



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบระบบ Grid-Tied โซลาร์เซลล์เพื่อติดตั้งบนหลังคาเรือน  
How to design Grid-Tied Solar System for Rooftop

นายจักรวาล เฉยเฉยสัยง

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบระบบ Grid-Tied โซลาร์เซลล์เพื่อติดตั้งบนหลังคาเรือน  
How to design Grid-Tied Solar Cell for Rooftop

นายจักรวาล เฉยเฉยียง

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	การออกแบบระบบ Grid-Tied โซลาร์เซลล์เพื่อติดตั้งบนหลังคาเรือน
นักศึกษา	นายจักรวาล เฉยเฉลียง รหัสประจำตัว 57010161
อาจารย์นิเทศ	อ.ชินภัทร นันทจิวากรชัย และ ผศ.เกรียงไกร สุขสุด
ผู้นิเทศงาน	คุณนราธิป มานะกุล
ชื่อสถานประกอบการ	บริษัท กันกุลเอ็นจิเนียริง จำกัด (มหาชน)

### บทคัดย่อ

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) หนึ่งในพลังงานทดแทนที่มีประโยชน์คุ้มค่าและนำลงทุน เนื่องจากเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่แล้ว นั่นคือ แสงอาทิตย์ มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้เองในบ้าน อาคาร หรือหากผลิตได้มากสามารถจำหน่ายคืนให้การไฟฟ้าได้ เป็นอีกช่องทางหนึ่งในการสร้างรายได้ โครงการฉบับนี้จะกล่าวถึงวิธีการออกแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Grid-tied บนหลังคาเรือนและใช้โปรแกรม PVsyst เพื่อเปรียบเทียบปริมาณไฟฟ้าที่ได้รับในแต่ละปี อาคารที่จะติดตั้งมี 2 แบบ คือ อาคารหอพักนักศึกษา 15 อาคาร และ อาคารหอประชุม 1 อาคาร โดยจะทำการเปรียบเทียบตำแหน่งที่สามารถติดตั้งได้ ซึ่งแต่ละตำแหน่งนั้นค่าที่เปลี่ยนแปลง คือ มุม Azimuth จากนั้นจะเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดเพื่อติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด

Project Title	How to design Grid-Tied Solar Rooftop
Student	Mr.Jakawan Cheychaleang ID: 57010161
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronics Engineering
Thesis Advisor	Mr.Chinnapat Nantajiwakornchai and Asst.kriangkrai sooksood

### Abstract

Solar PV Rooftop is the one of renewable energy that have benefit because It uses natural resource that is sunlight for generate electricity in home or plant and can sell electricity to grid. This project explains how to design Grid-Tied Solar Rooftop system and use PVsyst program for compare electricity every year. The building that has 2 types is dormitory and auditorium. These are compared location on the roof and Azimuth for select good area.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความสำเร็จเสียสละเวลาเป็นที่ปรึกษาของพี่น้องราธิป มานะกุล พี่ๆในบริษัทกันกุล และอาจารย์ที่ปรึกษา อ.ชินภัทร นันทจิวากรชัย และ อ.เกรียงไกร สุขสุด ได้ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางและความช่วยเหลือทุกด้านให้การศึกษาในครั้งนี้บรรลุเป้าหมายได้

จักรวาล เฉยเฉลียง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการทำงาน	1
1.4 ขั้นตอนการทำงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์	3
2.1.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	3
2.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Systems)	7
2.2.1 Grid-Tied (On-Grid) Solar System	7
2.2.2 Off-Grid Solar System	7
2.2.3 Hybrid Solar System	8
2.3 ส่วนประกอบของระบบเซลล์แสงอาทิตย์	9
2.3.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)	9
2.3.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)	10
2.3.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)	11
2.3.4 Surge Protector	12
2.3.5 Firefighter Switch	13
2.3.6 สายไฟ	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการและผลการดำเนินการ	16
3.1 สํารวจแบบหลังคา	16
3.1.1 แบบอาคารหอพักนักศึกษา	16
3.1.2 แบบอาคารหอประชุม	17

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 วิเคราะห์ทิศทางของเงาด้วยโปรแกรม Sket-up	17
3.3 ออกแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	19
3.3.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้ง	19
3.3.2 อินเวอร์เตอร์	20
3.3.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์	21
3.4 คำนวณปริมาณไฟฟ้าด้วยโปรแกรม PVsyst	21
3.4.1 ตั้งค่าโปรแกรม	21
3.4.2 Orientation	21
3.4.3 System	22
3.4.4 พลังงานที่สูญเสีย	23
3.4.5 Simulation	24
3.4.5.1 กำลังที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม PVsyst	26
3.5 วางเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา	27
3.5.1 แบบแปลนอาคารหอพักนักศึกษาที่วางเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว	27
3.5.2 แบบแปลนอาคารหอประชุมที่วางเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว	28
3.6 เขียนแบบทางไฟฟ้า	29
บทที่ 4 สรุปผลการดำเนินงาน	30
4.1 กำลังการติดตั้ง	30

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	2
2.1 แสดงผลการเปรียบเทียบความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากแผนที่กับค่าที่ได้จากสถานีวัด	4
2.2 แสดงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ	10
2.3 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE	15
3.1 แสดงทิศทางของเงาตั้งแต่เวลา 7.30 – 17.30 น.	18
3.2 กำลังที่ผลิตได้ในแต่ละปีของอาคารหอพักนักศึกษา	26
3.3 กำลังที่ผลิตได้ในแต่ละปีของอาคารหอประชุม	26
3.4 จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้งอาคารหอพักนักศึกษาที่ออกแบบ 1 อาคาร	27
3.5 จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้งอาคารหอพักนักศึกษาที่ออกแบบ 15 อาคาร	27
3.6 จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้งอาคารหอประชุมที่ออกแบบ 1 อาคาร	28
4.1 จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้งทั้งอาคารหอพักนักศึกษาและอาคารหอประชุมทั้งหมด	30

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	6
2.2	6
2.3	7
2.4	7
2.5	8
2.6	8
2.7	10
2.8	11
2.9	12
2.10	12
2.11	13
2.12	13
2.13	14
3.1	16
3.2	16
3.3	17
3.4	17
3.5	19
3.6	19
3.7	20
3.8	21
3.9	22
3.10	22
3.11	23
3.12	24
3.13	25
3.14	27
3.15	28
3.16	29

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันประชากรมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าก็เพิ่มขึ้นมากด้วย ซึ่งการผลิตไฟฟ้าก็สามารถผลิตได้จากหลายแหล่ง เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันเตา เป็นต้น แหล่งผลิตที่ยกมานั้นมีจำนวนจำกัด ดังนั้นเราจึงหันมาให้ความสนใจกับแหล่งพลังงานที่ไม่มีจำกัด เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ โดยโครงการฉบับนี้มุ่งเน้นถึงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำมาติดตั้งบนหลังคาเรือนให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่าที่สุด ซึ่งการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จะมีด้วยกันทั้งหมด 3 ระบบ คือ Grid-Tied (On-grid), Off-grid และ Hybrid Solar System โดยจะออกแบบเฉพาะระบบ Grid-Tied เท่านั้น

### 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ได้รับความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

1.2.2 สามารถออกแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ระบบ Grid-Tied บนหลังคาเรือนได้

### 1.3 ขอบเขตการทำงาน

1.3.1 คำนวณการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ระบบ Grid-Tied บนหลังคาเรือน

1.3.2 เขียนแบบไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเรือน โดยใช้โปรแกรม AutoCad

1.3.3 วิเคราะห์เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเรือน โดยใช้โปรแกรม PVsyst

## 1.4 ขั้นตอนการทำงาน

	08/60				09/60				10/60				11/60			
ศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้น	→															
คำนวณ/ออกแบบ การติดตั้ง เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา					→											
ใช้โปรแกรม PVsyst วิเคราะห์ พลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์									→							
เขียนแบบ Layout									→							
เขียนแบบ Single Line Diagram													→			
จัดซื้อ/จัดหา อุปกรณ์ตามที่ออกแบบ													→			

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะรับ

- 1.5.1 สามารถออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ระบบ Grid-Tied บนหลังคาเองได้
- 1.5.2 สามารถใช้โปรแกรม AutoCAD ได้
- 1.5.3 สามารถใช้โปรแกรม PVsyst ได้

## บทที่ 2

# หลักการและทฤษฎี

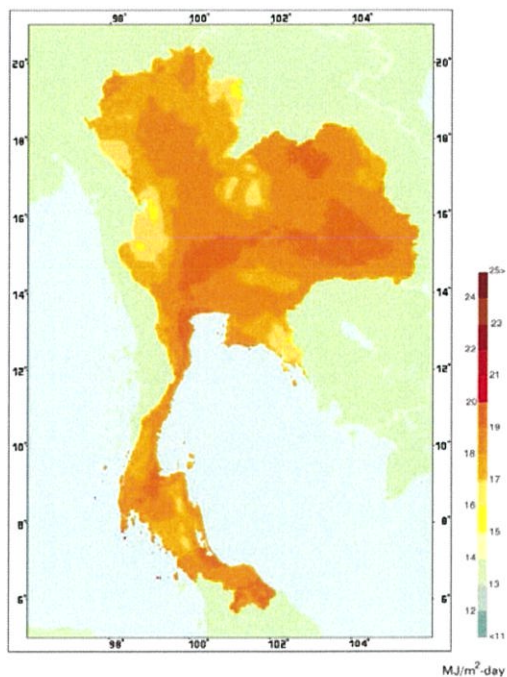
### 2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์ให้พลังงานจำนวนมหาศาลแก่โลกของเรา พลังงานจากดวงอาทิตย์จัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญที่สุด เป็นพลังงานสะอาดไม่ทำปฏิกิริยาใดๆอันจะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ เซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าเนื่องจากสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ส่วนใหญ่เซลล์แสงอาทิตย์ทำมาจากสารกึ่งตัวนำพวกซิลิคอนมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 44 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนของประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร จึงได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ในเกณฑ์สูง พลังงานโดยเฉลี่ยซึ่งรับได้ทั่วประเทศประมาณ 4 ถึง 4.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ประกอบด้วยพลังงานจากรังสีตรง (Direct Radiation) ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นพลังงานรังสีกระจาย (Diffused Radiation) ซึ่งเกิดจากละอองน้ำในบรรยากาศ (เมฆ) ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าบริเวณที่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรออกไปทั้งแนวเหนือ - ใต้

#### 2.1.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

จากแผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ในรูปที่ 2.1 จะทำให้ทราบศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณที่มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงแม้เป็นบริเวณกว้างทางตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุดรธานี นอกจากนี้ยังมีบริเวณ ที่มีศักยภาพสูงในพื้นที่บางส่วนของภาคกลางที่จังหวัด สุพรรณบุรี ชัยนาท อโยธยา และลพบุรี สำหรับเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทยที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ ในระดับต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าพื้นที่ครึ่งหนึ่งของประเทศไทยได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากกว่า  $17 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$  ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูง



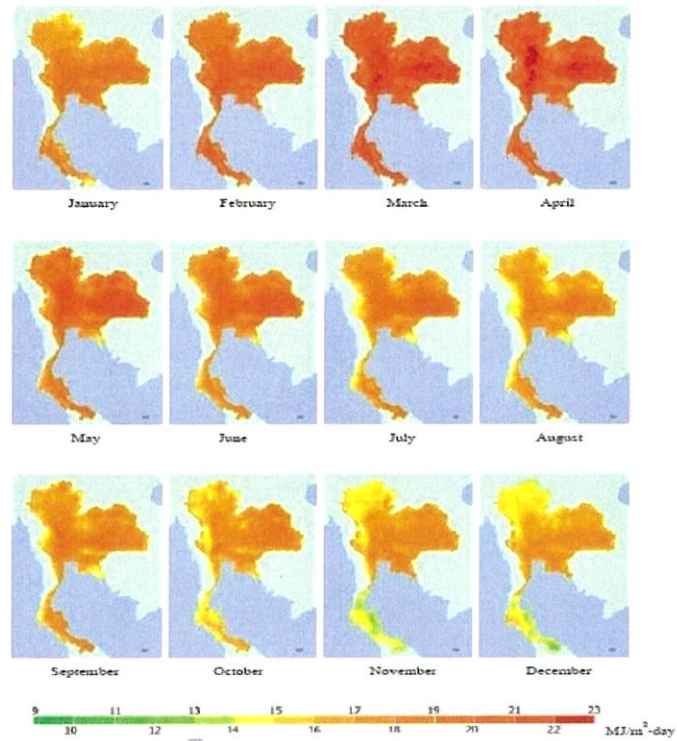
รูปที่ 2.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย  
ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันต่อปี\*

ตารางที่ 2.1 แสดงผลการเปรียบเทียบความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากแผนที่กับค่าที่ได้จากสถานีวัด

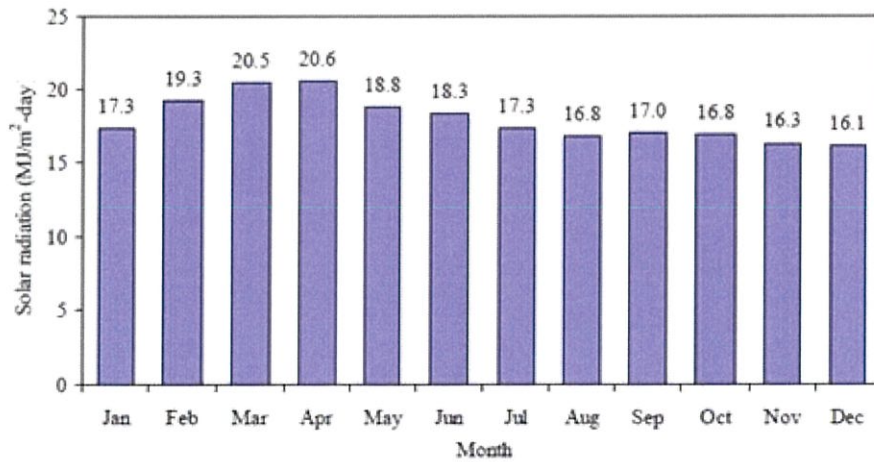
สถานี	จังหวัด	H (map) MJ/m <sup>2</sup>	H (measurement) MJ/m <sup>2</sup>	Difference (%)
1	กรุงเทพมหานคร	17.9	17.5	2.2
2	กาญจนบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา)	18.0	18.4	2.0
3	กาญจนบุรี (ทองผาภูมิ)	17.1	17.3	0.8
4	ขอนแก่น	17.9	18.5	3.0
5	ชลบุรี	17.3	17.9	3.2
6	ชุมพร	17.5	17.5	0.1
7	เชียงราย	17.0	17.1	0.6
8	เชียงใหม่	17.2	18.0	4.8
9	ดอยอินทนนท์ (แม่กลาง)	17.0	16.8	0.8
10	ดอยอินทนนท์ (เรดาร์)	17.0	16.1	5.3

11	ดอยอินทนนท์ (สำนักงาน)	17.0	15.4	9.1
12	ตรัง	16.9	17.9	5.8
13	ตราด	17.2	17.1	0.3
14	ตาก	16.7	16.5	1.3
15	นครพนม	17.4	17.4	0.5
16	นครราชสีมา	18.1	18.1	0.1
17	นครสวรรค์	18.3	17.9	2.2
19	น่าน	17.2	17.3	0.3
20	ประจวบคีรีขันธ์	18.7	18.5	1.1
21	ปราจีนบุรี	17.9	17.6	1.7
22	พิษณุโลก	17.9	18.2	1.8
23	เพชรบูรณ์	17.6	17.8	1.1
24	แพร่	17.1	17.6	2.9
25	ภูเก็ต	17.9	19.1	6.7
26	แม่สะเรียง	16.8	16.8	0.0
27	แม่ฮ่องสอน	17.0	16.3	4.5
28	ร้อยเอ็ด	18.1	18.9	4.3
29	ระนอง	15.8	16.0	1.0
30	ลพบุรี	17.9	18.4	2.7
31	เลย	17.1	16.8	1.6
32	สงขลา	17.1	17.7	3.3
33	สระแก้ว	18.2	16.8	7.5
34	สุราษฎร์ธานี (เกาะสมุย)	18.2	18.7	2.8
35	สุราษฎร์ธานี (พุนพิน)	17.4	17.7	0.3
36	สุรินทร์	18.5	18.0	2.5
37	หนองคาย	17.5	18.5	2.5
38	อุบลราชธานี	18.1	18.2	0.4

\*ที่มา : รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554



รูปที่ 2.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยในแต่ละเดือน



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยในแต่ละเดือน

## 2.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Systems)

### 2.2.1 Grid-Tied (On-Grid) Solar System

เป็นระบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้านครหลวง หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะใช้อุปกรณ์เพียง เซลล์แสงอาทิตย์ และอินเวอร์เตอร์อนกริดโดยหลักการแปลงไฟกระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อเชื่อมต่อเข้าระบบการไฟฟ้าเพื่อทำการขายไฟฟ้าคืน (กรณีนี้ต้องทำสัญญากับผู้รับซื้อคือ การไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) หรือลดค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้าได้



รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ระบบ Grid-Tied

### 2.2.2 Off-Grid Solar System

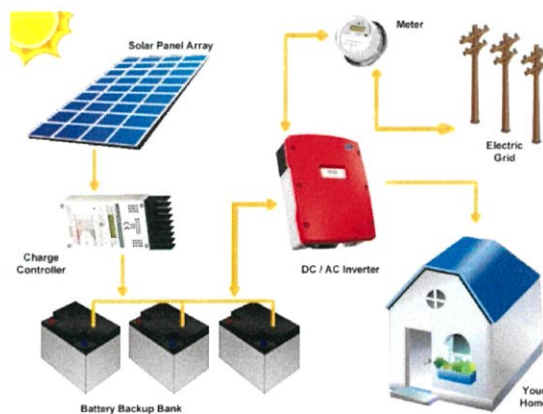
เป็นระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ คือ ระบบที่ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ปฏิสัมพันธ์กับผู้ให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้ารายใหญ่ (ในประเทศไทยคือการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) ระบบออฟกริดนี้จะแยกเดี่ยวออกมาโดยผู้ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตไฟฟ้าใช้ได้เอง โดยไม่ต้องพึ่งพาการไฟฟ้าซึ่งสามารถแยกหมวดย่อยลงไปได้อีกตามลักษณะแรงดันไฟฟ้าที่จะใช้งานว่าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือไฟฟ้ากระแสสลับโดยต้องเลือกโหลด (เครื่องใช้ไฟฟ้า) ให้เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ระบบออฟกริดนี้อาจมีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษอีกแบบหนึ่งว่าระบบแอสตันดอลน (StandAlone System) หรือระบบแยกเดี่ยว ซึ่งมีวิธีการต่อระบบที่หลากหลาย ทั้งต่อโหลดกระแสตรงกับแผงโซลาร์เซลล์ (ซึ่งผลิตไฟฟ้ากระแสตรง) โดยตรง หรือนำไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงไปแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (โดยอินเวอร์เตอร์) สำหรับไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้านเรือน



รูปที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์ระบบ Off-Grid

### 2.2.3 Hybrid Solar System

เป็นระบบที่นำเอา ระบบออนกริด และ ออฟกริด มารวมกันคือจะมีระบบแบตเตอรี่ มาสำรองพลังงาน ใช้งานในเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ และสำหรับกรณีที่เมื่อมีแสงอาทิตย์แล้วผลิตกระแสไฟฟ้าได้หากกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้มีมากกว่าที่นำมาใช้งาน ระบบก็นำกระแสไฟฟ้านั้นชาร์จเข้าแบตเตอรี่ เพื่อนำมาใช้งานได้ต่อไป พอถึงเวลากลางคืนที่ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้ ระบบก็จะไปนำเอากระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาใช้ก่อน หากยังไม่เพียงพอ ระบบก็จะไปดึงไฟฟ้ามาจากระบบจำหน่ายมาชดเชยอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 2.6 เซลล์แสงอาทิตย์ระบบ Hybrid

## 2.3 ส่วนประกอบของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

### 2.3.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้น ให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นครั้งแรกในปีค.ศ. 1954 โดยแชปปีน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียร์สัน (Pearson) ซึ่งได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อ P-N ของผลึกซิลิคอนจนได้เซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นมาเป็นครั้งแรกในโลกซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% โดยในระยะเวลาต่อมาได้มีการวิจัยและพัฒนาให้มี ประสิทธิภาพสูงกว่า 15 % โดยในระยะเริ่มต้นได้นำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางด้านอวกาศดาวเทียมระบบสื่อสารต่างๆในปัจจุบันมีการผลิตใช้งาน อย่างแพร่หลายเนื่องจากความต้องการการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีสะอาดที่เพิ่มสูงขึ้นและการพัฒนา เทคโนโลยีส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีราคาถูกลงและประสิทธิภาพสูงขึ้น แบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่

#### 1) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells)

เซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดที่ทำมาจาก ผลึกซิลิคอนเชิงเดี่ยว (mono-Si) หรือบางทีก็เรียกว่า single crystalline (single-Si) สังเกตุดูค่อนข้างง่ายกว่าชนิดอื่น เพราะจะเห็นแต่ละเซลล์ลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมตัดมุมทั้งสี่มุม และมีสี่เข็มเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์นั้น เป็นชนิดที่ทำมาจากซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยเริ่มมาจากแท่งซิลิคอนทรงกระบอก จากนั้นจึงนำมาตัดให้เป็นสี่เหลี่ยมและลบมุมทั้งสี่ออก เพื่อที่จะทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และลดการใช้วัตถุดิบโมโนซิลิคอนลงก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นอีกที จึงทำให้เซลล์แต่ละเซลล์หน้าตาเป็นอย่างไรที่เห็นในแผงเซลล์แสงอาทิตย์

#### 2) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells)

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวมแสงแบบผลึกรวมได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยว ซิลิคอนแบบผลึกรวมก็คือการนำเอาซิลิคอนบริสุทธิ์ รวมถึงซิลิคอนที่เหลือทิ้งจากการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวมาหลอมในบ้ำให้เป็นแท่ง แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงช้าๆหลังจากนั้นนำมาตัดเป็นแผ่นๆ เรียกว่า เวเฟอร์ หนาประมาณ 300-400 ไมโครเมตรแล้วนำไปทำ p-n junction ต่อไป

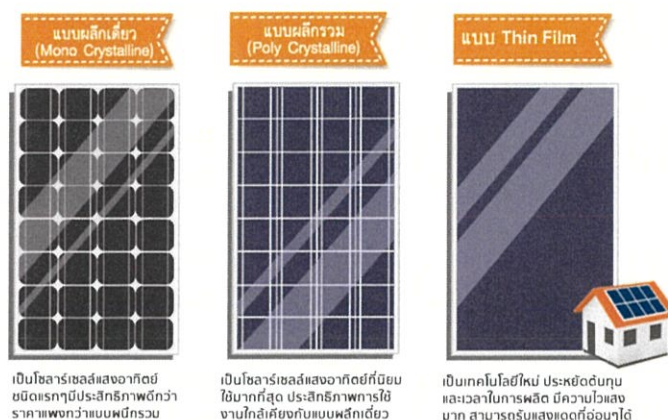
#### 3) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cells)

เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส มีวิธีการผลิตที่ต่าง จากแบบผลึกโดยสิ้นเชิงโดยจะเป็นลักษณะของแผ่นฟิล์มบาง ไม่ใช่เวเฟอร์โดยจะสร้างแผ่นฟิล์มบางของซิลิคอนบนแผ่นฐานรอง โดยใช้เทคนิคที่ใช้ในการผลิตมีหลายเทคนิค ที่นิยมใช้กันมากคือ เทคนิคที่มีชื่อเรียกว่า CVD (Chemical Vapor Deposition) ซึ่งจะมี ระบบนำก๊าซที่เป็น สารประกอบประเภทซิลิคอน เช่น ก๊าซไฮโดรเจน (SiH<sub>4</sub>) ผ่านเข้าไปในท่อสุญญากาศ ก๊าซจะถูกทำ การกระตุ้นด้วยวิธีต่างๆ เช่น โดยพลาสมาเพื่อส่งพลังงานให้ก๊าซสารประกอบซิลิคอนแยกตัวและ ซิลิคอนเข้าไปจับตัวกันบนแผ่นฐานรองที่ถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 200-300 °C โดย แผ่นฐานรองส่วนใหญ่จะเป็นแก้วสแตนเลส หรือพลาสติกซึ่งได้ทำการเคลือบชั้นตัวนำโปร่งแสง ไว้ก่อน ซิลิคอนจะทับถมบนแผ่นด้วยอุณหภูมิการผลิตที่ไม่สูงมากซิลิคอนที่เกิดจึงเป็นแบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน

ตารางที่ 2.2 แสดงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ

ชนิด	ประเภทวัสดุ	ประสิทธิภาพ (%)
Thin Film	Amorphous Silicon (a-Si)	4-9
	Cadmiumtelluride (CdTe)	6-9
	Copper indium gallium selenide (Cis or CIGS)	9-10.5
	Organic cells	3-4
Mono-crystalline Si	Sc-Si	10-16
Multi-crystalline Si	mc-Si	10.14.5

ที่มา : System integration for optimal production output of solar farms, Schneider Electric



รูปที่ 2.7 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว ผลึกรวม และ Thin Film

### 2.3.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V สำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในบ้านโดยทั่วไปอินเวอร์เตอร์จะออกแบบ วงจรภายในโดยใช้วงจร Switching แปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับโดยมีสัญญาณความถี่ ไฟฟ้า 50 Hz ในระบบที่มีขนาดเล็กๆผู้ผลิตอาจจะรวมวงจรอินเวอร์เตอร์เข้าเป็นชุดเดียวกับวงจรควบคุม การประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Charger and Inverter) ในการใช้งานต้องมีค่ากำลังงานที่สูงกว่ากำลังวัตต์ที่ใช้งาน 15-20 % ทั้งนี้เนื่องจากอินเวอร์เตอร์จะมีประสิทธิภาพประมาณ 80-85 % เช่นกำลังวัตต์ที่ต้องการใช้งาน 800 วัตต์ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 1 กิโลวัตต์ เป็นต้น



รูปที่ 2.8 อินเวอร์เตอร์

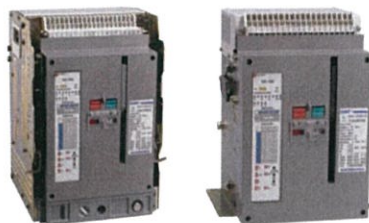
### 2.3.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำงานเปิดและปิดวงจรไฟฟ้าแบบไม่อัตโนมัติแต่สามารถเปิดวงจรได้อัตโนมัติถ้ามีกระแสไหลผ่านเกินกว่าค่าที่กำหนดโดยไม่มี ความเสียหายเกิดขึ้น เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำเป็นเบรกเกอร์ที่ใช้กับแรงดันน้อยกว่า 1000 V แบ่งออกได้หลายชนิด ได้แก่

1) Air Circuit Breakers (ACB) จัดได้ว่าเป็น Circuit Breaker แรงดันต่ำที่สามารถจะทำการดับอาร์คได้ด้วยอากาศหรือเรียกว่า Air Insulator Circuit Breaker ซึ่ง ACB จะเป็น Circuit Breaker ขนาดใหญ่มีพิกัดกระแสไฟฟ้าต่อเนื่องสูง ซึ่งโดยทั่วไปอาจจะมีขนาด  $< 6300$  A และจะมีลักษณะเป็นแบบเปิดโล่ง (Open Frame) กล่าวได้คือ จะมีบริเวณที่ไฟฟ้าเป็นจำนวนมากอยู่ในตัวซึ่งจะสามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของ Circuit Breaker โดย Air Circuit Breaker สามารถแบ่งตามชนิดลักษณะการติดตั้งได้ 2 ลักษณะ คือ

1.1) แบบติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Type) ACB จะติดตั้งอยู่กับ Main Circuit ของตู้สวิตช์บอร์ด โดยจะมีการจับยึดกับโครงตู้ด้วยสกรูอย่างแข็งแรงแน่นหนา ในกรณีที่เกิด Fault ขึ้นที่ ACB ระยะเวลาในการถอด ACB ออก เพื่อซ่อมแซมแก้ไขหรือบำรุงรักษานั้นจะต้องเสียเวลาในการดับไฟฟ้า (Shutdown) เป็นระยะเวลานาน

1.2) แบบถอดออกได้ (Drawout Type) ACB จะติดตั้งอยู่ที่บริเวณโครงรางเลื่อนที่สามารถเคลื่อนที่เลื่อนไปตามรางได้ ส่วนสัมผัสของ ACB กับ Main Circuit จะต้องเป็นลักษณะที่พิเศษเพื่อให้การสัมผัสกันระหว่าง Main Busbar กับจุด Connecting ของ ACB สัมผัสสนิทแนบแน่น ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้โดยสะดวก อีกทั้งประโยชน์ในการซ่อมบำรุง ACB แบบนี้สามารถกระทำได้โดยสะดวกและรวดเร็วเป็นอย่างยิ่งทำให้สามารถที่จะลดระยะเวลาในการดับไฟฟ้า (Shutdown) ให้สั้นลงได้ ซึ่งจะเป็นการรักษาเสถียรภาพในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปสู่โหลดอีกด้วย



รูปที่ 2.9 Air Circuit Breakers

2) Mold Case Circuit Breaker (MCCB) คือ เบรกเกอร์ที่ถูกห่อหุ้มมิดชิดโดยโมลด์ 2 ส่วน พิกัดกระแส < 1,600 A มักทำด้วยฟีนอลิก (Phenolic) ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าสามารถทนแรงดันใช้งานได้ เบรกเกอร์แบบนี้มีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิดด้วยมือ และเปิดวงจรโดยอัตโนมัติเมื่อมีกระแสไหลเกินหรือเกิดลัดวงจรโดยเบรกเกอร์จะอยู่ในภาวะทริปซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่างตำแหน่ง ON และ OFF เราสามารถรีเซ็ตใหม่ได้โดยกดคันโยกให้อยู่ในตำแหน่ง OFF เสียก่อน แล้วค่อยโยกไปตำแหน่ง ON การทำงานแบบนี้เรียกว่า Quick Make , Quick Break



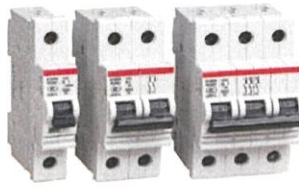
รูปที่ 2.10 Mold Case Circuit Breaker

3) Miniature Circuit Breaker คือ เบรกเกอร์ขนาดเล็กพิกัดกระแส < 125 A ใช้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ป้องกันร่วมกับแผงจ่ายไฟฟ้าย่อย (Load Center) หรือ แผงจ่ายไฟฟ้าประจำห้องพักอาศัยเบรกเกอร์ชนิดนี้ไม่สามารถปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้าตัดวงจรได้ มีทั้งแบบ 1 Pole, 2 Poles และ 3 Poles อาศัยกลไกการปลดวงจรทั้งแบบ thermal และ magnetic

- Thermal unit ใช้สำหรับปลดวงจรเมื่อมีกระแสไหลเกินอันเนื่องมาจากการใช้โหลดมากเกินไป

- Magnetic unit ใช้ สำหรับปลดวงจรเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรหรือมีกระแสค่าสูงๆ ประมาณ 8-10 เท่า

ขึ้นไปไหลผ่าน กระแสจำนวนมากจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กความเข้มสูงดึงให้อุปกรณ์การปลดวงจรทำงานได้ การตัดวงจรแบบนี้เร็วกว่าแบบแรกมาก โอกาสที่ breaker จะชำรุดจากการตัดวงจรจึงมีน้อยกว่า



รูปที่ 2.11 Miniature Circuit Breaker

### 2.3.4 Surge Protector

Surge Protection Device (SPD), Surge Suppression Equipment (SSE) หรือ Transient Voltage Surge Suppressor (TVSS) จะหมายถึงอุปกรณ์ชนิดเดียวกันคือ Surge Protector หรือ "อุปกรณ์ป้องกันไฟกระชากแรงดันสูงชั่วขณะ" เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยลดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ซึ่งพลังงานที่สูงมากเช่นนี้สามารถสร้างความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องมือ-เครื่องใช้ในการควบคุมการประมวลผล ฯลฯ



รูปที่ 2.12 Surge Protection Device (SPD)

### 2.3.5 Firefighter Switch

Firefighter Switch หรือ PV Fireman's switch เป็นอุปกรณ์ตัดไฟ DC จากเซลล์แสงอาทิตย์อัตโนมัติอีกชั้นหนึ่งเพื่อความปลอดภัยที่เพิ่มมากขึ้น กล่าวคือเมื่อไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายดับหรือไม่จ่ายไฟ อุปกรณ์ Firefighter Switch นี้ก็จะตัดไฟ DC ที่มาจากแผง PV โดยอัตโนมัติด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.13 Firefighter Switch

### 2.3.6 สายไฟ

สายไฟฟ้าที่เราใช้กันอยู่นั้นจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ

#### 2.3.6.1 ตัวนำไฟฟ้า (Conductor)

ตัวนำไฟฟ้า คือ ส่วนที่เป็นทางเดินของอิเล็กตรอนหรือกระแสไฟฟ้า เพื่อไปยัง Load องค์ประกอบที่ใช้ทำตัวนำจะแบ่งได้ 2 อย่างซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1) ทองแดง (Copper) จะใช้ในงานทั่วไปทั้งภายนอกและภายในอาคารและจะต้องมีส่วนผสมของทองแดงไม่น้อยกว่า 98% จะมีข้อดี คือ ทองแดงเป็นโลหะที่มีค่าความนำไฟฟ้าสูงกว่าเมื่อเทียบกับอะลูมิเนียม (สายไฟที่ดีที่สุดในการเป็นตัวนำ คือ ทองบริสุทธิ์และเงินบริสุทธิ์ตามลำดับ) ซึ่งทองแดงนั้นมีความแข็งแรง เหนียว และทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่ทองแดงก็มีข้อเสียที่น้ำหนักและราคาสูงกว่าอะลูมิเนียม เพราะฉะนั้นทองแดงจึงไม่เหมาะสำหรับงานทางด้านไฟฟ้าแรงดันสูง

2) อะลูมิเนียม (Aluminium) จะใช้งานเกี่ยวกับสายไฟฟ้าแรงสูง ในระบบสายส่งและส่วนมากจะใช้เป็นสายเปลือยและต้องมีส่วนผสมของอะลูมิเนียมไม่น้อยกว่า 99.3% ข้อดีของมันเมื่อเทียบกับทองแดงคือน้ำหนักเบาและราคายังถูกกว่าถ้าทั้งอะลูมิเนียมไว้ในอากาศจะทำให้เกิดออกไซด์ชั้นที่อะลูมิเนียมแต่ ตัวออกไซด์ที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นเหมือนฟิล์มที่ใช้เคลือบสายไฟเพื่อป้องกันการกัดกร่อนแต่การเชื่อมต่อนั้นจะเป็นไปได้ยาก

#### 2.3.6.2 ฉนวน (Insulated)

ฉนวน คือ ส่วนที่เป็นตัวป้องกันการสัมผัสกับสายไฟโดยตรง โดยสภาพแล้วฉนวน จะไม่เป็นสื่อนำไฟฟ้า ฉนวนจะต้องสามารถป้องกันตัวนำไฟฟ้าจากความร้อนหรือของเหลวที่สามารถกัดกร่อนตัวนำไฟฟ้า และสามารถกันน้ำได้ดี ฉนวนที่ใช้หุ้มตัวนำไฟฟ้าต้องมีความต้านทานสูง ต้องไม่ถูกกรดหรือด่าง กัดกร่อนได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 0 - 200 องศาฟาเรนไฮต์ และต้องไม่ดูดความชื้นในอากาศฉนวนที่ใช้หุ้มตัวนำไฟฟ้า มีอยู่หลายชนิดได้แก่ แร่ใยหิน ยางทนความร้อนพลาสติก แต่วัสดุที่นิยมคือ 1. PVC (Polyvinyl Chloride) 2. XLPE (Cross Linked Polyethylene)

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE

คุณสมบัติ	PVC	XLPE
พิกัดอุณหภูมิสูงสุดขณะใช้ ( °C )	70	90
พิกัดอุณหภูมิสูงสุดขณะลัดวงจร ( °C )	120	250
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก	6	2.4
ความหนาแน่น ( g/cm <sup>3</sup> )	1.4	0.92
ความนำความร้อน ( cal/cm.sec °C )	3.5	8
ความทนทานต่อแรงดึง ( kg/mm <sup>2</sup> )	2.5	3

### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการและผลการดำเนินการ

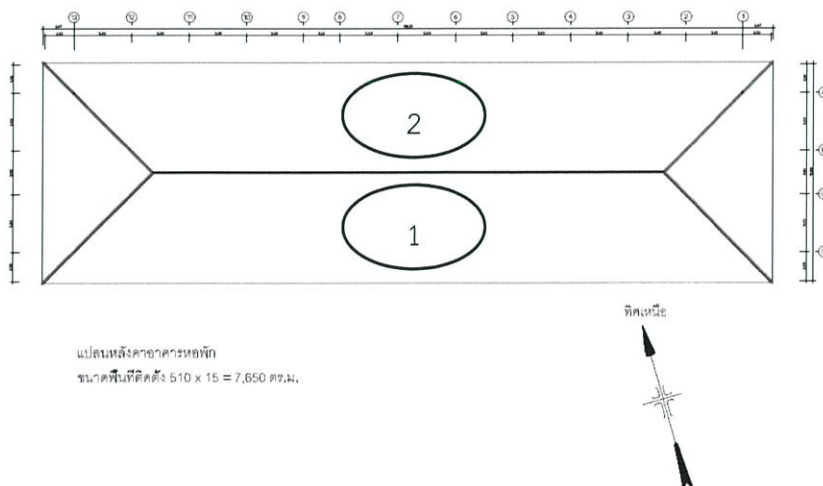
### 3.1 สํารวจแบบหลังคา

อาคารที่ไปสำรวจมี 2 แบบ คือ อาคารหอประชุม 1 อาคาร และ อาคารหอพัก 15 อาคาร



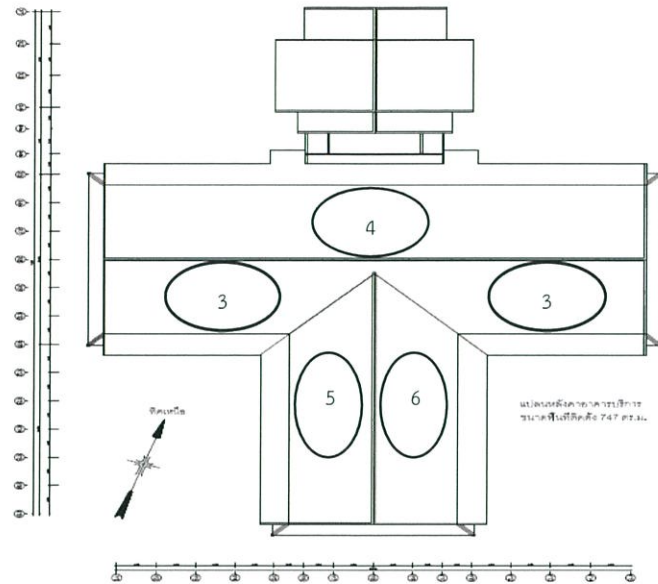
รูปที่ 3.1 แสดงอาคารหอพักนักศึกษาและอาคารหอประชุมจาก Google Earth

#### 3.1.1 แบบอาคารหอพักนักศึกษา



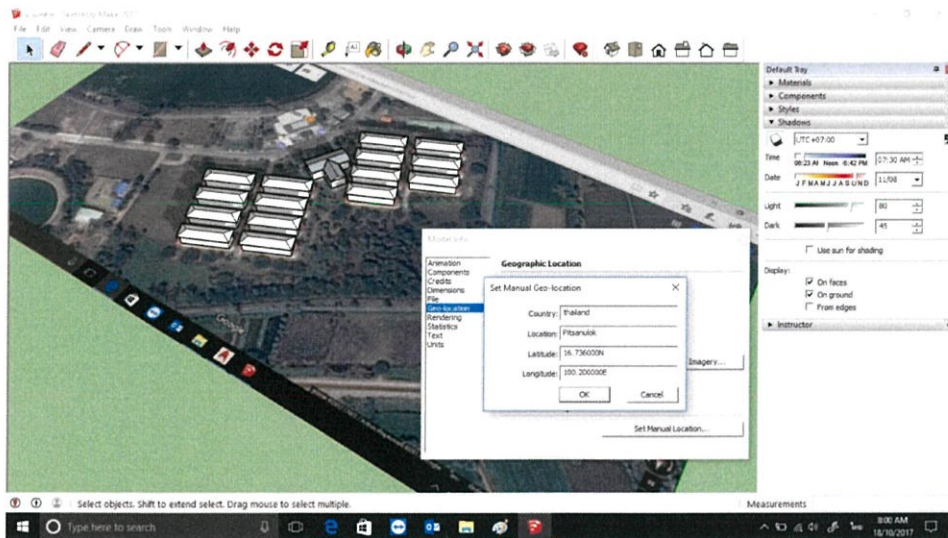
รูปที่ 3.2 แสดงแบบแปลนอาคารหอพักนักศึกษาและตำแหน่งที่ติดตั้งได้

### 3.1.2 แบบอาคารหอประชุม



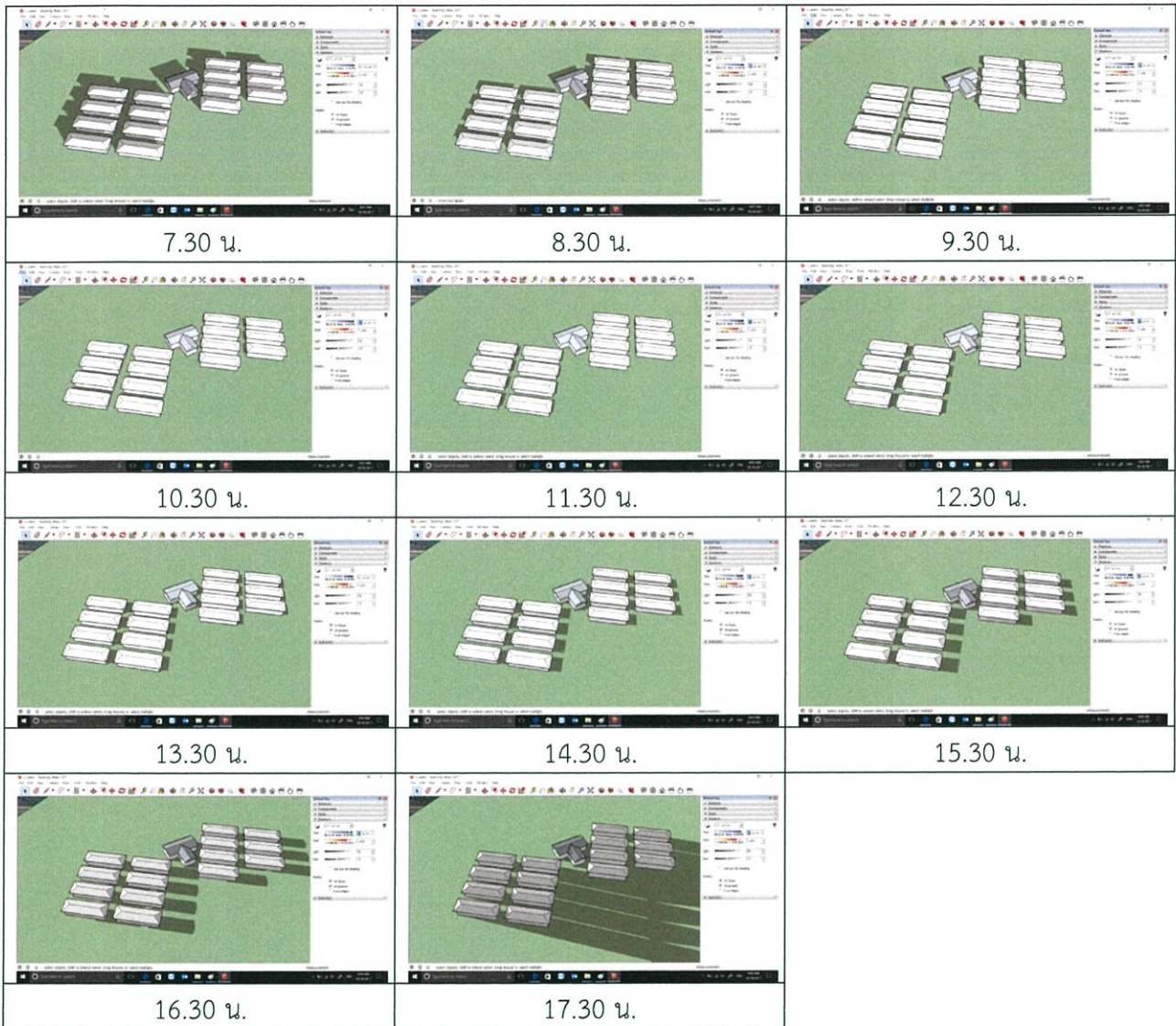
รูปที่ 3.3 แสดงแบบแปลนอาคารหอประชุมและตำแหน่งที่ติดตั้งได้

### 3.2 วิเคราะห์ทิศทางของเงาด้วยโปรแกรม Sket-up



รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งของอาคารและตั้งค่าเวลา

ตารางที่ 3.1 แสดงทิศทางของเงาตั้งแต่เวลา 7.30 - 17.30 น.



### 3.3 ออกแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

#### 3.3.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้ง

จากข้อกำหนดการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยค่าความต่างศักย์ต่อ 1 แกว จะต้องไม่เกิน  $1000 V_{dc}$  ในการคำนวณนั้นเราจะได้ค่า  $V_{OC}$  ของแผง จากรูปที่ 3.5  $V_{OC} = 45.6 V$  ที่ STC ( $25^{\circ}C$ ) แต่ในการคิดค่า  $V_{OCmax}$  เราจะคำนวณที่  $15^{\circ}C$

วิธีคิด ใช้แผง GKPC320-24Ve (320 W)

ที่อุณหภูมิ  $25^{\circ}C$   $V_{OC} = 45.6 V$

ที่อุณหภูมิ  $15^{\circ}C$  ค่า Temperature of  $V_{OC} = -0.33\%/^{\circ}C = -0.0033/^{\circ}C$  (ดูรูปที่ 3.6)

ที่อุณหภูมิ  $15^{\circ}C$  ค่า  $V_{OC} = 45.6(1-(-0.0033)(25-15)) = 47.1 V$

สามารถหาจำนวนแผงสูงสุดที่ต่ออนุกรมกันต่อ 1 แกว ได้จาก  $\frac{1000}{47.1} = 21.23 \rightarrow 21$  แผง

#### Electrical Characteristics

STC	GKPC 295-24Ve	GKPC 300-24Ve	GKPC 305-24Ve	GKPC 310-24Ve	GKPC 315-24Ve	GKPC 320-24Ve
Maximum Power at STC (Pmax)	295 W	300 W	305 W	310 W	315 W	320 W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	35.6 V	35.9 V	36.2 V	36.5 V	36.8 V	37.1 V
Optimum Operating Current (Imp)	8.29 A	8.36 A	8.43 A	8.50 A	8.56 A	8.63 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.3 V	44.5 V	44.7 V	44.9 V	45.1 V	45.6 V
Short Circuit Current (Isc)	8.74 A	8.83 A	8.89 A	8.96 A	9.02 A	9.14 A
Module Efficiency	15.2 %	15.5 %	15.7 %	16.0 %	16.2 %	16.5 %
Operating Module Temperature	-40°C to +85°C					
Maximum System Voltage	1000 VDC (IEC)					
Maximum Series Fuse Rating	20 A					
Power Tolerance	±3%					
STC: Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , module temperature 25°C, AM = 1.5, Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) used, power measurement uncertainty is within +/- 3%						

รูปที่ 3.5 Electrical Characteristics

#### Temperature Characteristics

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.42 %/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.33 %/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.067 %/°C

รูปที่ 3.6 Temperature Characteristics

### 3.3.2 อินเวอร์เตอร์

เมื่อกำหนดจำนวนแผงสูงสุดได้แล้ว ต่อไปจะคำนวณจำนวนแถวโดยจะต้องรู้ค่า Maximum Power Point (MPP) input และ จำนวนแถวสูงสุดที่อินเวอร์เตอร์รับได้ (MPPT) และค่า AC power (ดูรูปที่ 3.7) ซึ่งในการคำนวณนั้นเราจะใช้ค่าอัตราส่วนของกำลังไฟด้าน DC ต่อ AC ควรจะอยู่ระหว่าง 1.15 - 1.2 เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสม

**วิธีคิด** อินเวอร์เตอร์ขนาด 60kW , เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 320 W

กำลังไฟด้าน DC ควรจะมีค่า  $60\text{kW} \times 1.15 = 69 \text{ kW}$

จำนวนแผงที่เหมาะสม  $\frac{69000}{320} = 215.6$  แผง

จำนวน MPP = 1 และ จำนวนแถวที่อินเวอร์เตอร์รับได้ต่อ MPPT = 14 แถว

เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมจะใช้เซลล์แสงอาทิตย์ 20 แผง ต่อ 1 แถว จำนวน 11 แถว

จะได้อัตราส่วนกำลังด้าน DC ต่อ AC =  $\frac{320 \times 20 \times 11}{60000} = 1.173$

Input (DC)	SG60KTL
Max. PV input voltage	1000 V
Min. PV input voltage / Startup input voltage	570 V / 620 V
Nominal input voltage	710 V
MPP voltage range	570 – 950 V
MPP voltage range for nominal power	570 – 850 V
No. of independent MPP inputs	1
Max. number of PV strings per MPPT	14
Max. PV input current	120 A
Max. current for input connector	12 A
Max. DC short-circuit current	140 A
Output (AC)	
Nominal AC power (at 50 °C)	60000 W
Max. AC output power at PF=1 (at 45 °C)	66000 W
Max. AC apparent power (at 45 °C)	66000 VA
Max. AC output current	96 A
Nominal AC voltage	3 / N / PE or 3 / PE, 230 / 400 V
AC voltage range	310 – 480 V
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz
THD	< 3 % (at nominal power)
DC current injection	< 0.5 % I <sub>n</sub>
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging
Feed-in phases / Connection phases	3 / 3

รูปที่ 3.7 อินเวอร์เตอร์ Specification

### 3.3.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์

ในการคิดค่าพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นจะต้องใช้ค่า  $I_{sc}$  ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในการต่ออนุกรมกันค่า  $I_{sc}$  จะเท่ากันทั้งแถว จากรูปที่ 3.4 ค่า  $I_{sc} = 9.14$  A เพราะฉะนั้นพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้าน DC จะเท่ากับ  $9.14 \times 1.25 = 11.425$  A ส่วนด้าน AC กระแสที่ออกจากอินเวอร์เตอร์จะเท่ากับ 96 A (ดูรูปที่ 3.7) เพราะฉะนั้นพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้าน AC จะเท่ากับ  $96 \times 1.25 = 120$  A

## 3.4 คำนวณปริมาณไฟฟ้าด้วยโปรแกรม PVsyst

### 3.4.1 ตั้งค่าโปรแกรม

ในการคำนวณค่าแสงโดยใช้โปรแกรม PVsyst นั้น จะต้องเลือกสถานที่ รู้จำนวนแถวของเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวนอินเวอร์เตอร์ ซึ่ง 2 ค่านี้เราได้ทำการออกแบบไว้แล้ว ต่อไปจะต้องหาค่า Plane Tilt และค่ามุม Azimuth

### 3.4.2 Orientation

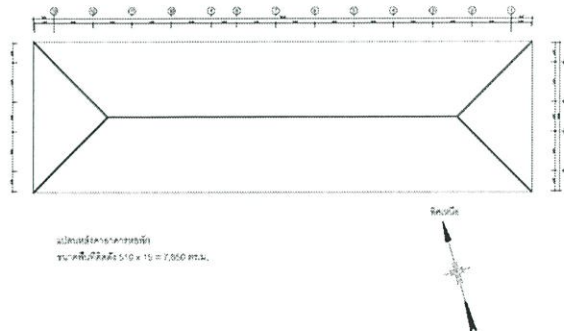
1) มุมเอียงของแผง (Plane Tilt) คือ มุมเอียงของแผงสามารถดูจากแบบแปลนโครงสร้างของหลังคาได้ หรืออาจจะประมาณค่ามุมจากหลังคาจริงๆ

2) มุมที่กระทำต่อทิศใต้ (Azimuth) คือ มุมที่กระทำต่อทิศใต้ ซึ่งในการใส่ค่าลงในโปรแกรม จะต้องใส่ค่า Azimuth ให้ตรงตามทิศเหนือใต้ สามารถดูทิศเหนือใต้ได้จากแผนที่หรือ Google Earth เมื่อรู้ทิศเหนือใต้แล้วจะสามารถหาค่ามุม Azimuth ได้ ซึ่งมุม Azimuth นี้ถ้าเราหมุนตามเข็มนาฬิกาจะเป็นค่าบวก และทวนเข็มนาฬิกาจะเป็นค่าลบ

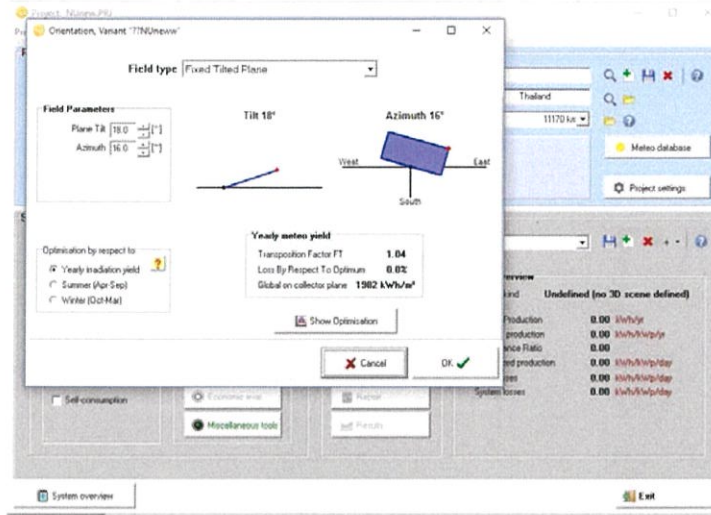
วิธีคิด จากรูปที่ 3.7 ทิศเหนือใต้จริงๆทำมุมกับแกน Y 16 องศา

ทำให้ทิศเหนือใต้อยู่ในแนวแกน Y จะต้องหมุนทิศตามเข็มนาฬิกา 16 องศา

จะได้มุม Azimuth = 16 องศา



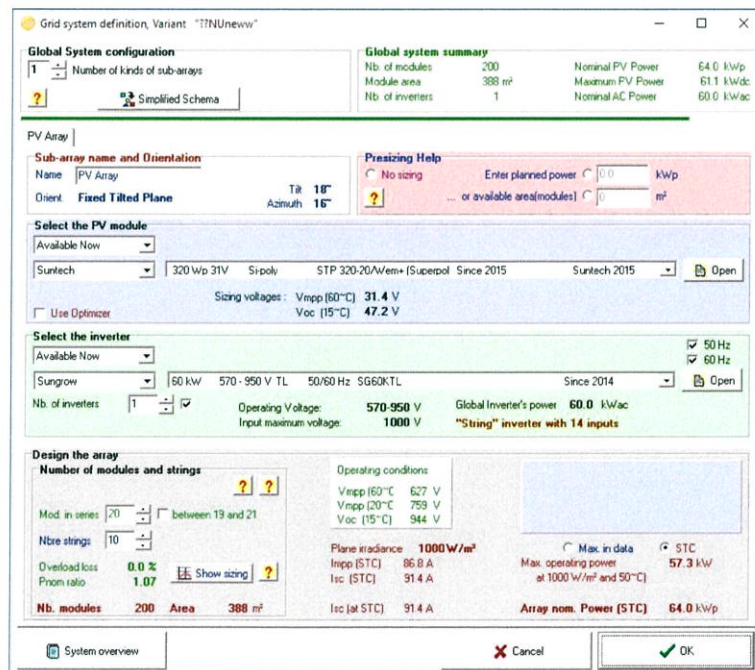
รูปที่ 3.8 แบบแปลนหลังคาหอพักนักศึกษา



รูปที่ 3.9 ตั้งค่า Plane Tilt และ มุม Azimuth

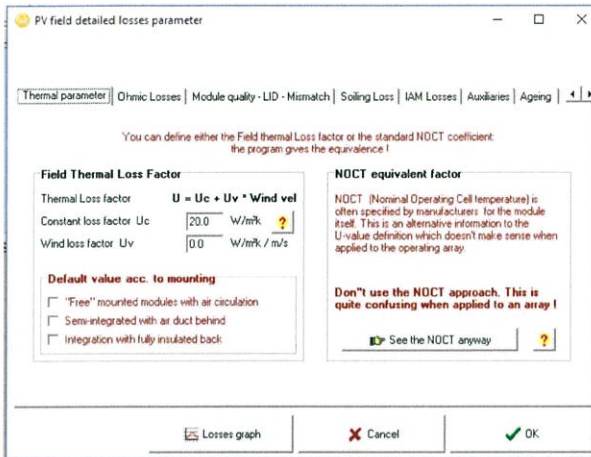
### 3.4.3 System

ใส่ค่าจำนวนแถวของเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ และยี่ห้อ ที่ออกแบบไว้

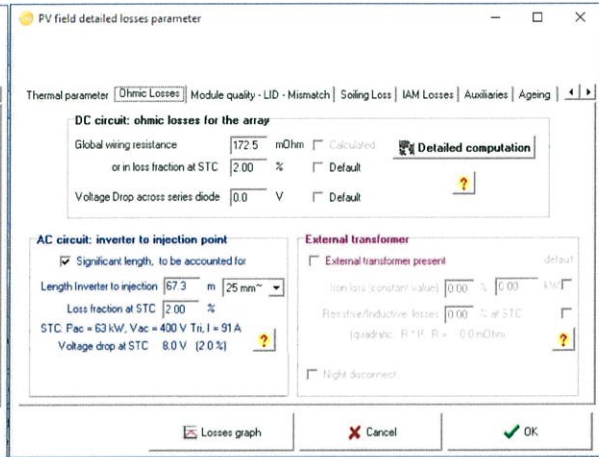


รูปที่ 3.10 ตั้งค่าจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ และรุ่นที่ใช้

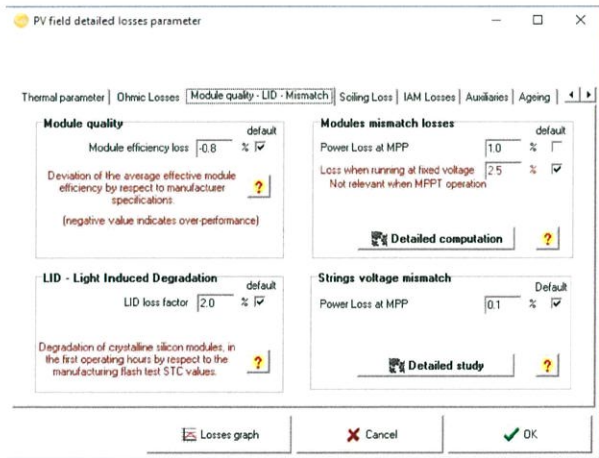
### 3.4.4 พลังงานที่สูญเสีย (Detailed Losses)



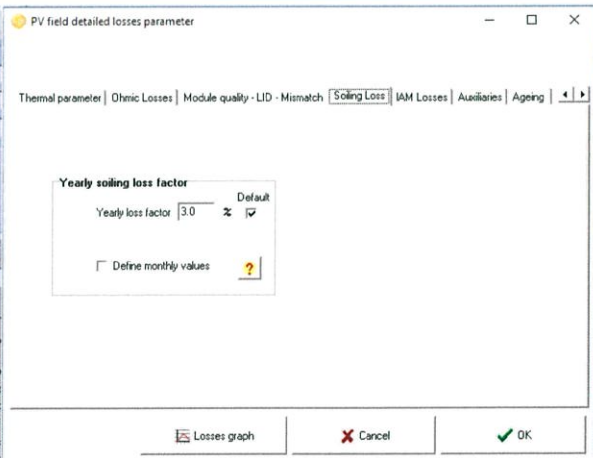
รูปที่ 3.11 ก)



รูปที่ 3.11 ข)



รูปที่ 3.11 ค)



รูปที่ 3.11 ง)

รูปที่ 3.11 ตั้งค่า Losses

### 3.4.5 Simulation

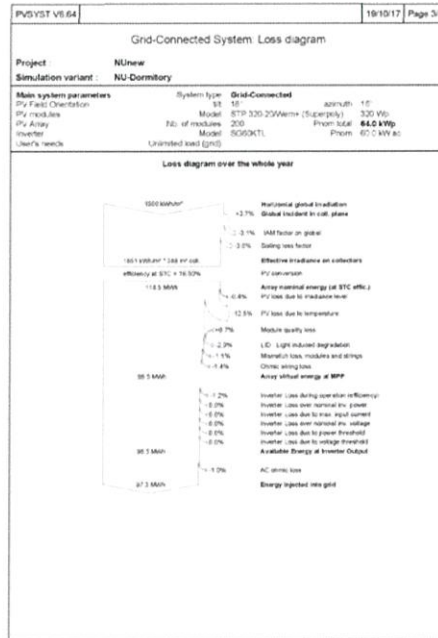
#### 1) อาคารหอพักนักศึกษา

PVSYST V6.64		19/10/17		Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters				
<b>Project:</b> NUnew				
<b>Geographical Site:</b> NUnew, Thailand				
<b>Situation:</b> Latitude: 16.75 N, Longitude: 102.19 E, Time zone: UT+7, Altitude: 45 m				
<b>Notes data:</b> NUnew, Metersom 7 (1961-2012), Rain: 100%, Synchro				
<b>Simulation variant:</b> NU-Dormitory, Simulation date: 15/10/17 09:35				
<b>Simulation parameters:</b> Collector Plane Orientation: Tilt: 16°, Azimuth: 16°				
<b>Models used:</b> Transposition: Perez, Diffuse: Perez, Metersom				
<b>Near Shadings:</b> Free horizon, No Shadings				
<b>PV Array Characteristics:</b> PV module: STP 320-25Wm+ (Supercell), Original PVsyst database, Manufacturer: Suntech, Number of PV modules: 20, In series: 10, Total number of PV modules: 200, Unit Nom. Power: 3.20 kWp, Array global power: 64.0 kWp, Nominal (STC): 550 V, Ump: 87 A, Array operating characteristics (50°C): 550 V, 1 mpp, 87 A, Total area: 388 m², Cell area: 350 m²				
<b>Inverter:</b> Model: SGO6KTL, Original PVsyst database, Manufacturer: Sunpower, Operating Voltage: 570-950 V, Unit Nom. Power: 60 kWac, Inverter pack: 1, No. of inverters: 1, Total Power: 60 kWac				
<b>PV Array loss factors:</b> Array Soiling losses: 0.0%, Thermal loss factor: 0.0% (0.0%)/0.0% (0.0%)/0.0% (0.0%), Wiring Ohmic Loss: 0.0%, Global array loss: 0.0% at STC, Module Quality Loss: 0.0%, Loss Fraction: 0.0% at STC, Module Mismatch Losses: 0.0%, Loss Fraction: 0.0% at MPP, Strings Mismatch loss: 0.0%, Loss Fraction: 0.0% at MPP, Temperature effect: ASHRAE parameterization: UAM = 1, No. of Modules: 1, No. of Panels: 0.0%				
<b>System loss factors:</b> wiring Ohmic Loss: 0.0%, Loss Fraction: 0.0% at STC				
<b>User's needs:</b> Unlimited load (grid)				

รูปที่ 3.12 ก)

PVSYST V6.64		19/10/17		Page 2/3				
Grid-Connected System: Main results								
<b>Project:</b> NUnew								
<b>Simulation variant:</b> NU-Dormitory								
<b>Main system parameters:</b> System type: Grid-Connected, PV Field Orientation: 16°, Azimuth: 16°, PV modules: Model: STP 320-25Wm+ (Supercell), 320 Wp, PV Array: No. of modules: 200, From total: 64.0 kWp, Inverter: Model: SGO6KTL, From: 60.0 kW ac, User's needs: Unlimited load (grid)								
<b>Main simulation results:</b> System Production: Produced Energy: 97.31 MWh/year, Performance Ratio PR: 77.19%, Specific prod: 1220 kWh/kWp/year								
<b>NU-Dormitory Balances and main results</b>								
	Global solar	Diffuse solar	T.Amb. °C	Global solar kWh/m²	Global solar kWh/m²	Array kWh	E_Grid kWh	PR
January	448.8	59.95	24.66	172.8	142.3	8.820	8.828	0.781
February	411.5	60.88	26.78	158.6	148.8	1.979	1.987	0.772
March	369.9	64.48	28.90	174.6	164.2	8.718	8.725	0.762
April	327.1	68.54	30.36	173.3	162.7	6.565	6.568	0.757
May	281.6	68.44	29.41	169.6	159.1	6.462	6.469	0.750
June	242.2	69.05	28.49	168.6	158.4	6.585	6.594	0.752
July	202.7	66.47	28.46	169.7	158.5	6.585	6.600	0.774
August	143.5	62.55	28.30	157.6	158.7	7.050	6.992	0.762
September	143.6	59.19	27.69	148.7	158.1	7.518	7.522	0.772
October	159.5	54.68	26.11	162.4	153.8	8.223	8.240	0.789
November	206.7	60.06	26.10	166.5	147.4	7.854	7.868	0.777
December	242.2	62.08	24.98	185.9	174.8	9.433	9.220	0.776
Year	1889.7	619.97	27.70	1860.8	1851.2	89.467	87.210	0.772
<p>Legend: Global solar: Horizontal global irradiation, Diffuse solar: Horizontal diffuse irradiation, T.Amb.: Ambient Temperature, Global solar in cell plane: Global solar in cell plane, Global solar kWh/m²: Effective Global solar (to AM and shading), Array kWh: Effective energy at the output of the array, E_Grid kWh: Energy injected into grid, PR: Performance Ratio</p>								

รูปที่ 3.12 ข)



รูปที่ 3.12 ค)

รูปที่ 3.12 Simulation Data อาคารหอพักนักศึกษา

2) อาคารหอประชุม

PVSYST V6.02		24/10/17	Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project : Naresuan University			
Geographical Site	The Pho	Country	Thailand
Situation	Latitude: 16.75° N Longitude: 100.19° E	Legal Time	Time zone: UT+7 Altitude: 49 m
Meteor data:	The Pho	Meteorom: 7.1 (1991-2010)	Solar: 100% Synthetic
Simulation variant : NU-Auditorium			
Simulation date : 24/10/17 14:04			
Simulation parameters			
3 orientations	Tilt/Azimuth: 45 / 15 and 45 / 72°		
Models used	Transposition: Perez	Diffuse:	Perez, Meteonorm
Horizon	Free horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Array Characteristics			
PV module	Model: STP 320-35Wm+ (Superpoly)		
Original Physic database	Manufacturer: Suntech		
Number of PV modules	In series: 20 modules	In parallel:	7 strings
Total number of PV modules	Nb modules: 140	Unit Nom. Power:	320 Wp
Array global power	Nominal (STC): 44.8 kWp	At operating cond:	40.1 kWp (30°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mp: 650 V	I mp:	61 A
Total area	Module area: 272 m²	Cell area:	240 m²
Inverter			
Original Physic database	Model: S000KTL		
Manufacturer	Sungrow		
Characteristics	Operating Voltage: 570-950 V	Unit Nom. Power:	60 kWac
Inverter pack	Nb of inverters: 1 unit	Total Power:	60 kWac
PV Array loss factors			
Array Soiling Losses	Loss Fraction: 1.5 %		
Thermal Loss Factor	Uc (nom): 20.0 W/m²K	Uv (nom):	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res: 246 mOhm	Loss Fraction:	2.0 % at STC
L.D.: Light Induced Degradation	Loss Fraction:	2.0 %	
Module Quality Loss	Loss Fraction:	0.5 %	
Module Mismatch Losses	Loss Fraction:	1.0 % at MPP	
Incidence effect: ASHRAE parameterization	(IAM = 1.00 / Modp + T)	loss Fraction:	0.00
System loss factors			
Wiring Ohmic Loss	Wire: 3x25.0 mm² / 72 m	Loss Fraction:	1.5 % at STC
User's needs :			
Unlimited load (grid)			

รูปที่ 3.13 ก)

PVSYST V6.02		24/10/17	Page 2/3				
Grid-Connected System: Main results							
Project : Naresuan University							
Simulation variant : NU-Auditorium							
Main system parameters		System type: Grid-Connected					
PV field Orientation	2 orientations: Tilt/Azimuth = 45 / 15 and 45 / 72°	Model: STP 320-35Wm+ (Superpoly)	320 Wp				
PV Array	Nb. of modules: 140	From total: 44.8 kWp					
Inverter	Model: S000KTL	From: 60.0 kW ac					
User's needs:	Unlimited load (grid)						
Main simulation results		Produced Energy: 61.22 MWh/year	Specific prod: 1369 kWh/Wp/year				
System Production		Performance Ratio PR: 78.74 %					
Normalized production per installed Wp: Normalized power (kWh/Wp)							
NU-Auditorium Balances and main results							
	GlobalHr	Diffuse	T_Amb	GlobalHr	GlobalHr	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	MWh	
January	146.8	69.90	24.68	162.1	163.3	9.874	0.792
February	141.5	65.86	26.74	144.9	158.4	5.214	0.788
March	168.9	84.48	28.30	154.4	147.5	5.504	0.780
April	176.1	99.90	30.38	147.4	146.2	5.227	0.776
May	181.9	99.48	29.41	141.0	133.1	3.043	0.782
June	174.3	69.58	29.49	130.6	123.7	4.733	0.782
July	163.7	68.47	29.48	146.0	122.6	5.663	0.790
August	143.2	62.15	28.38	118.7	118.8	4.275	0.800
September	143.6	71.19	27.89	130.4	124.4	4.828	0.792
October	133.6	74.66	28.11	147.6	141.1	6.288	0.784
November	130.7	61.98	26.19	144.5	138.2	5.217	0.790
December	117.5	45.90	24.68	176.9	168.9	6.508	0.784
Year	1889.7	818.90	27.79	1758.4	1684.8	61.218	0.787
Legend:				GlobalHr	Horizontal global irradiation	GlobalE	Effective Global: sum for AM and shading Energy
				Diffuse	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Effective energy at the output of the array
				T_Amb	Ambient temperature	E_Grid	Energy injected into grid
				GlobalHr	Global incident on cell plane	PR	Performance Ratio

รูปที่ 3.13 ข)

PVSYST V6.02		24/10/17	Page 3/3
Grid-Connected System: Loss diagram			
Project : Naresuan University			
Simulation variant : NU-Auditorium			
Main system parameters		System type: Grid-Connected	
PV field Orientation	2 orientations: Tilt/Azimuth = 45 / 15 and 45 / 72°	Model: STP 320-35Wm+ (Superpoly)	320 Wp
PV Array	Nb. of modules: 140	From total: 44.8 kWp	
Inverter	Model: S000KTL	From: 60.0 kW ac	
User's needs:	Unlimited load (grid)		
Loss diagram over the whole year			

รูปที่ 3.13 ค)

รูปที่ 3.13 Simulation Data อาคารหอประชุม

### 3.4.5.1 กำลังที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม PVsyst

ตารางที่ 3.2 กำลังที่ผลิตได้ในแต่ละปีของอาคารหอพักนักศึกษา

No.	Tilt (°)	Azimuth (°)	Energy (MWh/year)	Performance Ratio PR (%)
1	18	16	97.31	77.19
2	18	-164	85.75	77.70

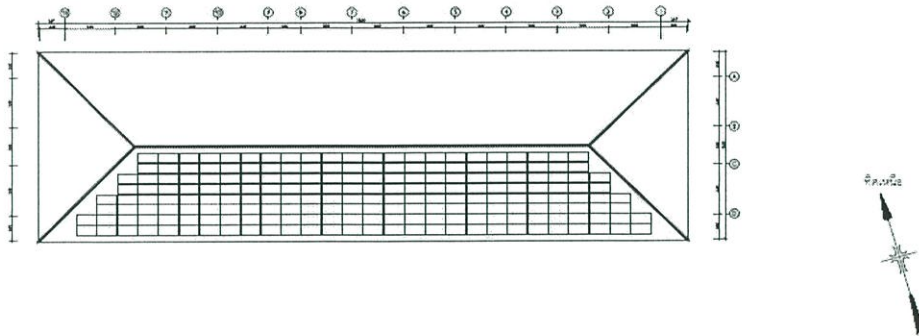
ตารางที่ 3.3 กำลังที่ผลิตได้ในแต่ละปีของอาคารหอประชุม

No.	Tilt (°)	Azimuth (°)	Energy (MWh/year)	Performance Ratio PR (%)
3	45	-18	90.28	77.67
4	45	162	62.87	77.66
5	45	72	82.89	77.33
6	45	108	78.11	78.52

### 3.5 วางเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

จากการดูทิศทางของเงาและปริมาณกำลังที่ผลิตได้ จะได้ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดคือตำแหน่งที่ 1,3 และ 8

#### 3.5.1 แบบแปลนอาคารหอพักนักศึกษาที่วางเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว



รูปที่ 3.14 แบบแปลนอาคารหอพักนักศึกษาที่วางเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว

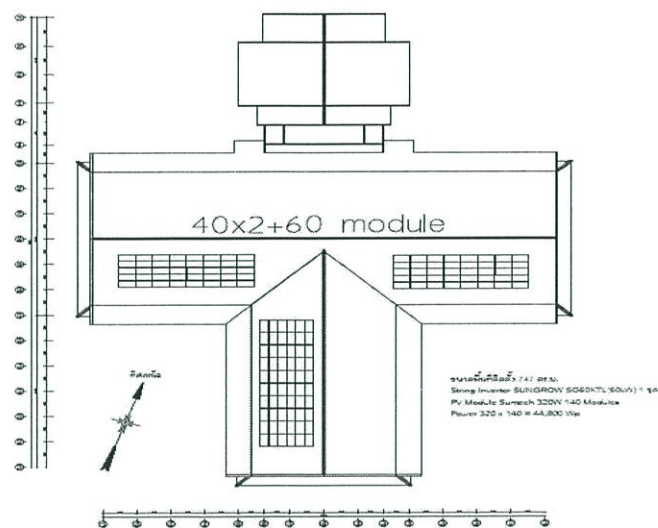
ตารางที่ 3.4 จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้งอาคารหอพักนักศึกษาที่ออกแบบ 1 อาคาร

จำนวนอินเวอร์เตอร์	จำนวนสตริง	จำนวนแผงต่อสตริง	จำนวนแผงทั้งหมด	กำลังที่ได้ ( $W_p$ )
1	10	20	200	64,000

ตารางที่ 3.5 จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้งอาคารหอพักนักศึกษาที่ออกแบบ 15 อาคาร

จำนวนอินเวอร์เตอร์	จำนวนสตริง	จำนวนแผงต่อสตริง	จำนวนแผงทั้งหมด	กำลังที่ได้ ( $W_p$ )
15	150	20	3,000	960,000

### 3.5.2 แบบแปลนอาคารหอประชุมที่วางเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว

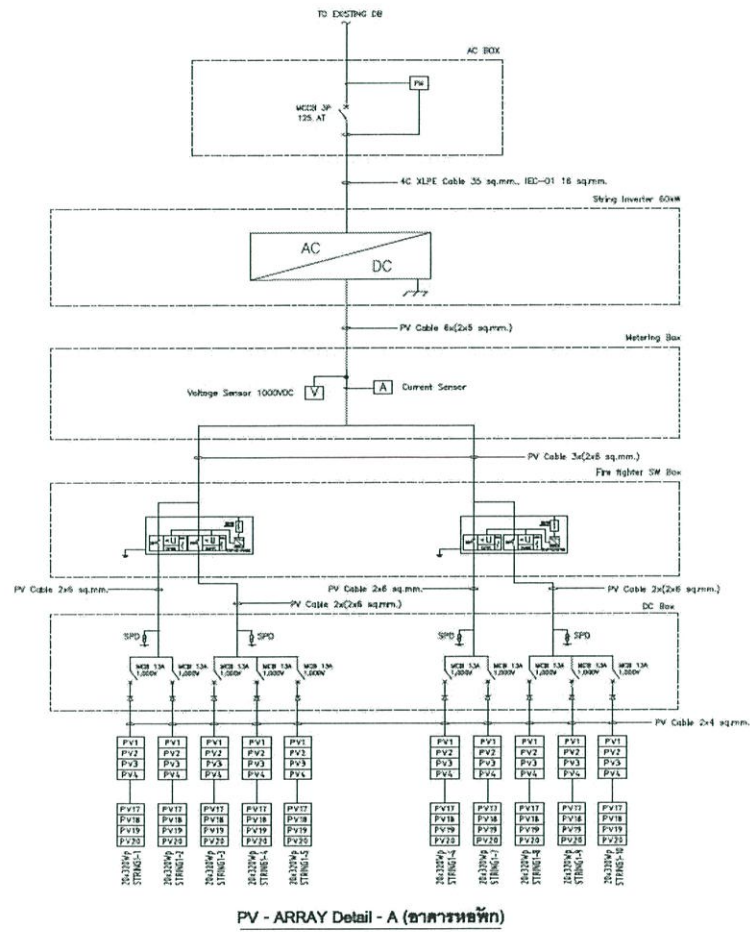


รูปที่ 3.15 แบบแปลนอาคารหอประชุมที่วางเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว

### ตารางที่ 3.6 จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้งอาคารหอประชุมที่ออกแบบ 1 อาคาร

จำนวนอินเวอร์เตอร์	จำนวนสตริง	จำนวนแผงต่อสตริง	จำนวนแผงทั้งหมด	กำลังที่ได้ ( $W_p$ )
1	7	20	140	44,800

### 3.6 เขียนแบบทางไฟฟ้า



PV - ARRAY Detail - A (อาคารหอพัก)

รูปที่ 3.16 แบบทางไฟฟ้าที่ออกแบบ

## บทที่ 4

### สรุปผลการดำเนินงาน

การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ระบบ Grid-Tied บนหลังคา เริ่มจากสำรวจหลังคาที่จะติดตั้ง แล้วเลือกตำแหน่งหลังคาที่เหมาะสมเพื่อให้คุ้มค่าต่อการติดตั้ง ในการเลือกตำแหน่งนั้นจะต้องพิจารณาทั้งเรื่องแสงและเงา ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์และจำนวนอินเวอร์เตอร์ที่จะติดตั้งให้เหมาะสมกับพื้นที่หลังคา แล้วนำค่าที่ออกแบบไว้มาคำนวณหาปริมาณแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ต่อปีด้วยโปรแกรม PVsyst เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมแล้วนำเซลล์แสงอาทิตย์มาวางบนหลังคาในแบบ และเขียนแบบทางไฟฟ้า ส่วนการติดตั้งให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือจะได้หันเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ และในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถปรับค่ามุมของแผงและมุม Azimuth ได้ สิ่งที่ทำได้ คือ เลือกตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะติดตั้งบนหลังคา

#### 4.1 กำลังการติดตั้ง

ตารางที่ 4.1 จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้งทั้งอาคารหอพักนักศึกษาและอาคารหอประชุมทั้งหมด

จำนวนอินเวอร์เตอร์	จำนวนแผงทั้งหมด	กำลังที่ได้ ( $W_p$ )
16	3,140	1,004,800

## เอกสารอ้างอิง

- [1] การเลือกแผงโซลาร์เซลล์. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://travel.mweb.co.th/north/Chiangmai/index.html>. ๒๘ ตุลาคม ๒๕๖๐
- [2] ฉนวนไฟฟ้า PVC และ XLPE. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [http://www.tpa.or.th/writer/read\\_this\\_book\\_topic.php?bookID=1248&read=true&count=true](http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=1248&read=true&count=true). ๒๘ ตุลาคม ๒๕๖๐
- [3] ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ Surge Protector. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/surge\\_knowledge.php](http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/surge_knowledge.php). ๒๘ ตุลาคม ๒๕๖๐
- [4] กองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายแผนงานพัฒนาโรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. Solar Cell. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://travel.mweb.co.th/north/Chiangmai/index.html>. ๒๘ ตุลาคม ๒๕๖๐
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ๒๕๕๗. ความปลอดภัยในการผลิตและใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา. ๒๘ ตุลาคม ๒๕๖๐

# ภาคผนวก

ตารางสเปคสายไฟ

ATTACHED TABLE

Products code	No. of core	Conductor			Thickness of insulation mm (Nominal)	Thickness of sheath mm (Nominal)	Overall diameter mm (Approx.)	DC. conductor resistance at 20°C $\Omega$ /km (Max.)	Insulation resistance at 20°C M $\Omega$ -km (Min.)	Current rating		Cable weight kg/km (Approx.)	Standard length m
		size mm <sup>2</sup>	No. of wires - (Min.)	diameter mm (Approx.)						in free air at 40°C ambient A	direct burial in ground at 30°C A		
C97301284011	1	1.5	7	1.53	0.7	1.4	6.5	12.1	2,550	27	33	50	500
C97301344011	1	2.5	7	1.98	0.7	1.4	7.0	7.41	2,100	36	43	60	500
C97301372011	1	4	7	2.49	0.7	1.4	7.5	4.61	1,700	48	56	80	500
C97301382011	1	6	7	3.09	0.7	1.4	8.0	3.08	1,450	61	71	110	500
C97301393011	1	10	6	3.72	0.7	1.4	9.0	1.83	1,250	82	94	150	500
C97301403011	1	16	6	4.69	0.7	1.4	9.5	1.15	1,000	110	120	210	500
C97301413011	1	25	6	5.90	0.9	1.4	11.5	0.727	1,050	145	155	310	500
C97301423011	1	35	6	6.95	0.9	1.4	12.5	0.524	900	180	185	410	500
C97301463011	1	50	6	8.33	1.0	1.4	14.0	0.387	850	220	225	550	500
C97301473011	1	70	12	9.73	1.1	1.4	15.5	0.268	800	280	275	750	500
C97301483011	1	95	15	11.43	1.1	1.5	17.5	0.193	700	345	330	1,020	500
C97301513011	1	120	18	12.95	1.2	1.5	19.5	0.153	650	400	375	1,270	500
C97301523011	1	150	18	14.27	1.4	1.6	21.5	0.124	700	460	425	1,560	500
C97301533011	1	185	30	15.98	1.6	1.6	23.5	0.0991	700	530	480	1,940	500
C97301543011	1	240	34	18.47	1.7	1.7	26.5	0.0754	650	630	560	2,520	500
C97301553011	1	300	34	20.68	1.8	1.8	29.0	0.0601	600	725	635	3,130	500
C97301563011	1	400	53	23.39	2.0	1.9	32.5	0.0470	600	840	725	3,980	500
C97301573011	1	500	53	26.67	2.2	2.0	36.5	0.0366	600	1,000	830	5,080	500
C97301583011	1	630	53	30.22	2.4	2.2	41.0	0.0283	550	1,170	945	6,540	400
C97301593011	1	800	53	34.00	2.6	2.3	45.5	0.0221	550	1,340	1,060	8,310	400

ATTACHED TABLE

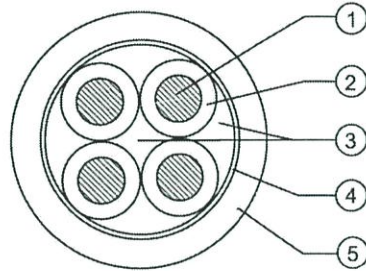
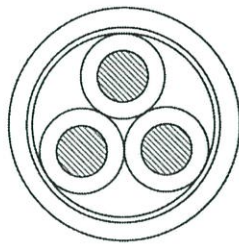
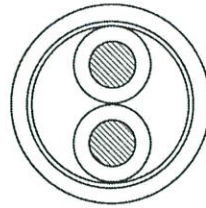
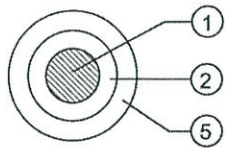
Products code	No. of core	Conductor			Thickness of insulation mm (Nominal)	Thickness of sheath mm (Nominal)	Overall diameter mm (Approx.)	DC. conductor resistance at 20°C $\Omega$ /km (Max.)	Insulation resistance at 20°C M $\Omega$ -km (Min.)	Current rating		Cable weight kg/km (Approx.)	Standard length m
		size mm <sup>2</sup>	No. of wires - (Min.)	diameter mm (Approx.)						in free air at 40°C ambient A	direct burial in ground at 30°C A		
C97302284011	2	1.5	7	1.53	0.7	1.8	11.0	12.1	2,550	25	33	120	500
C97302344011	2	2.5	7	1.98	0.7	1.8	11.5	7.41	2,100	34	44	160	500
C97302372011	2	4	7	2.49	0.7	1.8	12.5	4.61	1,700	44	58	200	500
C97302382011	2	6	7	3.09	0.7	1.8	14.0	3.08	1,450	57	73	260	500
C97302393011	2	10	6	3.72	0.7	1.8	15.0	1.83	1,250	77	97	360	500
C97302403011	2	16	6	4.69	0.7	1.8	17.0	1.15	1,000	100	125	510	500
C97302413011	2	25	6	5.90	0.9	1.8	20.5	0.727	1,050	135	165	760	500
C97302423011	2	35	6	6.95	0.9	1.8	22.5	0.524	900	165	195	1,000	500
C97302463011	2	50	6	8.33	1.0	1.8	26.0	0.387	850	205	235	1,330	500
C97302473011	2	70	12	9.73	1.1	1.8	29.5	0.268	800	255	290	1,820	500
C97302483011	2	95	15	11.43	1.1	1.9	33.0	0.193	700	315	350	2,440	500
C97302513011	2	120	18	12.95	1.2	2.0	36.5	0.153	650	365	400	3,060	500
C97302523011	2	150	18	14.27	1.4	2.1	40.5	0.124	700	415	450	3,750	500
C97302533011	2	185	30	15.98	1.6	2.3	45.0	0.0991	700	485	505	4,700	400
C97302543011	2	240	34	18.47	1.7	2.5	51.0	0.0754	650	580	585	6,110	300
C97302553011	2	300	34	20.68	1.8	2.6	56.0	0.0601	600	675	665	7,550	250
C97302563011	2	400	53	23.39	2.0	2.9	63.5	0.0470	600	790	750	9,630	200

ATTACHED TABLE

Products code	No. of core	Conductor			Thickness of insulation mm (Nominal)	Thickness of sheath mm (Nominal)	Overall diameter mm (Approx.)	DC conductor resistance at 20°C $\Omega$ /km (Max.)	Insulation resistance at 20°C M $\Omega$ -km (Min.)	Current rating		Cable weight kg/km (Approx.)	Standard length m
		size	No. of wires	diameter						in free air at 40°C ambient A	direct burial in ground at 30°C A		
		mm <sup>2</sup>	- (Min.)	mm (Approx.)									
C97303284011	3	1.5	7	1.53	0.7	1.8	11.5	12.1	2,550	21	28	140	500
C97303344011	3	2.5	7	1.98	0.7	1.8	12.0	7.41	2,100	28	37	190	500
C97303372011	3	4	7	2.49	0.7	1.8	13.5	4.61	1,700	37	49	250	500
C97303382011	3	6	7	3.09	0.7	1.8	14.5	3.08	1,450	48	61	330	500
C97303393011	3	10	6	3.72	0.7	1.8	16.0	1.83	1,250	64	82	470	500
C97303403011	3	16	6	4.69	0.7	1.8	18.0	1.15	1,000	86	105	670	500
C97303413011	3	25	6	5.90	0.9	1.8	21.5	0.727	1,050	115	135	1,020	500
C97303423011	3	35	6	6.95	0.9	1.8	24.0	0.524	900	140	165	1,350	500
C97303463011	3	50	6	8.33	1.0	1.8	27.5	0.387	850	170	200	1,800	500
C97303473011	3	70	12	9.73	1.1	1.9	31.5	0.268	800	215	245	2,500	500
C97303483011	3	95	15	11.43	1.1	2.0	35.5	0.193	700	260	295	3,370	500
C97303513011	3	120	18	12.95	1.2	2.1	39.5	0.153	650	305	335	4,220	500
C97303523011	3	150	18	14.27	1.4	2.2	43.5	0.124	700	350	380	5,190	400
C97303533011	3	185	30	15.98	1.6	2.4	48.5	0.0991	700	405	425	6,490	400
C97303543011	3	240	34	18.47	1.7	2.6	55.0	0.0754	650	490	495	8,440	300
C97303553011	3	300	34	20.68	1.8	2.7	60.5	0.0601	600	565	560	10,470	250
C97303563011	3	400	53	23.39	2.0	3.0	68.0	0.0470	600	655	630	13,350	200

ATTACHED TABLE

Products code	No. of core	Conductor			Thickness of insulation mm (Nominal)	Thickness of sheath mm (Nominal)	Overall diameter mm (Approx.)	DC conductor resistance at 20°C $\Omega$ /km (Max.)	Insulation resistance at 20°C M $\Omega$ -km (Min.)	Current rating		Cable weight kg/km (Approx.)	Standard length m
		size	No. of wires	diameter						in free air at 40°C ambient A	direct burial in ground at 30°C A		
		mm <sup>2</sup>	- (Min.)	mm (Approx.)									
C97304284011	4	1.5	7	1.53	0.7	1.8	12.0	12.1	2,550	21	28	170	500
C97304344011	4	2.5	7	1.98	0.7	1.8	13.0	7.41	2,100	28	37	230	500
C97304372011	4	4	7	2.49	0.7	1.8	14.5	4.61	1,700	37	49	300	500
C97304382011	4	6	7	3.09	0.7	1.8	16.0	3.08	1,450	48	61	410	500
C97304393011	4	10	6	3.72	0.7	1.8	17.5	1.83	1,250	64	82	590	500
C97304403011	4	16	6	4.69	0.7	1.8	19.5	1.15	1,000	86	105	860	500
C97304413011	4	25	6	5.90	0.9	1.8	24.0	0.727	1,050	115	135	1,300	500
C97304423011	4	35	6	6.95	0.9	1.8	26.5	0.524	900	140	165	1,740	500
C97304463011	4	50	6	8.33	1.0	1.8	30.5	0.387	850	170	200	2,320	500
C97304473011	4	70	12	9.73	1.1	2.0	35.0	0.268	800	215	245	3,250	500
C97304483011	4	95	15	11.43	1.1	2.1	39.0	0.193	700	260	295	4,390	500
C97304513011	4	120	18	12.95	1.2	2.3	44.0	0.153	650	305	335	5,520	400
C97304523011	4	150	18	14.27	1.4	2.4	48.5	0.124	700	350	380	6,780	400
C97304533011	4	185	30	15.98	1.6	2.6	54.0	0.0991	700	405	425	8,480	300
C97304543011	4	240	34	18.47	1.7	2.8	61.0	0.0754	650	490	495	11,040	200
C97304553011	4	300	34	20.68	1.8	3.0	67.5	0.0601	600	565	560	13,720	150
C97304563011	4	400	53	23.39	2.0	3.3	76.0	0.0470	600	655	630	17,490	150



Item No.	Description	Material
1	Conductor	Annealed copper wires
2	Insulation	XLPE
3	Filler	Suitable filler
4	Binder tape	Suitable tape
5	Sheath	FR-PVC