร์(Grid-Tied Inverter)ลักษณะการทำงานของอินเวอร์เตอร์ระบบนี้จะเหมือนกับอินเวอร์เตอร์โดยปกติทั่วไปแต่จะต้องมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการไฟฟ้าป้อนให้กับอินเวอร์เตอร์อีกทางหนึ่งด้วย ตัวอินเวอร์เตอร์แบบนี้ถึงจะทำงาน ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซล่าเซลล์จะถูกใช้ไปกับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆภายในระบบ ถ้าใช้ไฟฟ้ามากกว่าที่ผลิตได้อินเวอร์เตอร์ก็จะดึงไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเข้ามาจ่ายให้เพิ่มเติม แต่ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าที่ใช้ภายในระบบ ไฟฟ้าก็จะถูกขายให้กับการไฟฟ้าต่อไป(ระบบขายไฟฟ้าคืนให้กับการไฟฟ้า กริดไทน์อินเวอร์เตอร์ในปัจจุบันจะตัดการทำงานตัวมันเองทันทีที่ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าดับเพื่อป้องกันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซล่าเซลล์ผ่านไปยังสายไฟของการไฟฟ้าซึ่งจะเป็นอันตรายเมื่อมีการซ่อมบำรุงระบบการไฟฟ้า

2.4 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

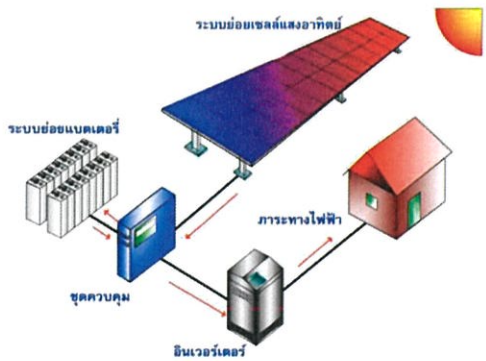


รูปที่ 2.18 ประเภทของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายดังนี้

1. ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand Alone PV System) หมายถึง ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้กับงานเฉพาะด้านหรือเฉพาะแหล่งโดยเฉพาะในแหล่งทุรกันดารหรือห่างไกลจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งระบบจะถูกออกแบบให้ผลิตไฟฟ้าโดยมีปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมกับปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าที่จำกัด

2. ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย (Grid-Connected PV System) หมายถึง ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการผลิตไฟฟ้าป้อนเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อวัตถุประสงค์หลายด้าน เช่นการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า การขายไฟฟ้า การลดภาระค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้า หรือการลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานอื่น รวมถึงการลดมลภาวะจากการผลิตไฟฟ้าด้วยแหล่งพลังงานอื่น เป็นต้น



รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก โดยแต่ละส่วนประกอบมีหน้าที่ดังนี้

1. ระบบย่อยเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งอาจเป็นแผงเซลล์เพียงแผงเดียว หรือหลายแผงเซลล์ต่อร่วมกัน ทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า

2. ระบบย่อยแบตเตอรี่ อาจเป็นแบตเตอรี่เพียงลูกเดียวหรือแบตเตอรี่หลายลูกต่อร่วมกันทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าในรูปพลังงานเคมี ทั้งนี้การเก็บสะสมพลังงานเพื่อจะจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ให้กับภาระทางไฟฟ้าในช่วงเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้

3. ระบบควบคุมการประจุแบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่ควบคุมการอัดประจุและควบคุมการคายประจุของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า เพื่อรักษาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

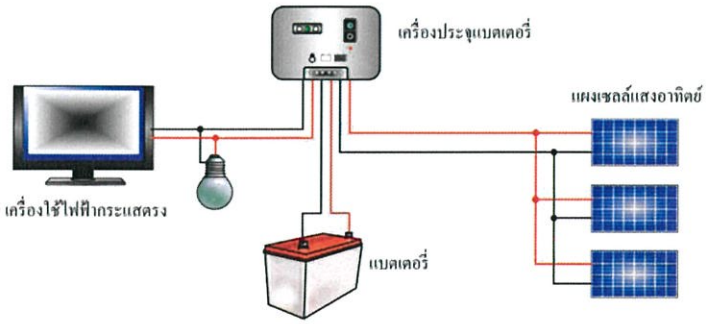
4. ระบบแปลงสัญญาณไฟฟ้าหรืออินเวอร์เตอร์ ในกรณีที่ภาระทางไฟฟ้าของระบบเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จึงจำเป็นต้องมีอินเวอร์เตอร์เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

2.4.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand Alone PV System) [1]

ระบบผลิตไฟฟ้าประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งผลิตพลังงานหลักและไม่ได้เชื่อมต่อกับระบบจำ หน่ายไฟฟ้า สามารถจำแนกตามประเภทของสัญญาณไฟฟ้าหรือแหล่งผลิตไฟฟ้าได้ คือ ระบบไฟฟ้ากระแสตรง ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ และระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

2.4.1.1 ระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power System) [1]

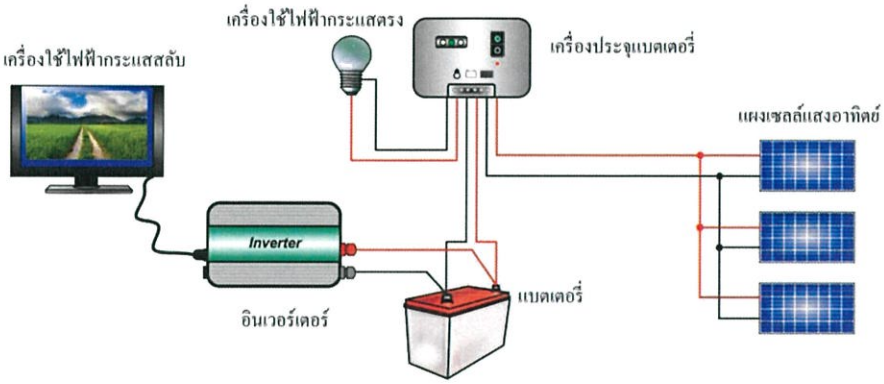
แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้แก่วงจรไฟฟ้าโดยไม่มีอุปกรณ์แปลงสัญญาณไฟฟ้าแต่อาจมีอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าประเภทอื่นเช่น หากระบบมีแบตเตอรี่ต้องมีเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Battery Charge Controller) ร่วมในระบบหรืออาจมีเครื่องควบคุมและปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าในระบบเพื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้าหรือเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าในระบบ ต้องเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น



รูปที่ 2.20 ไดอะแกรมระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power System) [1]

2.4.1.2 ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power System) [1]

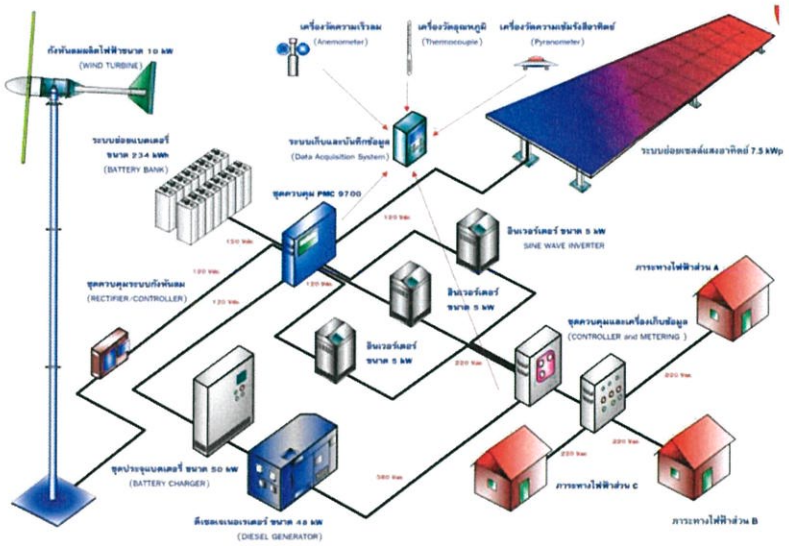
แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้แก่อุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับซึ่งเรียกว่า อินเวอร์เตอร์ (Inverter) โดยส่วนใหญ่จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าพร้อมทั้งควบคุมและปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าด้วย เครื่องใช้ไฟฟ้าในระบบจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับหรืออาจมีเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงร่วมอยู่ด้วยในส่วนที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงก่อนถูกแปลงโดยอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.21 ไดอะแกรมของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power System) [1]

2.4.1.3 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid Power System) [1]

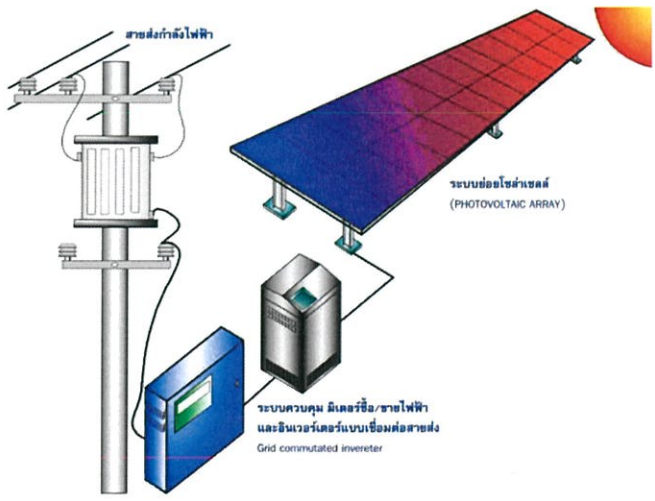
ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกันระหว่างแหล่งพลังงานหลายแหล่ง เนื่องจากระบบที่มีเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้งานเป็นระบบผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ เพราะต้องลงทุนสูง ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพและความเชื่อถือ ผลที่เกิดขึ้นกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน คือ ขนาดของระบบย่อยโดยเฉพาะแหล่งผลิตพลังงานในระบบลดลงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนลดลง



รูปที่ 2.22 ลักษณะของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid Power System) [1]

2.4.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย (Grid-Connected PV System) [1]

ประเทศที่พัฒนาดำเนินการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ป้อนเข้าระบบจำหน่าย รวมทั้งใช้แบตเตอรี่สะสมพลังงานขนาดใหญ่ ให้สามารถรับพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินจากการจ่ายให้ภาระทางไฟฟ้าและสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าส่วนอื่นๆ ซึ่งเป็นการยืดระยะเวลาในการสร้างโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงทางพาณิชย์เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อภาระทางไฟฟ้าที่ต้องการการใช้ หรือในช่วงเวลากลางคืนหรือในวันที่มีเมฆมาก พลังงานส่วนขาดดังกล่าวสามารถดึงมาจากระบบจำหน่ายได้

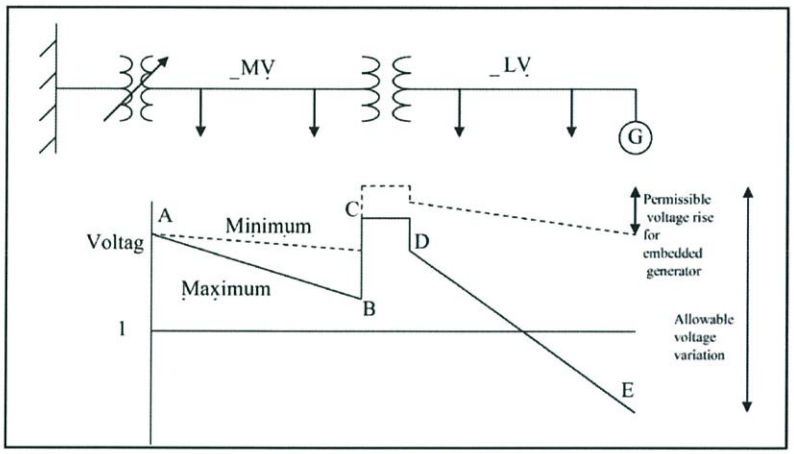


รูปที่ 2.23 ส่วนประกอบของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย [1]

2.5 ผลกระทบทางด้านเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อระบบจำหน่าย [13]

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงแรงดันของระบบ

พันธะกิจหนึ่งของผู้จำหน่ายกระแสไฟฟ้าคือการรักษาแรงดันไฟฟ้า ณ จุดขายให้อยู่ภายในย่านที่กำหนด ข้อกำหนดนี้หลายครั้งเป็นตัวกำหนดรูปแบบและราคาของระบบจ่ายกระแสไฟฟ้า กราฟการแปรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่ายแบบรัศมี ระบบหนึ่งแสดงดังรูป 2.31 และค่าที่แน่นอนของระดับแรงดันขึ้นกับประเทศที่พิจารณาตารางที่ 2.1 แสดงระดับแรงดันที่ใช้ตามปกติของประเทศไทย



รูปที่ 2.24 การแปรเปลี่ยนของแรงดันตามระยะทางลงไปตามระบบจำหน่ายแบบรัศมี

A แรงดันซึ่งถูกรักษาให้คงที่ด้วยหม้อแปลงจำหน่ายแบบมีตัวเปลี่ยนแทป
A-B แรงเคลื่อนตกที่สายป้อนแรงดันปานกลางเนื่องจากภาระไฟฟ้า
B-C แรงเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากแทปของหม้อแปลง MV/LV
C-D แรงเคลื่อนตกในหม้อแปลง MV/LV
D-E แรงเคลื่อนตกในสายป้อนแรงดันต่ำ

ตารางที่ 2.1 แสดงระดับแรงดันของระบบจำหน่าย [13]

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค			การไฟฟ้านครหลวง		
ระดับแรงดัน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ระดับแรงดัน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
115 kV	126.5 kV	103.5 kV	115 kV	123.0 kV	96.0 kV
69 kV	75.9 kV	62.1 kV	69 kV	72.5 kV	57.3 kV
33 kV	36.3 kV	29.7 kV	24 kV	24 kV	21.6 kV
22 kV	24.2 kV	19.8 kV	12 kV	12.0 kV	10.8 kV
380 V	418 V	342 V	400 V	416 V	362 V
220 V	240 V	200 V	230 V	240 V	209 V

จากรูปที่ 2.31 จะเห็นว่าอัตราส่วนหม้อแปลง MV/LV ถูกปรับด้วยตัวเปลี่ยนแทปแบบตัดวงจรเปลี่ยน (Off-load) เพื่อที่จะให้ผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่อยู่ปลายสุดของสายได้รับแรงดันที่ยอมรับได้ในขณะที่ภาระของระบบมีค่าสูงสุด ระหว่างช่วงเวลาที่ภาระไฟฟ้ามีค่าน้อยแรงดันที่ผู้ใช้ไฟฟ้าทุกรายได้รับ มีค่าเกือบเท่ากับค่าสูงสุดที่ยอมให้ได้ เมื่อมีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับปลายของระบบจำหน่าย การไหลของกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปทำให้การแปรเปลี่ยนของแรงดันตามระยะทางของสายป้อนเปลี่ยนไปด้วยกรณีเลวร้ายสุดมักจะเกิดเมื่อมีภาระไฟฟ้าบนสายป้อนต่ำที่สุดและกำลังขาออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องไหลกลับไปยังแหล่งจ่าย ระบบกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมักต่อเชื่อมกับระบบที่จุดต่อต่างๆ ซึ่งมีมาตรฐานกำหนด เช่น ที่บัสบาร์แรงต่ำของหม้อแปลง MV/LV หรือต่อตรงเข้ากับวงจรแรงดันปานกลางหรือแรงดันสูงในกรณีของระบบที่มีขนาดใหญ่มาก บางประเทศมีการกำหนดขนาดของระบบกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถติดตั้งได้ที่จุดต่างๆ ในระบบไฟฟ้า ตัวอย่างหนึ่งของกฎเกณฑ์ดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงขนาดของระบบกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถติดตั้งที่จุดต่างๆ [13]

ตำแหน่งในวงจร	ขนาดสูงสุดของระบบกำเนิดไฟฟ้า
บนสายจำหน่าย 400 V	50 kVA
ที่บัสบาร์ 400 V	200-250 kVA
บนสายจำหน่าย 11-11.5 kV	2-3 MVA
ที่บัสบาร์ 11-11.5 kV	8 MVA
บนสายป้อน 15-20 kV รวมทั้งที่บัสบาร์ด้วย	6.5-10 MVA
บนโครงข่าย 63-90 kV	10-40 MVA

2.5.2 การเพิ่มของกระแสลัดวงจร

การเพิ่มของกระแสลัดวงจรของระบบไฟฟ้าเนื่องจากระบบกำเนิดไฟฟ้าขึ้นกับชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในพื้นที่เขตเมืองซึ่งระดับกระแสลัดวงจรอาจมีค่าใกล้เคียงพิกัดของสวิทช์เกียร์ ดังนั้นการเพิ่มของกระแสลัดวงจรเนื่องจากการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาจเป็นข้อจำกัดในการติดตั้งได้ การเพิ่มพิกัดของสวิทช์เกียร์อาจมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ในกรณีของประเทศอังกฤษเจ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องรับภาระส่วนนี้ไปบางส่วนด้วย การเพิ่มกระแสลัดวงจรเนื่องจากระบบกำเนิดไฟฟ้าสามารถบรรเทาได้โดยการแทรกอิมพิแดนซ์ระหว่างเครื่องกำเนิดและโครงข่ายวงจร เช่น รีแอกเตอร์หรือหม้อแปลง แต่ผลเสียที่ตามมาคือ การสูญเสียทางไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เครื่องกำเนิดที่กว้างขึ้น ในบางประเทศแก้ปัญหาการเพิ่มกระแสลัดวงจรโดยใช้ตัวจำกัดกระแสแบบมีฟิวส์ (Explosive fuse type fault current limiter)

2.5.3 คุณภาพแรงดันไฟฟ้า

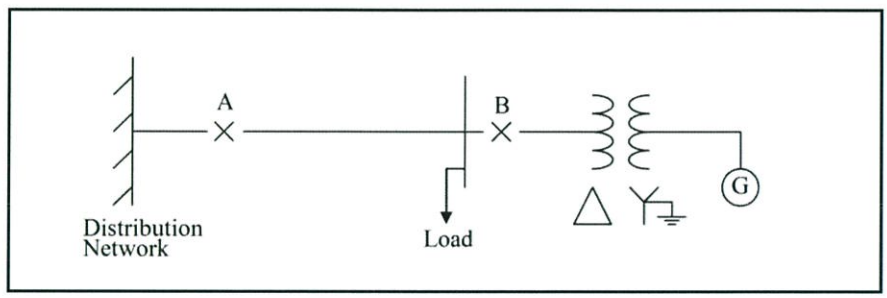
คุณภาพแรงดันไฟฟ้าสามารถแยกพิจารณาได้เป็นสองประเด็นคือ การเปลี่ยนขนาดของแรงดันชั่วขณะ (Transient voltage variation) และความไม่ปกติฮาร์มอนิกส์ของแรงดัน ซึ่งการติดตั้งระบบกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำให้คุณภาพแรงดันไฟฟ้าดีขึ้นหรือเลวลงก็ได้ ระบบกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันชั่วขณะกับโครงข่ายวงจรได้ถ้าขณะ เปิด-ปิด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงกระแสจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในปริมาณสูงและขนาดของกระแสชั่วขณะนี้ขึ้นกับการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับระบบที่อ่อน(Weak system) อาจมีข้อจำกัดในการใช้งานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันชั่วขณะมากกว่าปัญหาจากแรงดันที่เพิ่มขึ้นในสภาวะคงตัวได้ ในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดซิงโครนัสพบว่าปัญหาแรงดันเปลี่ยนแปรชั่วขณะสามารถลดลงได้ถ้าทำการซิงโครไนซ์อย่างถูกต้อง ในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำสามารถใช้ตัวเริ่มเดินแบบนุ่มนวล (Soft starter) เพื่อช่วยจำกัดกระแสสร้างสนามแม่เหล็กพุ่งเข้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีค่าน้อยกว่ากระแสที่พิกัด

อย่างไรก็ตามการปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบขณะกำลังจ่ายภาระเต็มที่อาจนำไปสู่ปัญหาแรงดันตกที่รุนแรงได้ แต่ผลกระทบทางด้านดีของการติดตั้งระบบกำเนิดไฟฟ้าที่มีต่อ การเปลี่ยนแปลงของขนาดแรงดันก็มีเช่นกัน หลังจากติดตั้งแล้วการรบกวนใดๆ จากผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นๆ หรือแม้กระทั่งการผิดพร่องที่เกิดขึ้นไกลๆ (Remote fault) จะมีผลต่อการเปลี่ยนขนาดของแรงดันน้อยลง ทำให้คุณภาพของแรงดันไฟฟ้าดีขึ้น

ในปัญหาด้านฮาร์มอนิกส์ของแรงดัน หากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีการเชื่อมต่อกับระบบผ่านวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังก็อาจมีการป้อนกระแสฮาร์มอนิกส์เข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้ ทำให้เกิดปัญหา ความไม่ปกติของรูปคลื่นแรงดัน อย่างไรก็ดีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ให้รูปคลื่นแรงดันที่สะอาดเข้ากับระบบอาจช่วยลดฮาร์มอนิกส์อิมพิแดนซ์ของระบบ ทำให้รูปคลื่นแรงดันของระบบดีขึ้น แต่ก็อาจเกิดผลเสียกับตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เนื่องจากกระแสฮาร์มอนิกส์บางส่วนจะไหลเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.5.4 การป้องกันระบบไฟฟ้า

การติดตั้งระบบกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันความผิดปกติเพิ่มขึ้น ปัญหาใหญ่คือการเกิด 'Islanding' ให้พิจารณาระบบไฟฟ้าที่แสดงดังรูปที่ 2.32 สมมติให้เบรกเกอร์ A ทริป เนื่องจากการลัดวงจรชั่วขณะซึ่งกระแสลัดวงจรอาจมีค่าไม่มากพอที่จะทำให้เบรกเกอร์ B ทริปได้ หรือเบรกเกอร์ B อาจมองไม่เห็นการลัดวงจร ในกรณีนี้เครื่องกำเนิด G อาจสามารถจ่ายภาระไฟฟ้าต่อไปได้ ถ้าเอาท์พุทของเครื่องกำเนิดเหมาะสมกับกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่ภาระทางไฟฟ้าต้องการ นั่นคือไม่มีการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านเบรกเกอร์ A ในกรณีนี้หลังจากเบรกเกอร์ A ทริป จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดของแรงดันและความถี่ในส่วนของวงจรที่ถูกตัดขาดออกไป



รูปที่ 2.25 ตัวอย่างหนึ่งของการเกิดปัญหา 'Islanding'

ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากมากที่จะตรวจจับว่าเบรกเกอร์ A ได้ทริปไปแล้วโดยการดูเพียงพารามิเตอร์ที่วัดที่บัส B สภาวะเช่นนี้เรียกว่า เกิด Islanding ขึ้นซึ่งก่อให้เกิดอันตรายด้วยเหตุผลสองประการคือ อันตรายต่อบุคคลที่ต้องมาจับต้องวงจรในส่วนที่กำลังเกิดสภาวะ islanding เช่นช่างไฟฟ้า อันตรายประการที่สองคือถ้าเบรกเกอร์ A ซึ่งเป็นรีโคลสเซอร์ปิดวงจรกลับเข้าไป อาจเกิดสภาวะคล้ายกับการซิงโครไนซ์แหล่งจ่ายสองแหล่งเข้าด้วยกันโดยที่เฟสไม่ตรงกัน อาจทำให้เกิดการไหลของกระแสจำนวนมากได้ ซึ่งเป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ

การติดตั้งรีเลย์เพื่อตรวจจับการเกิด Islanding และทำการทริปเครื่องกำเนิดออกไป รีเลย์ตัวนี้จะต้องทริปก่อนที่รีโคลสเซอร์ที่บัส A จะปิดวงจรกลับเข้ามาถ้าต้องการหลีกเลี่ยงการเกิด Out-of-phase synchronization โดยทั่วไปการป้องกันการเกิด islanding นี้อาจใช้รีเลย์ตรวจจับอัตราการเพิ่มของแรงดัน rate-of-change-of-frequency relay (ROCOF) หรือรีเลย์ตรวจจับการเลื่อนของเวกเตอร์แรงดัน (voltage vector shift) อย่างไรก็ดีหากตั้งรีเลย์เหล่านี้ให้ทำงานไวเกินไปก็อาจก่อให้เกิด การทริปผิดพลาดได้

2.5.5 ความมั่นคงของระบบไฟฟ้า

ในกรณีที่ระบบกำเนิดไฟฟ้าที่มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก (คือ ผลิตกิโลวัตต์-ชั่วโมง) ปัญหาเรื่องเสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไม่ค่อยมีความสำคัญเท่าใดนัก ถ้าเกิดฟอลต์ที่ใดที่หนึ่งในระบบจำหน่าย ซึ่งทำให้แรงดันของโครงข่ายลดลงแล้วมีผลทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดทำงาน สิ่งที่สูญเสียไปเป็นเพียงพลังงานที่ควรผลิตได้ในช่วงเวลาสั้นๆ เท่านั้น ถ้าเป็นเครื่องกำเนิดที่อาศัยการหมุนของตัวหมุนก็จะเกิดการหมุนเร็วเกินไปและเครื่องก็จะถูกทริปโดย รีเลย์ป้องกันความเร็วเกิน (Over speed relay) ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังวงจรป้องกันก็จะตรวจพบการตกของแรงดันหรือความถี่และทำการทริปเครื่องกำเนิดออกไป

อย่างไรก็ดีโดยทั่วไประบบควบคุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะรอช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้แรงดันหรือความถี่หรือทั้งสองอย่างกลับคืนสู่สภาวะปกติ แล้วจึงทำการเดินเครื่องใหม่ ในทางตรงข้ามถ้าเครื่องกำเนิดมีหน้าที่พยุงระบบไฟฟ้า ในกรณีนี้เสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งรวมทั้งด้านแรงดันและมุมของแรงดันเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาให้มาก ปัญหาที่อาจพบ เช่นการทริปของรีเลย์ตรวจ การลดของความถี่ ซึ่งเป็นอาการหนึ่งของการเกิด Islanding หากเกิดการรบกวนขนาดใหญ่ในระบบไฟฟ้า เช่น เกิดการทริปเครื่องกำเนิดขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญมากออกไป อาจทำให้ระบบป้องกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานผิดพลาดเป็นจำนวนมากนำไปสู่การทริปพวกมันออกจากระบบ ซึ่งทำให้ความถี่ของระบบตกลงยิ่งขึ้น และอาจนำไปสู่ภาวะล่มของระบบไฟฟ้า

2.6 โครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่อยู่อาศัย (Solar PV Rooftop) [2]

2.6.1 ลักษณะการทำงาน

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) บนหลังคาของบ้าน อาคารสำนักงาน อาคารโรงงาน โดยระบบจะผลิตไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของอาคาร และเชื่อมต่อกับไฟฟ้าระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

2.6.2 การเชื่อมต่อระบบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ กับไฟฟ้าระบบจำหน่าย

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาเป็นระบบที่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับไฟฟ้าระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในกรณีที่เจ้าของบ้าน อาคารโรงงานได้มีการอนุญาตจำหน่ายไฟฟ้าที่ผลิตได้เข้าสู่ระบบ ทางการไฟฟ้าจะดำเนินการติดตั้งมาตรวัดไฟฟ้าสำหรับจำหน่ายเพิ่มเติม เพื่อวัดหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบที่ป้อนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าระบบจำหน่าย

2.6.3 มาตรการส่งเสริมการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคา

คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) ปรับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (ปี 2555-2564) หรือ AEDP ใหม่ โดยเพิ่มเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นทุกประเภททั้งพลังงานก๊าซชีวภาพ จากหญ้าเนเปียร์ พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านอาคาร พร้อมกำหนดอัตรารับซื้อไฟราคาพิเศษโดย กำหนดเป้าหมาย 200 เมกะวัตต์ แบ่งเป็นบ้านที่อยู่อาศัย 100 เมกะวัตต์ และอาคารธุรกิจขนาดเล็ก กลาง และใหญ่อีก 100 เมกะวัตต์

คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) เห็นชอบอัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FIT สำหรับโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) ระยะเวลาสนับสนุน 25 ปี แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ กลุ่มบ้านอยู่อาศัย ขนาดกำลังผลิตติดตั้งน้อยกว่า 10 กิโลวัตต์ อัตรา FIT 6.96 บาทต่อหน่วย กลุ่มอาคารธุรกิจขนาดเล็ก-ขนาดกลาง ขนาดกำลังผลิต 10-250 กิโลวัตต์ อัตรา FIT 6.55 บาทต่อหน่วย กลุ่มอาคารธุรกิจขนาดกลาง -ใหญ่ ขนาดกำลังผลิต 250-1,000 กิโลวัตต์ อัตรา FIT 6.16 บาทต่อหน่วย

ตารางที่ 2.3 แสดงแสดงอัตราการรับซื้อไฟในรูปแบบ FIT [2]

	บ้านพักอาศัย	อาคารธุรกิจ ขนาดเล็ก	อาคารธุรกิจ ขนาดกลาง-ใหญ่ / โรงงาน
ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง	< 10 kW	10 – 250kW	250 – 1,000kW
อัตรา FIT (บาทต่อหน่วย)	6.96	6.55	6.16
ระยะเวลาในสนับสนุน(ปี)	25	25	25

2.6.4 การขออนุญาตเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายเข้าระบบ (PPA)

เจ้าของบ้าน อาคาร โรงงาน ที่มีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา สามารถยื่นเอกสารเพื่อเป็นผู้จำหน่ายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าเพื่อรับมาตรการรับซื้อไฟฟ้าในอัตราพิเศษ (Feed In Tariff) โดยต้องมีความพร้อมเบื้องต้น ดังนี้

1. มีเอกสิทธิ์ ความเป็นเจ้าของ บ้าน อาคาร โรงงาน ที่ทำการติดตั้งระบบในระยะเวลา 30 ปี

2. มีความพร้อมในการลงทุนในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา โดยมีหนังสือรับรองฐานะทางการเงินจากสถาบันการเงิน

3. มีความพร้อมด้านเทคโนโลยี ทั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องแปลงกระไฟฟ้าและการติดตั้งระบบ

4. ความพร้อมของระบบจำหน่าย สำหรับโครงการที่จะมีการติดตั้งมากกว่า 250 กิโลวัตต์ อาจจะต้องมีการสำรวจความสามารถในการรับไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

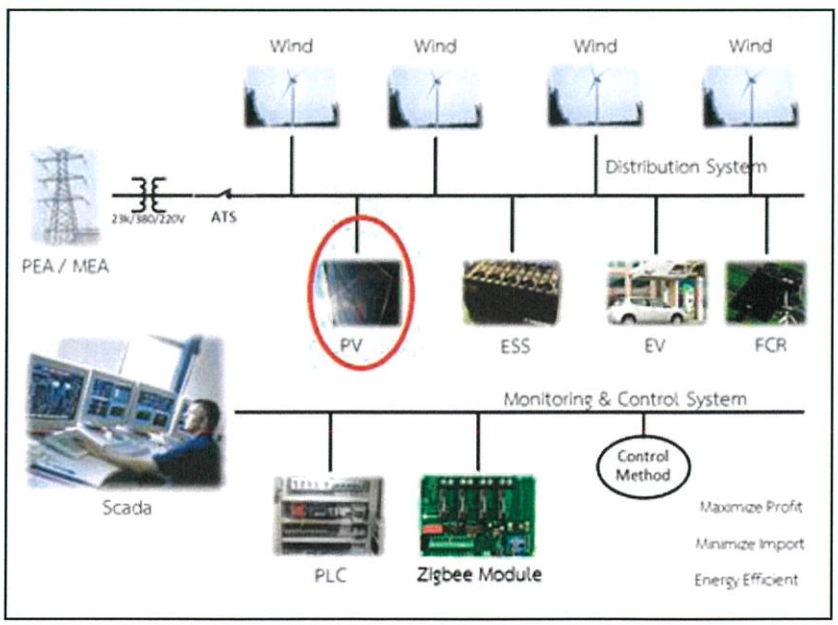
บทที่ 3
การออกแบบการทดลอง

การออกแบบและประกอบสร้าง

เนื่องจากโครงการ Future Center เป็นโครงการที่ใช้พลังงานที่ได้จากพลังงานทดแทนมาใช้เป็นพลังงานหลักจึงต้องมีการออกแบบและวางแผนการติดตั้งวัสดุอุปกรณ์ต่างๆภายในโครงการ ซึ่งโครงการนี้ได้แบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลักๆด้วยกัน ดังนี้

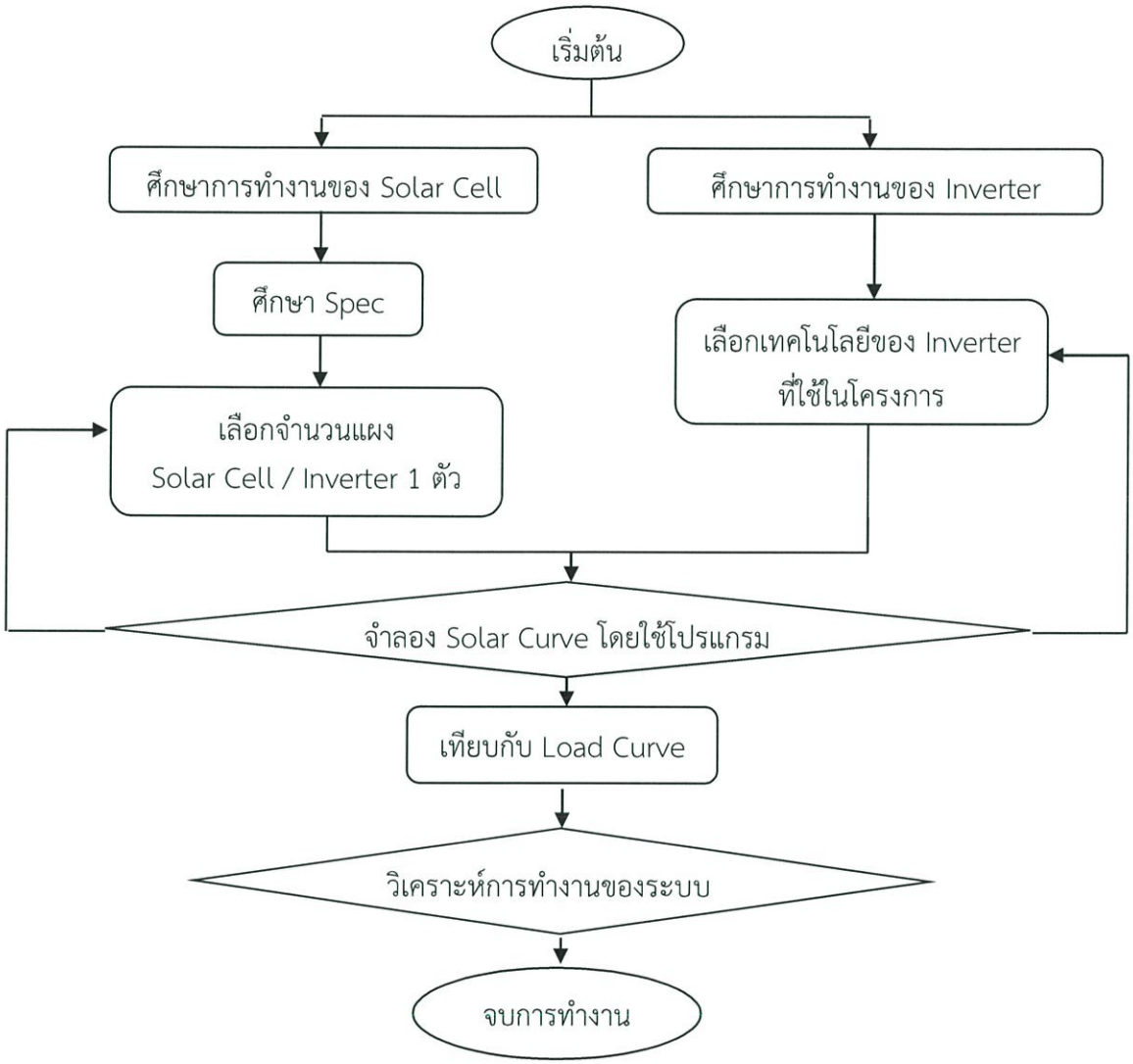
1. Verification & Implementation of Solar Energy Management
2. Verification & Implementation of Wind Energy System
3. Verification & Implementation of Distribution and Protection System
4. Verification & Implementation of Hybrid Energy System
5. Verification & Implementation of Monitoring and Control System
6. Centralized Charging and Slorage System for a Small Community

จากรูปที่ 3.1 จะแสดงให้เห็นถึงขอบเขตการทำงานของกลุ่ม “Verification & Implementation of Solar Energy Management” ของโครงการ Future Center ซึ่งจะรับผิดชอบในส่วนของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ การออกแบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ รวมไปถึงการวิเคราะห์กำลังการผลิตที่สามารถผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 3.1 ขอบเขตงานจากภาพรวมของระบบภายในโครงการ Future Renewable Center

รูปที่ 3.2 เป็นรูปแสดงกระบวนแผนการดำเนินงานของกลุ่ม Verification & Implementation of Solar Energy Management ตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการทำงานจนถึงขั้นตอนสิ้นสุดของกระบวนการทำงาน



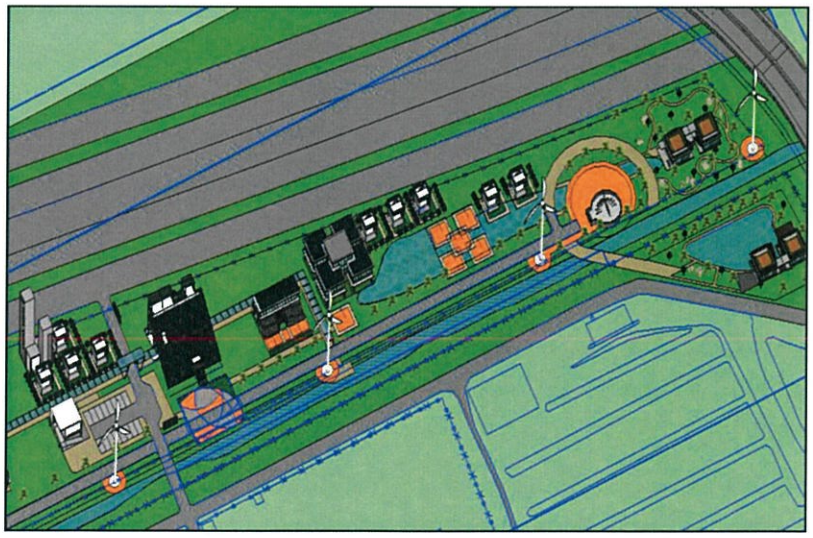
รูปที่ 3.2 Flow Chart กระบวนการทำงานของกลุ่ม
The Design & Management of Solar Energy System

3.1 สถานที่การก่อสร้างของโครงการวิจัย

บริเวณข้างคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พื้นที่ติดกับเส้นทางมอเตอร์เวย์ กรุงเทพฯ-ชลบุรี (ทางหลวงพิเศษหมายเลข 7) ละติจูด 13.731873 ลองติจูด100.786393 โดยครอบคลุมพื้นที่ 14 ไร่ และแบ่งบริเวณก่อสร้างออกเป็น 5 บริเวณ ได้แก่

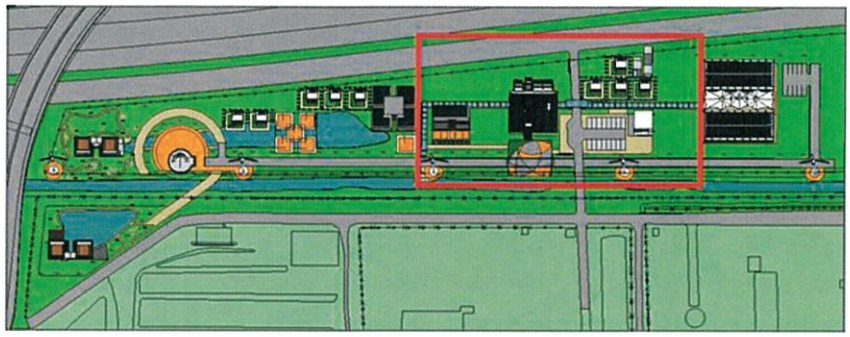
1. พื้นที่ทดลองสวนเกษตรแห่งอนาคต ครอบคลุมพื้นที่ 4 ไร่
2. พื้นที่ทดสอบพลังงานจากกระแสลม ครอบคลุมพื้นที่ 1.5 ไร่
3. พื้นที่วิจัยหลัก ครอบคลุมพื้นที่ 8 ไร่ แบ่งออกเป็น
   - ที่ตั้งของอาคาร Future Center ซึ่งเป็นอาคารนวัตกรรมแสงอาทิตย์
   - ที่ตั้งของ Experimental Individual research lab ซึ่งเป็นอาคารที่ใช้ในศึกษาวิจัยโดยใช้พลังงานทดแทนเป็นหลัก
4. พื้นที่ตั้ง Convention Hall ซึ่งเป็นพื้นที่รองรับการแสดงผลงานการวิจัยเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยภายในพื้นที่นี้
5. พื้นที่พักอาศัย เป็นพื้นที่พักอาศัยในรูปแบบของอาคารชุดโดยใช้พลังงานทดแทน

ซึ่งในระยะแรกจะก่อสร้างพื้นที่วิจัยหลัก ในส่วนของอาคาร Future Center และพื้นที่ทดลองพลังงานจากกระแสลมก่อน แล้วจึงจะเริ่มก่อสร้างพื้นที่วิจัยหลักในส่วนของ Experimental Individual research lab, Convention Hall และพื้นที่พักอาศัยต่อภายหลังตามลำดับ โดยพื้นที่ทดลองสวนเกษตรแห่งอนาคตนั้นมีอยู่แต่เดิมอยู่แล้วเพียงแต่จะมีการปรับเปรียบการรับพลังงานหลักแทนโดยจะเปลี่ยนจากรับพลังงานจากการไฟฟ้ามาเป็นพลังงานทดแทนเป็นหลัก



รูปที่ 3.3 พื้นที่ก่อสร้างโครงการวิจัย

3.2 บริเวณที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ลงบนโครงการวิจัย



รูปที่ 3.4 พื้นที่บริเวณที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์

จากสถานที่การก่อสร้างของโครงการวิจัยนี้จะมีการก่อสร้างในส่วนของอาคาร Future Center และพื้นที่ทดลองพลังงานจากกระแสลมก่อน จึงมีพื้นที่ในการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ในจำนวนที่จำกัด ซึ่งได้แบ่งพื้นที่ในการติดตั้งโซล่าเซลล์นี้ ออกเป็น

1. พื้นที่บริเวณหลังคาของ Future Center ครอบคลุมพื้นที่ 20×19 m^2 ซึ่งคาดว่าจะสามารถติดตั้งโซล่าเซลล์ให้ได้กำลังผลิตประมาณ 45 kW
2. พื้นที่บริเวณหลังคาของ Workshop & Warehouse ครอบคลุมพื้นที่ 20×12 m^2 ซึ่งคาดว่าจะสามารถติดตั้งโซล่าเซลล์ให้ได้กำลังผลิตประมาณ 20 kW และพื้นที่ของหลังคาลานจอดรถ แบ่งเป็น 2 ส่วน ครอบคลุมพื้นที่ 5.5×13 m^2 และ 5.5×25 m^2 ซึ่งคาดว่าจะสามารถติดตั้งโซล่าเซลล์ให้ได้กำลังผลิตประมาณ 20 kW รวมกำลังการผลิตจาก 2 บริเวณนี้คิดเป็น 40 kW
3. พื้นที่บริเวณหลังคาทางเดิน ครอบคลุมพื้นที่ 88×1.6 m^2 ซึ่งคาดว่าจะสามารถติดตั้งโซล่าเซลล์ให้ได้กำลังผลิตประมาณ 20 kW

ซึ่งจากพื้นที่ที่ติดตั้งโซล่าเซลล์ทั้งหมดนี้ มีเป้าหมายในการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ มากที่สุดเพื่อให้มีพลังงานเพียงพอสำหรับความต้องการใช้พลังงานของโหลดของโครงการ Future Center ที่มีพิกัดประมาณ 37 kW

3.3 เลือกขนาดของ Inverter ให้เหมาะสมในแต่ละพื้นที่

ในการเลือกใช้งาน Inverter โครงการนี้จะเลือกใช้งาน Inverter 2 ขนาด คือ 10 kW, 15 kW ตามลำดับ โดยขนาด 15 kW จะเลือกใช้ชนิด เทคโนโลยีที่ 1 และ ขนาด 10 kW จะมีการเลือกใช้ 3 ชนิด คือ ชนิด เทคโนโลยีที่ 4 , ชนิด เทคโนโลยีที่ 3 และ ชนิด เทคโนโลยีที่ 2 ซึ่งคุณสมบัติในการใช้งานมีดังนี้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของ Inverter เทคโนโลยีที่ 1

Technical Data	Sunny Tripower15000 TL
DC Input	
Maximum DC power at cosø = 1	15,260W
Maximum input voltage	1,000V
MPP voltage range at 230 V AC	580V ... 800V
Rated input voltage	580V
Minimum input voltage at 230 V AC	570V
Start input voltage	620V
Maximum input current	36A
Maximum input current per string	36A
Number of independent MPP inputs	1
String per MPP input	6
AC Output	
Rated power at 230 V, 50 Hz	15,000 W
Maximum apparent AC power	15,000 VA
Rated grid voltage	3/N/PE, 230V / 400V
AC voltage range	160 V ... 280 V
Nominal AC current at 230 V	21.7A
Maximum output current	24.0A
Maximum short-circuit current	50A
Maximum residual output current	96mA
Rate power frequency	50Hz
AC power frequency	50Hz/60Hz
Operating range at AC power frequency 50 Hz	44Hz ... 55Hz
Operating range at AC power frequency 60 Hz	54Hz ... 65Hz
Displacement power factor, adjustable	$0.8_{overexcited}$ ... $0.8_{underexcited}$
Feed-in phases	3
Connection phases	3
Overvoltage category as per IEC 60664-1	III
Efficiency	
Maximum efficiency	98.5%
European weighted efficiency	98.3%

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของ Inverter เทคโนโลยีที่ 4

Technical Data	Sunny Tripower 10000 TL
DC Input	
Maximum DC power at cosø = 1	10200W
Maximum input voltage	1000V
MPP voltage range/rated input voltage	320V - 800V / 600V
Minimum input voltage/initial input voltage	150V / 188V
Maximum input current input A / input B	22A / 11A
Maximum input current per string input A / input B	33A / 12.5A
Number of independent MPP inputs / string per MPP input	2 / A:4 ; B:1
AC Output	
Rated power at 230 V, 50 Hz	10000 W
Maximum apparent AC power	10000 VA
Nominal AC voltage	3/N/PE; 220V / 380V 3/N/PE; 230V / 400V 3/N/PE; 240V / 415V
Nominal AC voltage range	160 V – 280 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5Hz
Rated grid frequency / rate grid voltage	50HZ / 230V
Maximum output current	16 A
Power factor at rated power	1
Adjustable displacement factor	$0.8_{overexcited}$... $0.8_{underexcited}$
Phase conductors / connection phases	3 / 3
Efficiency	
Maximum efficiency / European efficiency	98.1% / 97.7%

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของ Inverter เทคโนโลยีที่ 4 (ต่อ)

Technical Data	Sunny Tripower 10000 TL
Protection	
Input-side disconnection device	•
Ground-fault monitoring / grid monitoring	• / •
DC surge arrest Type II, can be integrated	o
DC reverse-polarity protection / ac short-circuit current capability / galvanically isolated	• / • / -
All-pole sensitive residual current monitoring unit	•
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III
General Data	
Dimensions (W / H / D)	665 / 690 / 265 mm (26.2 / 27.2 / 10.4 in)
Weight	59 kg (130.07 lb)
Operating temperature range	-25 C ... +60°C (-13°F ... +140°F)
Noise emission (typical)	51 dB (A)
Self-consumtion at night	1W
Topology / cooling concept	Transformerless / OptiCool
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%
Features	
DC terminal / AC terminal	SUNCLIX / Spring-type terminal
Display	Graphic
Interface : RS485 / Bluetooth / Speedwire / Webconnect	O / • / o / o
Multi-function relay / Power Control Module	o / o

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของ Inverter เทคโนโลยีที่ 3

Technical Data	Siemens SINVERT PVM10
DC Input	
Rated input power Pdc,r	10.2kW
U MPP min	380V
U MPP max	850V
U DC max	1000V
I DC max	29A
Overvoltage protection	Type 3
Number of DC inputs	4
AC Output	
P rated	10.0kW
P max	10.0kW
I max	18A
Grid connection	3AC 400V ; 50/60
Cos phi	0.9 i to 0.9c
THD I	< 2.5%
Max. efficiency	98.0%
Europ. Efficiency	97.4%
Infeed from	60W
Intrinsic consump., night	<0.5W
Overvoltage protection	Type 3
Genneral Information	
T min	-25°C
T max	+55°C
T max for P rated	+50°C
Cooling	Natural
Max. installation altitude	2000 m
Operating noise	< 45 dB (A)
Width (approx.)	530mm
Height (approx.)	600mm
Depth (approx.)	260.5mm
Weight (approx.)	40kg

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของ Inverter เทคโนโลยีที่ 2

Characteristics	
Main	
Range of product	Conext TL
Device short name	TL 10000 E
Product or component type	Grid-tie solar inverter
Network number of phases	Three phase
Nominal output power	10 kVA
Complementary	
Photovoltaic power	10.4 kW input power for maximal output power
Output voltage	230/400 V AC (nominal)
Number of MPPT	2
Maximum output current	16 A AC
Frequency	50/60 Hz +/- 3 Hz (output)
Cos phi	0.8 leading to lagging
Harmonic distortion	< 3 % at rated power
Input voltage	200 V DC at start 350...850 V DC MPPT <= 1000 V DC open circuit
Input current per MPPT	<= 17 A
Efficiency	98.3 % peak 97.7 % European
Power consumption in W	< 2 W night time
Topology	Transformerless
Function available	Embedded data logger for 365 days Standard integrated DC disconnect Remote inverter disable Dry contact
Relay type	Multifunction control relay
Communication interface	Modbus (RS485)
Type of connector	- (IP67 - output) Multicontact MC4 - input)

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของ Inverter เทคโนโลยีที่ 2 ต่อ

Characteristics	
Main	
Type of cooling	Fan
Height	62.5cm
Width	61.2cm
Depth	27.8cm
Product weight	41kg
Acoustic level	<50dBA
Enclosure material	Aluminium
Environment	
IP degree of protection	IP65 (electronic) IP55 (balance)
Ambient air temperature for operation	-20...60 °C
Electromagnetic compatibility	Immunity for industrial environments conforming to EN 61000-6-2 Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments conforming to EN 61000-6-3
Standards	VDE 0126-1-1 RD 1663 RD 661 AS 3100 VDE-AR-N 4105 RD 1699 CEI 0-21 UTE C 15-712-1
Product certifications	CE marked for low voltage directive 2006/95/EC conforming to 62109-1/62109-2 CE marked for EMC directive 2004/108/EC
Operating altitude	< 2000 m without derating
Relative humidity	4...100 % (condensing)
Environmental characteristic	REACH

3.4 ชนิดของแผงโซล่าเซลล์

โครงการนี้เลือกใช้แผงโซล่าเซลล์



รูปที่ 3.5 ภาพแผงโซล่าเซลล์ที่ใช้ในโครงการ

แผงพลังงานแสงอาทิตย์ ผ่านการทดสอบแผงในสภาพ PID (potential induced degradation) ที่รุนแรงที่สุดในอุตสาหกรรม จากสถาบันวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์แห่งสิงคโปร์ อันได้แก่

- แรงดันไฟฟ้าลบ 1,000 โวลต์
- อุณหภูมิโดยรอบ 60 องศาเซลเซียส
- ความชื้นสัมพัทธ์ 85%
- ระยะเวลาทดสอบ 96 ชั่วโมง

แผงพลังงานแสงอาทิตย์ มีผลการทดสอบที่ดีมากในการทดสอบ โดยมีอัตราการเกิดภาวะกระแสไฟลดต่ำไม่ถึง 2% อีกทั้งยังมีคุณภาพและความน่าเชื่อถือสูง มีการออกแบบที่เหมาะสม การเลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพสูงในการสร้าง

ก่อนหน้านี้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ ได้รับการรับรองมาตรฐาน TUV Rheinland ซึ่งเป็นที่ยอมรับของอุตสาหกรรม โดยผ่านการทดสอบที่แรงดันไฟฟ้าลบ1,000 โวลต์ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 168 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของแผงโซล่าเซลล์

Typica(REC245PE)	
Peak Power (Pmpp)	245 W
Rated Voltage (Vmpp)	30.2 V
Rated Current (Impp)	8.12 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.2 V
Short Circuit Current (Isc)	8.68 A
Maximum Series Fuse (DC)	15 A
Maximum System Voltage	1000 V
Application Class	Class A
Maximum Load	5400 Pa
Wide	1.6 m
length	1 m
At STC 1000 W/m^2 AM 1.5, Cell Temp 25 °C	

3.5 การติดตั้งแผงโซล่าเซลล์เข้ากับ Inverter

ในการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์เข้ากับ Inverter ในแต่ละตัวนั้นจะมีการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ในแต่ละพื้นที่จะมีจำนวนที่ไม่เท่ากันจึงทำให้การติดตั้ง Inverter ในแต่ละพื้นที่มีจำนวนแตกต่างกันออกไปด้วยและจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติต่างๆ ของแผงโซล่าเซลล์ชนิดที่เรานำมาติดตั้งเข้ากับ Inverter ด้วย โดยในการออกแบบเราจะใช้โปรแกรม Greenius เพื่อช่วยในการออกแบบ

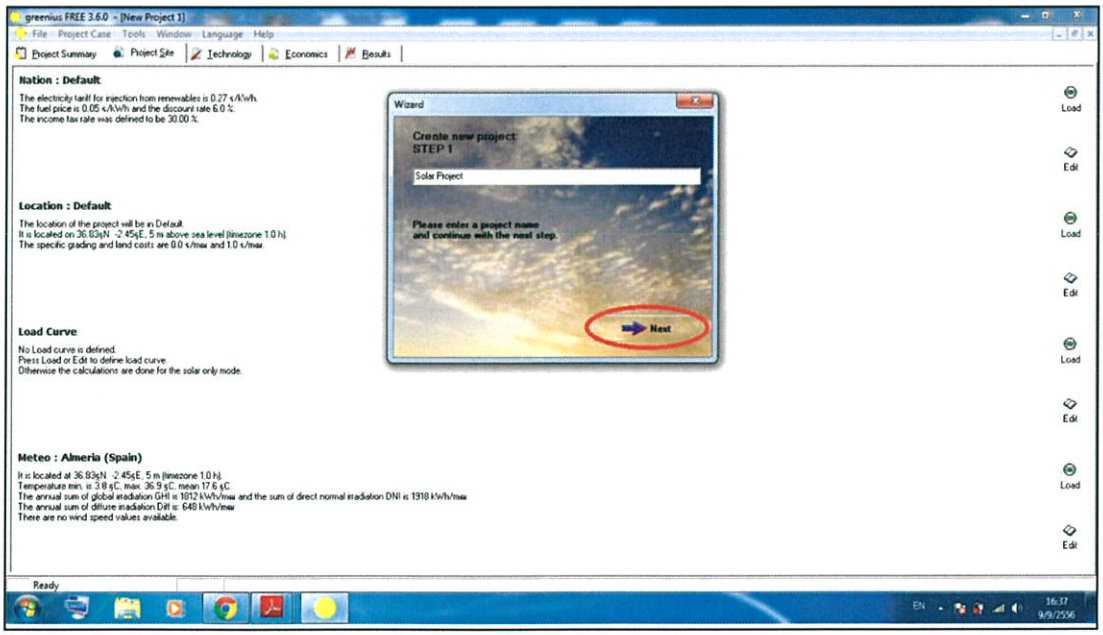
ต่อไปนี้จะเป็นขั้นตอนนี้จะใช้โปรแกรม Greenius ในการออกแบบจำนวนแผงโซล่าเซลล์ต่อ Inverter แต่ละตัวโดยขั้นตอนใช้โปรแกรม Greenius มีดังนี้

1.เปิดโปรแกรม Greenius แล้วเลือก New Project



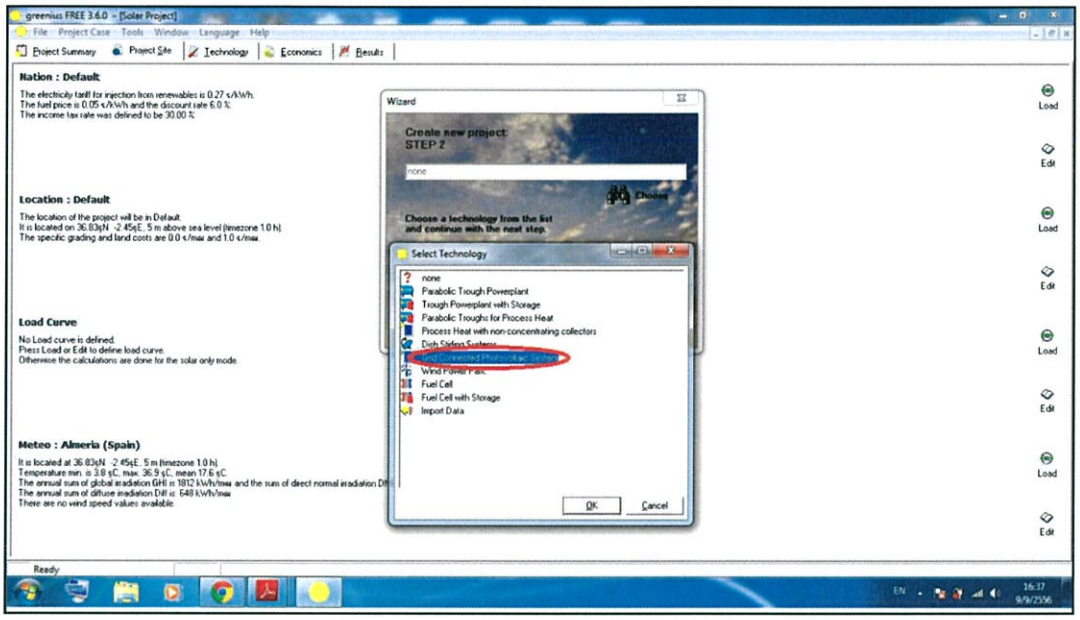
รูปที่ 3.6 ภาพเริ่มขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius

2. ขั้นตอนนี้เป็นการตั้งชื่อโปรเจค เมื่อตั้งชื่อโปรเจคเสร็จแล้วเลือกNext



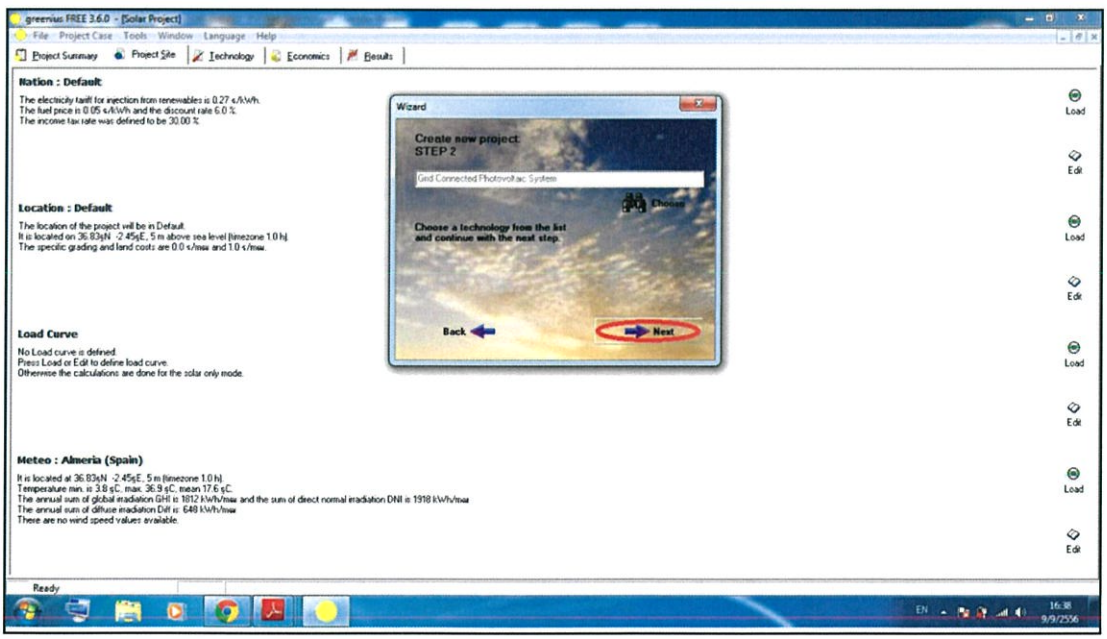
รูปที่ 3.7 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 2

3. เมื่อตั้งชื่อ Project เสร็จ จะมีหน้าต่างขึ้นมาให้เลือกระบบที่ต้องการ simulate โดยโครงงานนี้ทำเรื่องเกี่ยวกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เลือก Grid connected photovoltaic system แล้วกด OK



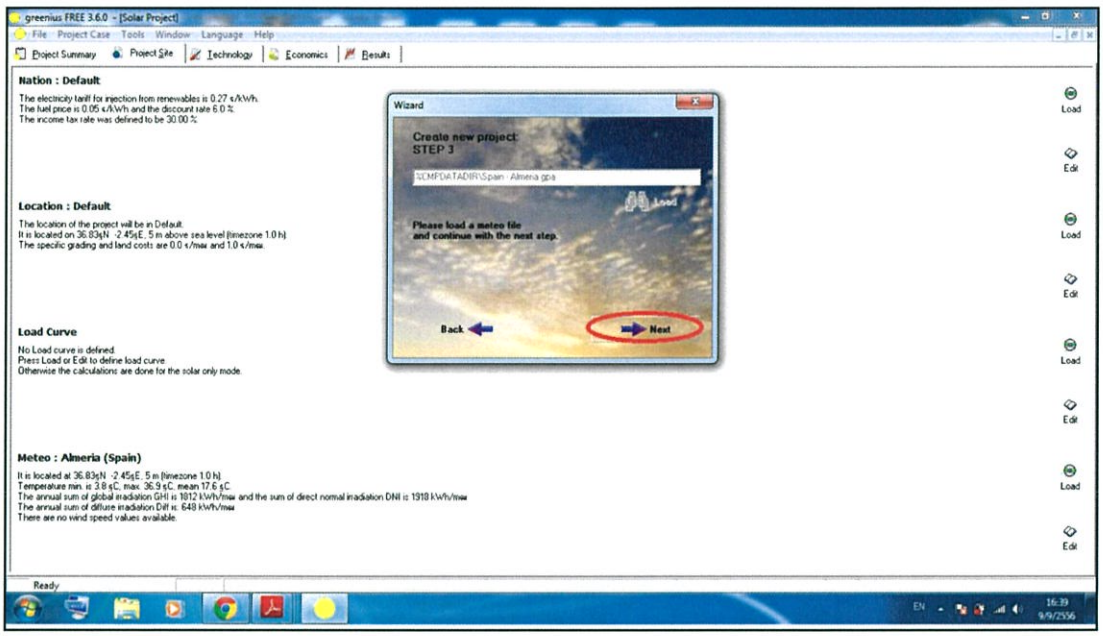
รูปที่ 3.8 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 3

4. เมื่อเลือกระบบที่ต้องการ simulate เสร็จแล้ว ให้กด Next เพื่อไปยังขั้นตอนต่อไป



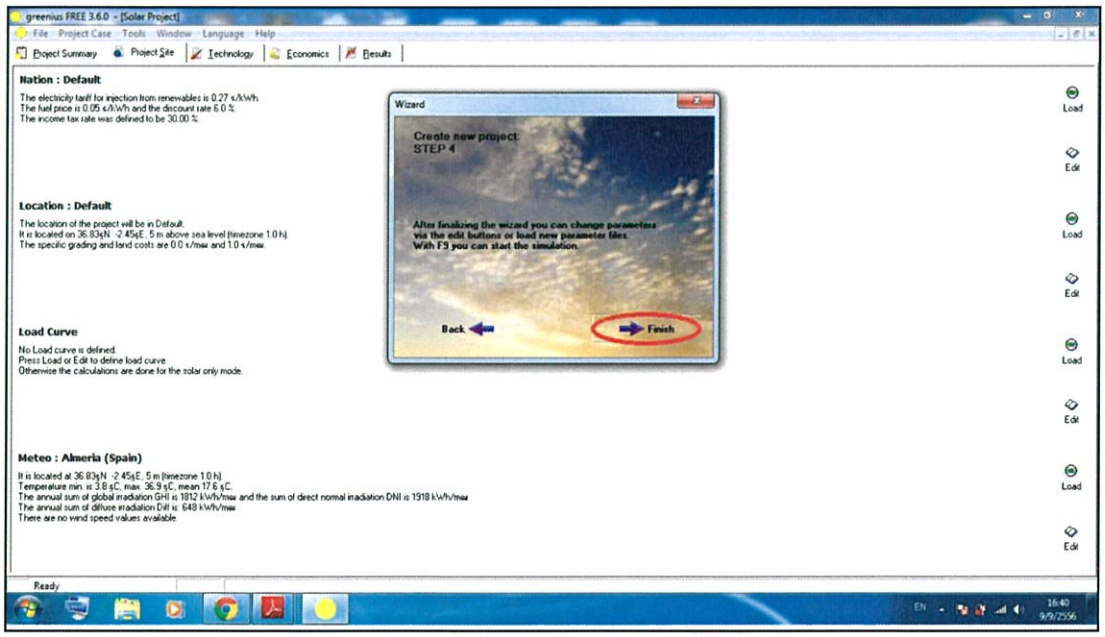
รูปที่ 3.9 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 4

5. ขั้นตอนต่อมา เป็นขั้นตอนที่ให้โหลดข้อมูลทางภูมิประเทศ และภูมิอากาศในบริเวณที่เราจะติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ แต่เนื่องจากเป็น Demo Version จึงไม่สามารถโหลดข้อมูลลงมาได้ ให้เลือก Next เพื่อไปยังขั้นตอนถัดไป



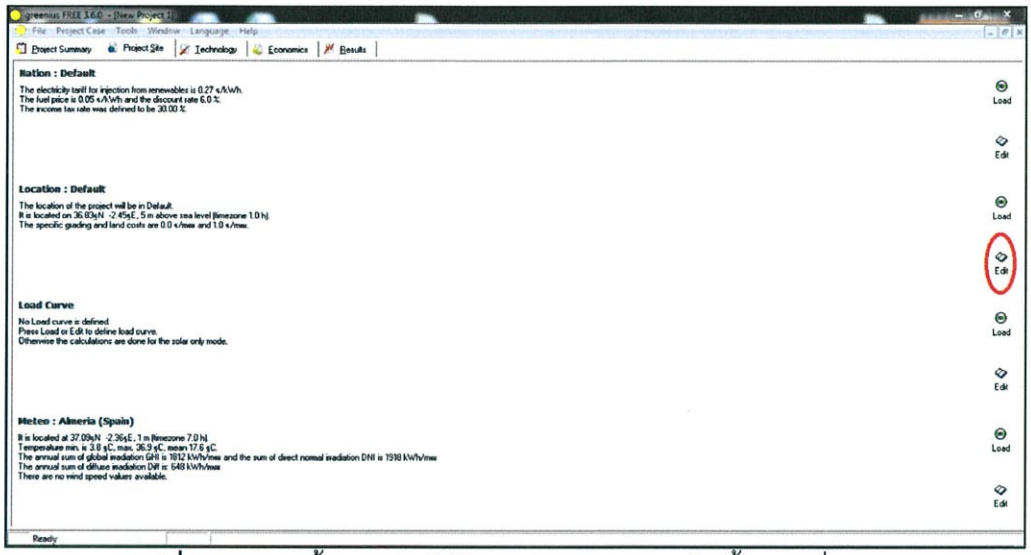
รูปที่ 3.10 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 5

6. เมื่อตรวจทานข้อมูลที่กรอกเสร็จแล้ว ต่อมา กด Finish เพื่อเริ่มขั้นตอนการทดลอง



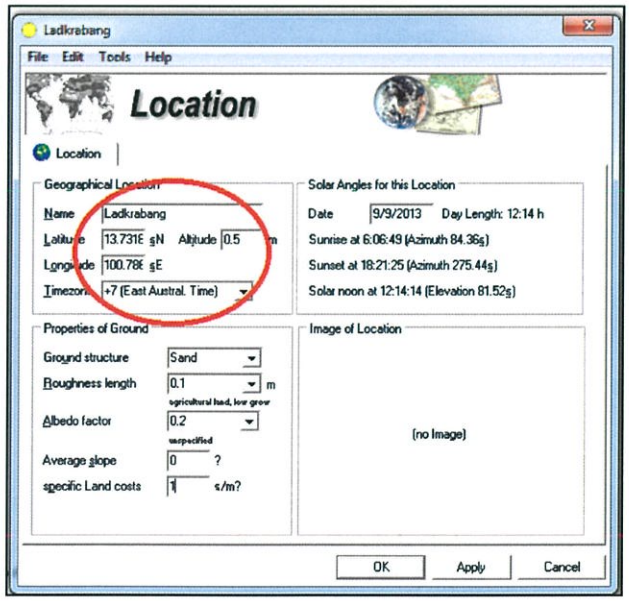
รูปที่ 3.11 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 6

7. ต่อมา จะเริ่มต้นกรอกข้อมูลเกี่ยวพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์โดย เลือก Edit ในหัวข้อของ Location



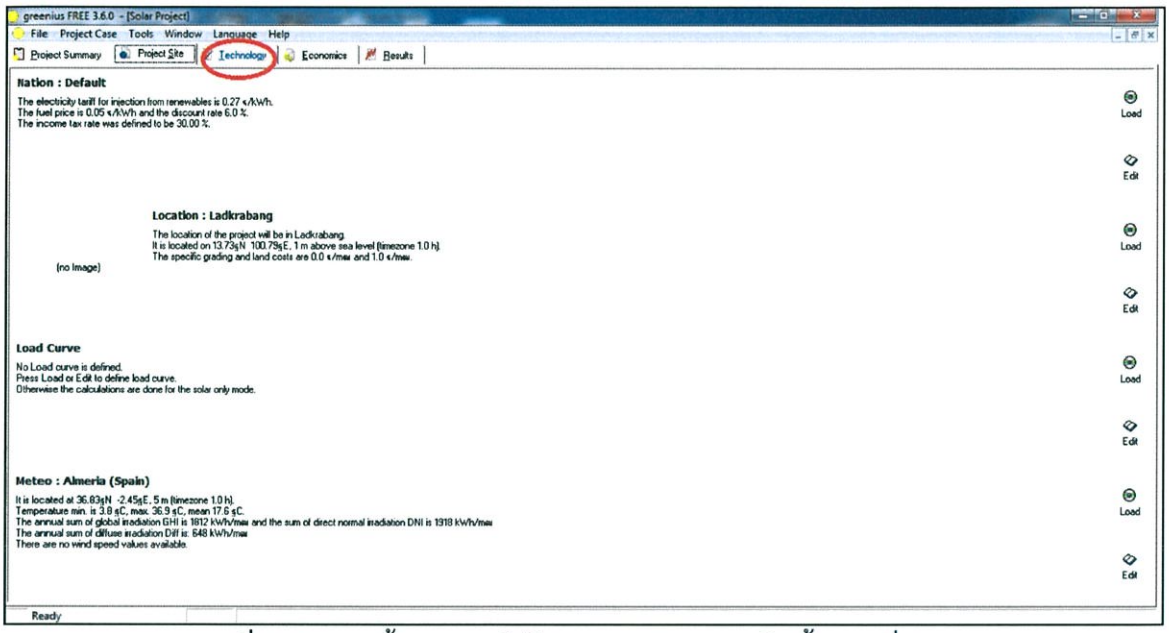
รูปที่ 3.12 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 7

8. เมื่อกดขั้นตอนที่ 7 เสร็จจะมีหน้าต่างขึ้นมาให้กรอกพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพื้นที่ที่จะติดตั้งอยู่ในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งอยู่ที่ Latitude 13.7318°N, Longitude100.786°Eและสูงจากระดับน้ำทะเล (Altitude) 0.5 m โดยกรอกลงไปดังรูปเมื่อกรอกเสร็จเลือก OK



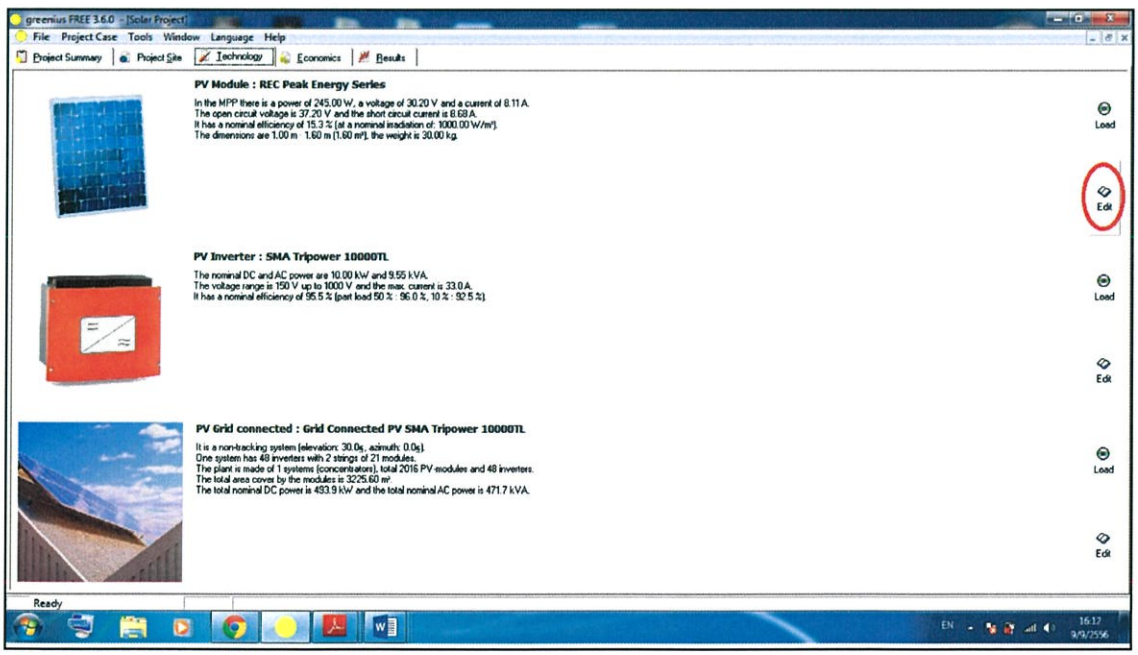
รูปที่ 3.13 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 8

9. ต่อมา ใส่ข้อมูลต่างๆของอุปกรณ์ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเลือกหัวข้อ Technology บน toolbar



รูปที่ 3.14 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 9

10.หลังจากเลือกหัวข้อ Technology จะปรากฏหน้าต่างให้กรอกข้อมูลของอุปกรณ์ในระบบนี้ โดยเริ่มด้วยข้อมูลของแผงโซล่าเซลล์ก่อน โดยเลือก Edit ของหัวข้อ PV module



รูปที่ 3.15 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 10

11. เมื่อกดขั้นตอนที่ 10แล้วจะขึ้นหน้าต่างมาให้กรอกข้อมูลคุณสมบัติต่างๆ ของแผงโซล่าเซลล์ที่เราต้องการใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยค่าคุณสมบัติของแผงโซล่าเซลล์มี ดังนี้

ค่า Nominal MPP power = 245 Wp

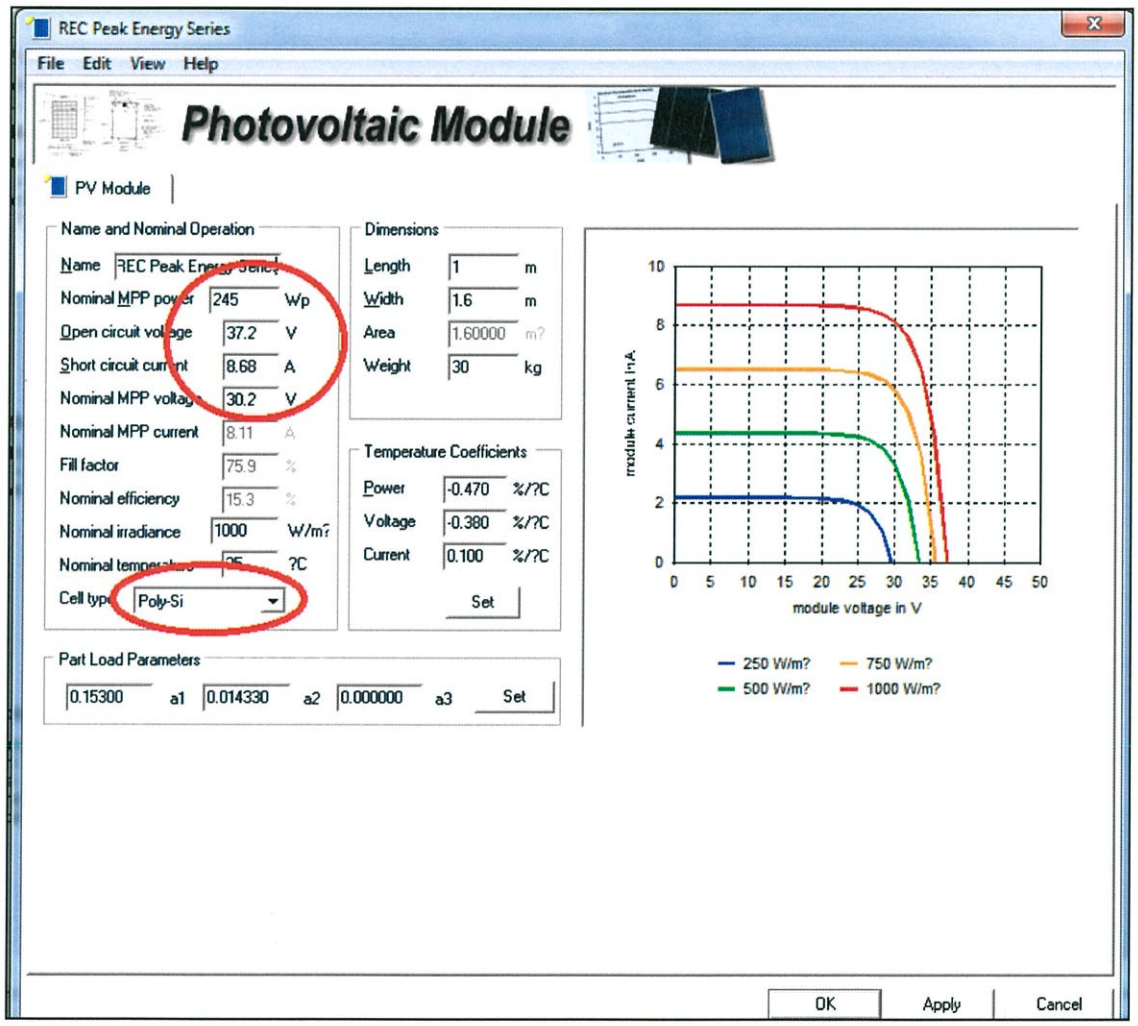
ค่า Open circuit voltage = 37.2 V

ค่า Short circuit current = 8.68 A

ค่า Nominal MPP voltage = 30.2 V

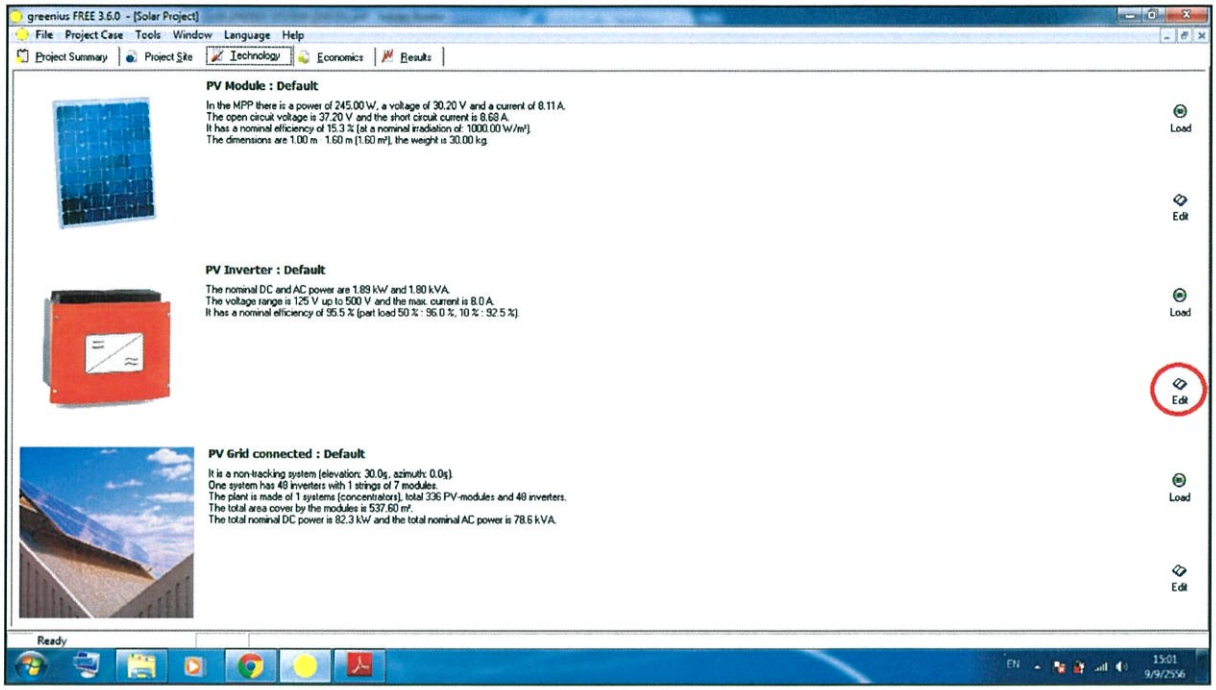
Cell Type เป็นแบบ Poly crystalline

เมื่อกรอกค่าเสร็จดังรูป เลือก OK เพื่อไปยังขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.16 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 11

12. ต่อมาเลือกกรอกข้อมูลคุณสมบัติของ Inverter ที่ใช้ภายในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยคลิกที่ Edit หัวข้อ PV Inverter ดังรูป

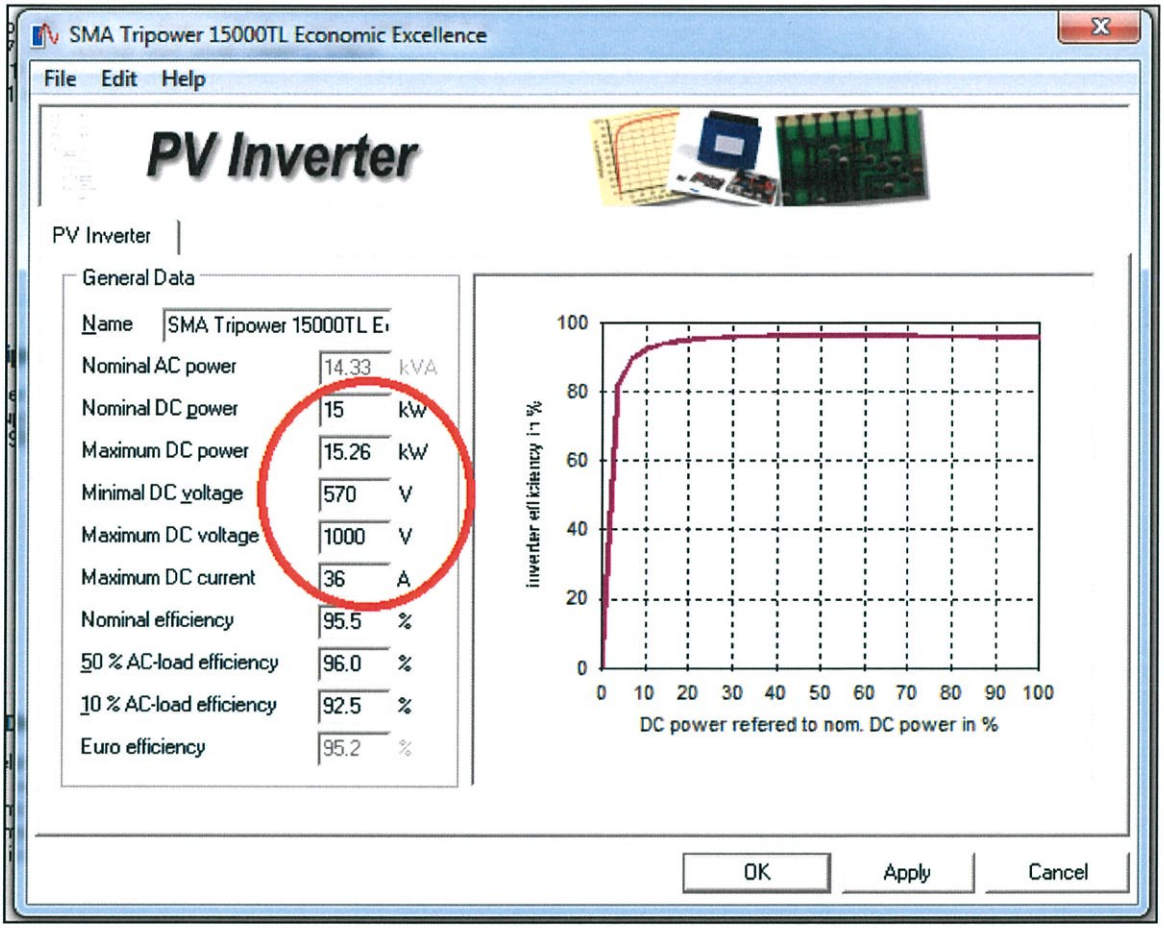


รูปที่ 3.17 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 12

13. เมื่อทำตามขั้นตอนที่ 12จะมีหน้าต่างให้กรอกค่าของ Inverter ที่เลือกใช้ภายในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยโครงการ Future Center ได้เลือกใช้ Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW ซึ่งมีข้อมูลคุณสมบัติ ดังนี้

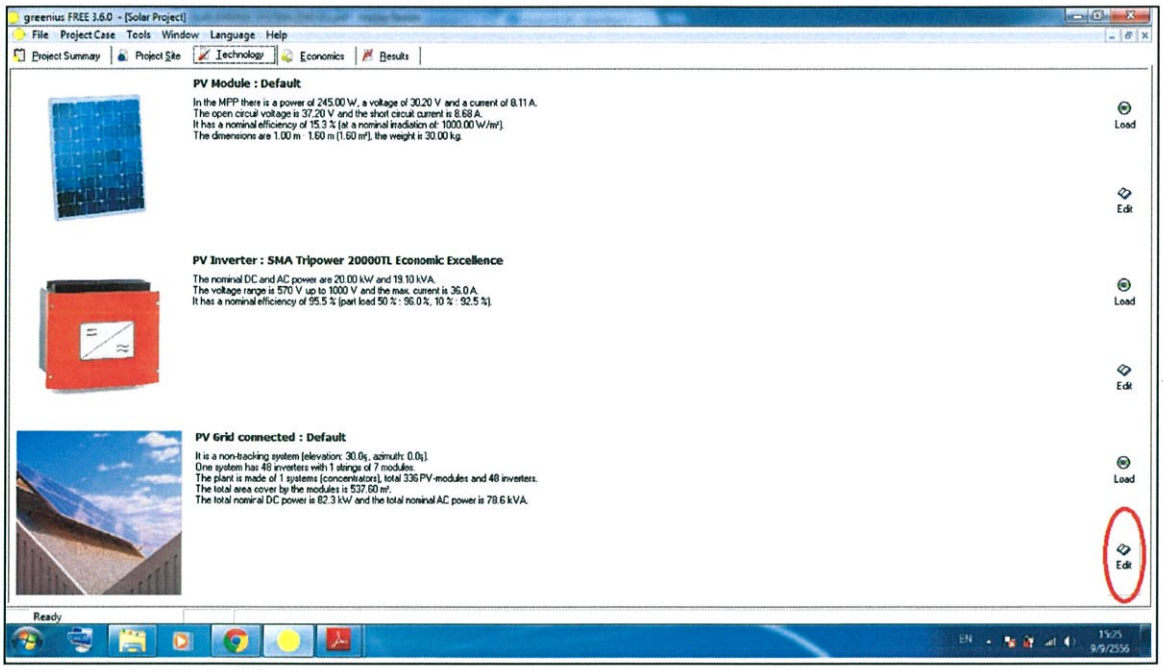
ค่า Nominal DC power = 15 kW
ค่า Maximum DC power = 15.26 kW
ค่า Minimum DC voltage = 570 V
ค่า Maximum DC voltage = 1000 V
ค่า Maximum DC current = 36 A

เมื่อกรอกข้อมูลของ Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW เสร็จดังรูป แล้วเลือก OK



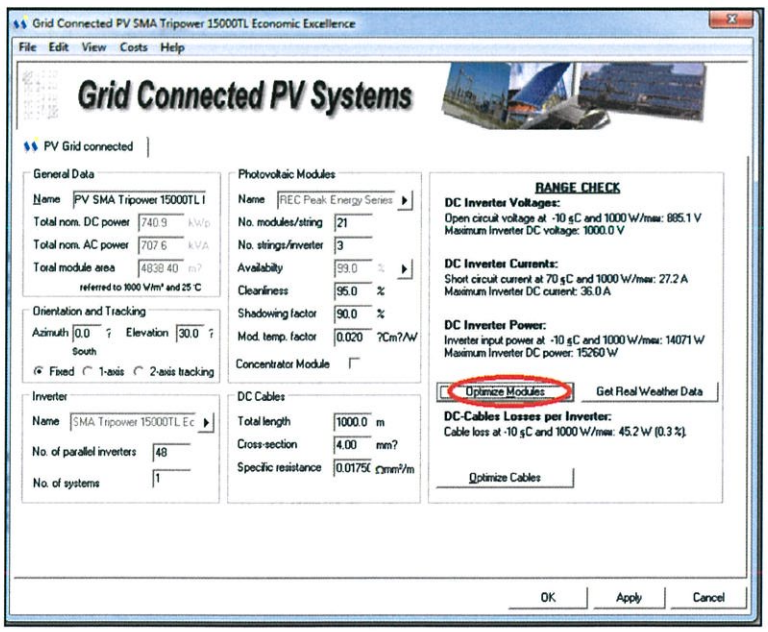
รูปที่ 3.18 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 13

14. เมื่อเสร็จขั้นตอนที่ 13แล้ว ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการจำลองจำนวนแผงโซล่าเซลล์ที่ต่อเข้ากับ Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW ต่อ 1Unit โดยการ กด Edit ในหัวข้อ PV Grid connected



รูปที่ 3.19 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 14

15. เมื่อทำตามขั้นตอนที่ 14 แล้วจะมีหน้าต่างขึ้นมา ให้เลือกปุ่ม Optimize Modules โดยเมื่อกดโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์หาจำนวนแผงของโซล่าเซลล์ที่ต่อเข้ากับ Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW นี้

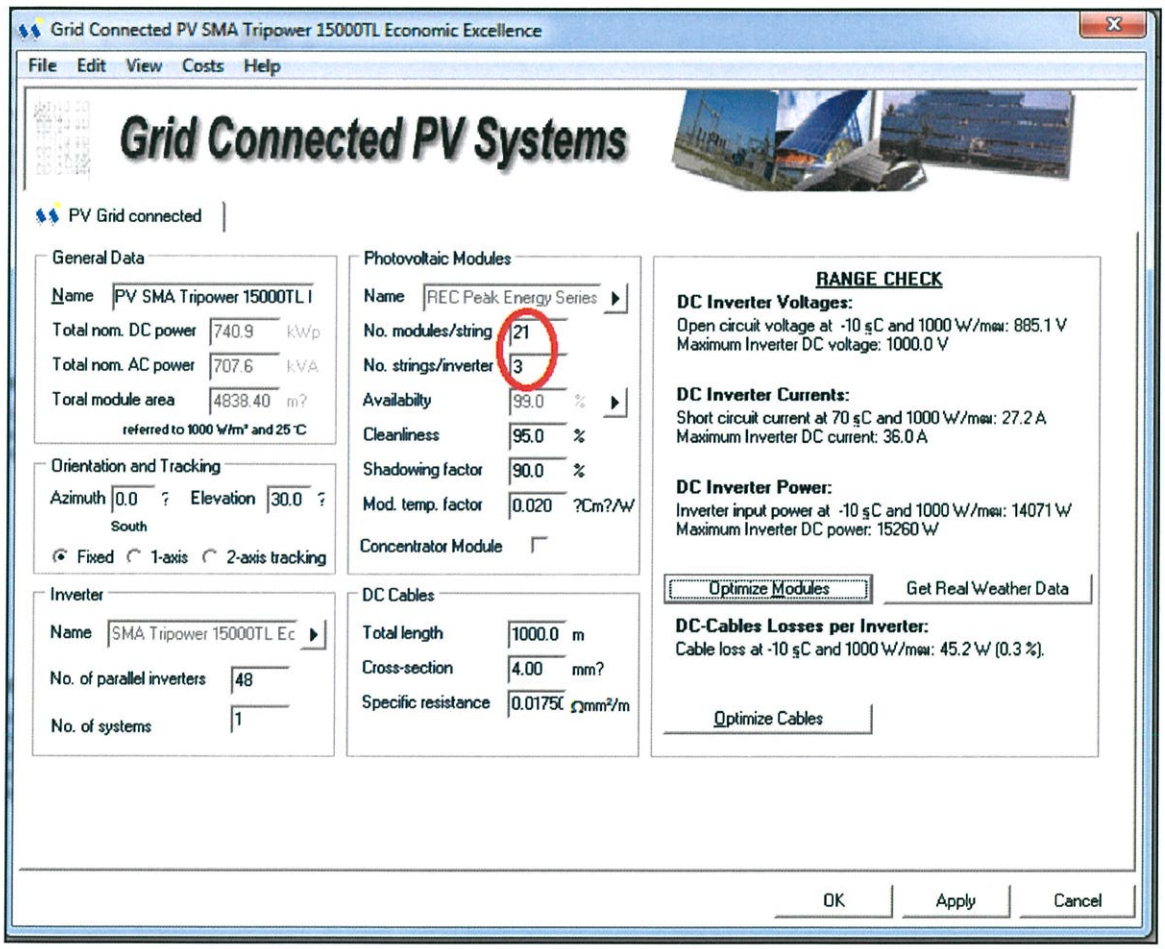


รูปที่ 3.20 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 15

16. เมื่อทำตามขั้นตอนที่ 15 โปรแกรมจะแสดงจำนวนแผงของโซล่าเซลล์ที่ใช้ต่อเข้ากับ Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW ว่าใช้แผงโซล่าเซลล์กี่แผงต่อ 1 String และใช้ทั้งหมดกี่ String ต่อ Inverter 1 Unit

- โดยระบบนี้ใช้แผงโซล่าเซลล์ 21 แผง ต่อ 1 String
- และ Inverter นี้ต้องต่อแผงโซล่าเซลล์ทั้งหมด 3 String ต่อ Inverter 1 Unit
- รวมแผงโซล่าเซลล์ที่ใช้ทั้งหมดต่อ Inverter 1 Unit คือ 63 แผง

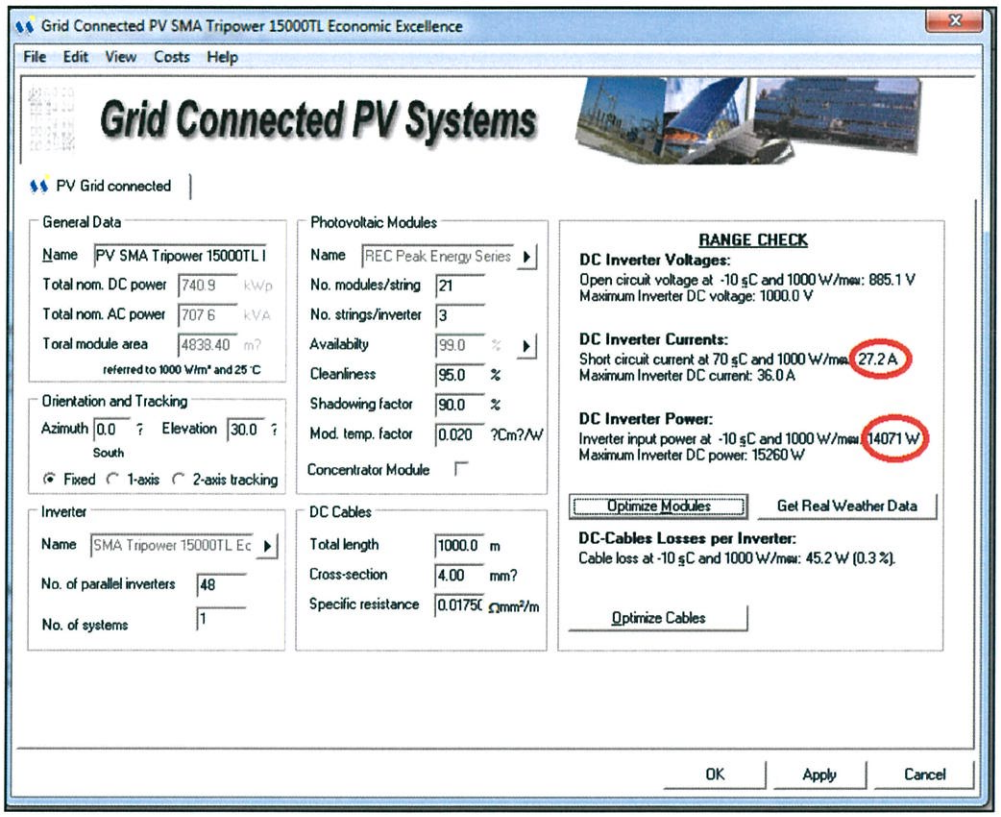
ซึ่งค่าที่ได้นี้เป็นค่าสูงสุดที่แผงโซล่าเซลล์นี้จะต่อเข้ากับ Inverterเทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW นี้ได้



รูปที่ 3.21 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 16

17. จากขั้นตอนที่ 15 นั้น นอกจากจะดูจำนวนแผงของโซล่าเซลล์และรูปแบบการต่อแผงโซล่าเซลล์ที่ต่อเข้ากับ Inverter นี้ได้แล้วยังสามารถดูปริมาณพลังงานป้อนเข้ามายัง Inverter นี้ได้

- โดยดูค่าแรงดันไฟฟ้าได้ ในหัวข้อ DC Inverter voltages ซึ่งจากระบบนี้มีค่าเป็น 885.1 V
- ดูค่ากระแสไฟฟ้าได้ในหัวข้อ DC Inverter current ซึ่งจากระบบนี้มีค่า 27.2 A
- และสามารถดูค่ากำลังไฟฟ้าได้ในหัวข้อ DC Inverter Power ซึ่งระบบนี้มีค่าเป็น 14,071W



รูปที่ 3.22 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 17

หลังจากเรากรอกและคำนวณค่าของ Inverter ขนาด 15 kW เสร็จแล้ว ต่อไปจะเป็นขั้นตอนในการกรอกและคำนวณค่าของ Inverter ขนาด 10 kW ต่อซึ่งมีขั้นตอนเหมือนกับการคำนวณ Inverter ขนาด 15 kW โดย Inverter ขนาด 10 kW จะมีการเลือกใช้ 3 เทคโนโลยี เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันได้แก่ เทคโนโลยีที่ 4, เทคโนโลยีที่ 3 และ เทคโนโลยีที่ 2 ตามลำดับ โดยมีวิธีการเหมือนเดิมตั้งแต่ขั้นตอนที่ 12-17

18. ทำตามขั้นตอนที่ 12 จะมีหน้าต่างให้กรอกค่าของ Inverter ที่เลือกใช้ภายในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยโครงการ Future Center ได้เลือกใช้ Inverter เทคโนโลยีที่ 4 ขนาด 10 kW ซึ่งมีข้อมูลคุณสมบัติ ดังนี้

ค่า Nominal DC power = 10 kW

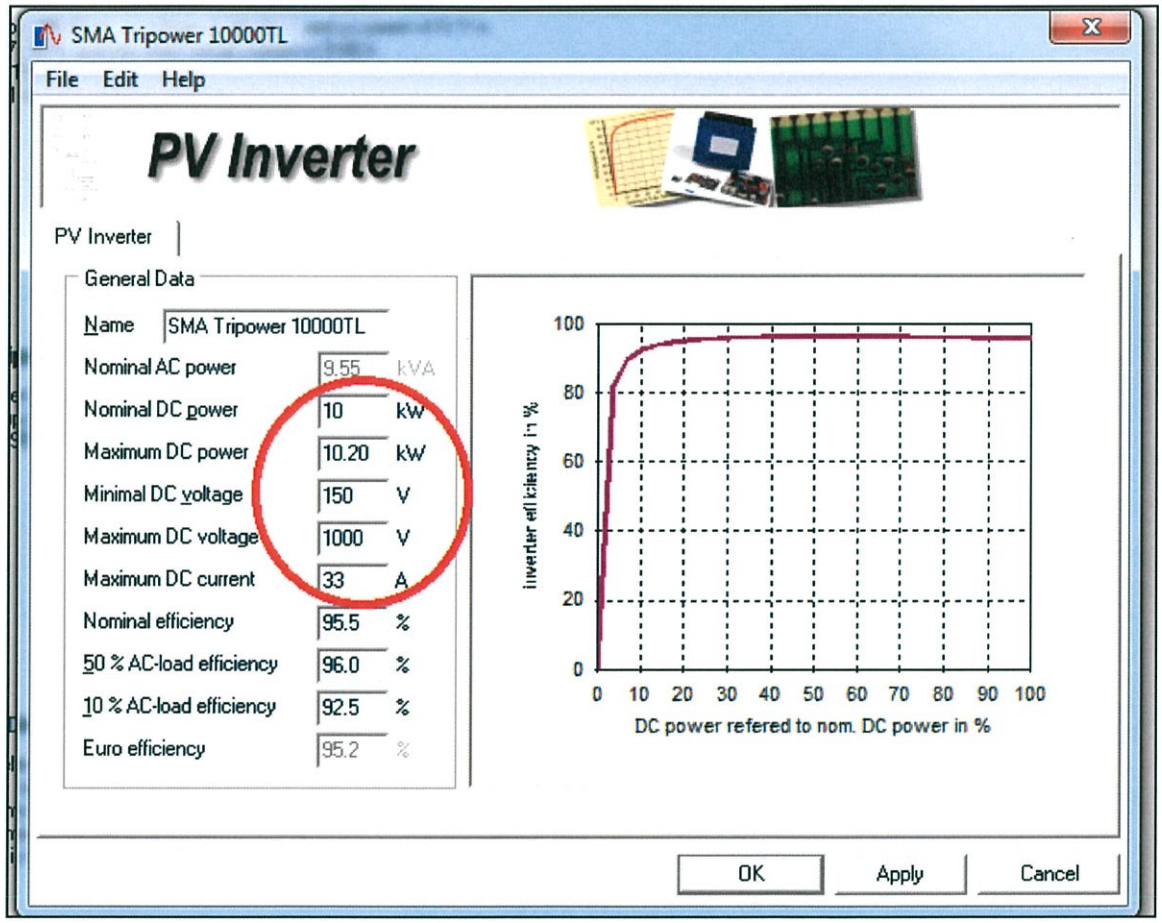
ค่า Maximum DC power = 10.20 kW

ค่า Minimum DC voltage = 150 V

ค่า Maximum DC voltage = 1000 V

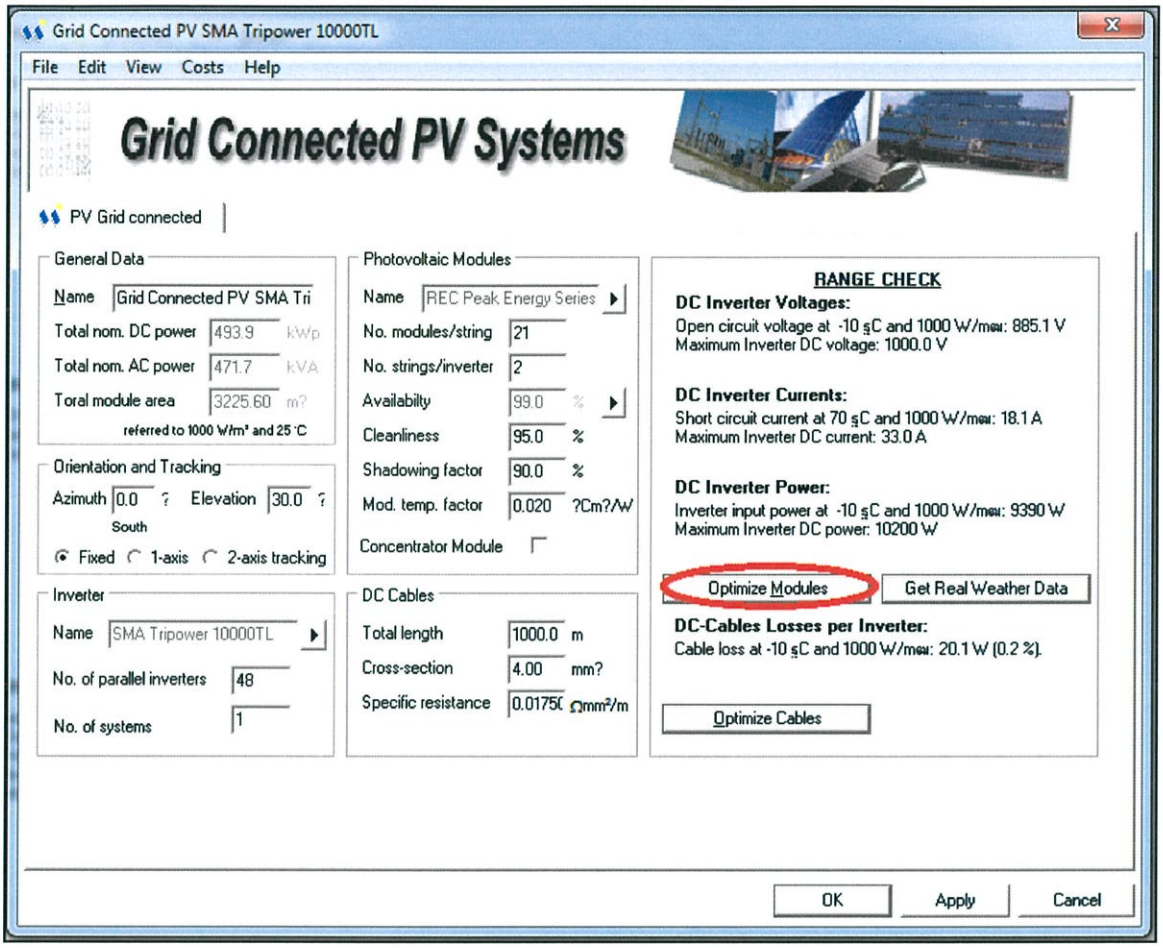
ค่า Maximum DC current = 33 A

เมื่อกรอกข้อมูลของ Inverter เทคโนโลยีที่ 4 ขนาด 10 kW เสร็จ ดังรูป แล้วเลือก OK



รูปที่ 3.23 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greeniusในขั้นตอนที่ 18

19. เมื่อทำตามขั้นตอนที่ 18 ให้เลือก edit ที่ Grid connectedแล้วจะมีหน้าต่างขึ้นมา ให้เลือกปุ่ม Optimize Modules โดยเมื่อกดโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์หาจำนวนแผงของโซล่าเซลล์ที่ต่อเข้ากับ Inverter เทคโนโลยีที่ 4 ขนาด 10 kW นี้

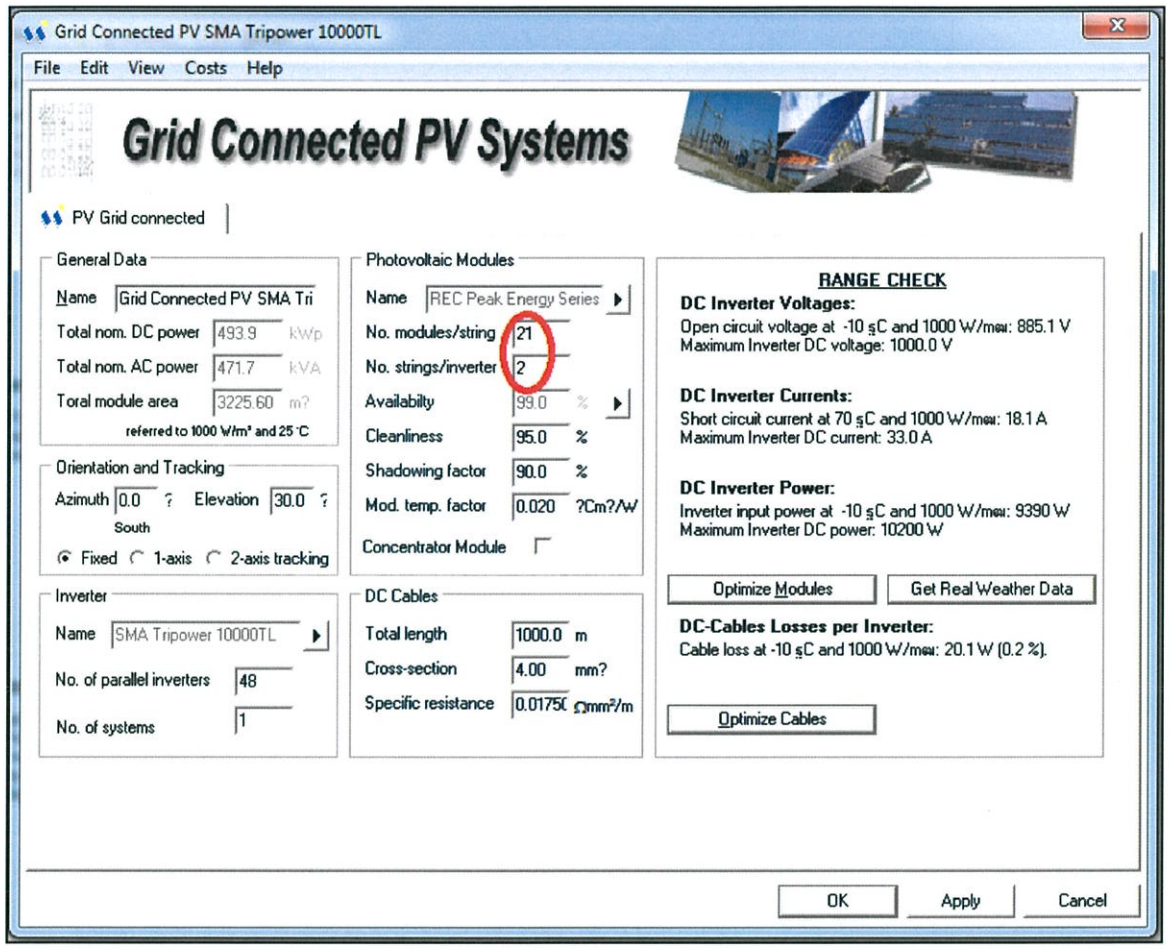


รูปที่ 3.24 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 19

20. เมื่อทำตามขั้นตอนที่ 19 โปรแกรมจะแสดงจำนวนแผงของโซล่าเซลล์ที่ใช้ต่อเข้ากับ Inverter เทคโนโลยีที่ 4 ขนาด 10 kW ว่าใช้แผงโซล่าเซลล์กี่แผงต่อ 1 String และใช้ทั้งหมดกี่ String ต่อ Inverter 1 Unit

- โดยระบบนี้ใช้แผงโซล่าเซลล์ 21 แผงต่อ 1 String
- และ Inverter นี้ต้องต่อแผงโซล่าเซลล์ทั้งหมด 2 String ต่อ Inverter 1 Unit
- รวมแผงโซล่าเซลล์ที่ใช้ทั้งหมดต่อ Inverter 1 Unit คือ 42 แผง

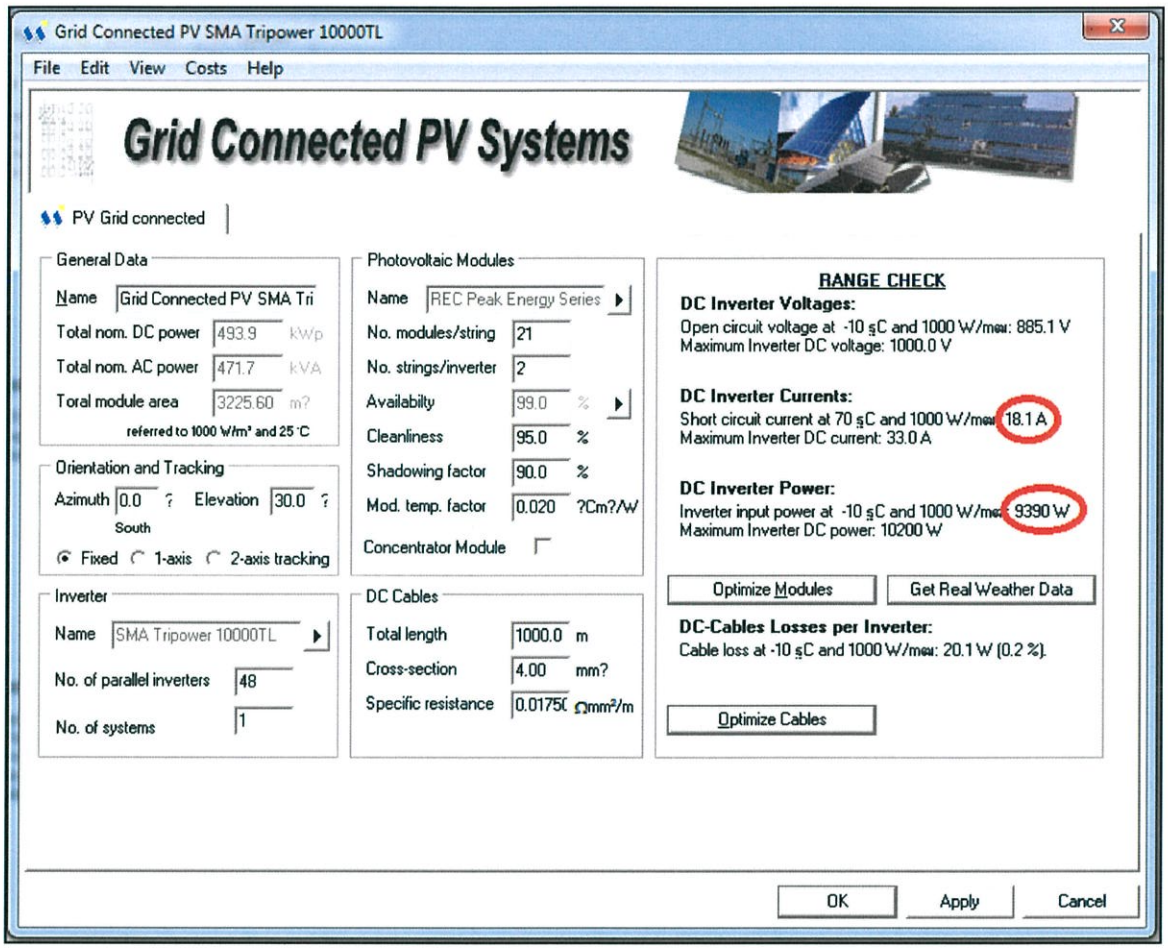
ซึ่งค่าที่ได้นี้เป็นค่าสูงสุดที่แผงโซล่าเซลล์นี้จะต่อเข้ากับ Inverter: เทคโนโลยีที่ 4 ขนาด 10 kW นี้ได้



รูปที่ 3.25 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 20

21. จากขั้นตอนที่ 20 นั้น นอกจากจะดูจำนวนแผงของโซล่าเซลล์และรูปแบบการต่อแผงโซล่าเซลล์ที่ต่อเข้ากับ Inverter นี้ได้แล้วยังสามารถดูปริมาณพลังงานป้อนเข้ามายัง Inverter นี้ได้

- โดยดูค่าแรงดันไฟฟ้าได้ ในหัวข้อ DC Inverter voltages ซึ่งจากระบบนี้มีค่าเป็น 885.1 V
- ดูค่ากระแสไฟฟ้าได้ในหัวข้อ DC Inverter current ซึ่งจากระบบนี้มีค่า 18.1 A
- และสามารถดูค่ากำลังไฟฟ้าได้ในหัวข้อ DC Inverter Power ซึ่งระบบนี้มีค่าเป็น 9,390 W



รูปที่ 3.26 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 21

22.ต่อมาจะเป็นการกรอกค่าและคำนวณ Inverter ขนาด 10 kW ชนิดถนัดมา โดยทำตามขั้นตอนที่ 12 จะมีหน้าต่างให้กรอกค่าของ Inverter ที่เลือกใช้ภายในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยโครงการ Future Center ได้เลือกใช้ Inverter เทคโนโลยีที่ 3 ขนาด 10 kW ซึ่งมีข้อมูลคุณสมบัติ ดังนี้

ค่า Nominal DC power = 10 kW

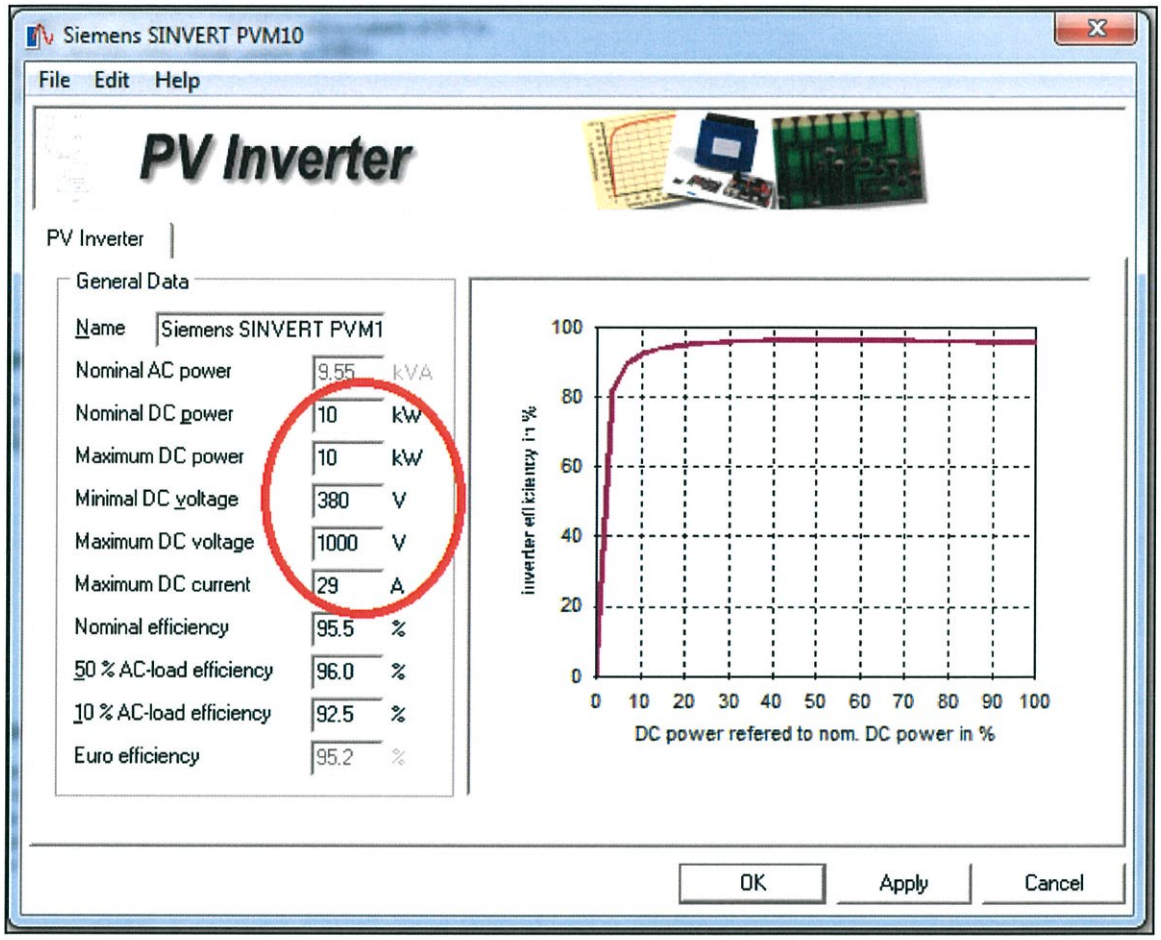
ค่า Maximum DC power = 10 kW

ค่า Minimum DC voltage = 380 V

ค่า Maximum DC voltage = 1000 V

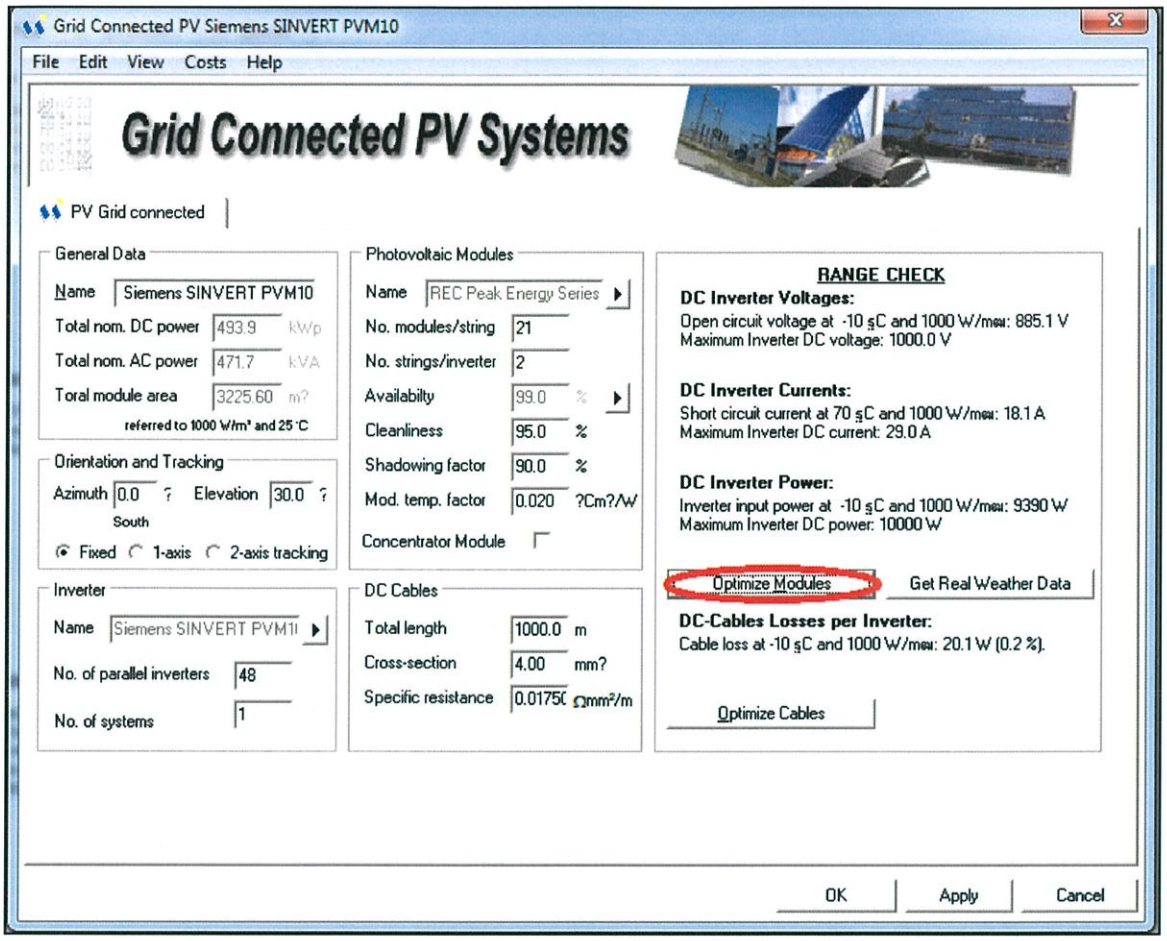
ค่า Maximum DC current = 29 A

เมื่อกรอกข้อมูลของ Inverter เทคโนโลยีที่ 3 ขนาด 10 kWเสร็จ ดังรูป แล้วเลือก OK



รูปที่ 3.27 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 22

23. เมื่อทำตามขั้นตอนที่ 22 ให้เลือก edit ที่ Grid connected แล้วจะมีหน้าต่างขึ้นมา ให้เลือกปุ่ม Optimize Modules โดยเมื่อกดโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์หาจำนวนแผงของโซล่าเซลล์ที่ต่อเข้ากับ Inverter เทคโนโลยีที่ 3 ขนาด 10 kW นี้

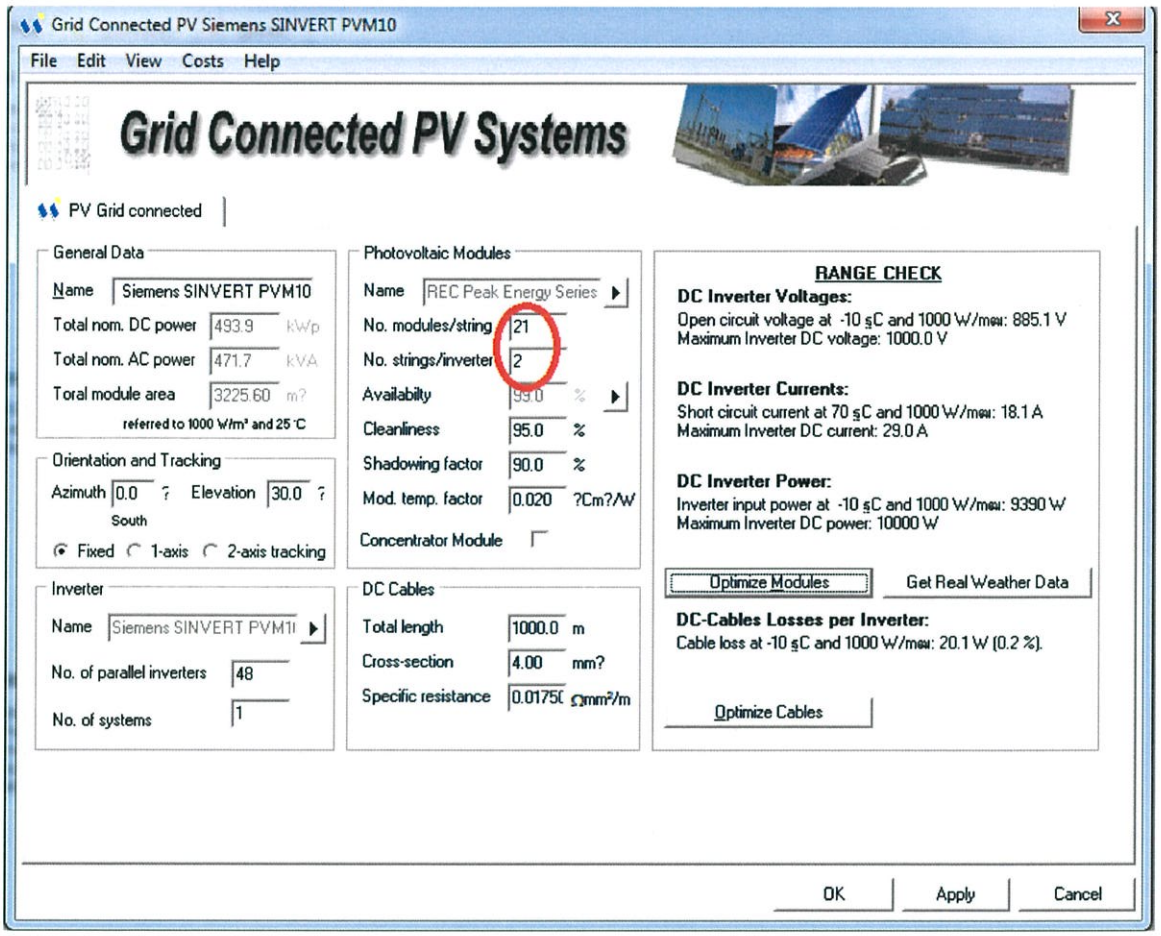


รูปที่ 3.28 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 23

24. เมื่อทำตามขั้นตอนที่ 23 โปรแกรมจะแสดงจำนวนแผงของโซล่าเซลล์ที่ใช้ต่อเข้ากับ Inverter เทคโนโลยีที่ 3 ขนาด 10 kW ว่าใช้แผงโซล่าเซลล์กี่แผงต่อ 1 String และใช้ทั้งหมดกี่ String ต่อ Inverter 1 Unit

- โดยระบบนี้ใช้แผงโซล่าเซลล์ 21 แผงต่อ 1 String
- และ Inverter นี้ต้องต่อแผงโซล่าเซลล์ทั้งหมด 2 String ต่อ Inverter 1 Unit
- รวมแผงโซล่าเซลล์ที่ใช้ทั้งหมดต่อ Inverter 1 Unit คือ 42 แผง

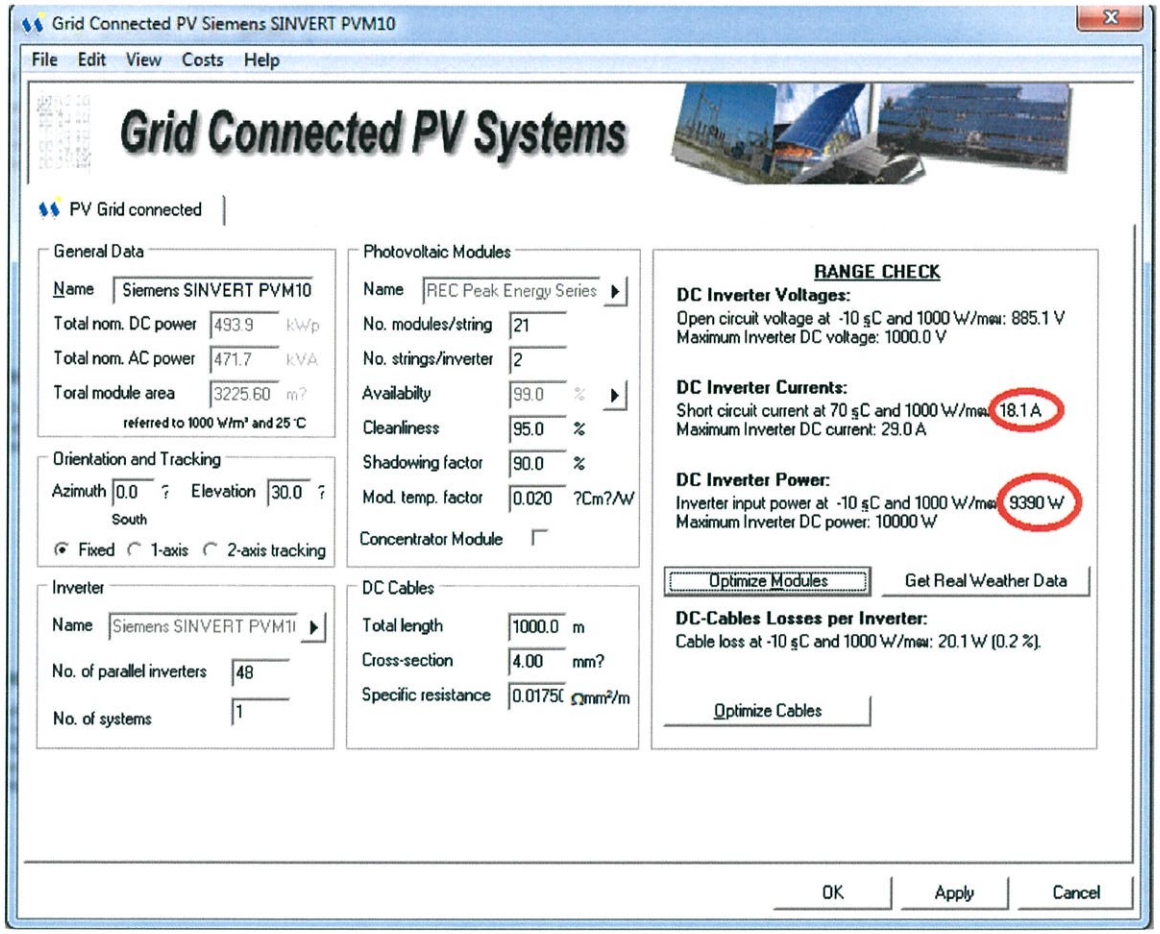
ซึ่งค่าที่ได้นี้จะเป็นค่าสูงสุดที่แผงโซล่าเซลล์นี้จะต่อเข้ากับ Inverter เทคโนโลยีที่ 3 ขนาด 10 kW นี้ได้



รูปที่ 3.29 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 24

25. จากขั้นตอนที่ 24 นั้น นอกจากจะดูจำนวนแผงของโซล่าเซลล์และรูปแบบการต่อแผงโซล่าเซลล์ที่ต่อเข้ากับ Inverter นี้ได้แล้วยังสามารถดูปริมาณพลังงานป้อนเข้ามายัง Inverter นี้ได้

- โดยดูค่าแรงดันไฟฟ้าได้ ในหัวข้อ DC Inverter voltages ซึ่งจากระบบนี้มีค่าเป็น 885.1 V
- ดูค่ากระแสไฟฟ้าได้ในหัวข้อ DC Inverter current ซึ่งจากระบบนี้มีค่า 18.1 A
- และสามารถดูค่ากำลังไฟฟ้าได้ในหัวข้อ DC Inverter Power ซึ่งระบบนี้มีค่าเป็น 9,390 W



รูปที่ 3.30 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 25

26. ต่อมาจะเป็นการกรอกค่าและคำนวณ Inverter ขนาด 10 kW ยี่ห้อสุดท้าย โดยทำตามขั้นตอนที่ 12 จะมีหน้าต่างให้กรอกค่าของ Inverter ที่เลือกใช้ภายในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยโครงการ Future Center ได้เลือกใช้ Inverter เทคโนโลยีที่ 2 ขนาด 10 kW ซึ่งมีข้อมูลคุณสมบัติ ดังนี้

ค่า Nominal DC power = 10.4 kW

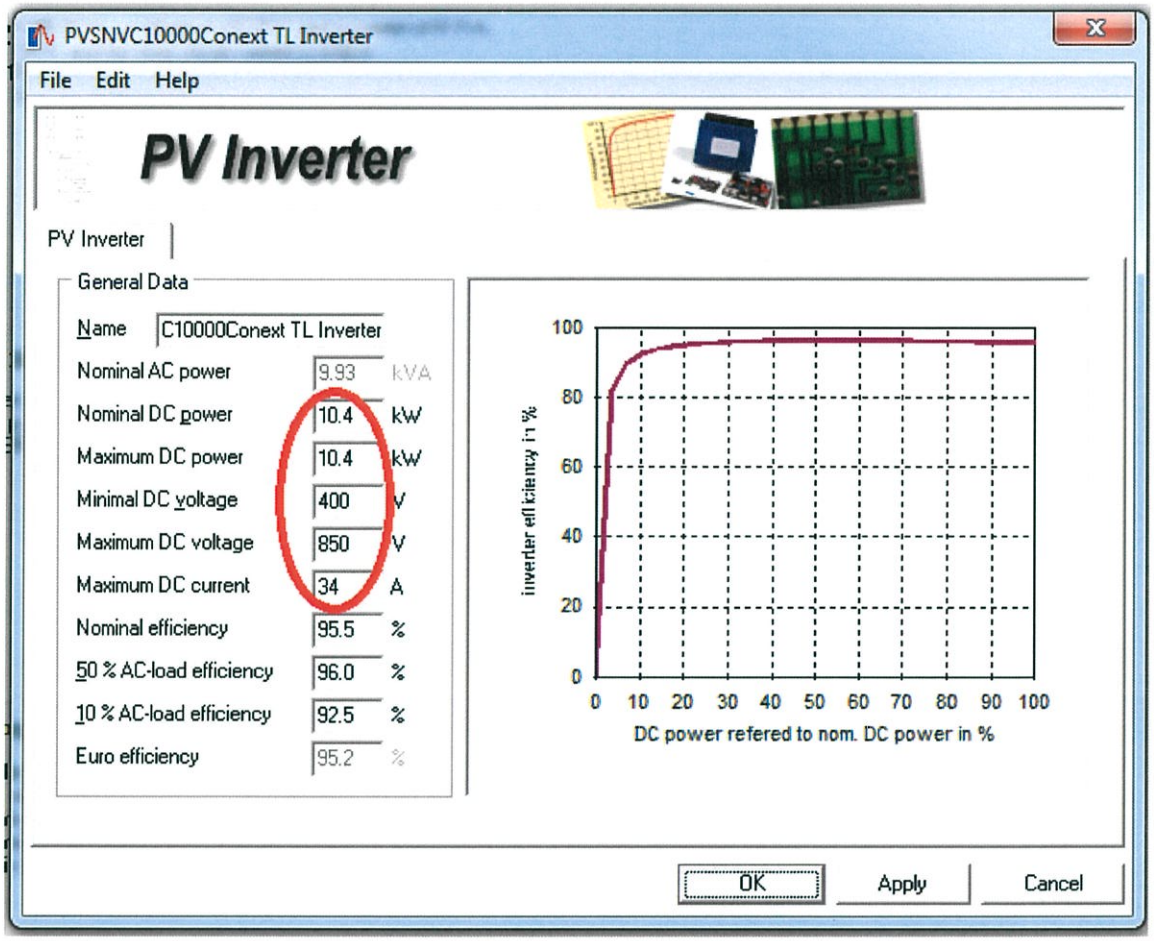
ค่า Maximum DC power = 10.4 kW

ค่า Minimum DC voltage = 400 V

ค่า Maximum DC voltage = 850 V

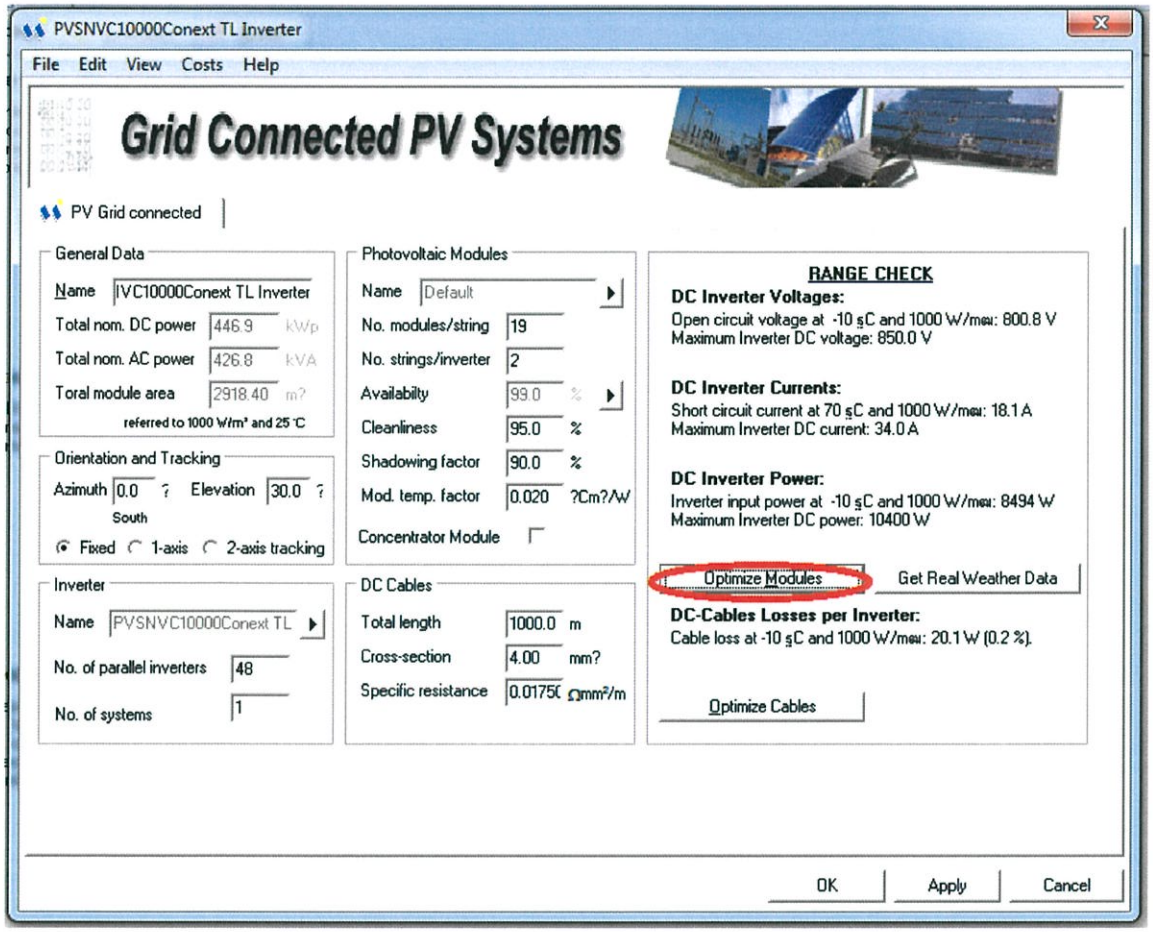
ค่า Maximum DC current = 34 A

เมื่อกรอกข้อมูลของ เทคโนโลยีที่ 2 Inverter ขนาด 10 kW เสร็จ ดังรูป แล้วเลือก OK



รูปที่ 3.31 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 26

27. เมื่อทำตามขั้นตอนที่ 26 ให้เลือก edit ที่ Grid connectedแล้วจะมีหน้าต่างขึ้นมา ให้เลือกปุ่ม Optimize Modules โดยเมื่อกดโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์หาจำนวนแผงของโซล่าเซลล์ที่ต่อเข้ากับ Inverter เทคโนโลยีที่ 2 ขนาด 10 kW นี้

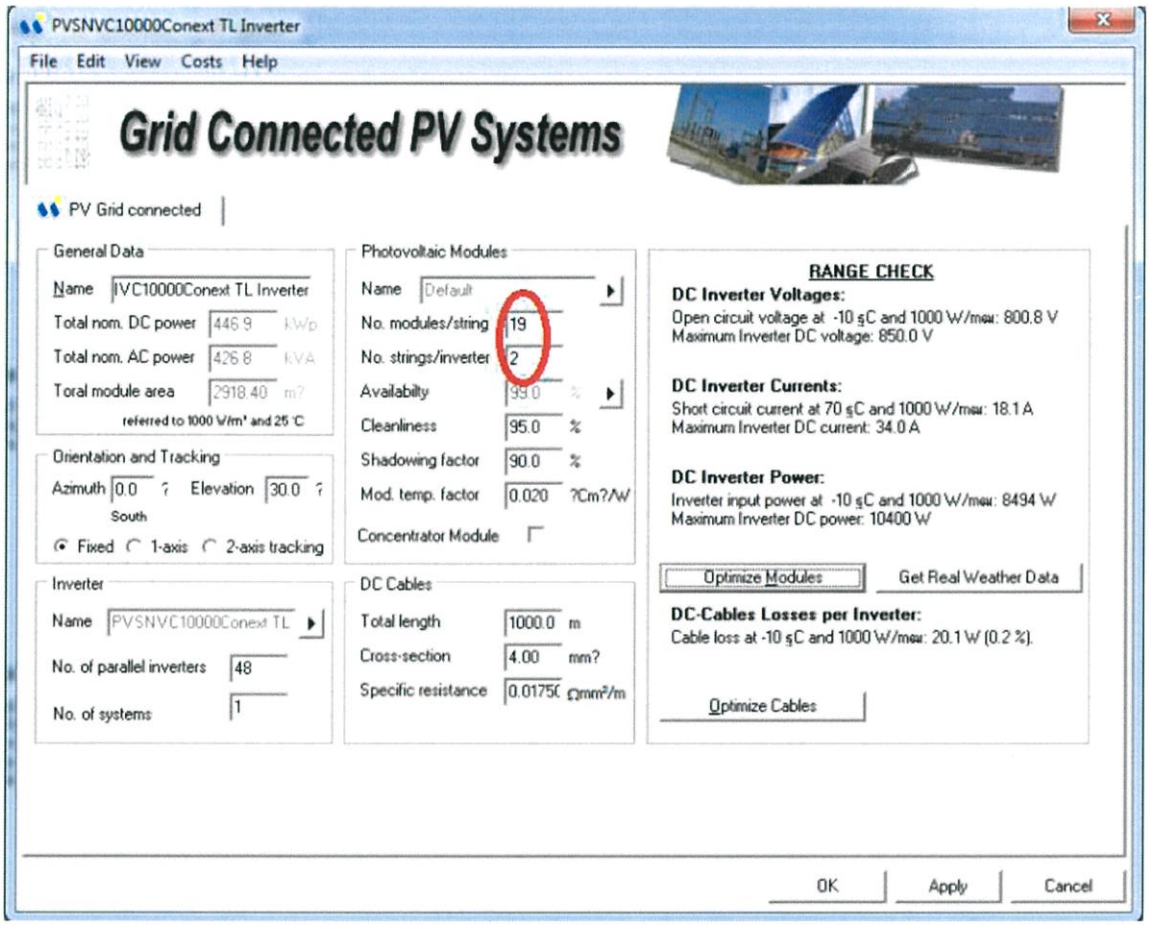


รูปที่ 3.32 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 27

28. เมื่อทำตามขั้นตอนที่ 27 โปรแกรมจะแสดงจำนวนแผงของโซล่าเซลล์ที่ใช้ต่อเข้ากับ เทคโนโลยีที่ 2 Inverter ขนาด 10 kW ว่าใช้แผงโซล่าเซลล์กี่แผงต่อ 1 String และใช้ทั้งหมดกี่ String ต่อ Inverter 1 Unit

- โดยระบบนี้ใช้แผงโซล่าเซลล์ 19 แผงต่อ 1 String
- และ Inverter นี้ต้องต่อแผงโซล่าเซลล์ทั้งหมด 2 String ต่อ Inverter 1 Unit
- รวมแผงโซล่าเซลล์ที่ใช้ทั้งหมดต่อ Inverter 1 Unit คือ 38 แผง

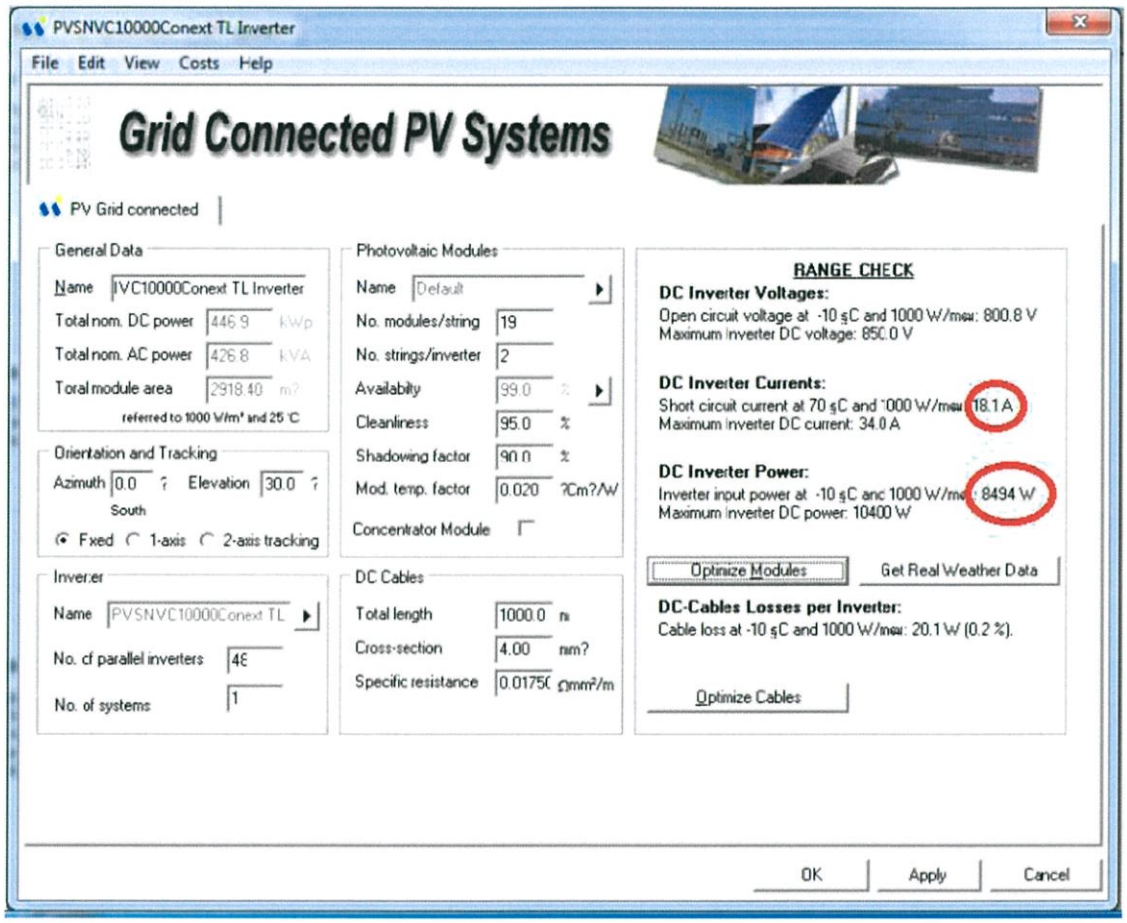
ซึ่งค่าที่ได้นี้จะเป็นค่าสูงสุดที่แผงโซล่าเซลล์นี้จะต่อเข้ากับ เทคโนโลยีที่ 2 Inverter ขนาด 10 kW นี้ได้



รูปที่ 3.33 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 28

29. จากขั้นตอนที่ 28 นั้น นอกจากจะดูจำนวนแผงของโซล่าเซลล์และรูปแบบการต่อแผงโซล่าเซลล์ที่ต่อเข้ากับ Inverter นี้ได้แล้วยังสามารถดูปริมาณพลังงานป้อนเข้ามายัง Inverter นี้ได้

- โดยดูค่าแรงดันไฟฟ้าได้ ในหัวข้อ DC Inverter voltages ซึ่งจากระบบนี้มีค่าเป็น 800.8 V
- ดูค่ากระแสไฟฟ้าได้ในหัวข้อ DC Inverter current ซึ่งจากระบบนี้มีค่า18.1 A
- และสามารถดูค่ากำลังไฟฟ้าได้ในหัวข้อ DC Inverter Power ซึ่งระบบนี้มีค่าเป็น 8,494 W

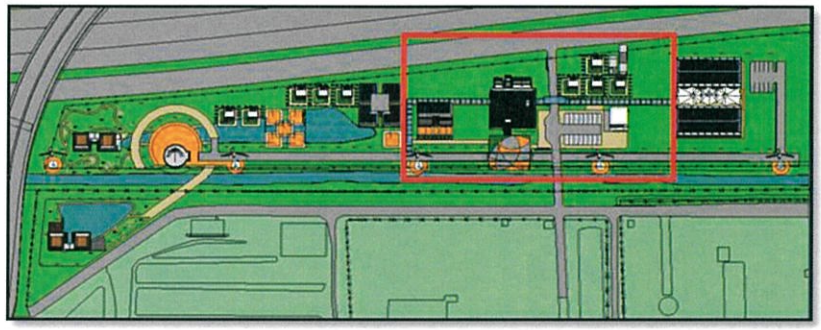


รูปที่ 3.34 ภาพขั้นตอนการใช้โปรแกรม Greenius ในขั้นตอนที่ 29

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการออกแบบประกอบสร้างของโครงการวิจัย

จากการออกแบบและประกอบสร้างทั้งหมดจะทำให้เห็นถึงภาพรวมของโครงการวิจัย Future Center โดยรวมของพื้นที่ทั้งหมดและเพื่อที่จะสามารถแสดงภาพโดยรวมถึงบริเวณต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงาน โดยผลการออกแบบเป็นดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ภาพการออกแบบโดยรวมของโครงการวิจัย Future Center Project

จากภาพการออกแบบการก่อสร้างของโครงการวิจัย Future Center ได้แบ่งการก่อสร้างออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน โดยจะเริ่มก่อสร้างส่วนแรก(ตามกรอบสีแดง) ซึ่งเป็นส่วนหลักๆ ของโครงการวิจัย Future Center มีเนื้อที่ประมาณ 8 ไร่ ส่วนที่จะก่อสร้างขึ้น ได้แก่ ตัวอาคาร Future Center , อาคาร Workshop & Warehouse, หลังคาทางเดินของอาคาร Future Center ทางซ้ายและขวา, หลังคาอาคารจอดรถ และกังหันลม ขนาด 5 kW จำนวน 4 ต้น ด้วยกัน

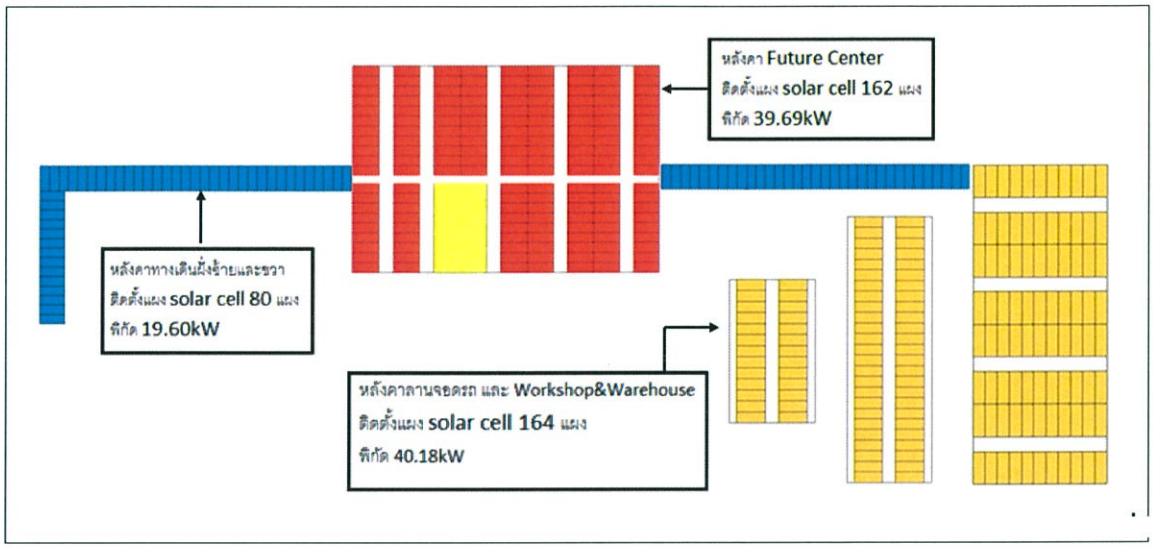
ความคืบหน้าของโครงการ Future Center จากรูปที่ ซึ่งถ่ายเมื่อวันที่ 15 มีนาคม 2557 โครงการยังอยู่ในส่วนของการก่อสร้างอาคาร Future Center โดยได้เริ่มก่อสร้างในโครงสร้างพื้นฐานของอาคาร ซึ่งเป็นโครงสร้างส่วนล่าง (Sub Structure) ได้แก่เสา และ ฐานราก



รูปที่ 4.2 อาคาร Future Center ณ วันที่ 15 มีนาคม 2557

4.2 ผลการออกแบบจุดติดตั้ง Solar Cell

จากการออกแบบการทดลอง สามารถออกแบบการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์และพิกัดการผลิตพลังงานไฟฟ้าในแต่ละบริเวณ โดยขนาดของแผงโซล่าเซลล์มีขนาดกว้างและยาวเท่ากับ 1.6×1.0 m^2 และการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์จะติดตั้งให้แผงโซล่าเซลล์ทำมุมกับพื้นดิน 15° โดยจะคำนึงถึงพื้นที่การติดตั้งและเป้าหมายกำลังไฟฟ้าที่จะผลิตได้เป็นหลัก ซึ่งผลของการติดตั้งโซล่าเซลล์เป็นดังนี้



รูปที่ 4.3 ภาพการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์บนพื้นที่ของโครงการ Future Center

จากการออกแบบสามารถติดตั้งแผงโซล่าเซลล์มีจำนวนรวมอยู่ที่ 406 แผง คิดเป็นกำลังการผลิต 99.47 kW โดยมีรายละเอียดการติดตั้งแผงในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะแสดงในหัวข้อดังต่อไปนี้

4.3 ผลการออกแบบติดตั้งแผง Solar Cell ในแต่ละพื้นที่

จาก โครงการ Future center สามารถแบ่งบริเวณที่สามารถติดตั้งได้เป็น 3 บริเวณหลัก ๆ คือบริเวณตัวอาคาร Future center, บริเวณหลังคาลานจอดรถและหลังคา Workshop & Warehouse และ บริเวณหลังคาทางเดิน ฝั่งซ้าย และ ฝั่งขวา

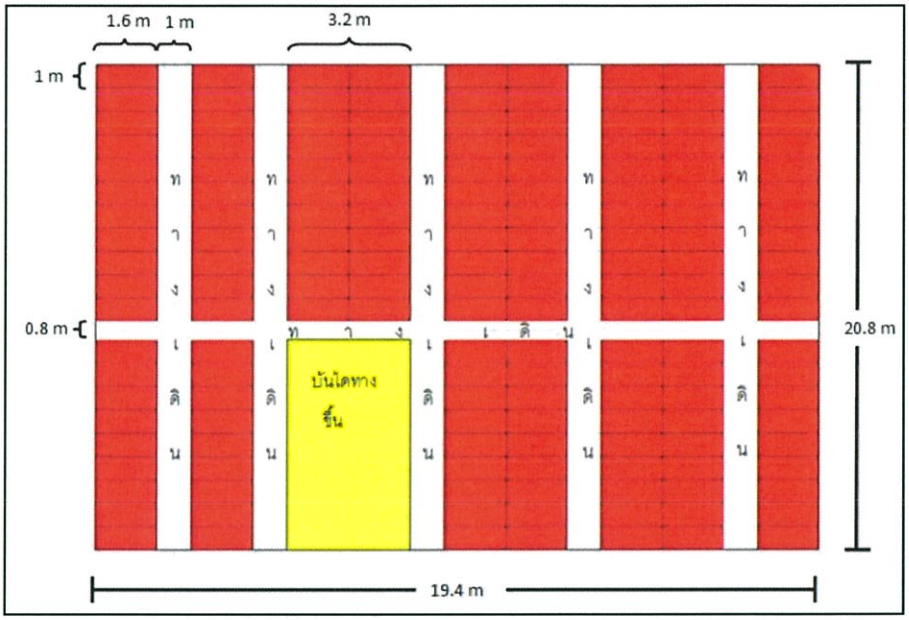
โดยทั้ง 3 บริเวณนี้มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 99.47 kW จากกำลังการผลิตที่ได้ทำให้เลือกใช้ Inverter ดังต่อไปนี้

1. เทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW จำนวน 5 ตัว
2. เทคโนโลยีที่ 4 ขนาด 10 kW จำนวน 1 ตัว
3. เทคโนโลยีที่ 3 ขนาด 10 kW จำนวน 1 ตัว
4. เทคโนโลยีที่ 2 ขนาด 10 kW จำนวน 1 ตัว

โดยมีการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์และเลือกใช้ Inverter แต่ละบริเวณดังต่อไปนี้

1. บริเวณอาคาร Future Center

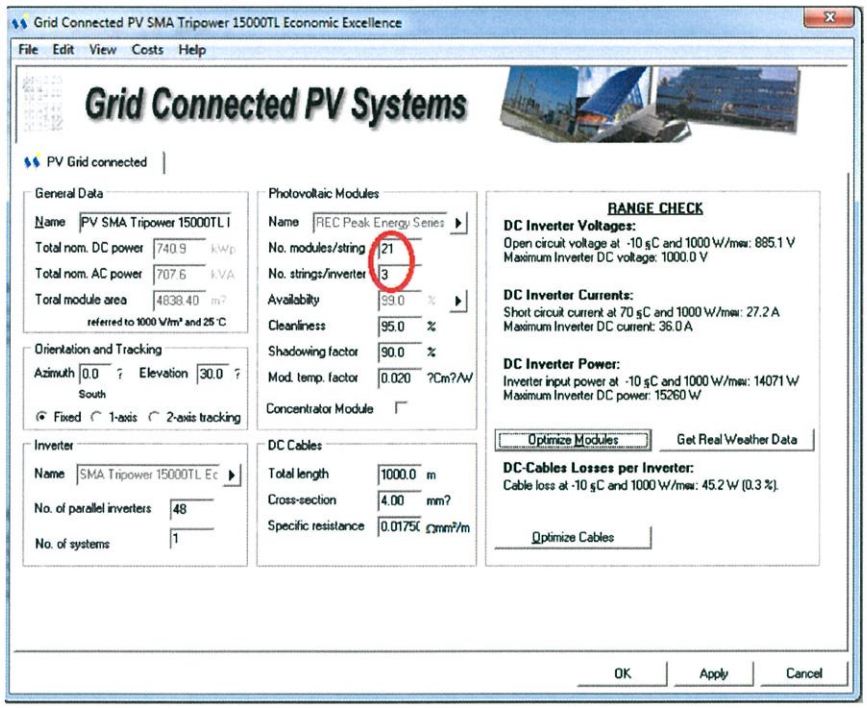
บริเวณนี้มีพื้นที่ประมาณ 20 x 19 m^2 ซึ่งสามารถติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ได้ 162 แผง



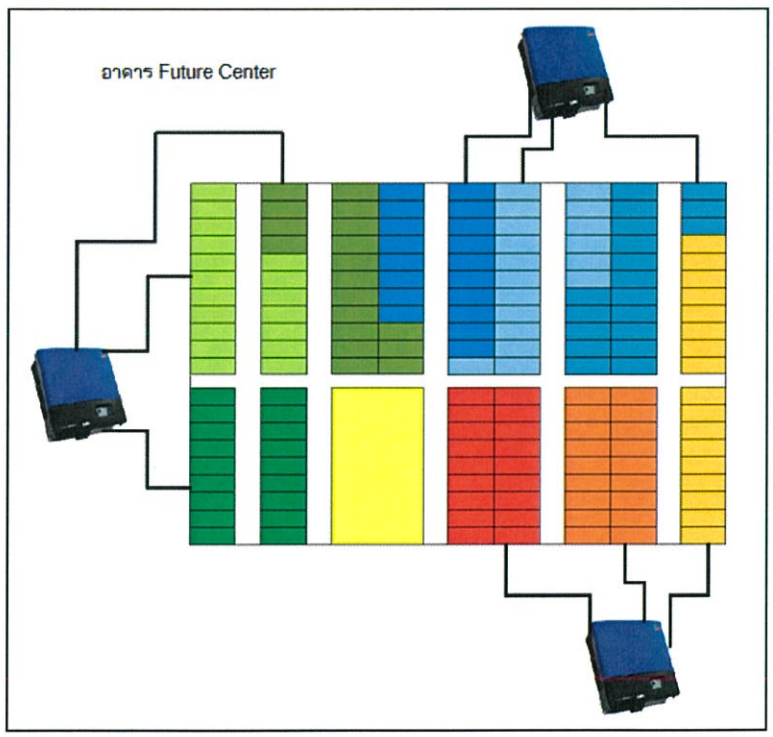
รูปที่ 4.4 พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณ Future Center

จากจำนวนแผงโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งคิดเป็นกำลังการผลิตอยู่ที่ 39.69 kW โดยบริเวณนี้ จะเลือกใช้ Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW 3 ตัว ซึ่งจากการทดลอง บทที่ 3 Inverter เทคโนโลยีที่ 1 สามารถ ติดตั้งแผงได้ 21 แผงต่อ 1 string โดยมีทั้งหมด 3 string ดังรูปที่ 4.5

ทำให้ Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW สามารถติดตั้งแผงได้ทั้งหมด 63 แผง จากกำลังการผลิตที่ได้บริเวณนี้ ทำให้เราเลือกใช้ Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW 3 ตัว ซึ่ง Inverter ทั้ง 3 ตัว สามารถติดตั้งแผงได้ทั้งหมด 189 แผง แต่ในบริเวณนี้สามารถติดตั้งแผงได้แค่ 162 แผง ดังนั้น จึงต้องทำการติดตั้งแผง เป็น 18 แผง ต่อ 1 string และจะได้ว่า Inverter เทคโนโลยีที่ 1 15 kW 1 ตัว ติดตั้งแผง Solar cell 54 แผง โดยมีการติดตั้งดังรูปที่ 4.6



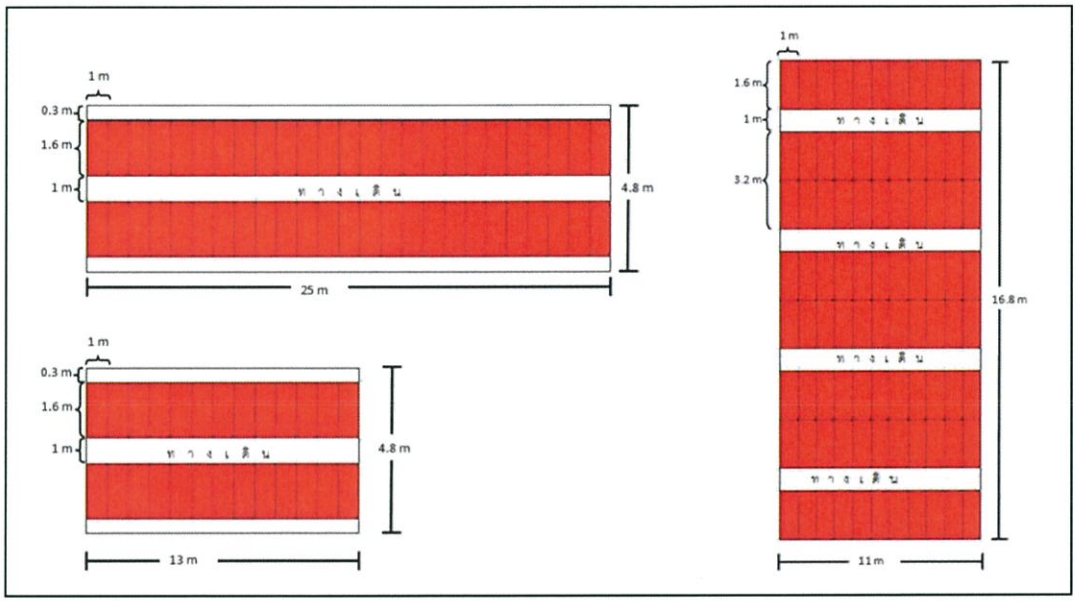
รูปที่ 4.5 ผลการจำลองการออกแบบแผงโซล่าเซลล์บริเวณอาคาร Future Center ของ Inverter เทคโนโลยีที่ 1



รูปที่ 4.6 รูปแบบการต่อแผงโซลล่าเซลล์เข้า Inverter อาคาร Future Center

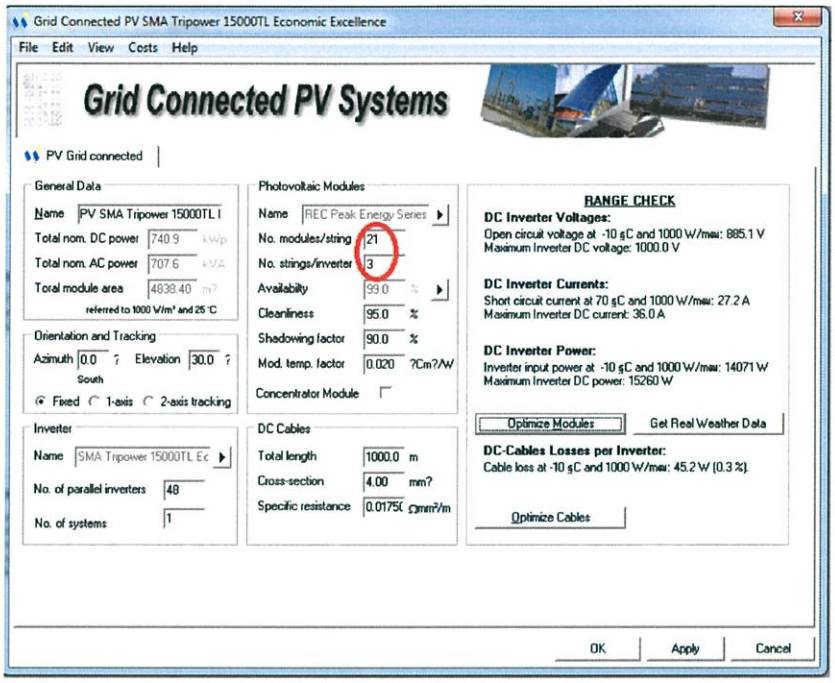
2. บริเวณหลังคาลานจอดรถและบริเวณหลังคา Workshop & Warehouse

บริเวณหลังคาลานจอดรถแบ่งเป็น 2 ส่วนมีพื้นที่ 25x5m^2 และ 13x5m^2. ซึ่งสามารถติดตั้งแผงได้รวม 76 แผง ส่วนบริเวณหลังคา Workshop & Warehouse มีพื้นที่ประมาณ 20x12m^2 สามรถติดตั้งแผงได้ 88 แผง โดยทั้ง 2 บริเวณนี้สามารถติดตั้งแผงรวมกันได้ 164 แผง

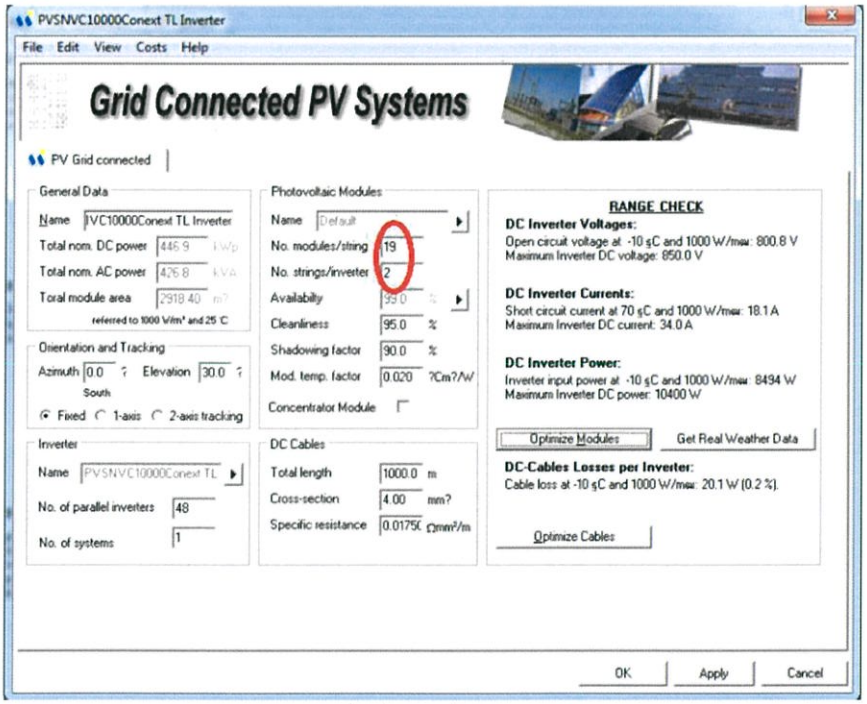


รูปที่ 4.7 พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณ หลังคาลานจอดรถและบริเวณหลังคา Workshop & Warehouse

มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 40.18 kW โดยบริเวณนี้ จะเลือกใช้ Inverter ขนาด 15 kW 2 ตัว และ Inverter ขนาด 10 kW 1 ตัว โดยจากการทดลอง บทที่ 3 Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW สามารถ ติดตั้งแผงได้ 21 แผงต่อ 1 string โดยมีทั้งหมด 3 string ดังรูปที่ 4.8 และ Inverter เทคโนโลยีที่ 2 10 kW สามารถ ติดตั้งแผงได้ 19 แผงต่อ 1 string โดยมีทั้งหมด 2 string ดังรูปที่ 4.9

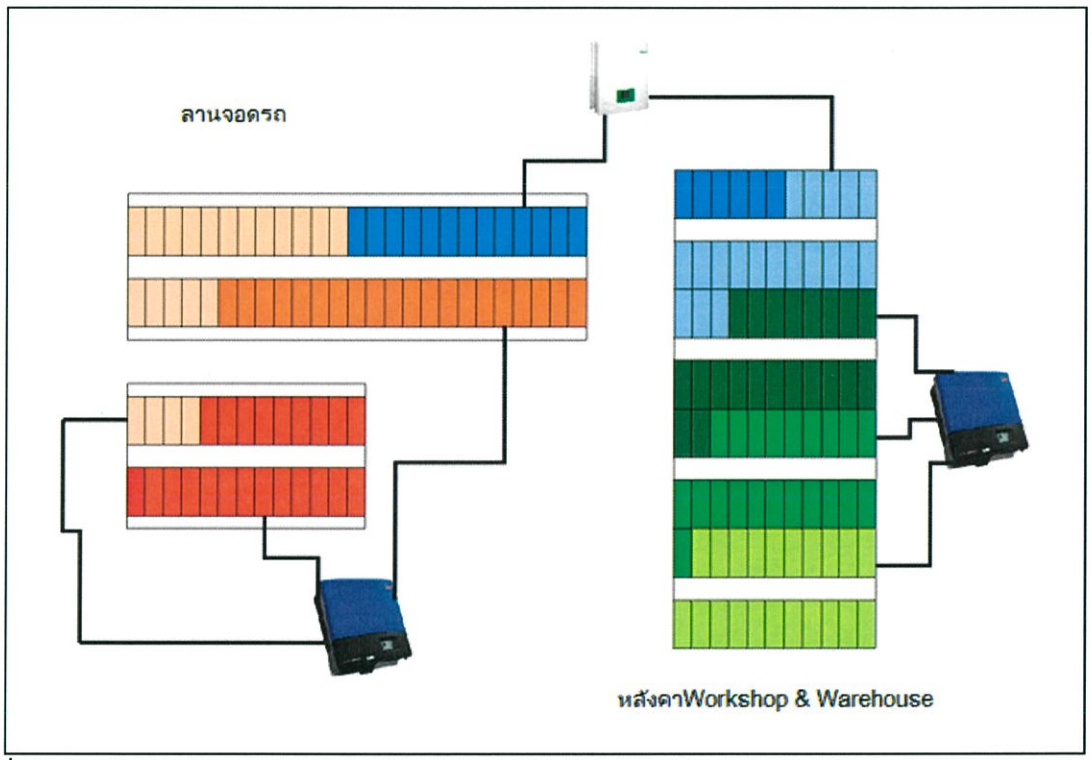


รูปที่ 4.8 ผลการจำลองการออกแบบแผงโซล่าเซลล์บริเวณหลังคาลานจอดรถและบริเวณหลังคา Workshop & Warehouse ของ Inverter เทคโนโลยีที่ 1



รูปที่ 4.9 ผลการจำลองการออกแบบแผงโซล่าเซลล์บริเวณหลังคาลานจอดรถและบริเวณหลังคา Workshop & Warehouse ของ Inverter เทคโนโลยีที่ 2

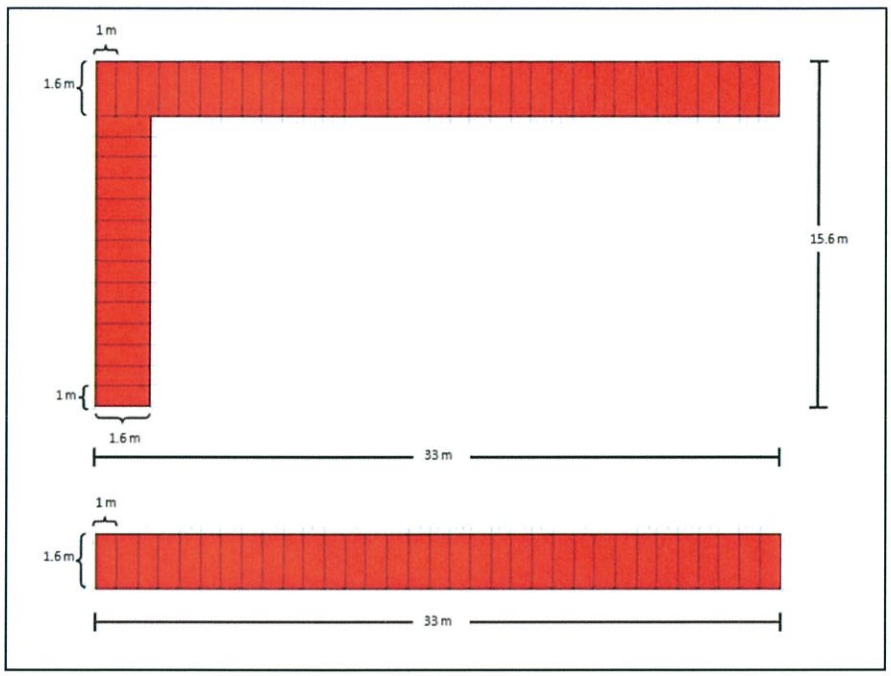
ทำให้ Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW สามารถติดตั้งแผงได้ทั้งหมด 63 แผง และ Inverter เทคโนโลยีที่ 2 ขนาด 10 kW สามารถติดตั้งแผงได้ทั้งหมด 38 แผง จากกำลังการผลิตที่ได้บริเวณนี้ ทำให้เราเลือกใช้ Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW 2 ตัว โดยแต่ละตัวจะถูกนำไปใช้งานเป็น Inverter หลักในแต่บริเวณ ซึ่งสามารถติดตั้งแผงกับInverter ได้ 126 แผง ส่วนแผงที่เหลือจาก 2 บริเวณ มีจำนวน 38 แผง จะนำมาติดตั้งกับ Inverter เทคโนโลยีที่ 2 ขนาด 10 kW โดย สามารถติดตั้งแผงได้ทั้งหมด 164 แผง โดยมีการติดตั้งดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 รูปแบบการต่อแผงโซลล่าเซลล์เข้า Inverter บริเวณหลังคาลานจอดรถและบริเวณหลังคา Workshop & Warehouse

3. บริเวณหลังคาทางเดิน ฝั่งซ้าย และ ฝั่งขวา

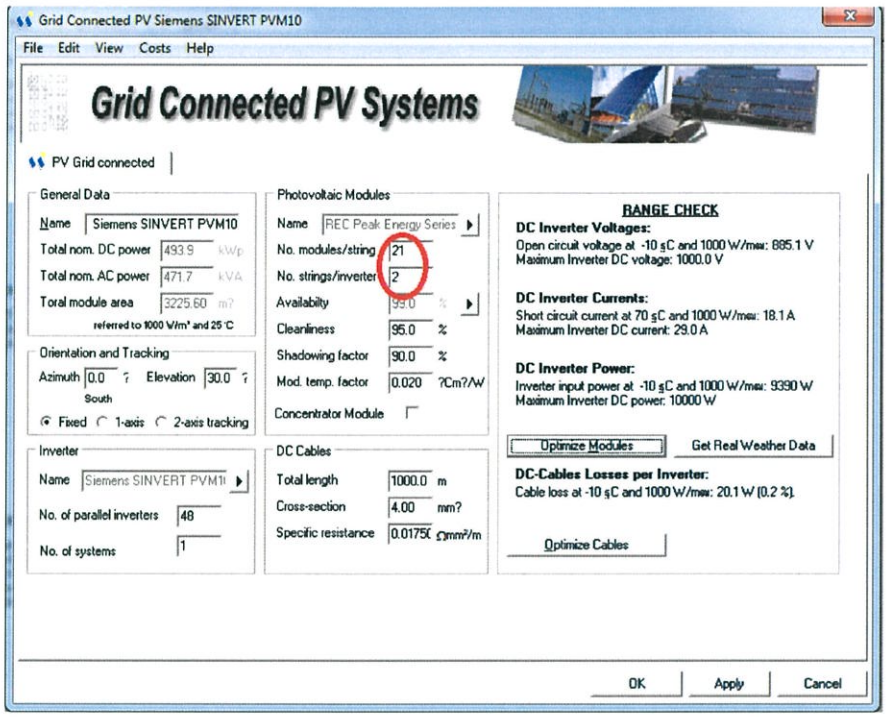
บริเวณหลังคาลานจอดรถแบ่งเป็น 2 คือ บริเวณทางเดินฝั่งซ้าย มีพื้นที่ 47x1.6 m^2 และทางเดินฝั่งขวามีพื้นที่ 33x1.6 m^2 ซึ่งสามารถติดตั้งแผงได้รวม 80 แผง



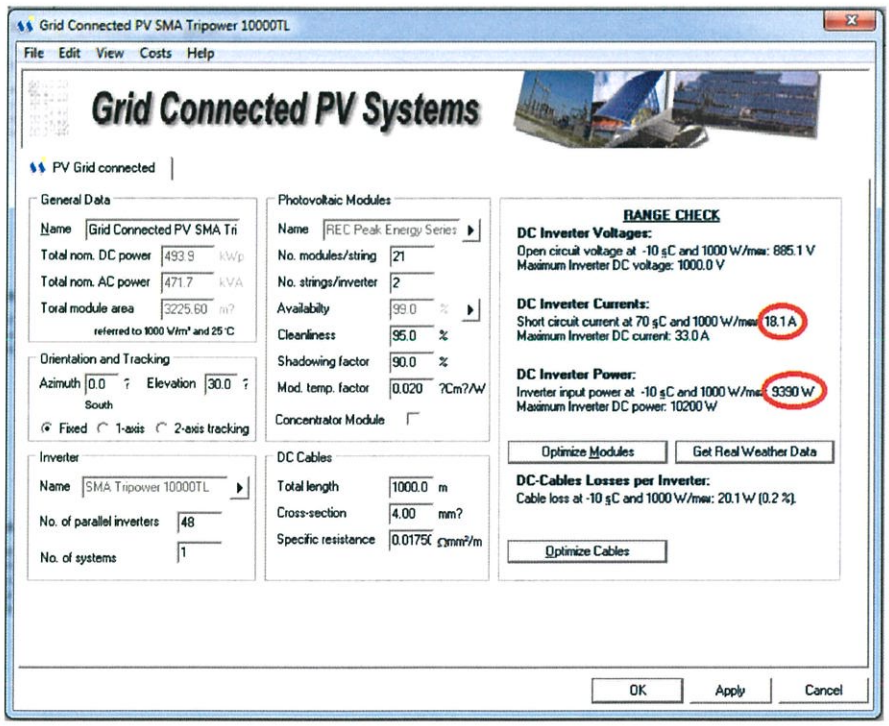
รูปที่ 4.11 พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณหลังคาทางเดิน ฝั่งซ้าย และ ฝั่งขวา

ซึ่งมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 19.6 kW โดยบริเวณนี้ จะเลือกใช้ Inverter ขนาด 10 kW 2 ตัวได้แก่ Inverter เทคโนโลยีที่ 3 ขนาด 10 kW จำนวน 1 ตัว และ Inverter เทคโนโลยีที่ 4 ขนาด 10 kW จำนวน 1 ตัว

จากการทดลอง บทที่ 3 เทคโนโลยีที่ 3 ขนาด 10 kW สามารถ ติดตั้งแผงได้ 21 แผงต่อ 1 string โดยมีทั้งหมด 2 string ดังรูปที่ 4.12 และ Inverter เทคโนโลยีที่ 4 ขนาด 10kw สามารถ ติดตั้งแผงได้ 21 แผงต่อ 1 string โดยมีทั้งหมด 2 string ดังรูปที่ 4.13

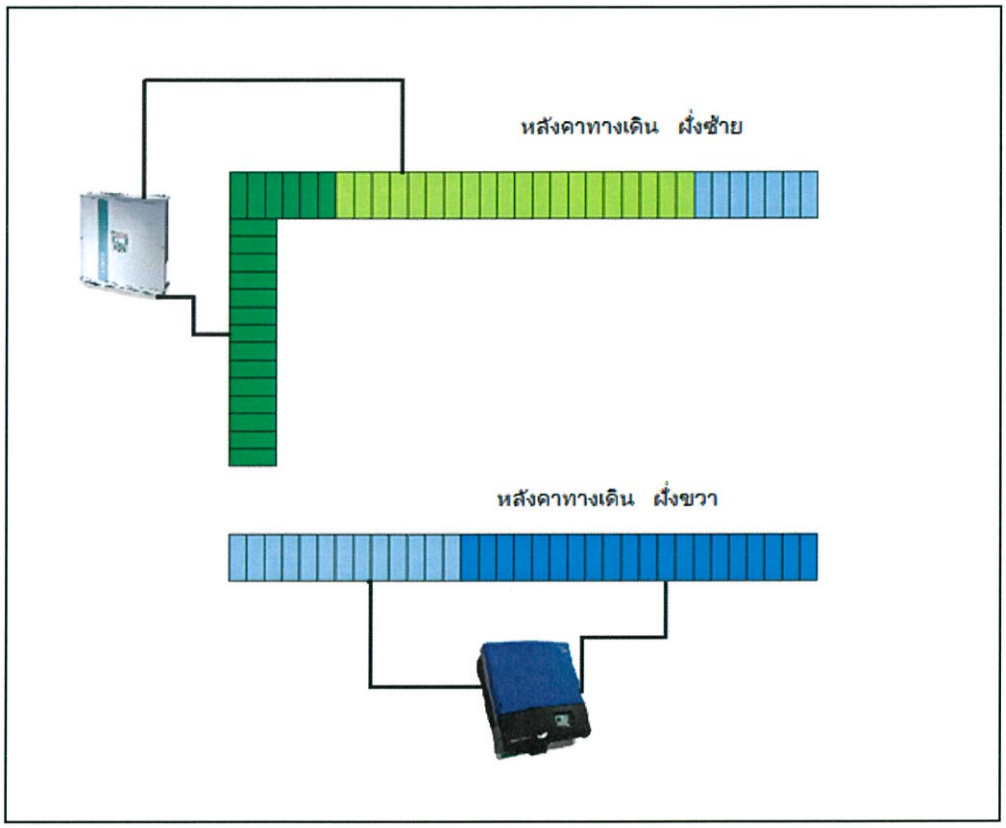


รูปที่ 4.12 ผลการจำลองการออกแบบแผงโซล่าเซลล์บริเวณหลังคาทางเดินฝั่งซ้ายและขวา ของ Inverter เทคโนโลยีที่ 3



รูปที่ 4.13 ผลการจำลองการออกแบบแผงโซล่าเซลล์บริเวณหลังคาทางเดินฝั่งซ้ายและขวา ของ Inverter เทคโนโลยีที่ 4

ทำให้ Inverter เทคโนโลยีที่ 4 ขนาด 10kw สามารถติดตั้งแผงได้ทั้งหมด 42 แผง และ Inverter เทคโนโลยีที่ 3 ขนาด 10 kW สามารถติดตั้งแผงได้ทั้งหมด 42 แผง แต่ในบริเวณนี้สามารถติดตั้งแผงได้แค่ 80 แผง ดังนั้น จึงต้องทำการติดตั้งแผง เป็น 20 แผง ต่อ 1 string โดยที่บริเวณทางเดินฝั่งขวา สามรถติดตั้งแผงได้ 33 แผง ซึ่งยังขาดอีก 7 แผง จึงต้องนำแผงจากทางเดินฝั่งซ้าย ซึ่งมีทั้งหมด 47 แผง แบ่งมาติดตั้งกับ Inverter ทางเดินฝั่งขวา จึงทำให้ Inverter ทั้ง 2 บริเวณ สามารถติดตั้งแผงได้ 20 แผง ต่อ 1 string และ Inverter 10 kW 1ตัวสามารถติดตั้งแผงได้ทั้งหมด 40 แผง ดังรูป



รูปที่ 4.14 รูปแบบการต่อแผงโซลล่าเซลล์เข้า Inverterบริเวณหลังคาทางเดินฝั่งซ้ายและขวา

4.4 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ

เมื่อออกแบบระบบโซล่าเซลล์เรียบร้อยแล้วแล้ว ทำให้สามารถประมาณค่ากำลังการผลิตสูงสุดของระบบได้ จากพื้นที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์และกำลังการพื้นต่อแผง ซึ่งมีค่าประมาณ 99.47kW แต่ในความเป็นจริงแล้วกำลังการผลิตของระบบ จะไม่สามารถผลิตได้ที่พิกัดสูงสุดตลอดเวลา โดยกำลังการผลิตที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าความส่องสว่าง (Illuminance) และค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous efficacy)ซึ่งมีความแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงเวลา ส่งผลให้กำลังการผลิตแต่ละช่วงไม่เท่ากันด้วย โดยจะมีวิธีการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Power(W)} = \frac{\text{Illuminance}(^{\text{Lm}}/_{\text{m}^2}) \times \text{Area}(\text{m}^2) \times \text{Efficiency of Solar cell}}{\text{Luminous Efficacy}(^{\text{Lm}}/_{\text{W}})} \quad (4.1)$$

ค่าความสว่าง (Illuminance) หมายถึงปริมาณแสงที่กระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็น Lm/m^2 หรือ Lux อ้างอิงจากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทยในพื้นที่กรุงเทพมหานครมีค่าดังนี้ [14]

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติสำหรับประเทศไทยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

	Global illuminance (klux)						
Month	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
JAN	47.8	66.3	79.9	90.2	82.8	70.0	51.2
FEB	55.0	73.9	92.8	106.9	99.4	87.3	68.8
MAR	63.8	83.9	99.6	104.7	106.7	92.0	71.9
APR	65.9	81.7	86.2	99.3	100.5	88.6	68.7
MAY	73.5	87.1	88.8	102.0	95.7	75.2	56.5
JUN	74.8	89.7	89.6	99.5	88.5	85.3	63.2
JUL	71.6	84.4	85.2	98.8	87.2	78.4	46.4
AUG	70.3	85.6	87.6	101.0	93.4	94.4	59.4
SEP	69.7	85.9	85.7	94.3	89.0	71.9	53.0
OCT	63.6	74.2	75.7	87.0	82.9	65.6	51.9
NOV	59.9	73.3	84.7	89.9	63.0	61.5	41.3
DEC	53.1	69.8	81.2	94.9	78.1	63.6	51.2

ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous efficacy) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างฟลักซ์การส่องสว่างและการสูญเสียกำลังมีหน่วยเป็น Lm/W อ้างอิงจากข้อมูลจากวารสารวิชาการ 2011 IEEE First Conference on Clean Energy and Technology CET "Assessment and Modeling of the Daylight Efficacy in Thailand" มีค่าดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างในประเทศไทย [15]

The Hourly Mean Values of The Global Efficacy(Lm/W) By Calendar Month							
Time	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
JAN	109.69	106.90	105.99	105.57	105.20	106.93	109.16
FEB	103.33	103.21	101.41	101.62	101.93	101.38	102.26
MAR	109.30	106.76	104.74	104.21	106.64	106.59	108.59
APR	108.30	105.46	104.52	104.73	105.20	106.84	107.81
MAY	111.01	108.14	107.94	107.51	108.26	110.13	112.05
JUN	111.41	109.54	107.19	108.25	109.93	110.13	112.80
JUL	110.84	109.25	108.18	108.25	109.84	110.02	111.66
AUG	110.73	107.71	106.13	106.40	106.97	108.95	112.21
SEP	110.12	109.31	107.57	107.30	107.57	110.01	113.31
OCT	111.04	108.49	107.22	107.32	108.95	112.08	115.87
NOV	109.00	106.98	106.07	105.52	106.56	108.73	112.24
DEC	110.29	107.51	105.92	105.55	106.57	108.27	111.33

พื้นที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ (Area) คิดจากพื้นที่ของแผงโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ทั้งหมด ซึ่งสามารถติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ได้ 406 แผง แต่ละแผงมีพื้นที่ 1.6x1 m^2 ทำให้มี พื้นที่รวมทั้งหมดคิดเป็น 649.6 m^2

ประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์(Efficiency of Solar cell) สำหรับแผงโซล่าเซลล์ REC245 Peak Energy Series จากข้อมูลคุณสมบัติของแผงโซล่าเซลล์มีประสิทธิภายอยู่ที่ 14.8%

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์

ELECTRICAL DATA @ STC	REC240PE	REC245PE	REC250PE	REC255PE	REC260PE	REC265PE
Nominal Power - P_{MPP} (Wp)	240	245	250	255	260	265
Watt Class Sorting - (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Nominal Power Voltage - V_{MPP} (V)	29.7	30.1	30.2	30.5	30.7	30.9
Nominal Power Current - I_{MPP} (A)	8.17	8.23	8.30	8.42	8.50	8.58
Open Circuit Voltage - V_{OC} (V)	36.8	37.1	37.4	37.6	37.8	38.1
Short Circuit Current - I_{SC} (A)	8.75	8.80	8.86	8.95	9.01	9.08
Module Efficiency (%)	14.5	14.8	15.1	15.5	15.8	16.1

Analysed data demonstrates that 99.7% of modules produced have current and voltage tolerance of ±3% from nominal values.
Values at standard test conditions STC (airmass AM 1.5, irradiance 1000 W/m², cell temperature 25°C).
At low irradiance of 200 W/m² (AM 1.5 and cell temperature 25°C) at least 97% of the STC module efficiency will be achieved.

จากข้อมูลทั้งหมด สามารถนำมาคำนวณหากราฟกำลังการผลิตในแต่ละช่วงเวลาได้ โดยมีตัวอย่างการคำนวณดังนี้

จากสมการที่ (4.1)

$$\text{Power(W)} = \frac{\text{Illuminance}(^{\text{Lm}}/_{\text{m}^2}) \times \text{Area}(\text{m}^2) \times \text{Efficiency of Solar cell}}{\text{Luminous Efficacy}(^{\text{Lm}}/_{\text{W}})}$$

คำนวณที่ช่วงเวลา 9.00-10.00 น. ของเดือนมกราคม

จากข้อมูล

Illuminance = 47.8k Lm/ m^2

Luminous Efficacy = 109.69 lm/W

Area = 649.6 m^2

Efficiency of Solar Cell = 0.148

Power = (47.8k×649.6×0.148)/109.69

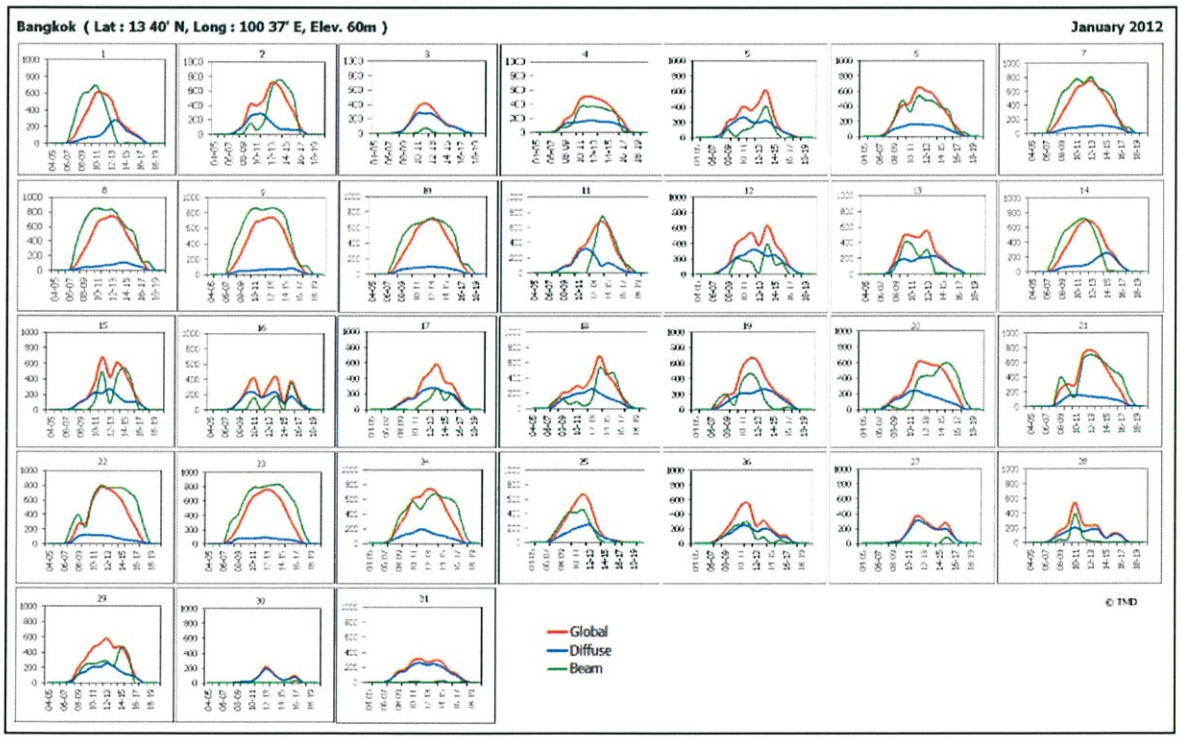
= 41.9kW

นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณได้จากข้อมูลแสดงศักยภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าในพื้นที่บริเวณกรุงเทพมหานครโดยใช้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์หน่วยเป็น W/m^2 เป็นข้อมูลที่รวบรวมไว้โดยกรมอุตุนิยมวิทยาประจำปี 2556 ซึ่งสามารถใช้ในการประมาณกำลังการผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ก่อตั้งโครงการดังสมการ

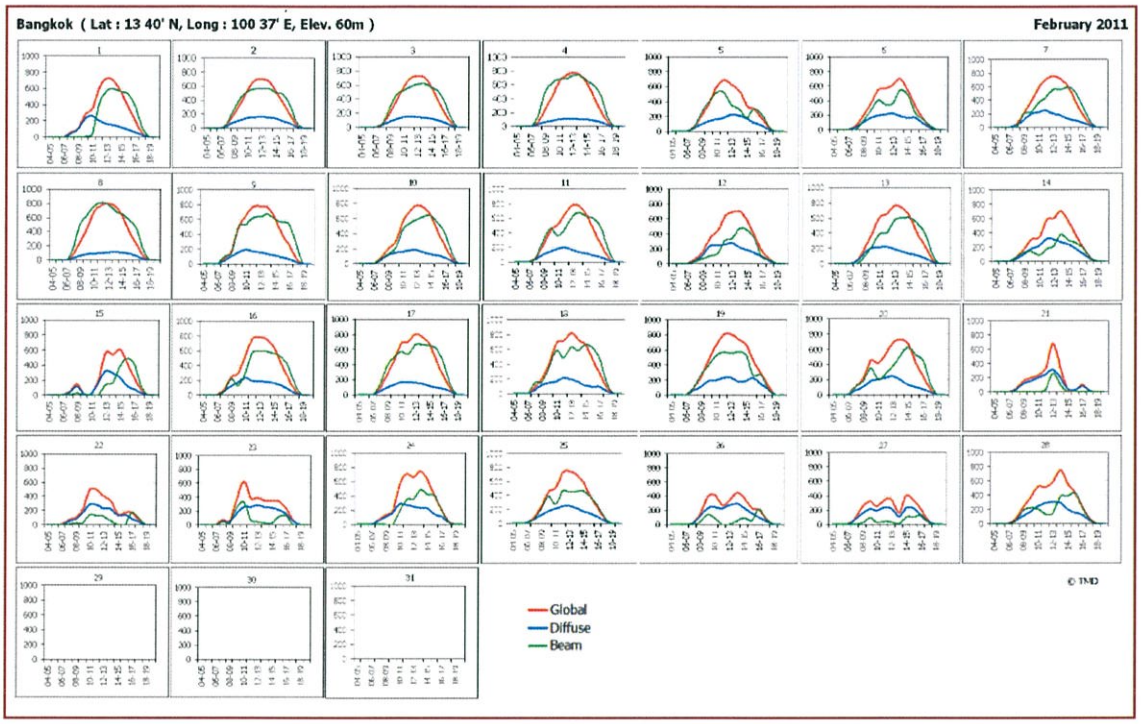
$$\textbf{Power(W)} = \textbf{Global Radiation}\left(\frac{W}{m^2}\right) \times \textbf{Area}(m^2) \times \textbf{Efficiency of Solar Cell} \qquad (4.2)$$

ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์(Global Radiation) หมายถึงปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่ใดใด ซึ่งจะส่งผลต่อศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่นั้น ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีหน่วยทางด้านพลังงานเป็น W/m^2

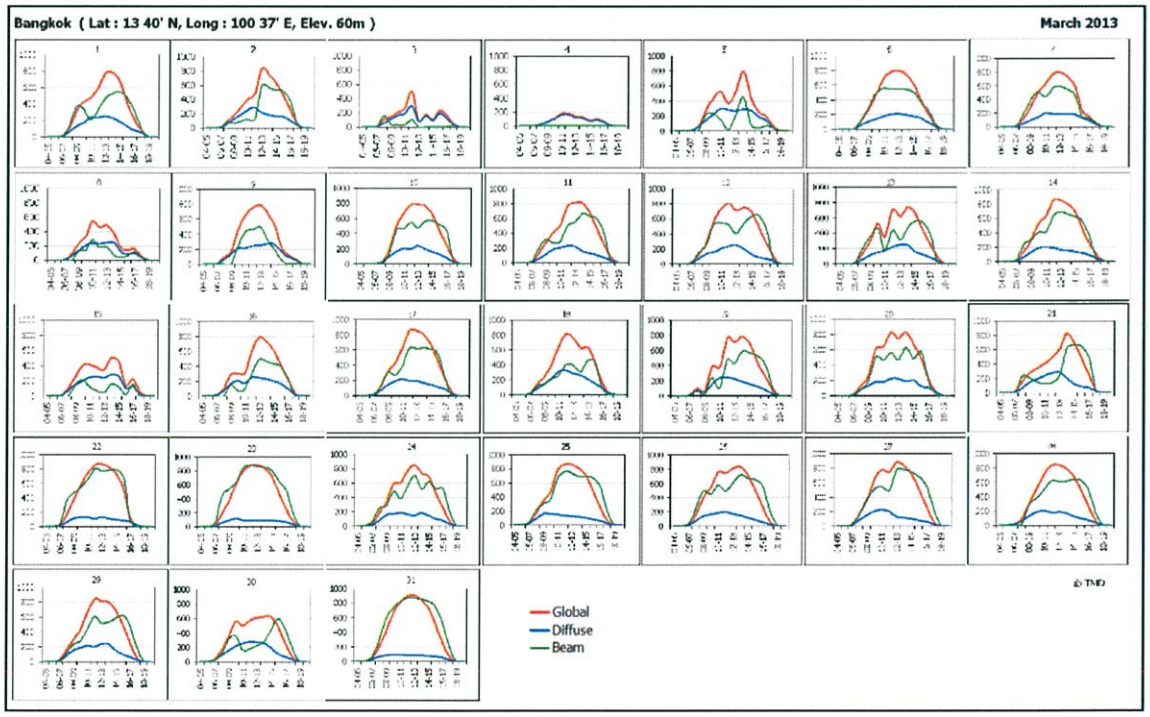
กราฟแสดงค่าความเข้มรังสีอาทิตย์(Global Radiation) **ของแต่ละวันในปี** 2556 [16]



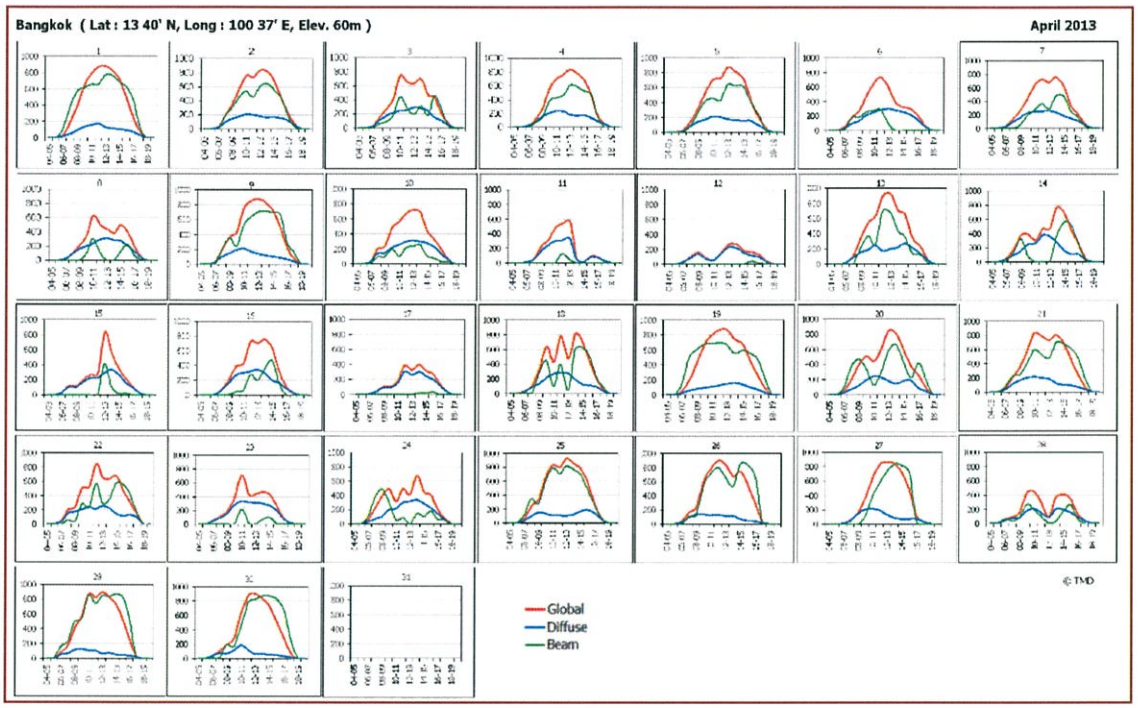
รูปที่ 4.15 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนมกราคม ปี2556



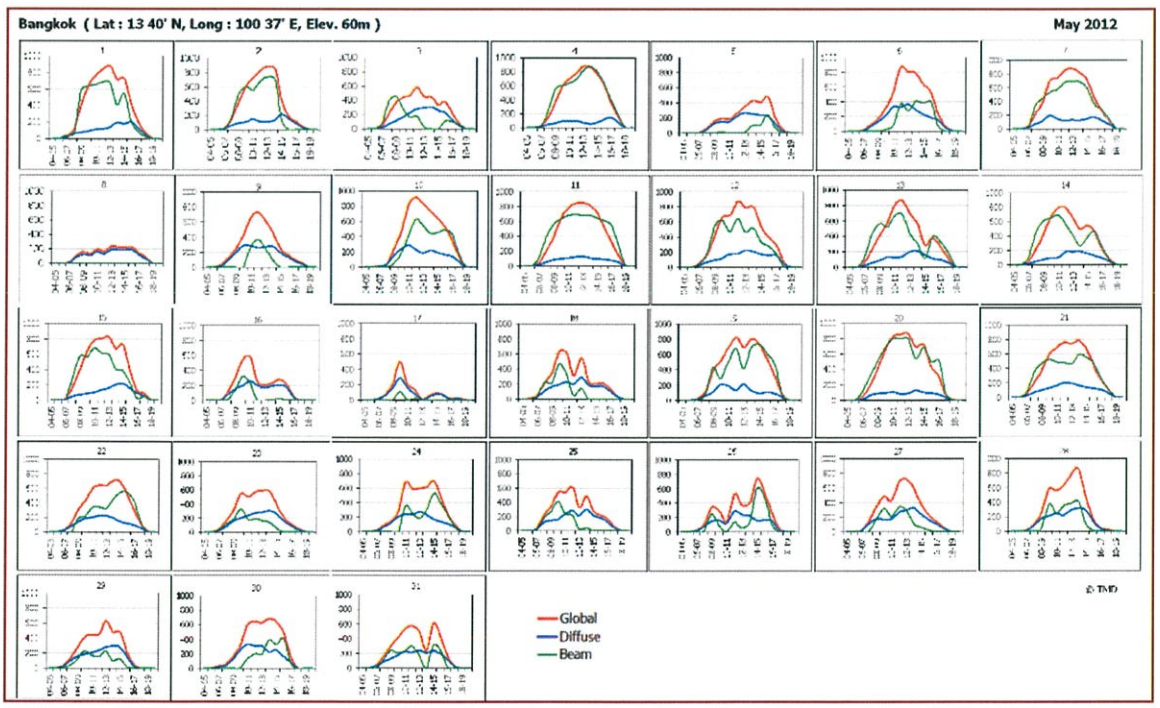
รูปที่ 4.16 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนกุมภาพันธ์ ปี2556



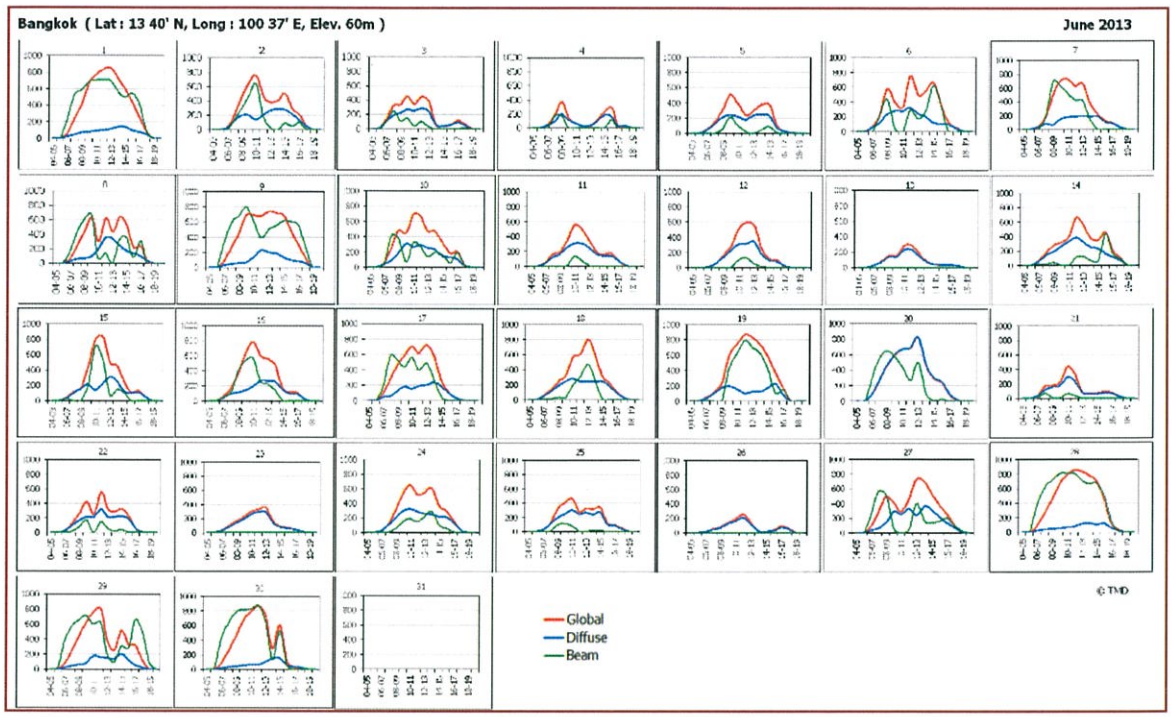
รูปที่ 4.17 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนมีนาคม ปี2556



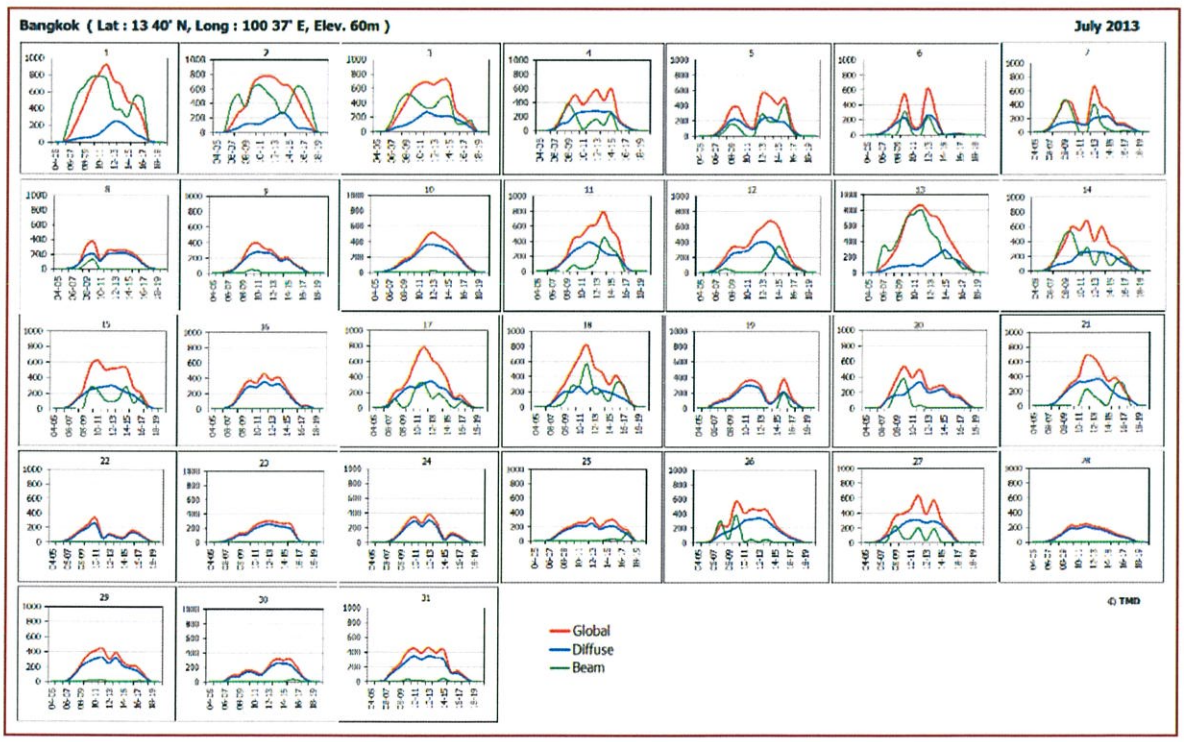
รูปที่ 4.18 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนเมษายน ปี2556



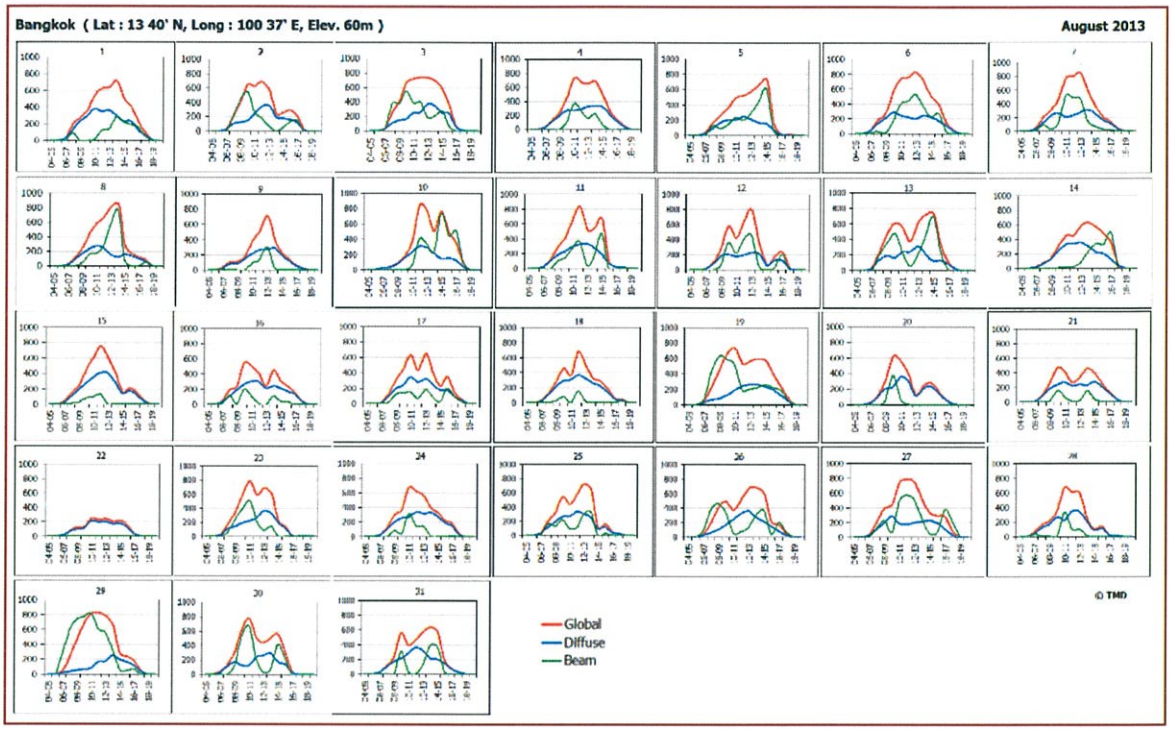
รูปที่ 4.19 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนพฤษภาคม ปี2556



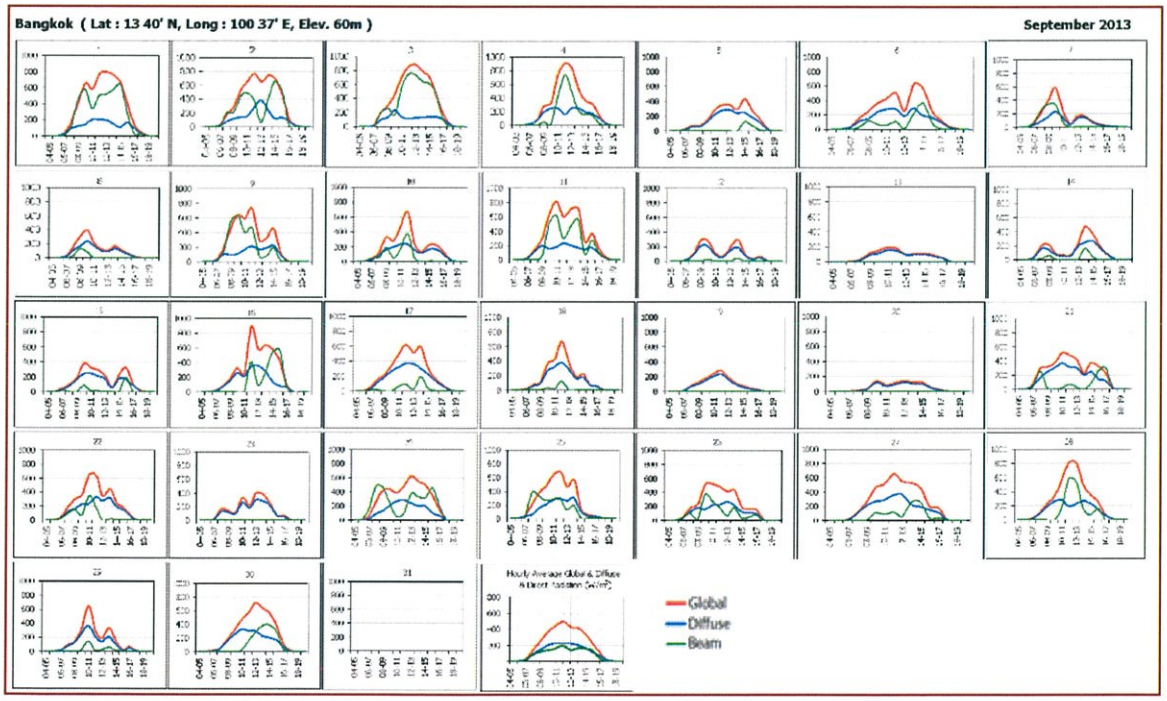
รูปที่ 4.20 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนมิถุยายน ปี2556



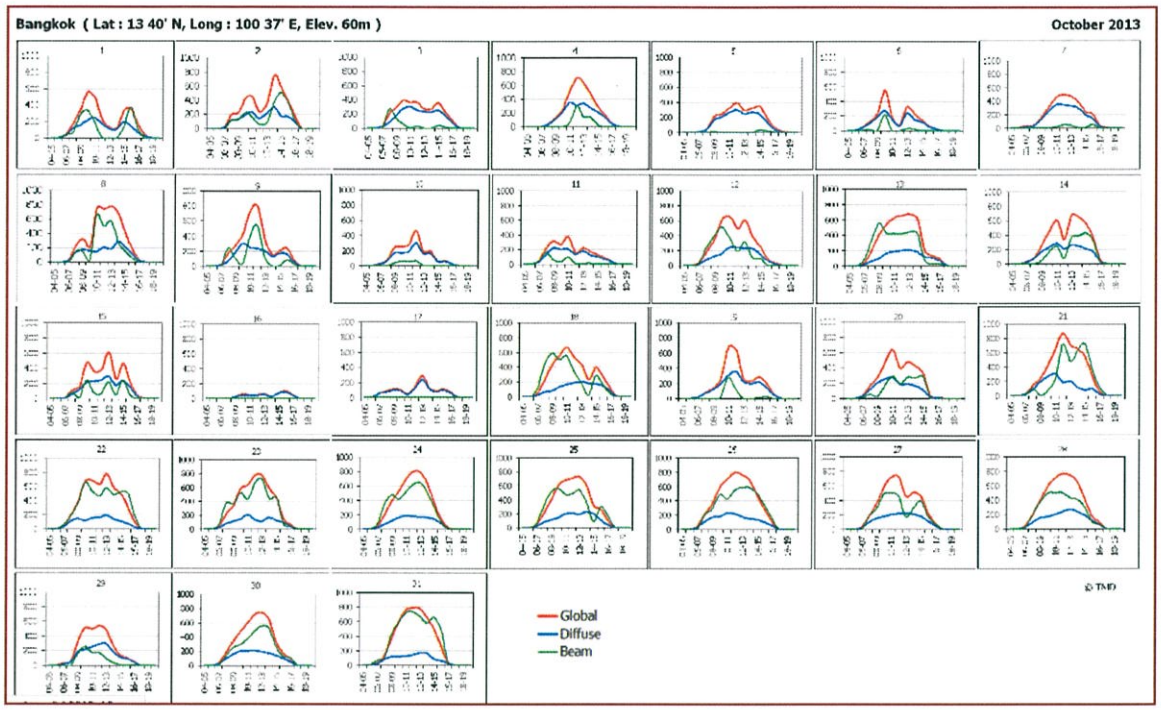
รูปที่ 4.21 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนกรกฎาคม ปี2556



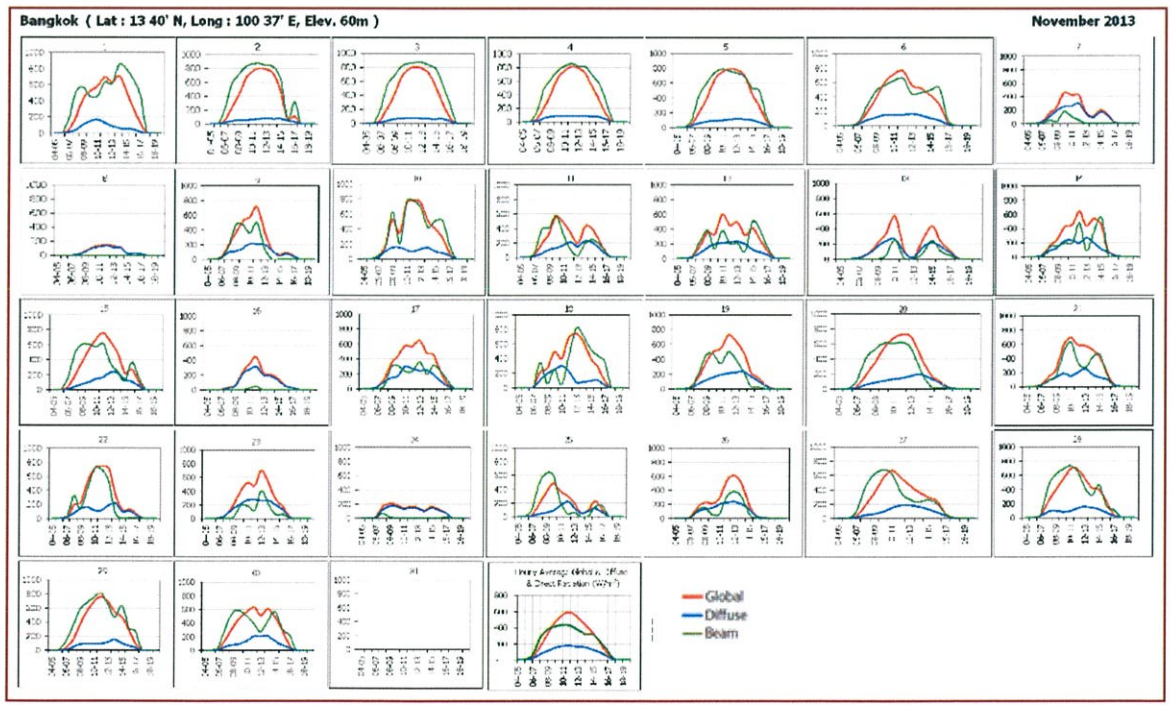
รูปที่ 4.22 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนสิงหาคม ปี2556



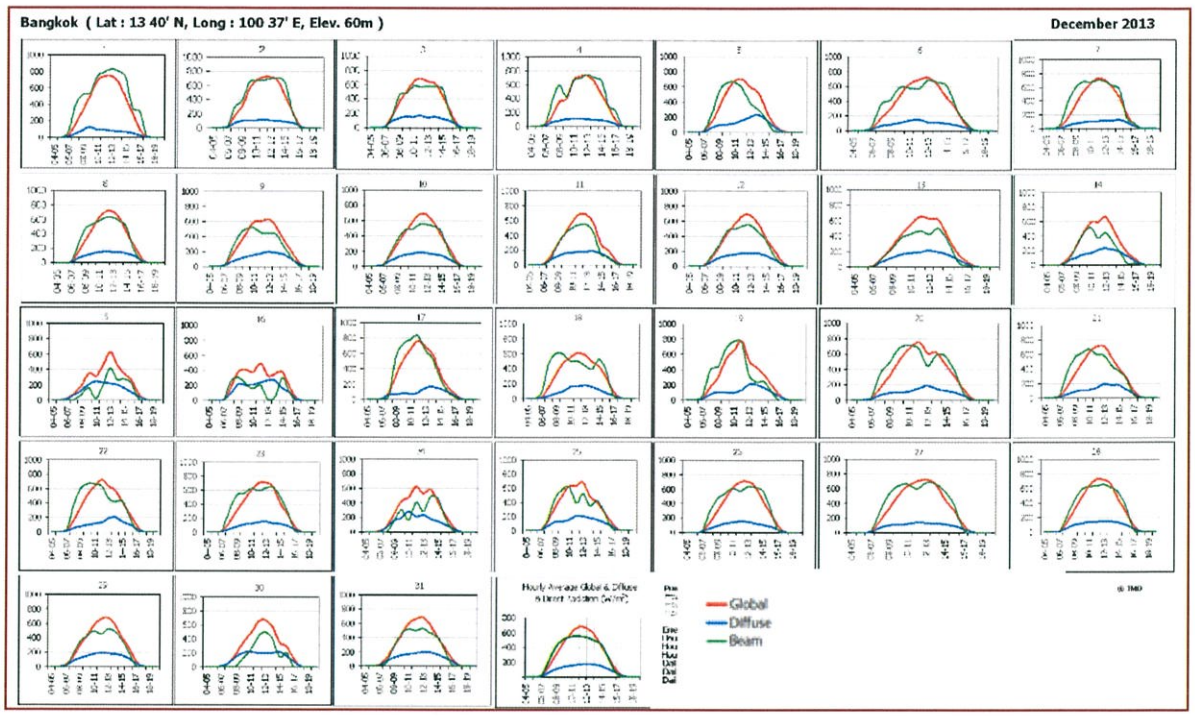
รูปที่ 4.23 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนกันยายน ปี2556



รูปที่ 4.24 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนตุลาคม ปี2556



รูปที่ 4.25 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนพฤษจิกายน ปี2556



รูปที่ 4.26 กราฟข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน ประจำเดือนธันวาคม ปี2556

จากข้อมูลทั้งหมด สามารถนำมาคำนวณหากราฟกำลังการผลิตในแต่เวลาได้ โดยมีตัวอย่างการคำนวณดังนี้

จากสมการที่ (4.2)

$$\textbf{Power(W)} = \textbf{Global Radiation}\left(\mathrm{W/_{m^2}}\right) \times \textbf{Area}(\mathrm{m^2}) \times \textbf{Efficiency of Solar Cell}$$

คำนวณที่ช่วงเวลา 12.00 น. ของวันที่ 1 เดือนธันวาคม ปี2556

จากข้อมูล

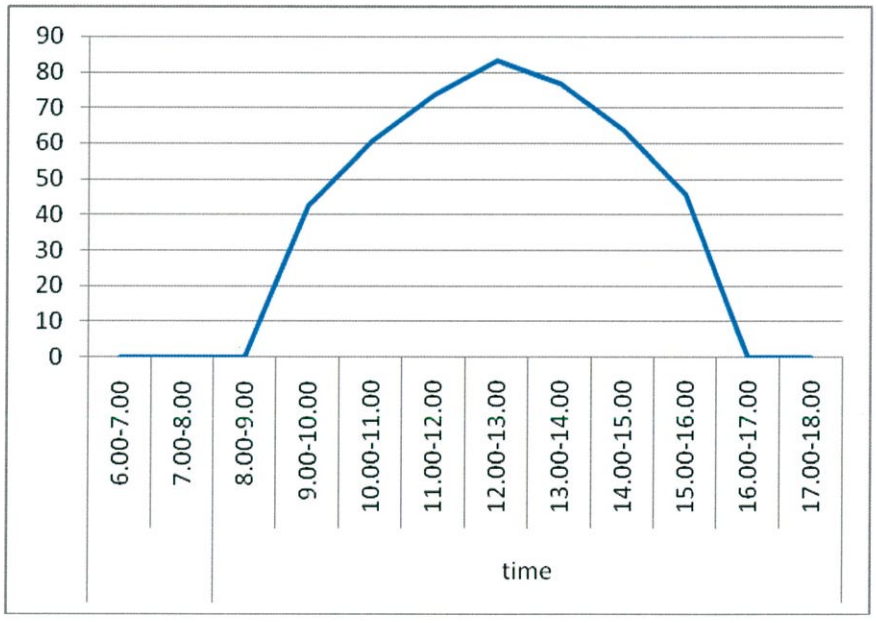
Global Radiation	$\approx$ 750 W/m^2
Area	= 649.6 m^2
Efficiency of Solar Cell	= 0.148
Power	$\approx$ 750×649.6×0.148
	$\approx$ 72.10kW

4.5 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทน

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนมกราคม

	ความสว่างของดวงอาทิตย์ (klux)	ประสิทธิภาพการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Lm/W)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการ (kW)
9.00-10.00	47.8	109.69	41.9
10.00-11.00	66.3	106.9	60.5
11.00-12.00	79.9	105.99	73.5
12.00-13.00	90.2	105.57	83.3
13.00-14.00	82.8	105.2	76.7
14.00-15.00	70.0	106.93	63.8
15.00-16.00	51.2	109.16	45.7

จากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center รายวันในเดือนมกราคม สามารถนำมาวาดเป็นเส้นโค้ง Power Curve ได้ดังนี้ ประมาณกำลังการผลิตได้ 445.4 kW-hr

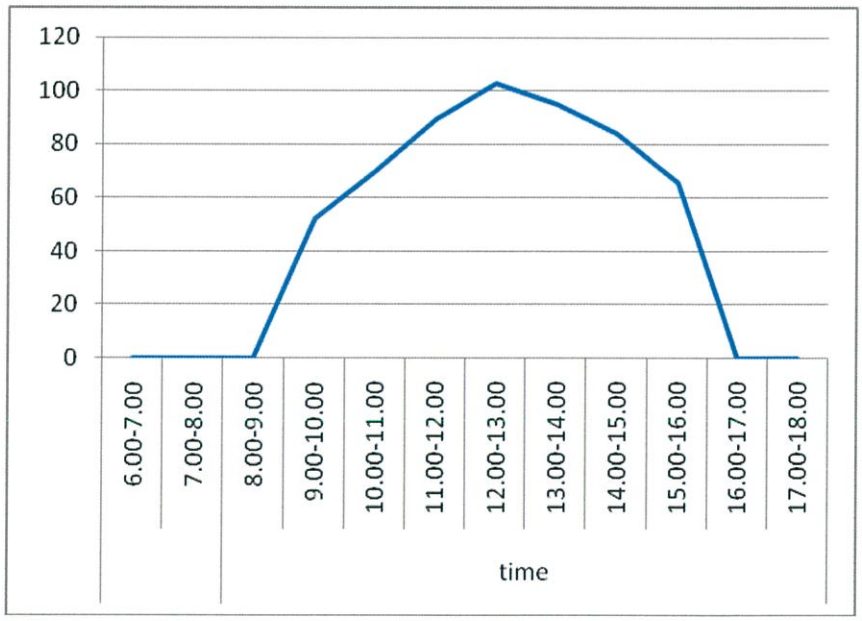


รูปที่ 4.27 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนมกราคม

ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนกุมภาพันธ์

	ความสว่างของดวงอาทิตย์ (klux)	ประสิทธิภาพการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Lm/W)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการ (kW)
9.00-10.00	55.0	103.33	52.2
10.00-11.00	73.9	103.21	69.8
11.00-12.00	92.8	101.41	89.2
12.00-13.00	106.9	101.62	102.6
13.00-14.00	99.4	101.93	95.1
14.00-15.00	87.3	101.38	84.2
15.00-16.00	68.8	102.26	64.6

จากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center รายวันในเดือนกุมภาพันธ์ สามารถนำมาวาดเป็นเส้นโค้ง Power Curve ได้ดังนี้ ประมาณกำลังการผลิตได้ 557.7 kW-hr

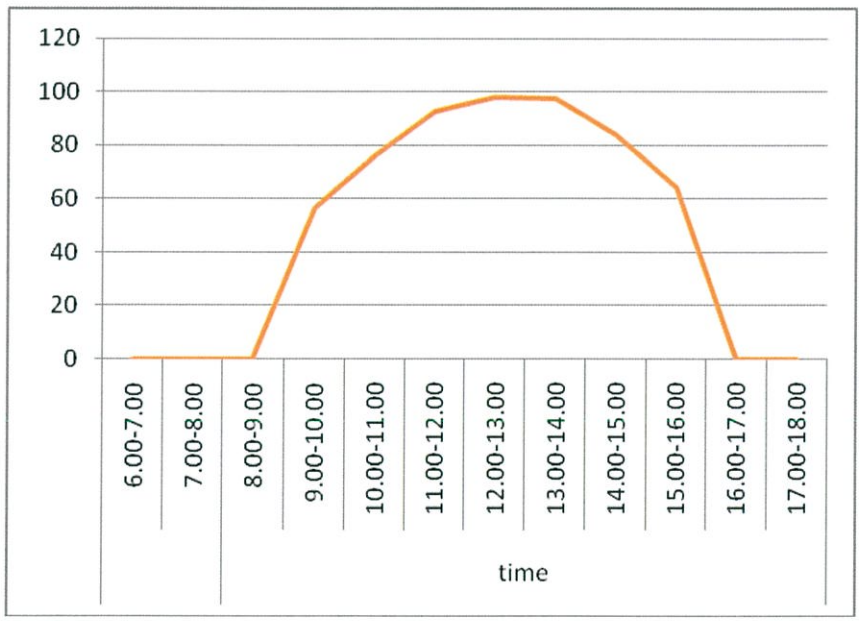


รูปที่ 4.28 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนกุมภาพันธ์

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนมีนาคม

	ความสว่างของดวงอาทิตย์ (klux)	ประสิทธิภาพการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Lm/W)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการ (kW)
9.00-10.00	63.8	109.3	56.9
10.00-11.00	83.9	106.76	76.6
11.00-12.00	99.6	104.74	92.7
12.00-13.00	104.7	104.21	98.0
13.00-14.00	106.7	106.64	97.6
14.00-15.00	92.0	106.59	84.2
15.00-16.00	71.9	108.59	64.6

จากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center รายวันในเดือนมีนาคม สามารถนำมาวาดเป็นเส้นโค้ง Power Curve ได้ดังนี้ ประมาณกำลังการผลิตได้ 570.0 kW-hr

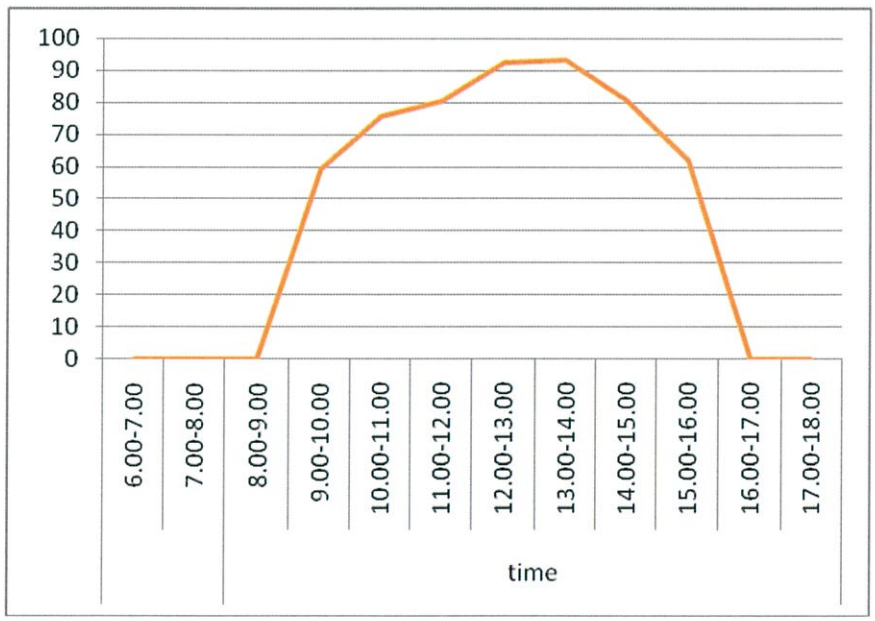


รูปที่ 4.29 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนมีนาคม

ตารางที่ 4.7 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนเมษายน

	ความสว่างของดวงอาทิตย์ (klux)	ประสิทธิภาพการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Lm/W)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการ (kW)
9.00-10.00	65.9	108.3	59.3
10.00-11.00	81.7	105.46	75.5
11.00-12.00	86.2	104.52	80.4
12.00-13.00	99.3	104.73	92.4
13.00-14.00	100.5	105.2	93.1
14.00-15.00	88.6	106.84	80.9
15.00-16.00	68.7	107.81	62.1

จากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center **รายวันในเดือนเมษายน สามารถนำมาวาดเป็นเส้นโค้ง** Power Curve **ได้ดังนี้ ประมาณกำลังการผลิตได้** 543.7 kW-hr

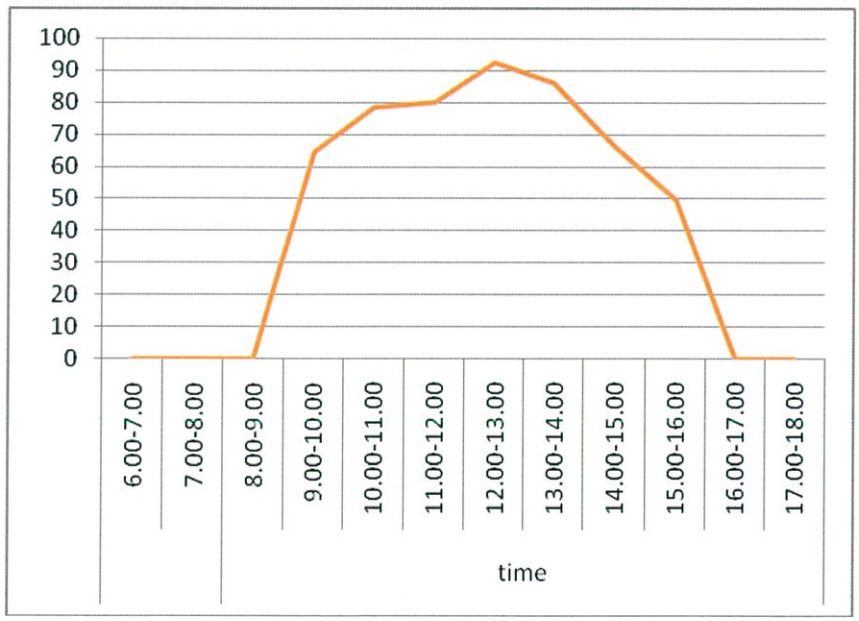


รูปที่ 4.30 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนเมษายน

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนพฤษภาคม

	ความสว่างของดวงอาทิตย์ (klux)	ประสิทธิภาพการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Lm/W)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการ (kW)
9.00-10.00	73.5	111.01	64.6
10.00-11.00	87.1	108.14	78.5
11.00-12.00	88.8	107.94	80.2
12.00-13.00	102.0	107.51	92.5
13.00-14.00	95.7	108.26	86.2
14.00-15.00	75.2	110.13	66.6
15.00-16.00	56.5	112.05	49.5

จากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center รายวันในเดือนพฤษภาคม สามารถนำมาวาดเป็นเส้นโค้ง Power Curve ได้ดังนี้ ประมาณกำลังการผลิตได้ 518.0 kW-hr

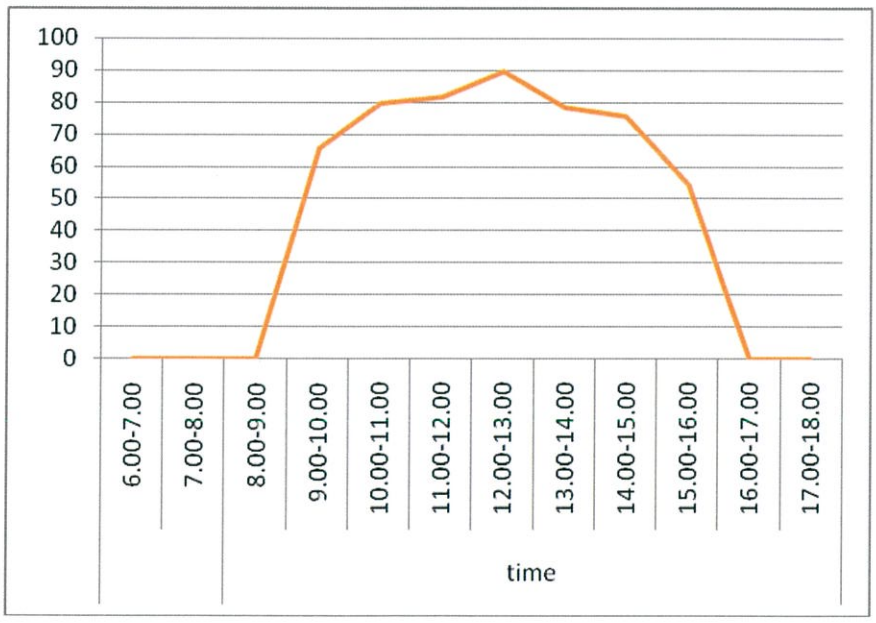


รูปที่ 4.31 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Renewable Center รายวันในเดือนพฤษภาคม

ตารางที่ 4.9 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนมิถุนายน

	ความสว่างของดวงอาทิตย์ (klux)	ประสิทธิภาพการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Lm/W)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการ (kW)
9.00-10.00	74.8	111.41	65.5
10.00-11.00	89.7	109.54	79.8
11.00-12.00	89.6	107.19	81.5
12.00-13.00	99.5	108.25	89.6
13.00-14.00	88.5	109.93	78.5
14.00-15.00	85.3	110.13	75.5
15.00-16.00	63.2	112.8	54.6

จากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center **รายวันในเดือนมิถุนายน สามารถนำมาวาดเป็นเส้นโค้ง** Power Curve **ได้ดังนี้ ประมาณกำลังการผลิตได้** 525.0 kW-hr

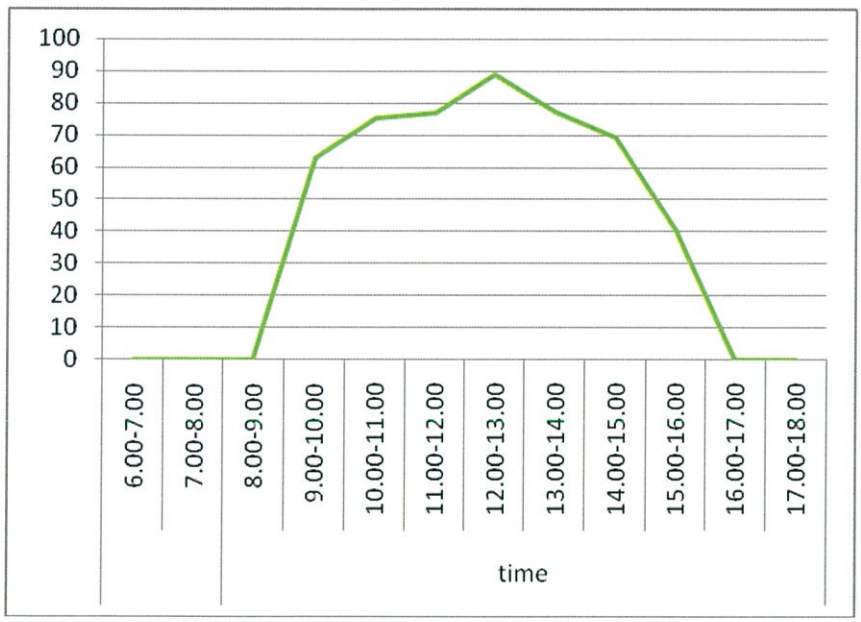


รูปที่ 4.32 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Renewable Center รายวันในเดือนมิถุนายน

ตารางที่ 4.10 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนกรกฎาคม

	ความสว่างของดวงอาทิตย์ (klux)	ประสิทธิภาพการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Lm/W)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการ (kW)
9.00-10.00	71.6	110.84	63.0
10.00-11.00	84.4	109.25	75.3
11.00-12.00	85.2	108.18	76.8
12.00-13.00	98.8	108.25	89.0
13.00-14.00	87.2	109.84	77.4
14.00-15.00	78.4	110.02	69.5
15.00-16.00	46.4	111.66	40.0

จากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center รายวันในเดือนกรกฎาคม สามารถนำมาวาดเป็นเส้นโค้ง Power Curve ได้ดังนี้ ประมาณกำลังการผลิตได้ 491.0 kW-hr

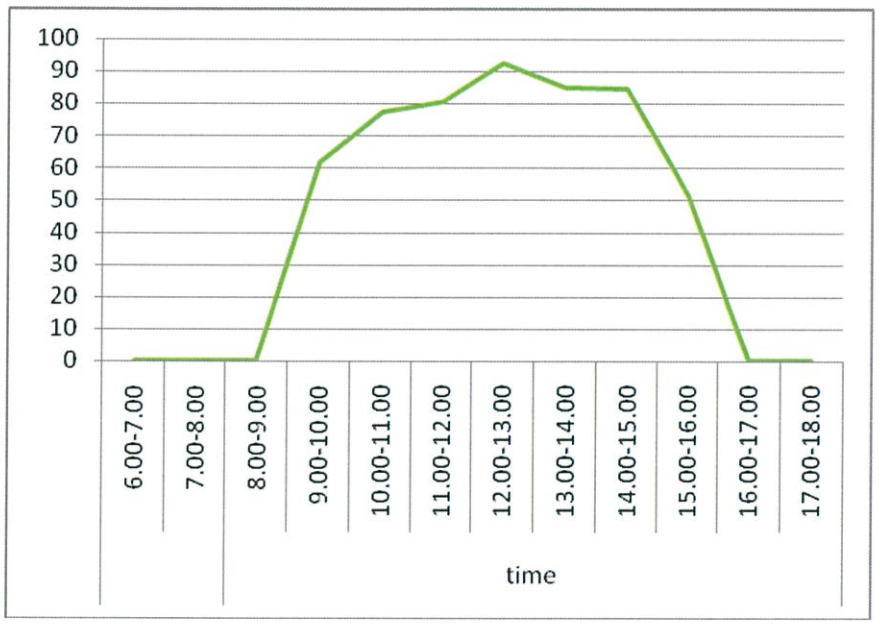


รูปที่ 4.33 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Renewable Center รายวันในเดือนกรกฎาคม

ตารางที่ 4.11 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนสิงหาคม

	ความสว่างของดวงอาทิตย์ (klux)	ประสิทธิภาพการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Lm/W)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการ (kW)
9.00-10.00	70.3	110.73	61.9
10.00-11.00	85.6	107.71	77.5
11.00-12.00	87.6	106.13	80.5
12.00-13.00	101.0	106.4	92.6
13.00-14.00	93.4	106.97	85.1
14.00-15.00	94.4	108.95	84.5
15.00-16.00	59.4	112.21	51.6

จากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center รายวันในเดือนสิงหาคม สามารถนำมาวาดเป็นเส้นโค้ง Power Curve ได้ดังนี้ ประมาณกำลังการผลิตได้ 533.7 kW-hr

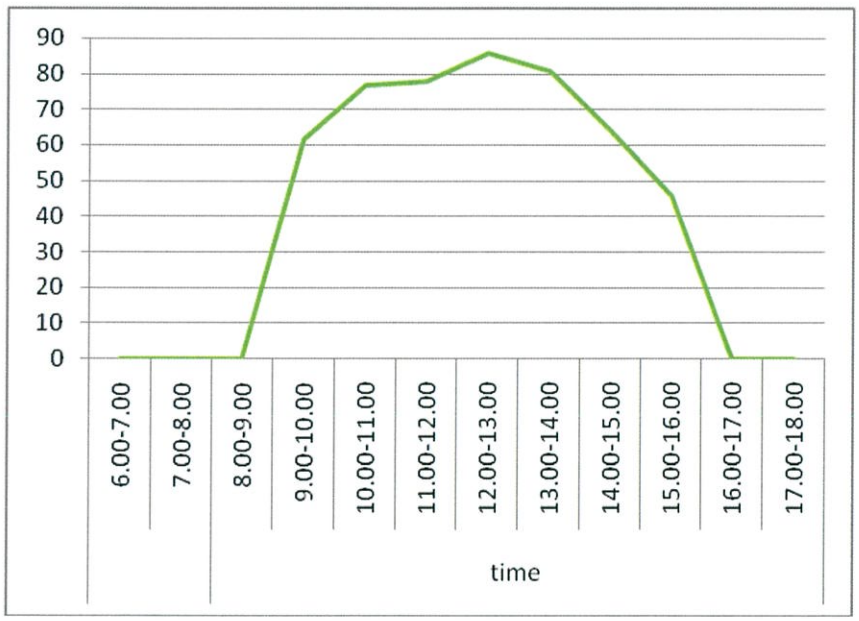


รูปที่ 4.34 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Renewable Center รายวันในเดือนสิงหาคม

ตารางที่ 4.12 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนกันยายน

	ความสว่างของดวงอาทิตย์ (klux)	ประสิทธิภาพการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Lm/W)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการ (kW)
9.00-10.00	69.7	110.12	61.7
10.00-11.00	85.9	109.31	76.6
11.00-12.00	85.7	107.57	77.7
12.00-13.00	94.3	107.3	85.7
13.00-14.00	89.0	107.57	80.7
14.00-15.00	71.9	110.01	63.7
15.00-16.00	53.0	113.31	45.6

จากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center รายวันในเดือนกันยายน สามารถนำมาวาดเป็นเส้นโค้ง Power Curve ได้ดังนี้ ประมาณกำลังการผลิตได้ 491.7 kW-hr

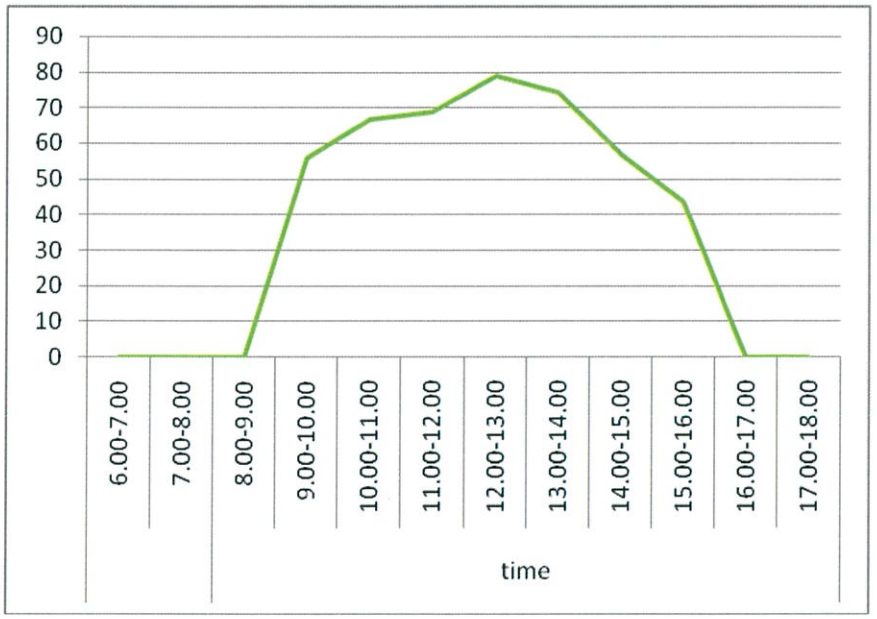


รูปที่ 4.35 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนกันยายน

ตารางที่ 4.13 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนตุลาคม

	ความสว่างของดวงอาทิตย์ (klux)	ประสิทธิภาพการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Lm/W)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการ (kW)
9.00-10.00	63.6	111.04	55.8
10.00-11.00	74.2	108.49	66.7
11.00-12.00	75.7	107.22	68.8
12.00-13.00	87.0	107.32	79.0
13.00-14.00	82.9	108.95	74.2
14.00-15.00	65.6	112.08	57.1
15.00-16.00	51.9	115.87	43.7

จากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center **รายวันในเดือนตุลาคม สามารถนำมาวาดเป็นเส้นโค้ง** Power Curve **ได้ดังนี้ ประมาณกำลังการผลิตได้** 445.3 kW-hr

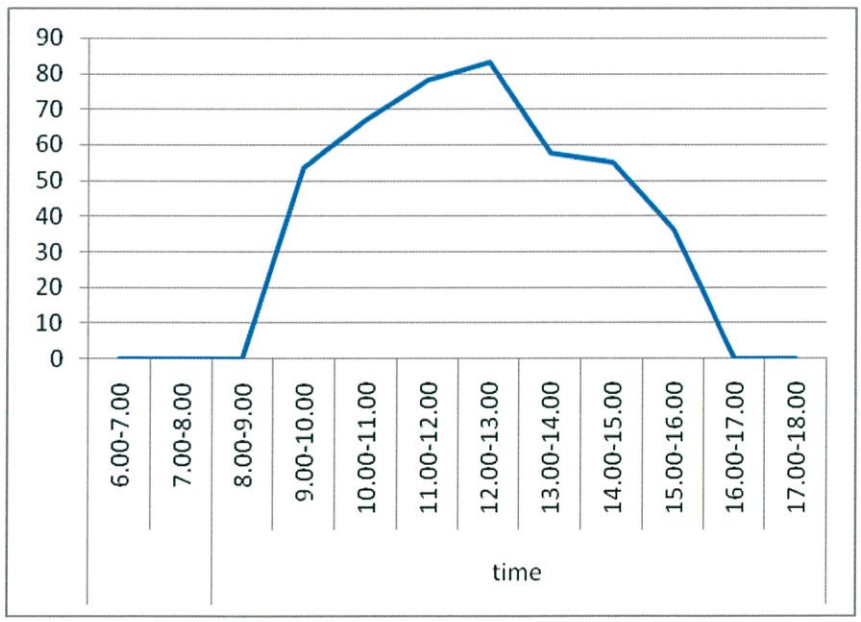


รูปที่ 4.36 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนตุลาคม

ตารางที่ 4.14 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนพฤศจิกายน

	ความสว่างของดวงอาทิตย์ (klux)	ประสิทธิภาพการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Lm/W)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการ (kW)
9.00-10.00	59.9	109	53.6
10.00-11.00	73.3	106.98	66.8
11.00-12.00	84.7	106.07	77.9
12.00-13.00	89.9	105.52	83.1
13.00-14.00	63.0	106.56	57.6
14.00-15.00	61.5	108.73	55.2
15.00-16.00	41.3	112.24	35.9

จากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center รายวันในเดือนพฤศจิกายน สามารถนำมาวาดเป็นเส้นโค้ง Power Curve ได้ดังนี้ ประมาณกำลังการผลิตได้ 430.1 kW-hr

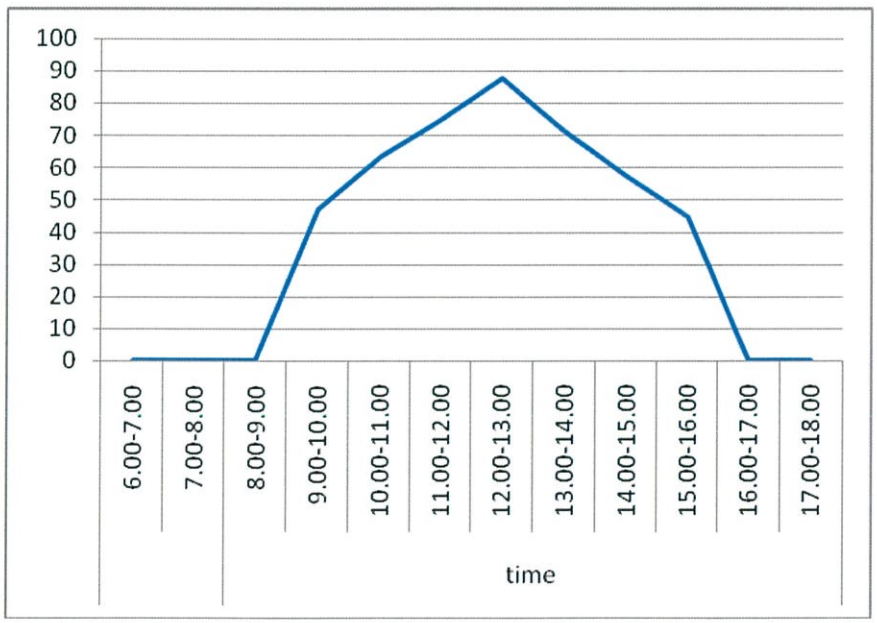


รูปที่ 4.37 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Renewable Center รายวันในเดือนพฤศจิกายน

ตารางที่ 4.15 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center ประจำเดือนธันวาคม

	ความสว่างของดวงอาทิตย์ (klux)	ประสิทธิภาพการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Lm/W)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการ (kW)
9.00-10.00	53.1	110.29	46.9
10.00-11.00	69.8	107.51	63.3
11.00-12.00	81.2	105.92	74.8
12.00-13.00	94.9	105.55	87.7
13.00-14.00	78.1	106.57	71.5
14.00-15.00	63.6	108.27	57.3
15.00-16.00	51.2	111.33	44.8

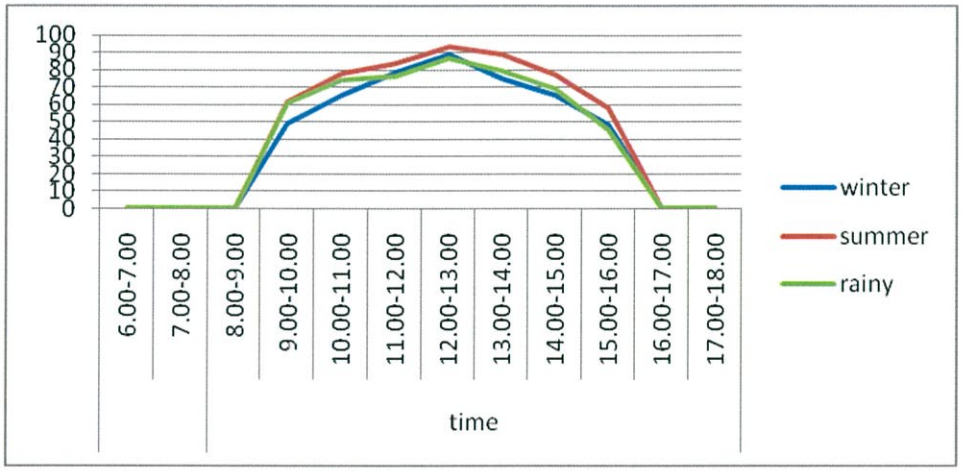
จากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future Center รายวันในเดือนธันวาคม สามารถนำมาวาดเป็นเส้นโค้ง Power Curve ได้ดังนี้ ประมาณกำลังการผลิตได้ 446.3 kW-hr



รูปที่ 4.38 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center รายวันในเดือนธันวาคม

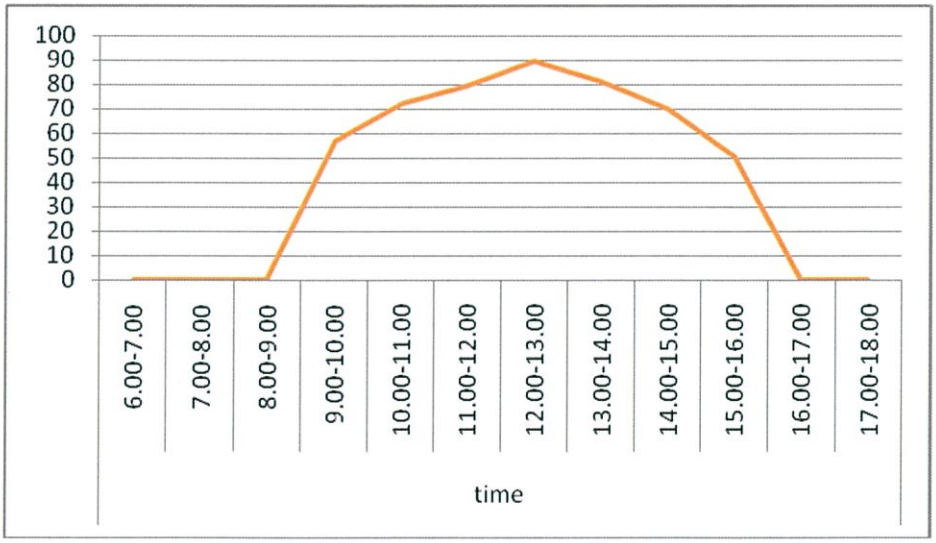
แล้วเมื่อนำเส้นโค้ง Power Curve มาเปรียบเทียบกันระหว่าง 3 ฤดูกาล โดยเส้นสีแดงเป็นการเฉลี่ยข้อมูลในเดือนมีนาคม-มิถุนายน จะได้เส้นโค้ง Power Curve ของฤดูร้อนมีพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตอยู่ที่ 540 kW-hr เส้นสีเขียวเป็นการเฉลี่ยข้อมูลในเดือนกรกฎาคม-เดือนตุลาคม จะได้เส้นโค้ง Power Curve ของฤดูฝนมีพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตอยู่ที่ 490 kW-hr และเส้นสีฟ้าเป็นการเฉลี่ยข้อมูลในเดือนพฤษจิกายน-กุมภาพันธ์ จะได้เส้นโค้ง Power Curve ของฤดูหนาวมีพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตอยู่ที่ 470 kW-hr จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละฤดู มีค่าที่แตกต่างกันออกไปเนื่องจากผล

ของสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีระบบจัดการพลังงานที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละฤดูกาล เพื่อให้สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอต่อความต้องการในการใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งวันของในแต่ละฤดูกาล



รูปที่ 4.39 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center ในแต่ละฤดู

เมื่อเฉลี่ยข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าในหนึ่งปี จะทำให้สามารถประมาณการผลิตกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในหนึ่งวันซึ่งมีพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตอยู่ที่ 500 kW-hr ได้ดังนี้

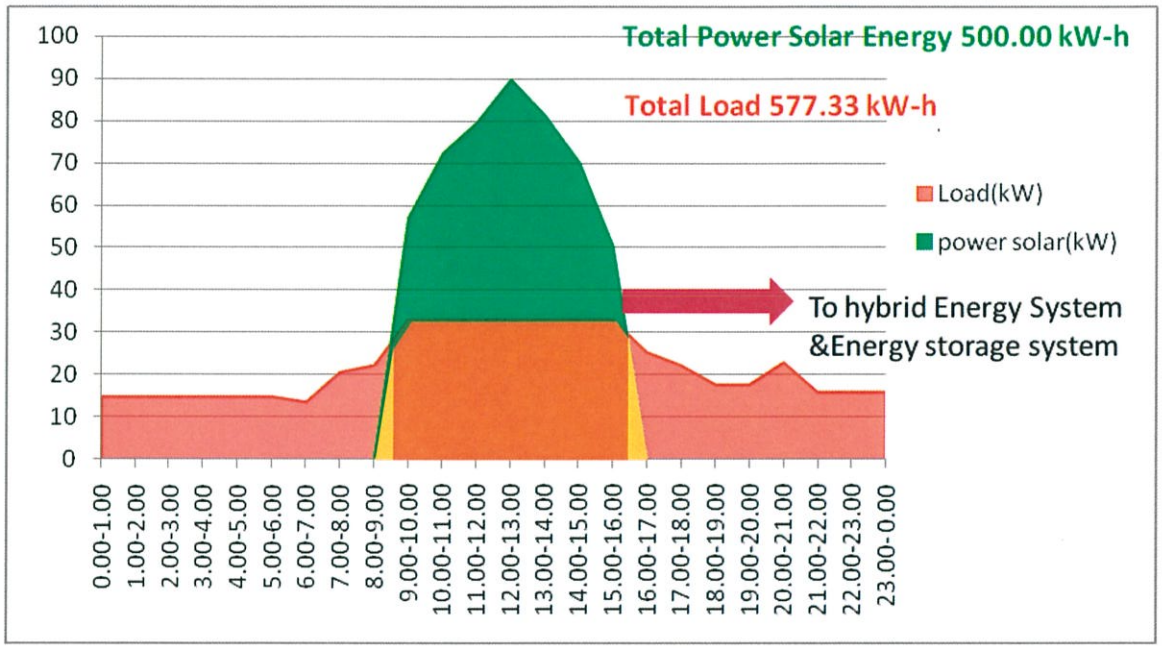


รูปที่ 4.40 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก Future Center เฉลี่ยในหนึ่งวัน

เมื่อเปรียบเทียบกำลังการผลิตกับความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดในอาคาร Future Center โดยทำการพล็อตข้อมูลลงบนกราฟเดียวกัน พบว่าสามารถแบ่งพื้นที่ของกราฟได้ออกเป็น 4 ส่วนได้แก่ บริเวณพื้นที่สีแดงเป็นบริเวณที่ไม่มีกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซล่าเซลล์ บริเวณพื้นที่สีเขียวเป็นบริเวณที่กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซล่าเซลล์มีมากเกินความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลด บริเวณพื้นที่สีเหลืองเป็นบริเวณที่กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซล่าเซลล์แต่ไม่เพียงพอกับความ

ต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดและบริเวณพื้นที่สีส้มเป็นบริเวณที่สามารถใช้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากโซล่าเซลล์จ่ายให้กับโหลดได้

ซึ่งข้อมูลจากกราฟที่ได้นี้จะทำให้เราทราบช่วงเวลาของกำลังการผลิตไฟฟ้าและความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าว่าอยู่ในเงื่อนไขใด ทำให้สามารถบริหารจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการจัดการพลังงานแบบผสมผสาน(Hybrid Energy System) และการจัดการสำรองพลังงาน(Charging and Storage System)



รูปที่ 4.41 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เทียบกับความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลด

บทที่ 5

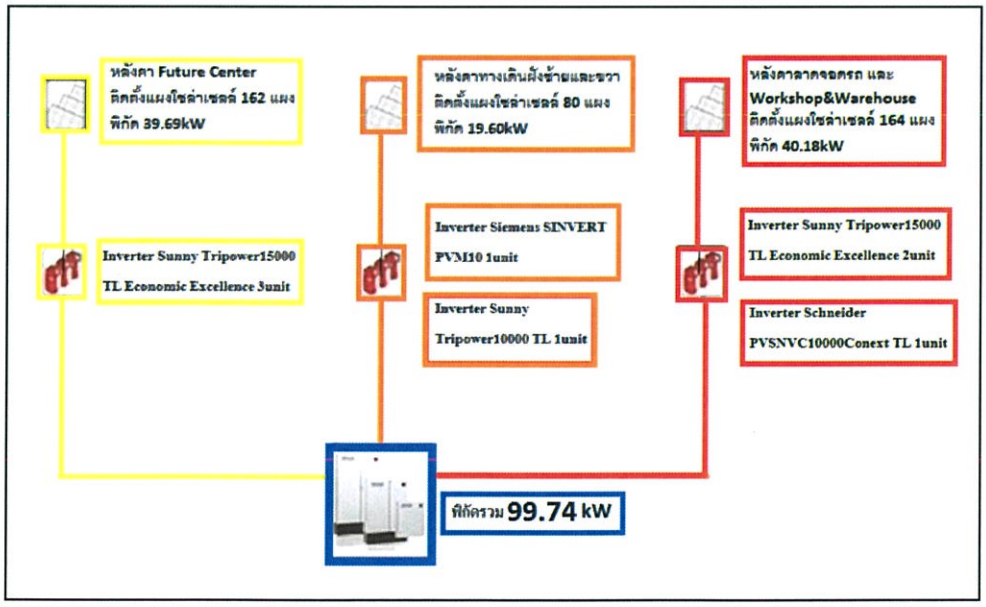
สรุปผลการทดลอง

ในการออกแบบการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์และInverter ในโครงการ Future Center สามารถแบ่งพื้นที่ในการติดตั้งได้เป็น 3 บริเวณได้แก่ บริเวณอาคาร Future Center, บริเวณทางเดินฝั่งซ้ายและขวา และบริเวณหลังคาลานจอดรถรวมกับหลังคา Workshop & Warehouse โดยทั้ง 3 บริเวณสามารถติดตั้งแผงโซล่าเซลล์และติดตั้งInverter ได้ดังต่อไปนี้

1. บริเวณอาคาร Future Center บริเวณนี้มีพื้นที่ 20x19m^2 สามารถติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ได้ 162 แผง คิดเป็นกำลังการผลิต 39.69 kW โดยเลือกติดตั้ง Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาดพิกัด 15 kW 3 ตัว

2. บริเวณหลังคาทางเดิน ฝั่งซ้ายและฝั่งขวา มีพื้นที่ 47x1.6m^2 และ 33x1.6m^2 ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ได้ 80 แผงคิดเป็นกำลังการผลิต 19.6 kW โดยเลือกติดตั้ง Inverter เทคโนโลยีที่ 4 ขนาดพิกัด 10kW 1 ตัว และ Inverter เทคโนโลยีที่ 3 ขนาดพิกัด 10kW 1 ตัว

3. บริเวณหลังคาลานจอดรถ และหลังคาWorkshop & Warehouse โดยบริเวณหลังคาลานจอดรถมีพื้นที่ 25x5m^2 และ 13x5m^2 ส่วนบริเวณหลังคา Workshop & Warehouse มีพื้นที่ 20x12m^2 ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ได้ 164 แผง คิดเป็นกำลังการผลิต 40.18 kW โดยเลือกติดตั้ง Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาดพิกัด 15 kW 2 ตัว และ Inverter เทคโนโลยีที่ 2 ขนาดพิกัด 10 kW 1 ตัว



รูปที่ 5.1 สรุปภาพรวมการออกแบบการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์และInverter

ในการออกแบบเลือกใช้ Inverter หลายเทคโนโลยีเนื่องจากต้องการศึกษาการทำงานรวมกันของ Inverter และเมื่อติดตั้งใช้งานจริงจะทำให้สามารถทราบถึงข้อดี ข้อเสียของ Inverter แต่ละเทคโนโลยีได้ง่ายซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ต้องการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์เพื่อใช้งานในที่พักอาศัย เมื่อเข้ามาเรียนรู้ภายในโครงการ

การคำนวนกำลังการผลิตสามารถคำนวณได้จาก ค่าความสว่าง(Illuminance), ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous efficacy), พื้นที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ (Area) และประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์ (Efficiency of Solar cell) โดยใช้สมการ

$$\text{Power(W)} = \frac{\text{Illuminance}(^{\text{Lm}}/_{\text{m}^2}) \times \text{Area}(\text{m}^2) \times \text{Efficiency of Solar cell}}{\text{Luminous Efficacy}(^{\text{Lm}}/_{\text{W}})}$$

เมื่อคำนวณจะได้กราฟกำลังการผลิตในแต่ละช่วงเวลา โดยกำลังการผลิตในแต่ละช่วงเวลานั้นจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในแต่ละเดือน และช่วงฤดูกาล ซึ่งจะเห็นว่าฤดูร้อนมีพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดอยู่ที่ 540 kW-hr เมื่อเทียบกับฤดูฝนและฤดูหนาวซึ่งสามารถพลังงานไฟฟ้าได้ที่ 490 และ 470 kW-hr ตามลำดับ การจัดการพลังงานในแต่ละช่วงเวลาจึงมีลักษณะแตกต่างโดยเมื่อพิจารณากราฟกำลังการผลิตซึ่งมีพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้อยู่ที่ 500 kW-hr เทียบกับกราฟความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลด จะช่วยให้การบริหารจัดการพลังงานทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบจำหน่ายนั้นจะต้องคำนึงถึงคุณภาพไฟฟ้าเมื่อมีการจำหน่ายไฟคืนกลับให้ระบบจำหน่าย จะต้องส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายน้อยที่สุด ซึ่งอินเวอร์เตอร์ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายได้นั้นจะต้องผ่านมาตรฐานการทดสอบที่กำหนด

เอกสารอ้างอิง

[1] "กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน", ces.kmutt
[ออนไลน์]: http://www.ces.kmutt.ac.th/PV_text/Operator_CH1toCH5.pdf

[2] "Solar PV Rooftop", solartron
[ออนไลน์]: http://www.solartron.co.th/Product_SolarPVRooftop_Main.htm#2

[3] ชาญชัย อาจินสมาจาร, **พลังงานดวงอาทิตย์** , กรุงเทพฯ, โอเดียนสโตร์, 2535.

[4] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) และ สมาคมสำรวจข้อมูล ระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย, **ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ศาสตร์**, กรุงเทพฯ, สำนักพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552

[5] "ความรู้อุตุนิยมวิทยา", tmd
[ออนไลน์]: http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=20

[6] "ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์", Leonics
[ออนไลน์]: www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php

[7] ชนกันต์ วุฒิเนตรเนติรักษ์, ทีปกร สุประเสริฐ และ ณัฐกานต์ เหลืองรุ่งทรัพย์, "ศูนย์พลังงานทดแทน เพื่ออนาคต: การออกแบบและการบริหารจัดการระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์," **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555

[8] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, คู่มือการพัฒนาและการลงทุน การผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์, ปีที่1, ฉบับที่1, 2553.

[9] กองบรรณาธิการหนังสือพิเศษด้านด้านอิเล็กทรอนิกส์, **แบตเตอรี่และเครื่องชาร์จ**, กรุงเทพฯ, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2010.

[10] "แบตเตอรี่", Leonics
[ออนไลน์]: http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/greenway14.php

[11] ผู้ช่วยศาสตราจารย์บรรจบ สุขประภาภรณ, "พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และการออกแบบระบบโซลาเซลล์",
[ออนไลน์]: http://www.ind.cru.in.th/articleind/33.pdf

[12] "ความหมายและชนิดของอินเวอร์เตอร์", Solarsmileknowledge [ออนไลน์]:http://solarsmileknowledge.wordpress.com/inverter/

[13] "คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน", erc [ออนไลน์]:http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Front/StaticPage/StaticPage.aspx?p=200 &Tag=SolarRooftop

[14] "ข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย", dede[[ออนไลน์]:http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=889&Itemid=56&lang=th

[15] Litthanoulok Laspho and Pipat Chaiwiwatworakul, "Assessment and Modeling of the Daylight Efficacy in Thailand," **IEEE First Conference on Clean Energy and Technology CET**, 2011, pp. 222

[16] "Solar Charts", ozone.tmd [ออนไลน์]: http://ozone.tmd.go.th/SolarChart2.html

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลของ Inverter

1.ข้อมูลของ Inverter เทคโนโลยีที่ 1

SUNNY TRIPOWER 15000TL / 20000TL
ECONOMIC EXCELLENCE



Economical
- Maximum efficiency 98.5%
- OptiTrac for best MPP tracking efficiency

- Active temperature management with OptiCool
- Bluetooth® communication

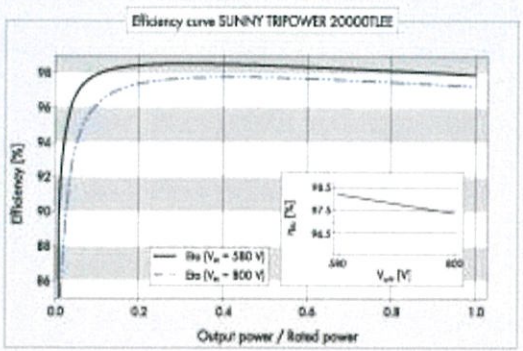
Simple
- Three-phase feed-in
- Cable connection without tools
- SUNCLIX DC plug-in system

Flexible & future-proof
- DC input voltage up to 1,000 V
- Integrated grid management functions
- Reactive power capability

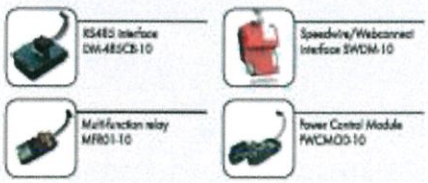
SUNNY TRIPOWER 15000TL /20000TL ECONOMIC EXCELLENCE

The expert cost saver for high-yield, commercial plants

Peak performance at a significantly reduced specific price: the new Sunny Tripower TL Economic Excellence is the next logical step in the development of the Sunny Tripower series in terms of achieving an optimum price-performance ratio. On the one hand, it brings with it a considerable reduction in investment costs, while on the other hand guaranteeing exceptionally high yields with an efficiency of 98.5%. Hence, the Sunny Tripower TL Economic Excellence is the ideal inverter solution for uniformly structured PV plants on the medium to very large scale. The focus is on the essentials and meets all requirements, including reactive power provision, grid support, and grid management integration.



Accessories



* Does not apply to all national appendices of EN 50438
Provisional data, as of January 2012

Provisional Technical Data	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 15000TL
Input (DC)		
Max. DC power (@ cos φ = 1)	20 450 W	15 260 W
Max. input voltage	1 000 V	1 000 V
MPP voltage range with a line voltage of 230 V / rated input voltage	580 V - 800 V / 580 V	580 V - 800 V / 580 V
Min. input voltage / start input voltage	570 V / 620 V	570 V / 620 V
Max. input current	36 A	36 A
Max. input current per string	36 A	36 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	1 / 6	1 / 6
Output (AC)		
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	20 000 W	15 000 W
Max. apparent AC power	20 000 VA	15 000 VA
Nominal AC voltage	3 / N / PE, 230 V / 400 V	3 / N / PE, 230 V / 400 V
Nominal AC voltage range	160 V - 280 V	160 V - 280 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / –6 Hz, +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / –6 Hz, +5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	29 A	24 A
Power factor at rated power	1	1
Displacement power factor, adjustable	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	3 / 3
Efficiency		
Max. efficiency / European weighted efficiency	98.5% / 98.2%	98.5% / 98.3%
Protective devices		
DC-side disconnection device	○	○
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
DC surge arrester (type II), can be integrated	–	–
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / –	● / ● / –
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	●	●
Protection class (as per IEC 62103) / overvoltage category (as per IEC 60664-1)	I / III	I / III
General data		
Dimensions (W/H/D)	665 / 680 / 265 mm (26.2 / 26.8 / 10.4 inch)	665 / 680 / 265 mm (26.2 / 26.8 / 10.4 inch)
Weight	45 kg (99.2 lb)	45 kg (99.2 lb)
Operating temperature range	–25 °C ... +60 °C (–13 °F ... +140 °F)	–25 °C ... +60 °C (–13 °F ... +140 °F)
Noise emission (typical)	51 dB(A)	51 dB(A)
Self-consumption (at night)	1 W	1 W
Topology / cooling concept	Transformerless / OptiCool	Transformerless / OptiCool
Degree of protection (per IEC 60529)	IP65	IP65
Climatic category (as per IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%	100%
Features		
DC terminal	SUNCLIX	SUNCLIX
AC connection	Spring clamp terminal	Spring clamp terminal
Display	Chart	Chart
Interfaces: RS485 / Bluetooth® / Speedwire / Webconnect	○/●/○/○	○/●/○/○
Multifunction relay / Power Control Module	○/○	○/○
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○
Certificates and approvals (more available on request)	AS 4777, BDEW 2008, C10/11, CE, CEI 0-21, EN 50438*, G59/2, IEC61727, PPC, PPDS, RD 1699, RD 661/2007, SI4777, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105	

● Standard features ○ Optional features – Not available – Data at nominal conditions

Type designation	STP 20000TLEE-10	STP 15000TLEE-10

2. ข้อมูลของ Inverter เทคโนโลยีที่ 4

SUNNY TRIPOWER
10000TL / 12000TL / 15000TL / 17000TL



Efficient
- Maximum efficiency of 98.1 %
- OptiTrac Global Peak for best tracking efficiency^
- Bluetooth Communication

Safe
- Electronic string fuse and failure detection
- Integrable DC overvoltage protector (Type II)
- String current monitoring

Flexible
- DC input voltage up to 1,000 V
- Integrated grid management functions
- Tailor-made plant design with Optiflex

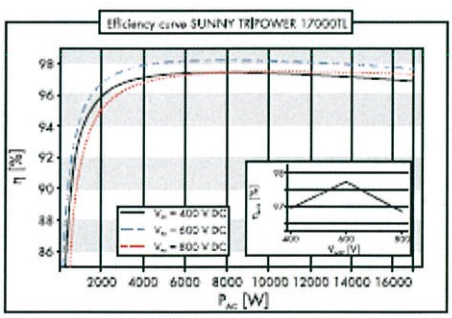
Simple
- Three-phase feed-in
- Cable connection without tools
- DC plug system SUNCLIX
- Easily accessible connection area

SUNNY TRIPOWER
10000TL / 12000TL / 15000TL / 17000TL
The three-phase inverter for easy system design

Packed full of pioneering technology: thanks to the new Optiflex technology with two MPP inputs and its very broad input voltage range, the three-phase Sunny Tripower is suited to almost any module configuration. In addition, it is highly flexible in terms of the plant design – right up to the megawatt range. The Sunny Tripower meets all the requirements for reactive power supply, utility interaction management and grid support, thus making a reliable contribution to grid management. The extensive Optiprotect safety concept, with its self-learning string failure detection, electronic string fuse and integrable DC overvoltage protector Type II, ensures maximum availability.

Technical data	Sunny Tripower 10000TL	Sunny Tripower 12000TL	Sunny Tripower 15000TL	Sunny Tripower 17000TL
Input (DC)				
Max. DC power (@ cos φ = 1)	10200 W	12250 W	15300 W	17410 W
Max. DC voltage	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V
MPP voltage range	320 V – 800 V	380 V – 800 V	360 V – 800 V	400 V – 800 V
DC nominal voltage	600 V	600 V	600 V	600 V
Min. DC voltage / start voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current / per string	A: 22 A, B: 11 A / 33 A	A: 22 A, B: 11 A / 33 A	A: 33 A, B: 11 A / 33 A	A: 33 A, B: 11 A / 33 A
Number of MPP tracks / strings per MPP tracker	2 / A: 4, B: 1	2 / A: 4, B: 1	2 / A: 5, B: 1	2 / A: 5, B: 1
Output (AC)				
AC nominal power (@ 230 V, 50 Hz)	10000 W	12000 W	15000 W	17000 W
Max. AC apparent power	10000 VA	12000 VA	15000 VA	17000 VA
Nominal AC voltage, range	3 / N / PE, 220 V / 380 V, 160 V – 280 V			
AC grid frequency, range	50, 60 Hz, –6 Hz, +5 Hz	50, 60 Hz, –6 Hz, +5 Hz	50, 60 Hz, –6 Hz, +5 Hz	50, 60 Hz, –6 Hz, +5 Hz
Max. output current	16 A	19.2 A	24 A	24.6 A
Power factor (cos φ)	0.8 leading ... 0.8 lagging			
Phase conductors / connection phases / power balancing	3 / 3 / –	3 / 3 / –	3 / 3 / –	3 / 3 / –
Efficiency				
Max. efficiency / Euro-eta	98.1 % / 97.7 %	98.1 % / 97.7 %	98.1 % / 97.7 %	98.1 % / 97.7 %
Protection devices				
DC reverse-polarity protection / reverse current protector	●/electronic	●/electronic	●/electronic	●/electronic
ESS switch-disconnector	●	●	●	●
AC short-circuit protection	●	●	●	●
Ground-fault monitoring	●	●	●	●
Grid monitoring (SMA Grid Guard)	●	●	●	●
Galvanically isolated / adjustable leakage current monitoring unit	–/●	–/●	–/●	–/●
DC overvoltage protection type II	○	○	○	○
String failure detection	●	●	●	●
Protection class / overvoltage category	I / III	I / III	I / III	I / III
General data				
Dimensions (W / H / D) in mm	665 / 690 / 265	665 / 690 / 265	665 / 690 / 265	665 / 690 / 265
Weight	65 kg	65 kg	65 kg	65 kg
Operating temperature range	–25 °C ... +60 °C	–25 °C ... +60 °C	–25 °C ... +60 °C	–25 °C ... +60 °C
Noise emission (typical)	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com
Internal consumption (night)	1 W	1 W	1 W	1 W
Topology	transformerless	transformerless	transformerless	transformerless
Cooling concept	OptiCool	OptiCool	OptiCool	OptiCool
Electronics protection rating / connection area (as per IEC 60529)	IP65 / IP55	IP65 / IP55	IP65 / IP55	IP65 / IP55
Climatic category (per IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H	4K4H	4K4H
Features				
DC connection: SUNCLIX	●	●	●	●
AC connection: screw terminal / spring-type terminal	–/●	–/●	–/●	–/●
Display: text line / graphic	–/●	–/●	–/●	–/●
Interfaces: RS485 / Bluetooth	○/●	○/●	○/●	○/●
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○
Certificates and permits (more available on request)	CE, VDE 0126-1-1, EmkGIII DA, G83/1-1*, PPC, AS4777, EN 50438**, C10/C11, IEC 61727			

*In planning, ** Does not apply to all national deviations of EN 50438
● Standard feature ○ Optional feature – Not available
Provisional data, as of March 2010 – data at nominal conditions
Type designation: STP 10000TL-10 | STP 12000TL-10 | STP 15000TL-10 | STP 17000TL-10



Accessories


RS485 interface
DM-485CB-10


DC overvoltage protector
type II, type A
DCSPD N11-10


DC overvoltage protector
type II, type A and B
DCSPD N12-10

3. ข้อมูลของ Inverter เทคโนโลยีที่ 3

Technical Data
SINVERT PVM10

SIEMENS

Issue 12.11.2009

The solar inverter SINVERT PVM10 is used in PV systems to convert the direct current from the PV generators into a three-phase current. The three-phase current is then supplied to the connected power grid. The inverter design is optimized for the lowest possible energy losses and thus the highest possible efficiency. Due to the EMC approved design the inverter is suitable for operation in areas susceptible to electromagnetic disturbance.

The system is provided with standardized interfaces so that it can be integrated into a control system or an existing installation.

Special features:

- Optimized for high efficiency
- Compact design, very easy to install
- Integrated graphical operator panel



Technical data issued by: Siemens. © Siemens AG 2009. All rights reserved.

Output side (AC)		
Rated grid voltage $U_{ac,r}$	V	3AC 400
Grid voltage U_{ac} [1]	V	0.8 $U_{ac,r}$ ... 1.2 $U_{ac,r}$
Rated frequency f_r	Hz	50
Grid frequency f [1]	Hz	0.95 f_r ... 1.02 f_r
Rated power $P_{ac,r}$	kW	10.0 (at DC 600 V / cos phi 1)
Maximum output power $P_{ac,max}$	kW	10.0
Maximum output current $I_{ac,max}$	A	18
cos phi (at $P_{ac,r}$)		1 (0.9i ... 0.9c)
THD I (at $P_{ac,r}$)	%	< 2.5
Grid configuration		TN-S
Network protection	A	32 (Type B)
Surge protection (internal)		Type 3
Input side (DC)		
MPP voltage range $U_{mpp,min}$ ... $U_{mpp,max}$	V	380 ... 850
Start-up input voltage $U_{dc,start}$	V	350
Maximum input voltage $U_{dc,max}$	V	1000
Maximum voltage for operation $U_{dc,op}$	V	950
Minimum voltage for operation $U_{dc,min}$	V	350
Rated input power $P_{dc,r}$	kW	10.2 (at DC 600 V)
Maximum input current $I_{dc,max}$	A	29
Number of DC inputs		4
Maximum current per DC input	A	25
DC disconnection switch		built-in
Surge protection (internal)		Type 3
Efficiency		
European weighted efficiency (Euro eta)	%	97.4
Maximum efficiency	%	98.0
Night-time power losses	W	0.5
Minimum DC power for operation	W	60
Dimensions and weight		
Width	mm	530
Height	mm	601
Depth	mm	270
Weight	kg	40

[1] The given values describe the technical characteristics of the device. The locally applicable limits for the grid monitoring function are set during commissioning at the device itself. Those values may differ from the above stated values.

Technical data issued by: Siemens. © Siemens AG 2009. All rights reserved.

General technical specifications		
Galvanic isolation		N/A (transformerless topology)
Noise level	dB(A)	< 45
Maximum altitude for operation (without derating)	m	2000
Installation		suitable for outdoor installation
Mounting method		wall fastening (wall mounted frame included)
Cooling method		natural convection
Colour		RAL 7035 (light grey)
Climatic conditions		
Ambient temperature for operation	°C	-25 ... 55
Ambient temperature for storage and operation	°C	-25 ... 70
Maximum temperature for maximum power	°C	50
Relative humidity	%	4 ... 100
Other climatic conditions		4K4H (EN 60721-3-4)
Applicable standards and conformity		
Conformity		CE
Grid monitoring (ENS)		VDE 0126-1-1
Safety		EN 50178
EMC immunity		EN 61000-6-2
EMC emission		EN 61000-6-4
Harmonics		EN 61000-3-12
Flicker		EN 61000-3-11
Degree of protection		IP65 (EN 60529)
Protection class		I
Connectors		
Input DC		connector MC4 (not included)
Output AC [2]		connector (included) max. 6 mm² finely stranded max. 18 mm outer cable diameter
Communication Ethernet		connector (included)
Communication RS485		connector (included, 2 pieces)
Irradiation sensor		connector (included)
Relay output for faults		connector (included)

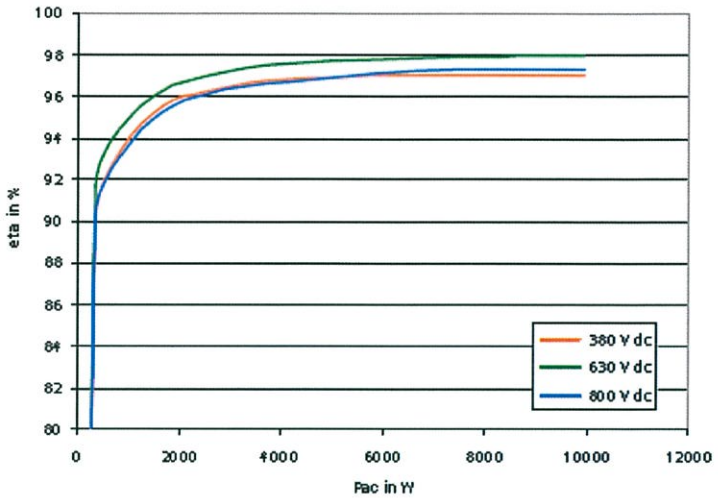
[2] A connector suitable for a maximum cable size of 10 mm² and a maximum outer cable diameter of 24 mm is available as an option.

Technical data issued by: Siemens. © Siemens AG 2009. All rights reserved.

Operator panel

Display type		graphical (with backlight)
Display resolution	pixel	128 x 64
Operation		membrane keypad, 8 keys

Efficiency curve



Ordering information

Order number (MLFB)	6AG3120-3JB02-0AC0

Technical data issued by: Siemens. © Siemens AG 2009. All rights reserved.

4. ข้อมูลของ Inverter เทคโนโลยีที่ 2

Product data sheet
Characteristics

PVSNVC10000
Conext TL - 10kVA inverter



Main

Range of product	Conext TL
Device short name	TL 10000 E
Product or component type	Grid-tie solar inverter
Network number of phases	Three phase
Nominal output power	10 kVA

Complementary

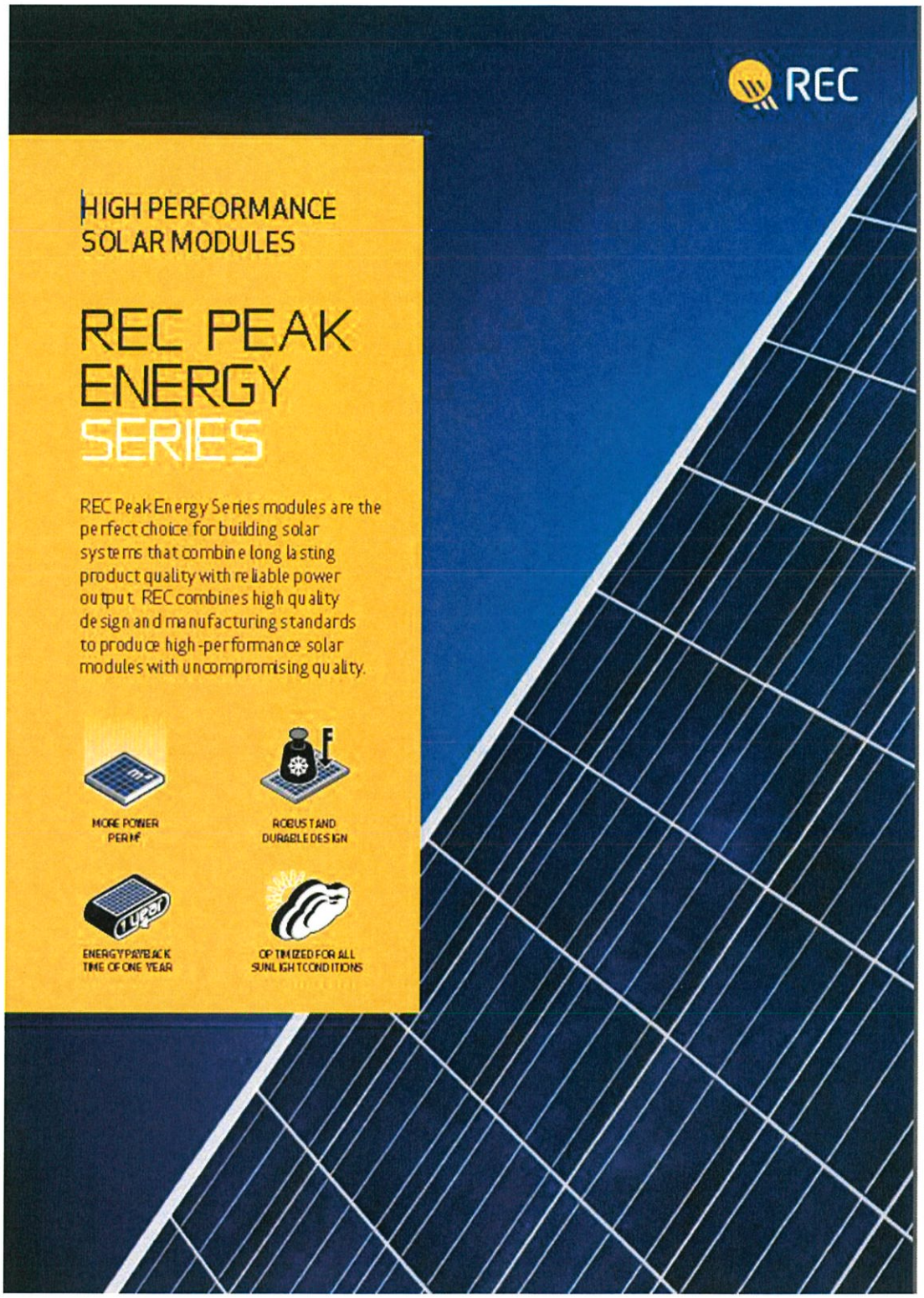
Photovoltaic power	10.4 kW input power for maximal output power
Output voltage	230/400 V AC (nominal)
Number of MPPT	2
Maximum output current	16 A AC
Frequency	50/60 Hz +/- 3 Hz (output)
Cos phi	0.8 leading to lagging
Harmonic distortion	< 3 % at rated power
Input voltage	200 V DC at start 350...850 V DC MPPT <= 1000 V DC open circuit
Input current per MPPT	<= 17 A
Efficiency	98.3 % peak 97.7 % European
Power consumption in W	< 2 W night time
Topology	Transformerless
Function available	Embedded data logger (365 days) Standard integrated DC disconnect Remote inverter disable Dry contact
Relay type	Multifunction control relay
Communication interface	Modbus (RS485)
Type of connector	- (IP67 - output) Multicontact MC4 - input)
Type of cooling	Fan
Height	62.5 cm
Width	61.2 cm
Depth	27.8 cm
Product weight	41 kg
Acoustic level	< 50 dBA
Enclosure material	Aluminium

Environment

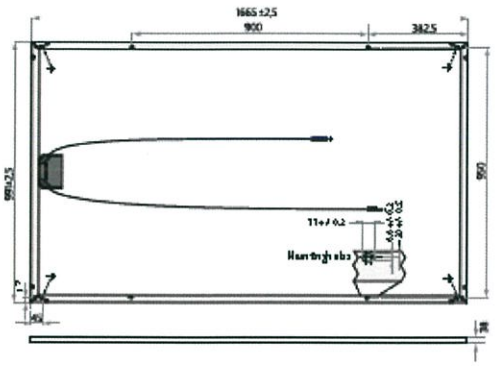
IP degree of protection	IP65 (electronic) IP55 (balance)
Ambient air temperature for operation	-20...60 °C
Electromagnetic compatibility	Immunity for industrial environments conforming to EN 61000-6-2 Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments conforming to EN 61000-6-3
Standards	VDE 0126-1-1 RD 1663 RD 661 AS 3100 VDE-AR-N 4105 RD 1699 CEI 0-21 UTE C 15-712-1
Product certifications	CE marked for low voltage directive 2006/95/EC conforming to 62109-1/62109-2 CE marked for EMC directive 2004/108/EC
Operating altitude	< 2000 m without derating
Relative humidity	4...100 % (condensing)
Environmental characteristic	REACH

ภาคผนวก ข

ข้อมูลของแผงโซล่าเซลล์


REC
HIGH PERFORMANCE
SOLAR MODULES
REC PEAK
ENERGY
SERIES
REC Peak Energy Series modules are the perfect choice for building solar systems that combine long lasting product quality with reliable power output. REC combines high quality design and manufacturing standards to produce high-performance solar modules with uncompromising quality.
MORE POWER PER M²
ROBUST AND DURABLE DESIGN
1 year
ENERGY PAYBACK TIME OF ONE YEAR
OPTIMIZED FOR ALL SUNLIGHT CONDITIONS

REC PEAK ENERGY SERIES



15.1% EFFICIENCY

63 MONTHS WORKMANSHIP WARRANTY

25 YEAR POWER OUTPUT WARRANTY

ELECTRICAL DATA@STC	REC220PE	REC225PE	REC230PE	REC235PE	REC240PE	REC245PE	REC250PE
Maximum Power - P_{MAX} (Wp)	220	225	230	235	240	245	250
Watt Class Tolerance - P_{TOL} (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Maximum Power Voltage - V_{MPP} (V)	28.6	28.9	29.2	29.6	29.9	30.2	30.5
Maximum Power Current - I_{MPP} (A)	7.7	7.8	7.9	8.0	8.0	8.1	8.2
Open Circuit Voltage - V_{OC} (V)	35.9	36.2	36.5	36.7	37.0	37.2	37.5
Short Circuit Current - I_{SC} (A)	8.3	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8
Module Efficiency (%)	13.3	13.6	13.9	14.2	14.5	14.8	15.1

Values at standard test conditions STC (air mass AM 1.5, irradiance 1000 W/m², cell temperature 25 °C)

At low irradiation of 200 W/m² (AM 1.5 and cell temperature 25 °C) at least 97 % of the STC module efficiency will be achieved.

ELECTRICAL DATA@NOCT	REC220PE	REC225PE	REC230PE	REC235PE	REC240PE	REC245PE	REC250PE
Maximum Power - P_{MAX} (Wp)	164	167	170	173	176	179	182
Maximum Power Voltage - V_{MPP} (V)	26.3	26.6	26.8	27.1	27.3	27.6	27.9
Maximum Power Current - I_{MPP} (A)	6.2	6.3	6.3	6.4	6.4	6.5	6.6
Open Circuit Voltage - V_{OC} (V)	33.2	33.4	33.6	33.8	34.1	34.3	34.5
Short Circuit Current - I_{SC} (A)	6.7	6.8	6.8	6.9	7.0	7.0	7.1

Normal operating cell temperature NOCT (800 W/m², AM 1.5, windspeed 1 m/s, ambient temperature 20 °C)

TEMPERATURE RATINGS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	47.9 °C (±2 °C)
Temperature Coefficient of P_{MPP}	-0.43 %/°C
Temperature Coefficient of V_{OC}	-0.33 %/°C
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.074 %/°C

GENERAL DATA

Cell Type	60 REC PE multi-crystal line cells 3 strings of 20 cells - 3 by-pass diodes
Glass	Solar glass with anti reflection surface treatment by Sunarc Technology
Back Sheet	Double layer highly resistant polyester
Frame	Anodized aluminium
Cable	Radox 4 mm² solar cable, 0.90 m +1.20 m
Connectors	Radox 4 mm² twistlocking connector

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ... +80 °C
Maximum System Voltage	1000 V
Maximum Load	551 kg/m² (5400 Pa)
Maximum Wind Speed	197 km/h (safety factor 3)
Maximum Series Fuse Rating	15 A
Maximum Reverse Current	15 A

CERTIFICATION

Certificate according to IEC 61215 and IEC 61730

WARRANTY

10 years limited warranty of 90% power output
25 years limited warranty of 80% power output
63 months workmanship warranty

MECHANICAL DATA

Dimensions	1665 x 991 x 38 mm
Area	1.65 m²
Weight	18 kg

Note! Specifications subject to change without notice.

REC is a leading vertically integrated player in the solar energy industry. REC is among the world's largest producers of polysilicon and wafers for solar applications, and a rapidly growing manufacturer of solar cells and modules. REC is also engaged in project development activities in selected PV segments. Founded in Norway, REC is an international solar company, employing more than 4,200 people worldwide. REC had revenues close to NOK 14 billion in 2010.

REC

www.recgroup.com

ภาคผนวก ค

รายชื่อเทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์ที่มีผลทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนด

การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

รายชื่อผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่มีผลทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

No.	ชื่อผู้ผลิต	ชื่อรุ่น (Model)	Rated Power	AC Voltage Rated	การติดตั้งใช้งาน
1.	Schneider	XC 680	680 kW	3P, 380 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด
		XC 630	630 kW	3P, 350 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด
		XC 540	540 kW	3P, 300 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด
		Conext TL 20000 E	20 kW	3P, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		Conext TL 15000 E	15 kW	3P, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		Conext RL 3000 E, Conext RL 3000 E-S	3 kVA	1P, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		Conext RL 4000 E, Conext RL 4000 E-S	4 kVA	1P, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		Conext RL 5000 E, Conext RL 5000 E-S	5 kVA	1P, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
2.	ABB	PVS800-57-1000KW-C	1,000 kW	3P, 400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด
		PVS800-57-0630KW-B	630 kW	3P, 350 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด
		PVS800-57-0500KW-A	500 kW	3P, 300 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด
		PVS800-57-0250W-A	250 kW	3P, 300 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด
		PVS300-TL-3300W-2	3.3 kW	1P, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		PVS300-TL-4000W-2	4.0 kW	1P, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		PVS300-TL-4600W-2	4.6 kW	1P, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		PVS300-TL-6000W-2	6.0 kW	1P, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		PVS300-TL-8000W-2	8.0 kW	1P, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
3.	GROWATT	GROWATT 3600MTL-L0	3.6 kW	1P, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		GROWATT 4200MTL-L0	4.2 kW	1P, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		GROWATT 5000MTL-L0	4.6 kW	1P, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		GROWATT10000 UE	10 kW	3P, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด
		GROWATT12000 UE	12 kW	3P, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด
		GROWATT18000 UE	18 kW	3P, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด
		GROWATT20000 UE	20 kW	3P, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด

รายชื่อผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่มีผลทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (ต่อ)

No.	ชื่อผู้ผลิต	ชื่อรุ่น (Model)	Rated Power	AC Voltage Rated	การติดตั้งใช้งาน
4.	Leonics	Apollo G-4500 TL(P)	5.0 kW	1P, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		Apollo G-4300 TL(P)	3.0 kW	1P, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		Apollo GTP-512 HETL(P)	250 kW	3P, 300 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด
		Apollo GTP-507 HETL(P)	125 kW	3P, 300 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด
		Apollo GTP-4015 TL(P)	15 kW	3P, 220/380 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
5.	Frecon	F010i-4PV	10 kW	3P, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
6.	SMA	SB 3600TL-21	3.68 kW	1P, 180-280 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		STP 20000TLEE-10	20 kW	3P, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด
		STP 17000TL-10	17 kW	3P, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด
		SB 5000TL-21	4.6 kW	1P, 180-280 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		SB 3000TLST-21	3.0 kW	1P, 180-280 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		STP 9000TL-20	9.0 kW	3P, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
7.	Ablerex	ES 3300P	3.0 kW	1P, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		ES 5000P	5.0 kW	1P, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
8.	CEHE	EHE-N1.K5TL-TP	1.5 kW	1P, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		EHE-N2KTL-TP	2.0 kW	1P, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		EHE-N3KTL-TP	3.0 kW	1P, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		EHE-N4KTL-TP	4.0 kW	1P, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
		EHE-N4.K6TL-TP	4.6 kW	1P, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW

<u>หมายเหตุ</u> : อินเวอร์เตอร์รุ่นอื่นๆ ที่ไม่อยู่ในรายการข้างต้น สามารถเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ หากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคพิจารณาแล้วว่ามีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า

Updated: 15 พฤศจิกายน 2556

ภาคผนวก ง
แนวทางการทดสอบอินเวอร์เตอร์

สถาบันหรือหน่วยงานที่ทดสอบ

อินเวอร์เตอร์จะต้องผ่านการทดสอบโดยหน่วยงานหรือสถาบันทดสอบที่เป็นกลาง และได้รับการรับรองตามมาตรฐานห้องทดสอบจาก ISO/IEC 17025 (สาหรับอินเวอร์เตอร์) หรือได้รับการตรวจสอบและยอมรับจากการไฟฟ้านครหลวง

ประเภทของการทดสอบ

1. การทดสอบการออกแบบ (Design Test)

เป็นการทดสอบอินเวอร์เตอร์เพียงตัวเดียวที่เป็นตัวแทนของรุ่น เพื่อยืนยันว่าอินเวอร์เตอร์รุ่นที่จะนำมาติดตั้งใช้งานมีการออกแบบที่เหมาะสมตามข้อกำหนดทั้งในด้านการควบคุมคุณภาพไฟฟ้าและการตอบสนองต่อระบบไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์รุ่นที่เคยผ่านการทดสอบแล้วไม่ต้องทาการทดสอบการออกแบบซ้ำอีก หัวข้อการทดสอบคือ ฮาร์มอนิก แรงดันกระเพื่อม การจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ช่วงแรงดันทำงาน ช่วงความถี่ทำงาน การป้องกันการเกิดไอส์แลนดิ่ง และการเชื่อมต่อหลังไฟฟ้ากลับคืน และต้องผ่านการทดสอบโดยสถาบันที่ได้รับการตรวจสอบและยอมรับจากการไฟฟ้านครหลวง

2. การทดสอบประจำเครื่อง (Routine Test)

เป็นการทดสอบที่ต้องดำเนินการกับอินเวอร์เตอร์ทุกเครื่องที่จะนำไปติดตั้งใช้งาน เพื่อให้เกิดความมั่นใจในความปลอดภัยสูงสุดและป้องกันผลเสียที่อาจมีต่อระบบไฟฟ้า หัวข้อทดสอบที่ต้องทำการทดสอบประจำเครื่องคือ ช่วงแรงดันทางาน ช่วงความถี่ทางาน และการป้องกันการเกิดไอส์แลนดิ่ง

การทดสอบประจำเครื่องสามารถดำเนินการโดยสถาบันที่มีคุณสมบัติ หรือห้องทดสอบของผู้ผลิตอินเวอร์เตอร์ซึ่งได้รับการตรวจสอบและยอมรับจากการไฟฟ้านครหลวง

วิธีการทดสอบและเกณฑ์การประเมิน

1. การทดสอบฮาร์มอนิก

เป็นการทดสอบประเภท Design Test โดยให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบและเกณฑ์การประเมินตามมาตรฐาน IEEE 1547.1-2005 ซึ่งกำหนดให้ทดสอบวัดค่ากระแสฮาร์มอนิกเมื่ออินเวอร์เตอร์ทำงานที่ 33% 66% และ 100% ของพิกัดกระแส

2. การทดสอบแรงดันกระเพื่อม

เป็นการทดสอบประเภท Design Test โดยให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบและเกณฑ์การประเมินตามมาตรฐาน IEC 61000-3-3 (2008) สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่มีกระแสพิกัดไม่เกิน 16 A หรือมาตรฐาน IEC 61000-3-5 (2009) สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่มีกระแสพิกัดเกินกว่า 75 A หรือมาตรฐาน IEC 61000-3-11 (2000) สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่มีกระแสพิกัดไม่เกิน 75 A

3. การทดสอบการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

เป็นการทดสอบประเภท Design Test โดยให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบและเกณฑ์การประเมินตามมาตรฐาน IEEE 1547.1-2005 ซึ่งกำหนดให้ทดสอบวัดค่ากระแสตรงเมื่ออินเวอร์เตอร์ทำงานที่ 33% 66% และ 100% ของพิกัดกระแส

ภาคผนวก จ
บทความวิชาการ

บทความทางวิชาการ

เรื่อง ศูนย์พลังงานทดแทนเพื่ออนาคต : การพิสูจน์และสร้างระบบบริหารจัดการพลังงานแสงอาทิตย์

Future Center: Verification & Implementation of Solar Energy Management

ชุติภาส เกษประทุม[1] มหัฆพันธ์ ศิริโภคพัฒน์[1] สาธิต ดำสอาด[1] และ อภิธร วณสุขเกษม[2]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
[1]เลขที่1 ซอยฉลองกรุง1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 0-2739-2478

บทคัดย่อ

ในการออกแบบระบบพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ของโครงการ Future Center จะศึกษาอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบ ได้แก่ แผงโซล่าเซลล์ อินเวอร์เตอร์ เพื่อใช้ในการออกแบบและติดตั้งเข้ากับระบบในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะสามารถทราบกำลังการผลิตเบื้องต้นได้ วิเคราะห์พฤติกรรมของแสงอาทิตย์ ออกมาเป็นกราฟพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์(Power Curve) เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มแสงในแต่ละฤดู เพื่อใช้ในการบริหารและจัดการพลังงานที่ผลิตได้เพื่อจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าของ ศึกษาข้อกำหนดการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ และผลกระทบเมื่อเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบจำหน่าย โดยมีเป้าหมายให้เป็นโครงการต้นแบบในการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์, กราฟกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

Abstract

This thesis presents the design and management of solar energy system for Future Center. Describe how to choose suitable inverter for installation area. Develop electricity management system for Future Center. The solar behavior was studied for calculating the amount of solar electricity as power curves and compare power curves from each season. Study connection requirements of the solar cells and the effects when connected solar cells to distribution system. This thesis is a prototype for the design and management of solar powered electricity system. This system can be developed for more efficiency in the future.

Keyword: Solar cell, Solar curve

1. บทนำ

เนื่องจากความต้องการพลังงานของประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องมีการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ซึ่งราคาทางด้านพลังงานที่นำเข้านี้ผันผวนตลอดเวลาส่งผลให้เกิดความไม่มั่นคงในการจัดหาและใช้พลังงานของประเทศ จึงต้องมีการนำพลังงานทดแทนแบบหมุนเวียนเข้ามาเป็นทางเลือกในการแก้ปัญหา ทั้งนี้จึงได้มีโครงการศูนย์พลังงานทดแทนเพื่ออนาคตหรือ Future Center ขึ้นเพื่อศึกษาและวิจัยการนำพลังงานทางเลือกอื่นมาผลิตพลังงานไฟฟ้าแทน พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดและมีใช้อย่างไม่จำกัด จึงมีแนวคิดที่จะจัดทำโครงงานที่ใช้แสงอาทิตย์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยจะศึกษาการทำงานของระบบ การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ และพฤติกรรมของแสงอาทิตย์เพื่อใช้คาดการณ์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ แล้วนำผลไปวิเคราะห์เพื่อการบริหารจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพ

2.1 ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ [1]

ไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการเปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ไฟฟ้าดังกล่าวใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับไฟฟ้าจากแหล่งผลิตอื่นๆ สามารถใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรง เช่นระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในรถยนต์ และใช้กับเครื่องใช้กระแสสลับโดยผ่านเครื่องแปลงเป็นกระแสสลับที่เรียกว่าอินเวอร์เตอร์

เพื่อให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าโดยแสงอาทิตย์มีกำลังการผลิตเฉลี่ยสูงสุด จะต้องคำนึงถึงความเข้มของแสงอาทิตย์รวมถึงอุณหภูมิซึ่งจะเพิ่มขึ้นจากความร้อนของแสงอาทิตย์ ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ต่ำและอุณหภูมิที่สูงจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าลดต่ำลง

2.2 อุปกรณ์สำคัญในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ [2]

เซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรง หากต้องการนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับหรือเก็บสะสมพลังงานจะต้องทำงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งมีอุปกรณ์สำคัญๆ มีดังนี้

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง [2]

2. เครื่องประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger) เครื่องประจุแบตเตอรี่จะทำหน้าที่ประจุกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่ [3]

3. แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เพื่อใช้ในเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือแหล่งจ่ายอื่นไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ [3]

4. อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่หรือเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อใช้งานในอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป [2]

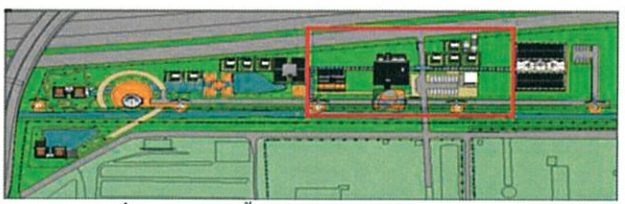
3.1 บริเวณที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ลงบนโครงการวิจัย

1. พื้นที่บริเวณหลังคาของ Future Center ขนาด 20×19 m^2ซึ่งคาดว่าจะสามารถติดตั้งโซล่าเซลล์ได้กำลังผลิต 40 kW

2. พื้นที่บริเวณหลังคาของ Workshop & Warehouse ขนาด 20×12 m^2และพื้นที่ของหลังคาลานจอดรถมี 2 ส่วน คือพื้นที่ขนาด 5.5×13 m^2และขนาด 5.5×25m^2ซึ่งคาดว่าจะสามารถติดตั้งโซล่าเซลล์ได้กำลังผลิต 40 kW

3. พื้นที่บริเวณหลังคาทางเดินฝั่งซ้ายและฝั่งขวาขนาด 88×1.6 m^2ซึ่งคาดว่าจะสามารถติดตั้งโซล่าเซลล์ได้กำลังผลิต 20 kW

ซึ่งจากการคาดการณ์ กำลังการผลิตที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะอยู่ที่ประมาณ 100 kW ซึ่งสามารถตอบสนองความต้องการในการใช้พลังงานสูงสุดของโครงการ Future Center ที่มีขนาดประมาณ 33 kW



รูปที่ 1 บริเวณติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในโครงการ

3.2 อุปกรณ์ที่เลือกใช้งานในโครงการ

1.แผงโซล่าเซลล์ มีกำลังการผลิต 245 w



รูปที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการ

2. Inverter จะมีการเลือกใช้ 2ขนาด คือ 10kW และ 15 kW โดยที่ขนาด 15 kW เลือกใช้ 1 ชนิดและขนาด 10 kW จะเลือกใช้ 3 ชนิด ดังนี้

- เทคโนโลยีที่ 1(ขนาด 15 kW)
- เทคโนโลยีที่ 4 (ขนาด 10 kW)
- เทคโนโลยีที่ 3 (ขนาด 10 kW)
- เทคโนโลยีที่ 2 (ขนาด 10 kW)

3.3 การติดตั้งแผงโซล่าเซลล์เข้ากับ Inverter

ในการออกแบบเราจะใช้โปรแกรม Greenius เพื่อช่วยในการออกแบบ โดยการกรอกค่าคุณสมบัติของแผงโซล่าเซลล์และInverterแต่ละชนิดลงไปในโปรแกรม ทำการSimulation ผลที่ได้จะทำให้เราทราบว่าInverterแต่ละชนิดสามารถเชื่อมต่อกับแผงโซล่าเซลล์ได้กี่แผง ดังรูป



รูปที่ 3 ผล Simulation แสดงจำนวนแผงโซล่าเซลล์/stringที่เชื่อมต่อกับ Inverter เทคโนโลยีที่ 1

จากผลการ Simulation จะได้จำนวนแผงโซล่าเซลล์/stringที่เชื่อมต่อกับInverter แต่ละชนิด ดังนี้

1. เทคโนโลยีที่ 1 (21แผง/string) มี 3 string สามารถเชื่อมต่อได้ 63 แผง

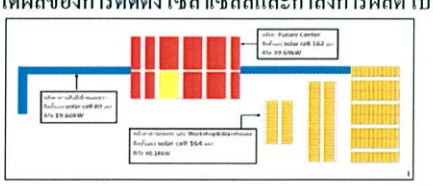
2. เทคโนโลยีที่ 4 (21แผง/string) มี 2 string สามารถเชื่อมต่อได้ 42 แผง

3. เทคโนโลยีที่ 3 (21แผง/string) มี 2 string สามารถเชื่อมต่อได้ 42 แผง

4. เทคโนโลยีที่ 2 (19แผง/string) มี 2 string สามารถเชื่อมต่อได้ 38 แผง

4.ผลการทดลอง

จากการออกแบบการทดลอง สามารถออกแบบการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ในแต่ละบริเวณ โดยพิจารณาจากขนาดของแผงและพื้นที่ในการติดตั้ง ซึ่งจะได้ผลของการติดตั้งโซล่าเซลล์และกำลังการผลิต เป็นดังนี้

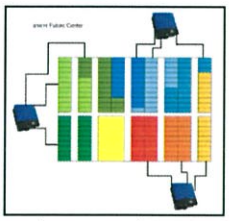


รูปที่ 4 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่ของโครงการ

จากการออกแบบสามารถติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ได้ 406 แผง คิดเป็นกำลังการผลิต 99.47 kW จากกำลังการผลิตที่ได้ทำให้เลือกใช้ Inverter ในแต่ละบริเวณได้ดังต่อไปนี้

1. อาคาร Future Center

บริเวณนี้มีพื้นที่ประมาณ 20x19 m^2 ซึ่งสามารถติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ได้ 162 แผง

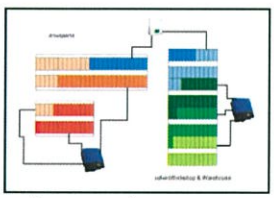


รูปที่ 5 พื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณอาคาร Future Center

จากจำนวนแผงโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งคิดเป็นกำลังการผลิตอยู่ที่ 39.69 kW เลือกใช้ Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW 3 ตัว โดยทำการติดตั้งแผงได้ เป็น 18 แผง/string ซึ่ง Inverter ชนิดนี้มี 3 string ทำให้ Inverter ชนิดนี้มีการติดตั้ง 54 แผง/1ตัว รวม 3 ตัวคิดเป็น 162 แผง

2. หลังคาลานจอดรถและบริเวณหลังคา Workshop & Warehouse

บริเวณหลังคาลานจอดรถแบ่งเป็น 2 ส่วนมีพื้นที่ 25x5 m^2 และ 13x5 m^2. ซึ่งสามารถติดตั้งแผงได้รวม 76 แผง ส่วนบริเวณหลังคา Workshop & Warehouse มีพื้นที่ประมาณ 20x12 m^2 สามารถติดตั้งแผงได้ 88 แผง โดยทั้ง 2 บริเวณนี้สามารถติดตั้งแผงรวมกันได้ 164 แผง

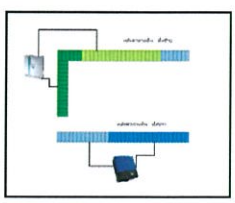


รูปที่ 6 พื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณ หลังคาลานจอดรถและบริเวณหลังคา Workshop & Warehouse

มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 40.18 kWเลือกใช้ Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาด 15 kW 2 ตัว โดยมีทั้งหมด 3 string ทำการติดตั้ง 21 แผง/1string สามารถติดตั้งแผงได้ทั้งหมด 63 แผง และ Inverter เทคโนโลยีที่ 2 ขนาด 10 kW 1 ตัว โดยมีทั้งหมด 2 string ทำการติดตั้ง 19 แผง/1string สามารถติดตั้งแผงได้ทั้งหมด 38 แผง โดยขนาด 15 kW แต่ละตัวจะถูกนำไปใช้งานสามารถติดตั้งแผงกับInverter ได้ 126 แผง ส่วนแผงที่เหลือจาก 2 บริเวณ มีจำนวน 38 แผง จะนำมาติดตั้งกับ Inverter เทคโนโลยีที่ 2 ขนาด 10 kW โดย สามารถติดตั้งแผงได้ทั้งหมด 164 แผงพอดี

3. หลังคาทางเดิน ฝั่งซ้าย และ ฝั่งขวา

บริเวณหลังคาทางเดินแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ บริเวณทางเดินฝั่งซ้าย มีพื้นที่ 47x1.6 m^2 และทางเดินฝั่งขวามีพื้นที่ 33x1.6 m^2 ซึ่งสามารถติดตั้งแผงได้รวม 80 แผง



รูปที่ 7 พื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทางเดินฝั่งซ้าย และ ฝั่งขวา

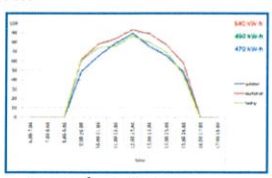
ซึ่งมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 19.6 kW เลือกใช้ Inverter เทคโนโลยีที่ 3 ขนาด 10 kW จำนวน 1 ตัว โดยมี 2 string ทำการติดตั้ง 20 แผง /1 string และ Inverter เทคโนโลยีที่ 4 ขนาด 10 kW จำนวน 1 ตัวโดยมี 2 string ทำการติดตั้ง 20/1string ซึ่งที่บริเวณทางเดินฝั่งขวา สามารถติดตั้งแผงได้ 33 แผง ซึ่งยังขาดอีก 7 แผง จึงต้องนำแผงจากทางเดินฝั่งซ้าย ซึ่งมีทั้งหมด 47 แผง แบ่งมาติดตั้งกับ Inverter ทางเดินฝั่งขวา ดังนั้น Inverter 10 kW 1 ตัวสามารถติดตั้งแผงได้ทั้งหมด 40 แผง รวมติดตั้งแผงทั้งหมด 80 แผง

ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ

เมื่อออกแบบระบบโซล่าเซลล์เรียบร้อยแล้วแล้ว ทำให้สามารถประมาณค่ากำลังการผลิตสูงสุดของระบบได้ จากพื้นที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์มีค่าประมาณ 99.47kW แต่ในความเป็นจริงแล้วกำลังการผลิตของระบบ จะไม่สามารถผลิตได้ที่พิกัดสูงสุดตลอดเวลา โดยกำลังการผลิตที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าความส่องสว่าง (Illuminance) และค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous efficacy)ซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละ ช่วงเวลา ส่งผลให้กำลังการผลิตแต่ละช่วงไม่เท่ากันด้วย โดยจะมีวิธีการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบดังสมการต่อไปนี้ [5]

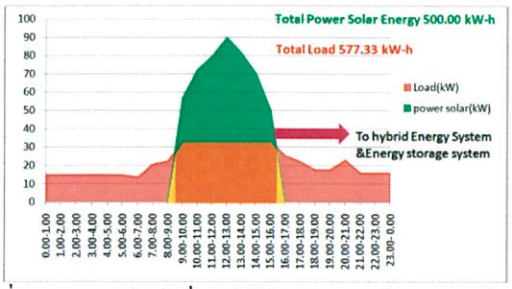
$$\text{Power(W)} = \frac{\text{Illuminance}(^{Lm}/_{m^2}) \times \text{Area}(m^2) \times \text{Efficiency of Solar cell}}{\text{Luminous Efficacy}(^{Lm}/_{W})}$$

ทำการคำนวณ จะทำให้สามารถประมาณการผลิตกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละฤดูได้ดังนี้



รูปที่ 8 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Future เฉลี่ยในแต่ละฤดู

เมื่อเปรียบเทียบกำลังการผลิตกับความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดในอาคาร Future Center โดยแบ่งพื้นที่ของกราฟออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ บริเวณพื้นที่สีแดงเป็นบริเวณที่ไม่มีกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซล่าเซลล์ บริเวณพื้นที่สีเขียวเป็นบริเวณที่กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซล่าเซลล์มีมากเกินความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลด บริเวณพื้นที่สีเหลืองเป็นบริเวณที่กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซล่าเซลล์ไม่เพียงพอกับความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดและบริเวณพื้นที่สีส้มเป็นบริเวณที่สามารถใช้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากโซล่าเซลล์จ่ายให้กับโหลดได้



รูปที่ 9 กราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เทียบกับความต้องการกำลังไฟฟ้า

ซึ่งข้อมูลจากกราฟที่ได้นี้จะทำให้เราทราบช่วงเวลาของกำลังการผลิตไฟฟ้าและความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าว่าอยู่ในเงื่อนไขใด ทำให้สามารถบริหารจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการจัดการพลังงานแบบผสมผสานและการจัดการสำรองพลังงาน

5.สรุปผลการทดลอง

ในการออกแบบการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์และInverter ในโครงการ Future Center แบ่งพื้นที่ในการติดตั้งได้เป็น 3 บริเวณได้แก่

1. อาคาร Future Center สามารถติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ได้ 162 แผง มีกำลังการผลิต 39.69 kW โดยเลือกติดตั้ง Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาดพิกัด 15 kW 3 ตัว

2. หลังคาทางเดิน ฝั่งซ้ายและฝั่งขวา สามารถติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ได้ 80 แผงคิดเป็นกำลังการผลิต 19.6 kW โดยเลือกติดตั้ง Inverter เทคโนโลยีที่ 4 ขนาดพิกัด 10kW 1 ตัว และ Inverter เทคโนโลยีที่ 3 ขนาดพิกัด 10kW 1 ตัว

3. หลังคาลานจอดรถ และหลังคาWorkshop & Warehouse โดยบริเวณหลังคาลานจอดรถสามารถติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ได้ 164 แผง คิดเป็นกำลังการผลิต 40.18 kW โดยเลือกติดตั้ง Inverter เทคโนโลยีที่ 1 ขนาดพิกัด 15 kW 2 ตัว และ Inverter เทคโนโลยีที่ 2 ขนาดพิกัด 10 kW 1 ตัว

เนื่องจากกำลังการผลิตในแต่ละช่วงเวลานั้นจะแตกต่างกันออกไปตามค่าความส่องสว่างและค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง จึงจำเป็นต้องหากราฟกำลังการผลิตในแต่ละช่วงเวลา เพื่อช่วยให้การสามารถบริหารจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การเชื่อมต่อ Inverter เข้ากับระบบจำหน่ายนั้นจะต้องคำนึงถึงคุณภาพไฟฟ้า เมื่อมีการจำหน่ายไฟคืนกลับให้ระบบจำหน่าย จะต้องส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายน้อยที่สุด ซึ่ง Inverter ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายได้นั้นจะต้องผ่านมาตรฐานการทดสอบที่กำหนด

6.กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จบรรลุตามเป้าหมายไปได้ด้วยดี ต้อง ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชาย ชมพูอินไหว และ ผศ.ดร.เชาว์ ชมพูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือและชี้แนะในการจัดทำปริญญานิพนธ์ และขอบพระคุณผู้อาจารย์ทุกท่านที่ให้การศึกษาและความรู้มาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

[1] "กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน",ces.kmutt [ออนไลน์]:http://www.ces.kmutt.ac.th/PV_text/Operator_CH1toC

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, คู่มือการพัฒนาและการลงทุน การผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์, ปีที่ 1, ฉบับที่1, 2553.

[3] กองบรรณาธิการหนังสือพิเศษด้านอิเล็กทรอนิกส์,แบตเตอรี่และเครื่องชาร์จ,กรุงเทพฯ,ซีเอ็ดยูเคชั่น,2010.

[4] ผู้ช่วยศาสตราจารย์บรรจบ สุขประภาภรณ, "พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และการออกแบบระบบโซลาเซลล์", [ออนไลน์] :http://www.ind.cru.in.th/articleind/33.pdf

[5] Litthanoulok Laspho and Pipat Chaiwiwatworakul, "Assessment and Modeling of the Daylight Efficacy in Thailand,"**IEEE First Conference on Clean Energy and Technology CET**, 2011, pp. 222



นายชุติภาส เกษประทุม
ที่อยู่ : 16/63 ซ.ลาดพร้าว101 แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพ 10240
E-mail: chutipas_su@hotmail.com



นายมหัมพันธ์ ศิริโภคพัฒน์
ที่อยู่ : 18/176 ถ.ราษฎร์บำรุง ต.ตลาด อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี 84000
E-mail: popcula_7@hotmail.com



นายสาธิต ดำสอาด
ที่อยู่ : 129/1 หมู่ 5 ต.ท่าฉนวน อ.มโนรมย์ จ.ชัยนาท 17110
E-mail: phoenix_xineohp@msn.com



นายอภิธร วณสุขเกษม
ที่อยู่ : 15 หมู่ 2 ต.คลองท่อมใต้ อ.คลองท่อม จ.กระบี่ 81120
E-mail: ultraboxsterz@gmail.com

ประวัติผู้เขียน



นายชุติภาส เกษประทุม

ที่อยู่ : 16/63 ซ.ลาดพร้าว101 เขตบางกะปิ กรุงเทพ 10240

E-mail: chutipas_su@hotmail.com

เบอร์โทรศัพท์ 08-2707-4044

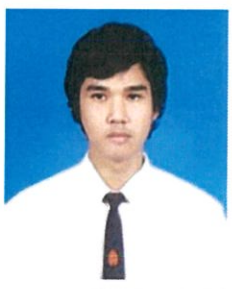


นายมหัฆพันธ์ ศิริโภคพัฒน์

ที่อยู่ : 18/176 ถ.ราษฎร์บำรุง ต.ตลาด อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี 84000

E-mail: popcula_7@hotmail.com

เบอร์โทรศัพท์ 08-3528-1033



นายสาธิต ดำสอาด

ที่อยู่ : 129/1 หมู่ 5 ต.ท่าฉนวน อ.มโนรมย์ จ.ชัยนาท 17110

E-mail: phoenix_xineohp@msn.com

เบอร์โทรศัพท์ 08-1847-9770



นายอภิธร วณสุขเกษม

ที่อยู่ : 15 หมู่ 2 ต.คลองท่อมใต้ อ.คลองท่อม จ.กระบี่ 81120

E-mail: ultraboxsterz@gmail.com

เบอร์โทรศัพท์ 08-4305-5050