การออกแบบและติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมบนดาดฟ้าของอาคารภาครัฐ

OPTIMAL DESIGN AND INSTALLATION OF SOLAR ROOFTOP FOR THAI GOVERNMENT BUILDING

เอกพัชร ชีวิตโสภณ

EKKAPACH CHEEVITSOPON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2564

KMITL-2021-EN-M-060-018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPTIMAL DESIGN AND INSTALLATION OF SOLAR ROOFTOP FOR THAI GOVERNMENT BUILDING

EKKAPACH CHEEVITSOPON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2021

KMITL-2021-EN-M-060-018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2021
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT’S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมบนดาดฟ้าของอาคารภาครัฐ
นักศึกษา	นายเอกพัชร ชีวิตโสภณ
รหัสประจำตัว	60601011
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2564
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม)	ผศ. ดร. เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อออกแบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับกรณีศึกษาอาคารภาครัฐ โดยลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากระบบโครงข่ายของการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งหน่วยงานราชการมีลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมากในช่วงเวลาราชการ และจ่ายอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) งานวิจัยเริ่มตั้งแต่การสำรวจสถานที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดานฟ้าของอาคารจอดรถเป็น 830 ตารางเมตร และตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าของอาคารที่ทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่ามีปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 27,482.20 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือเฉลี่ย 1,203.59 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน และ 285.20 กิโลวัตต์ชั่วโมงสำหรับวันทำงาน และวันหยุด ตามลำดับ โดยมีกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง (On peak) เป็น 155.3 กิโลวัตต์ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ควรมีกำลังผลิตไฟฟ้ามากกว่ากำลังไฟฟ้าใช้สูงสุด เนื่องจากกำลังไฟฟ้าใช้สูงสุดมีผลกระทบมากที่สุดต่อการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU และลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่าย และเกิดผลประหยัดสะสมมากที่สุดตลอดอายุการใช้งาน 25 ปี และมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิมากที่สุด อย่างไรก็ตามการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าหรือหลังคามักจะมีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ จึงแนะนำให้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เต็มพื้นที่เท่าที่ทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Optimal design and installation of solar rooftop for Thai government building
Student	Mr. Ekkapach Cheevitsopon
Student ID.	60601011
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2021
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Taweepol Suesut
Thesis Co-Advisor	Asst. Prof. Dr. Kiattiask Roonprasang

ABSTRACT

The main objective of this research is to design suitable photovoltaic power generation systems for government building case studies to reduce the maximum demand from the Metropolitan Electricity Authority's grid system. A government organization tends to use large amounts of electrical energy during official time and pays electricity cost over the time of use rate (TOU). The research began with the survey on the roof of the parking building for 830 square meters of solar cell installation and measured the electricity consumption of the studied building over a period of 1 month. Total electricity consumption was 27,482.20 kWh. The average energy consumptions for working days and holidays were 1,203.59 kWh per day and 285.20 kWh per day, respectively. The maximum demand during an On-Peak period was 155.30 kW. The results show that the maximum power of the solar cell system should be higher than the maximum demand because the maximum demand has the greatest impact on the TOU charge, reduces electrical consumption from the grid, and contributes to the highest accumulated saving over the lifespan of 25 years and the net present value method is also the highest. However, installing solar panels on a rooftop or roof often has space limitations. It is therefore recommended to install solar panels to cover all the available area.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์ และ ผศ.ดร. เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ความรู้และคำแนะนำที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ ศูนย์พัฒนานวัตกรรมและบริการทางวิศวกรรม Engineering Innovative Development and Technology Services (EIDTs) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ที่ให้สถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ดร.ยุทธพงศ์ ทัพผดุง วิศวกร 11 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อดีตผู้อำนวยการธุรกิจพลังงานแสงอาทิตย์ บริษัท พีอีเอ เอ็นคอม อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ที่ให้ความรู้และคำแนะนำเรื่องการออกแบบและติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

ขอขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ รวมทั้งเพื่อน พี่ น้องที่คอยให้คำปรึกษาทั้งในด้านความรู้และกำลังใจในการแก้ไขปัญหาต่างๆ

สุดท้ายนี้สำหรับคุณประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกๆท่านและให้ทุกท่านจงพบเจอแต่ความสำเร็จตลอดไป

เอกพัชร ชีวิตโสภณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย........ I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ........ II
กิตติกรรมประกาศ........ III
สารบัญ........ IV
สารบัญตาราง........ VII
สารบัญรูป........ VIII
บทที่ 1 บทนำ........ 1
1.1ที่มาและความสำคัญ........ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์........ 2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์........ 2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน........ 2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ........ 2
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์........ 3
1.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง........ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง........ 6
2.1พลังงานแสงอาทิตย์........ 6
2.1.1 หลักการเกิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์........ 6
2.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ประกอบ........ 7
2.1.3 อินเวอร์เตอร์........ 9
2.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์อิสระ........ 10
2.2.1 ระบบไฟฟ้ากระแสตรง........ 10
2.2.2 ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ........ 10
2.2.3 ระบบไฟฟ้าผสมผสาน........ 11
2.3 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย........ 11
2.3.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายสำหรับที่อยู่อาศัย 11
2.3.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายสำหรับอาคาร........ 12
2.4 การประมาณขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์........ 12
2.5 มาตรฐานและข้อกำหนดสำหรับการออกแบบและทดสอบการทำงาน........ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงแบบTOU........ 13
2.6.1 การคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU........ 14
2.7 ระยะเวลาคืนทุน........ 16
2.8 ข้อจำกัดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง........ 16
2.8.1 กรณีเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ........ 16
2.8.2 กรณีเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงกลาง........ 16
2.9 ระบบการบริหารจัดการพลังงานอัจฉริยะ........ 17

บทที่ 3 วิธีการทดลอง........ 18
3.1 การสำรวจข้อมูล........ 18
3.1.1 สำรวจข้อมูลอาคารและพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์........ 18
3.1.2 สำรวจพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 7........ 19
3.2 อุปกรณ์ติดตั้ง........ 20
3.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์........ 20
3.2.2 อินเวอเตอร์........ 20
3.2.3 การออกแบบสายไฟ........ 21
3.3 โครงสร้างระบบบริหารจัดการพลังงานอัจฉริยะ........ 21
3.3.1 โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของระบบบริหารจัดการพลังงาน........ 21
3.3.2 โครงสร้างซอฟต์แวร์ของระบบบริหารจัดการพลังงาน........ 22
3.3.3 เว็บแอพพลิเคชั่นของระบบบริหารจัดการพลังงาน........ 23
3.4 การใช้ระบบการบริหารจัดการพลังงานอัจฉริยะในการตรวจวัดข้อมูล........ 24
3.4.1 การแสดงการใช้พลังงานรวมของทั้งอาคาร........ 24
3.4.2 การแสดงข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร........ 24
3.5 โปรแกรม PVsyst........ 29
3.6 แนวทางการออกแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์........ 34

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์........ 35
4.1.1 ผลการสำรวจข้อมูลก่อนการวิเคราะห์........ 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.2 การตรวจวัดและจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าของอาคาร 35

4.2 ตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 7 40

4.3 พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 7 43

4.4 ผลการจำลองแนวทางการวิเคราะห์จากโปรแกรม PVsyst 44

4.4.1 ผลการจำลองจากโปรแกรม PVsyst ที่เงื่อนไขพื้นที่ 830 ตารางเมตร 44

4.4.2 ผลการจำลองจากโปรแกรม PVsyst ที่เงื่อนไขกำลังผลิต 75 กิโลวัตต์ 47

4.4.3 ผลการจำลองจากโปรแกรม PVsyst ที่เงื่อนไขกำลังผลิต 155 กิโลวัตต์ 49

4.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 51

4.5.1 ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม PVsyst ที่เงื่อนไขพื้นที่ 830 ตารางเมตร 51

4.5.2 ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม PVsyst ที่เงื่อนไขกำลังผลิต 75 กิโลวัตต์ 52

4.5.3 ผลการจำลองจากโปรแกรม PVsyst ที่เงื่อนไขกำลังผลิต 151 กิโลวัตต์ 54

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 57

5.1 สรุปผลการวิจัย 57

เอกสารอ้างอิง 58

ภาคผนวก ก อุปกรณ์ติดตั้ง 59

ภาคผนวก ข งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ 67

ประวัติผู้เขียน 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 อัตราค่าไฟฟ้าแบบปกติ........ 15
2.2 อัตราค่าไฟตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff) ประเภทที่ 3........ 15
3.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของพาวเวอร์มิเตอร์ Fluke รุ่น 1730........ 19
3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์ JETION รุ่น JT300Ag........ 20
4.1 รายละเอียดเครื่องปรับอากาศของอาคาร 7 35
4.2 รายละเอียดหลอดไฟฟ้าแสงสว่างของอาคาร 7 38
4.3 รายละเอียดจำนวนอุปกรณ์สำนักงานของอาคาร 7 41
4.4 ปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร 7 ในวันทำการ........ 42
4.5 สรุปข้อมูลการวิเคราะห์ที่เงื่อนไขพื้นที่ 830 ตารางเมตร........ 54
4.6 สรุปข้อมูลการวิเคราะห์ที่เงื่อนไขพิกัดกำลังผลิต 75 กิโลวัตต์........ 56
4.7 สรุปข้อมูลการวิเคราะห์ที่เงื่อนไขพิกัดกำลังผลิต 155 กิโลวัตต์........ 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	9
2.2	ไดอะแกรมระบบไฟฟ้ากระแสตรง	10
2.3	ไดอะแกรมระบบไฟฟ้ากระแสสลับ	11
3.1	พื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคาจอดรถ	18
3.2	อาคาร 7	18
3.3	พาวเวอร์มิเตอร์ รุ่น 1730 Fluke, USA	19
3.4	อินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Growatt รุ่น Growatt 3000	21
3.5	แนวคิดระบบบริหารจัดการพลังงาน BEMS	22
3.6	สถาปัตยกรรมของ BEMOSS	23
3.7	การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของทั้งอาคาร	25
3.8	ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร	26
3.9	ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของชั้นที่ 4	26
3.10	ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของชั้นที่ 7	27
3.11	ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของชั้นที่ 8	27
3.12	ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของชั้นที่ 9	28
3.13	ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของชั้นที่ 10	28
3.14	ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารย้อนหลังตามวันที่กำหนด	29
3.15	โปรแกรม Pvsyst	30
3.16	ตัวอย่างผลการออกแบบการติดตั้งของโปรแกรม Pvsyst	31
3.17	ตัวอย่างผลการประเมินพลังงานจากโปรแกรม Pvsyst	32
3.18	ตัวอย่างผลการสูญเสียของระบบจากโปรแกรม Pvsyst	33
4.1	สัดส่วนจำนวนเครื่องปปรับอากาศของอาคาร 7	35
4.2	สัดส่วนจำนวนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างของอาคา	39
4.3	ห้องควบคุมไฟฟ้า ของอาคาร 7	42
4.4	การจดบันทึกมิเตอร์ไฟฟ้าที่ห้องควบคุมไฟฟ้าอาคาร 7	42
4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 7 ในวันอังคารที่ 25 กรกฎาคม 2560 - 26 กรกฎาคม 2560	43
4.6	การตรวจวัดพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ห้องควบคุมไฟฟ้าอาคาร 7	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.7	ข้อมูลการจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เงื่อนไขพื้นที่ 830 ตารางเมตร จากโปรแกรม Pvsyst	45
4.8	ข้อมูลการจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เงื่อนไขกำลังผลิต 75 กิโลวัตต์ จากโปรแกรม Pvsyst	47
4.9	ข้อมูลการจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เงื่อนไขกำลังผลิต 155 กิโลวัตต์ จากโปรแกรม Pvsyst	49
4.10	กำลังผลิตไฟฟ้าที่ 130 กิโลวัตต์ ในวันทำการโดยเฉลี่ย	51
4.11	กำลังผลิตไฟฟ้าที่ 130 กิโลวัตต์ ในวันหยุดราชการโดยเฉลี่ย	52
4.12	กำลังผลิตไฟฟ้าที่ 75 กิโลวัตต์ ในวันทำการโดยเฉลี่ย	53
4.13	กำลังผลิตไฟฟ้าที่ 75 กิโลวัตต์ ในวันหยุดราชการโดยเฉลี่ย	53
4.14	กำลังผลิตไฟฟ้าที่ 155 กิโลวัตต์ ในวันทำการโดยเฉลี่ย	54
4.15	กำลังผลิตไฟฟ้าที่ 155 กิโลวัตต์ ในวันหยุดราชการโดยเฉลี่ย	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียน สามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่จำกัด เป็นพลังงานที่ปราศจากมลพิษกับสิ่งแวดล้อม และศักยภาพของแสงอาทิตย์ต้องพิจารณาจากความเข้มแสงของรังสีแสงอาทิตย์เป็นหลัก โดยในประเทศไทยนั้นจากการศึกษาข้อมูลจากดาวเทียมและการตรวจวัดภาคพื้นดินของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยระหว่างช่วงเดือนเมษายนและพฤษภาคมจะมีค่าความเข้มแสงสูงสุดในรอบปีโดยพื้นที่ส่วนใหญ่จะอยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบหนึ่งที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้าเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยอนุรักษ์การผลิตไฟฟ้าจากทรัพยากรทางธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด [1] ตัวอย่างเช่นพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหิน พลังงานไฟฟ้าจากน้ำมันเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้าจากน้ำหรือเขื่อนเป็นต้น และการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานเฉลี่ย 15 ปีโดยประมาณ และการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ยังเป็นแนวทางในการช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้า เพื่อลดภาระการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงเหมาะสมและสมควรที่จะมีการผลักดันและสนับสนุนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกหน่วยงานและทุกครัวเรือน ซึ่งในประเทศไทยหน่วยงานภาครัฐนั้นมีการคิดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าแบบ TOU (Times of use rate)

TOU เป็นการคิดค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา On peak และ Off peak ซึ่งอัตราค่าบริการจ่ายไฟฟ้าจะแตกต่างกันและแบ่งตามช่วงเวลาซึ่งช่วงเวลาและค่าไฟฟ้าถูกกำหนดโดยรัฐบาล ซึ่งการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU เป็นการเลือกช่วงเวลาที่ใช้ปริมาณไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก เพื่อแบ่งเบาการใช้ไฟฟ้าช่วงเวลาพีคโหลดของประเทศ เป็นแนวทางในการแบ่งภาระของโรงไฟฟ้าในประเทศ และการนำเข้าไฟฟ้าจากต่างประเทศที่จะต้องผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอใช้ในช่วงเวลาพีคโหลดของประเทศ การคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU นั้นผู้บริโภคสามารถเลือกใช้วิธีการคิดค่าไฟฟ้าได้โดยทางรัฐบาลไม่ได้บังคับ แต่หน่วยงานภาครัฐในประเทศนั้นถูกกำหนดให้มีการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU [2]

ในงานวิจัยนี้ศึกษาและนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับความเหมาะสมของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่ดาดฟ้าอาคารที่จะติดตั้งกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าของตัวอาคารที่จะติดตั้ง โดยมีข้อจำกัดของอาคารภาครัฐในแต่ละพื้นที่แต่ละหน่วยงาน เพื่อหาความเหมาะสมและสอดคล้องกับพื้นที่ติดตั้งและปริมาณการใช้ไฟฟ้าตัวอย่างเช่น อาคารหน่วยงานมีพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าเป็นจำนวนมาก มีจำนวนชั้นของอาคารน้อย มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าน้อย และอาคารหน่วยงานมีพื้นที่บนดาดฟ้าน้อยแต่ลักษณะของอาคารเป็นตึกสูงจำนวนหลายชั้น และมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงเหมาะสมของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้ง และความคุ้มค่าของการติดตั้งเพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าของอาคารในภาครัฐให้สอดคล้องกับการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU และสนับสนุนให้หน่วยงานในภาครัฐติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อช่วยแบ่งเบาภาระค่าใช้จ่ายไฟฟ้าจากคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU ผลการทดลองที่ได้นั้นจะถูกนำไปเป็นแบบอย่างและสนับสนุนให้กับหน่วยงานอื่นในภาครัฐติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อสำรวจ ตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารภาครัฐ

1.2.2 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับอาคารภาครัฐ

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 สำรวจพื้นที่และตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 7 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

1.3.2 พื้นที่สำหรับติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์อยู่บนดาดฟ้าอาคารจอดรถ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

1.3.3 ข้อมูลจากระบบบริหารจัดการพลังงานของอาคารประกอบด้วยด้านผลิตไฟฟ้า (Supply side) และด้านใช้ไฟฟ้า (Demand side)

1.3.4 เปรียบเทียบปริมาณการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ทำการสำรวจและนวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 30 วันเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารที่กำหนด

1.4.2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์และการบริหารการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่ได้

1.4.3 ทำการสำรวจพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมอุปกรณ์ประกอบ

1.4.4 ดำเนินการทดลองตามขั้นตอนที่ออกแบบ

1.4.5 สรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ประหยัดค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าให้สอดคล้องกับมาตรการค่าไฟฟ้าแบบ TOU

1.5.2 เพื่อหาความเหมาะสมของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บท โดยในแต่ละบทมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 ประกอบด้วยที่มาและความสำคัญ ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ รายละเอียดของวิทยานิพนธ์ และการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 ประกอบด้วยทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับงานวิจัย ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ประกอบ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงแบบ TOU ระยะเวลาคืนทุน และข้อจำกัดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

บทที่ 3 สำรวจ อุปกรณ์ และการออกแบบ

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผล

1.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dan Assouline et. al. (2017) [1] ทำการศึกษาการใช้เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machines) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic information systems) เพื่อประเมินความสามารถความสามารถการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโดยวัดจากพื้นที่ที่สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาในเขตเมืองของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ผลจากการศึกษานี้ช่วยแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคามีศักยภาพขนาดใหญ่เป็นส่วนสำคัญต่อระบบไฟฟ้าในอนาคตของประเทศสวิตเซอร์แลนด์

กิตติศักดิ แจ้งอักษร และคณะ (2550) [3] ทำการทดลองการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าโดยนำเสนอวิธีการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าอัตโนมัติในอาคารเนื่องจากวิธีการดังกล่าวสามารถควบคุมปัญหาในเรื่องของระบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ไม่มีเสถียรภาพควบคุมในเรื่องของบุคลากรใช้งานเครื่องปรับอากาศเกินความจำเป็นและควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาพรวมของระบบโดยวิธีการดังกล่าวใช้ โปรแกรมร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของคอนเดนซิงค์ยูนิตในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยแบ่งเงื่อนไขการทำงานเป็นสองส่วนคือควบคุมค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของระบบ และควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของคอนเดนซิงค์ยูนิต ผลการดำเนินการสามารถลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของระบบได้ 25.2% โดยที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24-27 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Taehoon Hong et. al. (2015) [4] ทำการศึกษาเกี่ยวกับเงาของอาคารที่บดบังเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในเขตกังนัมประเทศเกาหลี เพื่อประเมินพื้นที่ที่สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังได้อย่างแม่นยำโดยพิจารณาจากเงาของอาคารจากการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารโดยใช้โปรแกรม Hillshade Analysis ซึ่งนำมาใช้ในการวิเคราะห์เงาที่บดบังพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จากอาคารในบริเวณใกล้เคียง

Rhythm Singh et. al. (2015) [5] ทำการทดลองวิธีการประเมินศักยภาพของเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาในเมืองมุมไบประเทศอินเดียโดยใช้ข้อมูลจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์(Geographic information systems) เพื่อนำมาประเมินอัตราส่วนต่อบิวดิ้งฟุตปริ้นแอเรีย (Building Footprint Area) อัตราส่วนพื้นที่หลังคาที่มีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic-Available Roof Area: PVA) และใช้โปรแกรมจำลองกำลังผลิตเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ Pvsyst เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแสงแดดในบริเวณที่ต้องการผลกาทดลองแสดงให้เห็นถึงศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาทั้งหมด

Maria Haegermark et. al. (2017) [6] ทำการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาในประเทศสวีเดนโดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ที่จะติดตั้ง ต้นทุน ภาษี กำไร และความคุ้มทุนที่จะดำเนินการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

J. Yuan et. al. (2015) [7] ทำการทดลองนำระบบการจัดการบริหารพลังงานอัจฉริยะ (Building Energy Management Syste : BEMS) มาช่วยตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและการใช้เชื้อเพลิงภายในอาคาร โดยทำการติดตั้งกล้องเพื่อคอยสังเกตุการณ์ความสว่างภายในห้องและสถานะของเครื่องปรับอากาศเพื่อบันทึกการใช้แสงสว่างและเครื่องปรับอากาศเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับข้อมูลการใช้พลังงานภายในห้องเป็นรายชั่วโมง เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในทุกช่วงเวลาและวางแผนมาตรการประหยัดพลังงาน

Sotiris Papantoniou et al. (2015) [8] ทำการทดลองวิเคราะห์วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพและการควบคุมอาคาร(Building optimization and control) ที่ใช้ระบบการจัดการบริหารพลังงานอัจฉริยะ(Building Energy Management Syste : BEMS) มีอัลกอริธึมจำลองการคาดการณ์อุณหภูมิทั้งภายนอกและภายในอาคารและการควบคุมแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคฟัซซี่ โดยมีการควบคุมและสังเกตุการณ์บนเว็บไซต์ (Web-EMCS) หลักการทำงานของระบบนั้นจะมีการคาดการณ์อุณหภูมิภายนอกและภายในเพื่อที่จะควบคุมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพวะแวดล้อมมากที่สุด

Yusuf Ozturk et al. (2013) [9] ทำการศึกษาเกี่ยวกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่สอดคล้องกับค่าไฟฟ้าโดยการคาดการณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดเพื่อใช้ในการออกแบบระบบการจัดการบริหารพลังงานอัจฉริยะสำหรับทำการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านและจัดตารางเวลาการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าให้สอดคล้องตามช่วงเวลา TOU โดยใช้รูปแบบการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชีวิตของผู้ใช้ ปัจจัยทางสังคม สิ่งแวดล้อม นำมาออกแบบระบบการจัดการบริหารพลังงานอัจฉริยะให้สอดคล้องกับการใช้ชีวิตประจำวันของผู้ใช้ เพื่อลดภาระการจ่ายค่าไฟฟ้า ประหยัดพลังงาน และให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้มากที่สุด

Satyajit Das et al. (2017) [10] เนื่องจากในปัจจุบันทรัพยากรที่มีอยู่นั้นมีอยู่อย่างจำกัด จึงต้องใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงทำการศึกษารูปแบบการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยการแทนที่ UPCL เป็นพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เปลี่ยนหลอด CFL ที่มีอยู่เป็นหลอด LED ผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงผลประหยัดและระยะเวลาคืนทุนที่คุ้มค่า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

ไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการเปลี่ยนแสงจากดวงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรงขั้นตอนเดียวโดยไม่มีส่วนเคลื่อนไหวใดๆ ไฟฟ้าดังกล่าวก็จะทำงานใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับไฟฟ้าจากแหล่งผลิตอื่นๆหากใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงก็ใช้ได้โดยตรงเช่นระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในรถยนต์ หรือหากจะใช้กับเครื่องใช้กระแสสลับก็ผ่านเครื่องใช้กระแสสลับก็ผ่านเครื่องแปลงเป็นกระแสสลับที่เรียกว่าอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอื่นๆ อาทิ ความร้อนพลังงานลม และพลังงานคลื่นในมหาสมุทรทั้งหมดมีแสงจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานต้นทาง

เนื่องจากแสงอาทิตย์มีแต่ตอนกลางวันดังนั้นจึงจำเป็นต้องเก็บไฟฟ้าไว้โดยแบตเตอรี่เพื่อใช้ในเวลากลางคืนประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าโดยแสงอาทิตย์นอกจากจะขึ้นตรงต่อความเข้มของแสงอาทิตย์แล้วอุณหภูมิซึ่งสูงขึ้นจากการตากแดดจะทำให้ประสิทธิภาพลดต่ำลง ดังนั้นในการติดตั้งใช้งานควรอยู่กลางแจ้งหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์และเว้นช่องว่างเพื่อช่วยระบายความร้อนด้านหลัง (หากอยู่ในซีกโลกเหนือเช่นประเทศไทยก็เอียงไปทางทิศใต้จะได้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยมากที่สุดอนึ่งเพื่อให้สามารถรับแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันมากที่สุดต้องคอยดูแลความสะอาดของแผงเซลล์คอยตัดกิ่งไม้ใกล้เคียงที่อาจทอดเงามาบังแสงอาทิตย์

โดยทั่วไประบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์จะประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และชุดควบคุมการทำงานเพื่อให้สามารถใช้แบตเตอรี่ได้นานๆ ตามคำแนะนำของผู้ผลิตแบตเตอรี่จึงจำเป็นต้องทราบปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อฤดูกาลปริมาณการใช้งานต่อวันเฉลี่ยทั้งปีเพื่อใช้ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ทางปฏิบัติจะออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาดใหญ่กว่าความต้องการประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์เป็นอย่างน้อยเพื่อชดเชยแดดน้อยในฤดูฝนและการสูญเสียเนื่องจากประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ สายไฟฟ้าและชุดควบคุมเป็นต้น จากนั้นก็นำไปประเมินค่าใช้จ่ายหากระบบมีราคาสูงกว่างบประมาณที่มีอยู่ก็ค่อยๆ ปรับแต่งโดยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีข้อดี คือสามารถเริ่มจากระบบขนาดเล็กซึ่งลงทุนน้อย แล้วจึงขยายระบบให้ใหญ่ขึ้นเมื่อมีความสามารถทางการเงินสูงขึ้นในโอกาสต่อไป

2.1.1 หลักการเกิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและความต่างศักย์ที่ผิวทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ดังนั้นเมื่อมีการเชื่อมต่อระหว่างผิวทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ตัวอย่าง เช่น หลอดไฟฟ้าก็จะเกิดการไหลของอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เกิดสมดุลระหว่างผิวทั้งสองด้านของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งการไหลของอิเล็กตรอนทำให้เกิด พลังงานไฟฟ้าและตราบเท่าที่แสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะเกิดอิเล็กตรอนอิสระพร้อมที่จะให้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจะเห็นได้ว่าเป็นวิธีเปลี่ยนรูปพลังงานแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรงที่สุดง่ายที่สุดไม่มีการเคลื่อนไหวของชิ้นส่วนใดๆ ไม่มีการสึกหรอใดๆ ดังนั้นตราบเท่าที่เซลล์แสงอาทิตย์ยังคงสภาพสารกึ่งตัวนำและมีแสงอาทิตย์ตกกระทบสู่ผิวเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะผลิตไฟฟ้าออกมาให้ตลอดไป (ในทางปฏิบัติผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์รับประกันอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์กว่ายี่สิบปีขึ้นไป) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ตัวอย่างเช่นหากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ 100 วัตต์ เมื่อมีความเข้มแสง 1,000 วัตต์/ตารางเมตร ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 500 วัตต์/ตารางเมตร ก็จะผลิตไฟฟ้าได้ 50 วัตต์ เป็นต้นประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่างร้อยละ 7-19 ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของเซลล์แบบต่างๆ ทั้งนี้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นนอกจากนี้ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกระแสตรงเช่นเดียวกับไฟฟ้าในรถยนต์ หากต้องการเปลี่ยนเป็นกระแสสลับเพื่อให้สามารถใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไปในปัจจุบันก็ต้องแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยอุปกรณ์ที่เรียกว่าอินเวอร์เตอร์เสียก่อนเนื่องจากแสงอาทิตย์มีแต่ในตอนกลางวันและมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศและเวลา ดังนั้นจึงต้องมีแบตเตอรี่เพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้ในช่วงเวลาที่ไม่มีแดดคือตอนกลางคืน หรือแดดน้อยเช่นตอนเช้าตรู่ตอนหัวค่ำและตอนกลางวันซึ่งท้องฟ้ามืดครึ้มอันเนื่องมาจากฝนตกเมฆหนาเป็นต้น แต่ในกรณีซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคก็ไม่จำเป็นที่จะต้องมีแบตเตอรี่เพราะสามารถขายไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่ายโดยมิเตอร์จะหมุนกลับเสมือนกับว่าเราเอาไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์นี้ไปฝากไว้ในระบบจำหน่ายแล้วถอนกับมาใช้ในตอนกลางคืนวิธีนี้มีข้อดีกับระบบฯเพราะจะไปช่วยเสริมความมั่นคงของระบบฯในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้ามากตามสำนักงาน โรงงาน ฯลฯ ในตอนกลางวันประเทศไทยเริ่มนำระบบผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์กว่าสามสิบปีมาแล้วจนถึงปัจจุบันรวมได้มากกว่า 30 เมกะวัตต์ โดยกว่าร้อยละ 90 ใช้ในชนบทห่างไกลซึ่งยังไม่มีบริการของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายเพราะเป็นทางเลือกค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดสำหรับในอนาคตอันไม่ไกลนักจะเริ่มมีการนำมาใช้ในเขตที่มีการบริการแล้วในลักษณะต่อเชื่อมเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าได้เนื่องจากมีแนวโน้มที่ราคาของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงต่ำมาใกล้กับราคาไฟฟ้าที่ผลิตจากเชื้อเพลิงเผาไหม้เข้าไปทุกทีในขณะที่ราคาเชื้อเพลิงเผาไหม้สูงขึ้นอย่างเร็วและสังคมเริ่มมีความกังวลเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับผลกระทบเรื่องคุณภาพของอากาศ น้ำสภาพแวดล้อมเป็นพิษจากการเผาไหม้ ถ่านหิน ก๊าซ น้ำมัน ฯลฯ

2.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ประกอบ

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงอาศัยกระบวนการโฟโตโวตาอิก (Photovoltaic Effect) ซึ่งเป็นกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำ เมื่อได้รับแสงที่มีพลังงานมากพอทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระตกกระทบบนสารกึ่งตัวนำ โครงสร้างที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเหมือนกับไดโอดทั่วไป ประกอบด้วยรอยต่อระหว่างวัสดุสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันสองชั้น ได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิดพีเป็นขั้วบวกและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเป็นขั้วลบ สารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้งานในลักษณะดังกล่าวส่วนมากเป็นซิลิกอน และเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย ดังนั้นโดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้การอธิบายสารกึ่งตัวนำที่ทำจากซิลิกอน แม้ว่าปัจจุบันจะมีสารกึ่งตัวนำที่ทำจากวัสดุชนิดอื่นก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานในปัจจุบันส่วนมากผลิตขึ้นมาจากซิลิกอน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนนี้ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่ผลิตขึ้นจากผลึกของซิลิกอนผ่านการเติมสารเจือปนด้วยฟอสฟอรัสเพื่อทำให้เกิดอิเล็กตรอนส่วนเกิน ซิลิกอนที่ผ่านการเติมสารเจือด้วยกระบวนการนี้ทำหน้าที่เป็นขั้วลบ และส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดพี ได้ผลิตขึ้นจากผลึกของซิลิกอนแต่ใช้สารเจือปนต่างชนิดกับชนิดแรกโดยใช้โบรอนทำให้เป็นวัสดุขาดอิเล็กตรอนอิสระ ทั้งนี้การขาดอิเล็กตรอนทำให้เกิดช่องว่างเรียกว่า โฮล (Hole) และการขาดอิเล็กตรอนที่เป็นประจุลบ ทำให้ส่วนนี้เทียบได้กับอนุภาคประจุบวก รอยต่อพี-เอ็นเกิดจาการเชื่อมต่อกันของสารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติต่างกันจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า (Electrical field) ในบริเวณรอยต่อ โดยสนามไฟฟ้าดังกล่าวมีลักษณะเหมือนกับสนามไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จากปรากฏการณ์ง่ายๆ ตัวอย่างเช่น การใช้หวีแปรงกับเสื้อขนสัตว์ เป็นต้น อันจะทำให้เกิดอนุภาคของประจุลบเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และอนุภาคของประจุบวกที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตรงข้าม

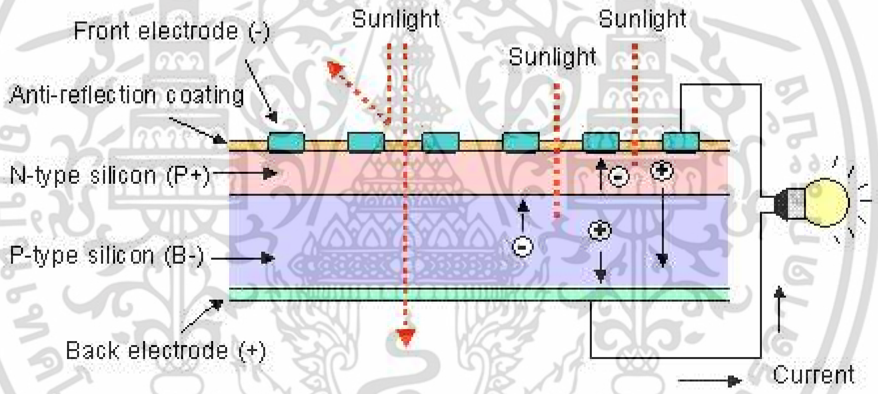
แสงประกอบด้วยการไหลต่อเนื่องของอนุภาคเล็กๆ ของพลังงานเรียกว่า โฟตอน ซึ่งโฟตอนจากลำแสงที่มีความยาวคลื่นเหมาะสมตกกระทบลงบนรอยต่อพี-เอ็นจะทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานไปยังอิเล็กตรอนบางตัวในวัสดุ ซึ่งเป็นการกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานไปยังระดับที่สูงกว่าและอิเล็กตรอนดังกล่าวจะทำให้เกิดโฮลในวัสดุในเวลาเดียวกันอิเล็กตรอนที่เปลี่ยนเป็นอิเล็กตรอนอิสระจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนตลอดวัสดุ พลังงานจากแสงจะเข้าไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังแถบนำพลังงาน เรียกว่า แถบช่องว่าง อิเล็กตรอนที่ได้รับการกระตุ้นจะเคลื่อนที่ไปยังชั้นของซิลิกอนชั้นเอ็น (N) เกิดเป็นช่องว่างเรียกว่าโฮลในชั้นพี (P) การเคลื่อนที่ไปยังที่รวมกระแสที่ผิวหน้าของเซลล์ หรือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังบริเวณผลึกชนิดเอ็นสามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ เมื่อต่อเข้ากับวงจรภายนอกจะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านตลอดวงจร การเคลื่อนที่ไปยังวงจรภายนอกของอิเล็กตรอนในกรณีของสารกึ่งตัวนำโดยผ่านวัสดุตัวนำที่ติดอยู่กับผิวด้านหน้าของเซลล์ในเวลาเดียวกันโฮลจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้ามผ่านเนื้อเซลล์จนไปถึงวัสดุตัวนำอีกส่วนหนึ่งที่ยึดติดอยู่กับด้านล่างของเซลล์ทำให้ครบวงจรโดยร่วมกับอิเล็กตรอนที่อยู่อีกด้านหนึ่งของวงจรภายนอก แต่ในทางตรงข้ามการไหลของอิเล็กตรอนไม่เกิดขึ้นหากไม่สามารถทำให้ครบวงจร

โฟตอนที่มีพลังงานมากกว่าความกว้างของแถบช่องว่างปะทะกับอะตอมของซิลิกอนจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นคู่ของอิเลคตรอนและโฮล และพลังงานที่เหลือจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ในทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับกับโฟตอนที่มีระดับพลังงานน้อยกว่าความกว้างของแถบช่องว่างจะเคลื่อนที่ผ่านเซลล์ไป ซึ่งไม่ทำให้เกิดพลังงานตลอดระยะทางที่เคลื่อนที่ผ่าน อย่างไรก็ตามมีโฟตอนบางส่วนสะท้อนที่ผิวด้านหน้าของเซลล์ที่ราบเรียบเมื่อผิวหน้าเคลือบด้วยสารป้องกันการสะท้อน แม้กระนั้นก็มีโฟตอนบางส่วนสูญเสียไปเนื่องจากไม่สามารถปะทะกับผลึกได้เนื่องจากถูกปิดบังด้วยอุปกรณ์รวมกระแสที่ด้านหน้าของเซลล์

การเกิดขึ้นของกำลังไฟฟ้าต้องอาศัยทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้าในกรณีการผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์การผลิตแรงดันไฟฟ้าให้เกิดขึ้นนั้นกระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นจากการไหลของอิเล็กตรอนและแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากสนามไฟฟ้าภายในบริเวณรอยต่อพี-เอ็น สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตขึ้นจากซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยวโดยทั่วไปจะออกแบบให้ผลิตแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 โวลต์ที่กระแสไฟฟ้าประมาณ 2.5 แอมแปร์ ดังนั้นจะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ประมาณ 1.25 วัตต์ (ขึ้นอยู่กับรายละเอียดในการออกแบบซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์แบบอื่นๆ อาจผลิตแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าได้สูงหรือต่ำกว่านี้ก็ได้)



รูปที่ 2.1 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [11]

2.1.3 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย (Grid-connected or Grid tied inverter) และ อินเวอร์เตอร์แบบอิสระ (Stand-alone inverter) ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานที่ควรทราบของอินเวอร์เตอร์ในช่วงเวลาประมาณ 20 ปี ที่ผ่านมามีงานวิจัยเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์สำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีการเชื่อมต่อสายส่ง (Grid-connected PV inverters) งานวิจัยเหล่านี้ส่วนหนึ่งเน้นไปที่วงจรหรือเทคนิคการควบคุมใหม่ๆ ซึ่งเมื่ออาศัยความก้าวหน้าด้านโซลิทสเตททำให้มีความเป็นไปได้ที่จะสร้างเอซีโมดูลที่กะทัดรัด มีประสิทธิภาพสูง มีความไว้วางใจได้ และมีราคาถูกกว่าเดิมต่อไปเป็นวงจรต่างๆที่มีศักยภาพในการนำมาทำเป็นภาคกำลังของเอซีโมดูลอินเวอร์เตอร์

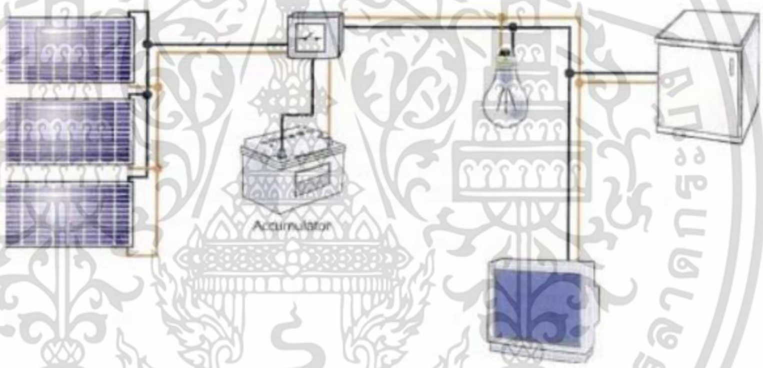
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

ระบบผลิตไฟฟ้าประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งผลิตพลังงานหลักและไม่ได้เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถจำแนกตามประเภทของสัญญาณไฟฟ้าหรือแหล่งผลิตไฟฟ้าเป็น 3 ประเภท คือ ระบบไฟฟ้ากระแสตรง ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ และระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

2.2.1 ระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power System)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้แก่วงจรไฟฟ้าโดยไม่มีอุปกรณ์แปลงสัญญาณไฟฟ้าแต่อาจมีอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าประเภทอื่นเช่น หากระบบมีแบตเตอรี่ต้องมีเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Battery Charge Controller) ร่วมในระบบหรืออาจมีเครื่องควบคุมและปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าในระบบเพื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้าหรือเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าในระบบต้องเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2

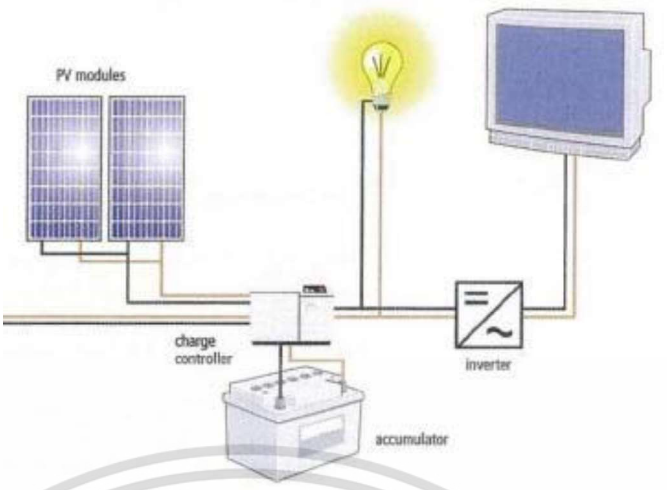


รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมระบบไฟฟ้ากระแสตรง [11]

2.2.2 ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power System)

แผงเซลล์แสงอาทิตยจะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้แก่อุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับซึ่งเรียกว่า อินเวอร์เตอร์ (Inverter) โดยส่วนใหญ่จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าพร้อมมทั้งควบคุมและปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าด้วย เครื่องใช้ไฟฟ้าในระบบจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับหรืออาจมีเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงร่วมอยู่ด้วยในส่วนที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงก่อนถูกแปลงโดยอินเวอเตอร์ ตัวอย่างไดอะแกรมของระบบดังแสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ [11]

2.2.3 ระบบไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid Power System)

ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกันระหว่างแหล่งพลังงานหลายแหล่ง เนื่องจากระบบที่มีเซลล์แสงอาทิตยเป็นแหล่งจ่ายพลังงานเพียงอย่างเดียวไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานเป็นระบบผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ เพราะต้องลงทุนสูง ส่วนใหญ่เป็นค่าใช้จ่ายของแผงเซลล์แสงอาทิตยและแบตเตอรี่จำนวนมากเพื่อผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอกับภาระทางไฟฟ้าที่ต้องการแม้กระทั่งในช่วงที่พลังงานแสงอาทิตย์มรีค่าน้อยเช่น ช่วงฤดูฝน ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพและความเชื่อถือ ผลที่เกิดขึ้นกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน คือ ขนาดของระบบย่อยโดยเฉพาะแหล่งผลิตพลังงานในระบบลดลงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนลดลง

2.3 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย (Grid-Connected PV System)

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อต่อระบบคือ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตไฟฟ้าเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าหรือ กริด (Grid) เป็นระบบที่สามารถดึงไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายเข้าสู่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีที่ไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไม่สามารถผลิตได้เพียงพอต่อความต้องการในทางกลับกันเมื่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้มากจนเกินปริมาณที่ต้องการในระบบจะสามารถจ่ายไฟฟ้าเข้ารู้ระบบจำหน่ายได้

2.3.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายสำหรับที่อยู่อาศัย

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายสำหรับที่อยู่อาศัย (Grid-connected PV system for residences) ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายสำหรับอาคาร (Grid-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

connected PV system for Building) และโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Power Plant)ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายสำหรับที่อยู่อาศัย (Grid connected PV system for residences) เป็นระบบขนาดไม่เกิน 2 กิโลวัตต์สูงสุด (kWp) บางครั้งเรียกว่า Grid commutated inverter หรือ synchronous inverter ซึ่งเป็นการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่แรงดันและความถี่ไฟฟ้าเดียวกับระบบจำหน่ายโดยผ่านมิเตอร์ซื้อ (debit) และมิเตอร์ขาย (credit) ซึ่งใช้วัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ซื้อหรือขายให้การไฟฟ้า

2.3.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายสำหรับอาคาร

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายสำหรับอาคาร (Grid-connected PV system for Building) เช่น การติดตั้งด้านบนและผนังของอาคาร (PV Cladding for the roofs and walls of nondomestic building) และการติดตั้งเป็นส่วนหนึ่งของอาคาร (Building-Integrated PV System, BIPV) เป็นต้น ระบบเหล่านี้เป็นอีกลักษณะหนึ่งของการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอาคารที่อยู่อาศัย ระบบย่อยเซลล์แสงอาทิตย์สามารถยึดติดหรือวางบนพื้นที่ของหลังคาหรือผนังของอาคารทั่วๆไป ซึ่งในปัจจุบันลักษณะดังกล่าวกำลังได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีข้อดีต่างๆและความเหมาะสมในการนำไปใช้กับอาคารพาณิชย์และอาคารอุตสาหกรรม ทั้งนี้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถใช้แทนวัสดุที่ใช้สร้างผนังหรือวัสดุสร้างหลังคาได้ ซึ่งจะลดราคาสุทธิของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้อาคารพาณิชย์และอาคารอุตสาหกรรมมีการทำงานเป็นปกติเฉพาะในช่วงเวลากลางวันจึงสามารถใช้ประโยชน์ทั้งการผลิตไฟฟ้าและแสงสว่างที่ส่องมายังภายในอาคารได้ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบย่อยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ยึดติดอยู่กับผนังหรือหลังคาของอาคารพาณิชย์เป็นส่วนที่สำคัญในการลดค่าใช้จ่ายของบริษัทในการซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้า เนื่องจากราคาค่าไฟฟ้าที่การไฟฟ้ารับซื้อจากผู้ผลิตพลังงานไฟฟ้าป้อนเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีราคาสูงกว่าอัตราราคาค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้า

2.4 การประมาณขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

การประมาณขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อทราบขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อความเหมาะสมกับความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันและเสถียรภาพของระบบของผู้ใช้ ตามหลักวิศวกรรม อาทิเช่น รังสีของดวงอาทิตย์ ประสิทธิภาพของระบบ ภาระทางไฟฟ้าเฉลี่ยรายวัน ขั้นตอนการประมาณขนาดของระบบผลิตไฟฟ้า การประมาณขนาดของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้น การประมาณขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าที่มีต้นทุนของระบบต่ำที่สุด และความมีนัยสำคัญของความน่าจะเป็นที่ไม่มีพลังงานไฟฟ้าสำรองเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 มาตรฐานและข้อกำหนดสำหรับการออกแบบและทดสอบการทำงาน

ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่นั้นควรมีการออกแบบและติดตั้งให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม การออกแบบและติดตั้งที่ไม่ได้มาตรฐานนั้นอาจส่งผลเสียหายตามมาได้ในอนาคต วสท. เห็นว่าเรื่อง “มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย : ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Thailand Electrical Installation Standard : Solar Rooftop Power Supply Installations)” มีความสำคัญต่อการส่งเสริมและสนับสนุนนโยบายภาครัฐในการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นพลังงานสะอาด โดยกำหนดมาตรฐานเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและติดตั้ง ป้องกันเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน ระบบต่อลงดิน รวมถึงการป้องกันผลกระทบของฟ้าผ่าและแรงดันเกินโดยอ้างอิง [11]

2.6 โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงแบบ TOU

อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ หรือ TOU (Time of Use Rate - TOU) เริ่มนำมาใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2540 โดยขณะนั้นกำหนดช่วง On Peak ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ เวลา 09.00-22.00 น. และช่วง Off Peak ตั้งแต่วันจันทร์-เสาร์ เวลา 22.00-09.00 น. และวันอาทิตย์ทั้งวันโดยกำหนดให้อัตราค่าไฟฟ้าทีโอยูเป็นอัตราเลือกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิมแต่เป็นอัตราบังคับสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 355,000 หน่วยต่อเดือนขึ้นไปหรือใช้พลังไฟฟ้าเกินกว่า 2,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป ปรากฏว่า ในช่วง 3 ปี (จนถึงวันที่ 30 กันยายน 2543) มีผู้ใช้ไฟฟ้าใช้อัตราค่าไฟฟ้าทีโอยูทั้งสิ้น 562 ราย ส่วนใหญ่เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าที่สมัครใจเลือกใช้อัตราค่าไฟฟ้าทีโอยู

ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2543 รัฐบาลได้ประกาศ โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าใหม่และได้กำหนดอัตราค่าไฟฟ้าทีโอยู ให้มีช่วง Off Peak มากขึ้น คือ เพิ่มวันเสาร์ และวันหยุดราชการ (ยกเว้นวันหยุดชดเชย) ทั้งวันด้วยและกำหนดให้เป็นอัตราเลือก สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิม แต่เป็นอัตราบังคับ สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า กิจการเฉพาะอย่าง (กิจการโรงแรม) และผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า ตั้งแต่ 250,000 หน่วยต่อเดือนขึ้นไป หรือใช้พลังไฟฟ้าเกินกว่า 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป ผลปรากฏว่า ในรอบ 1 ปีที่ผ่านมา (สิ้นเดือนกันยายน 2544) มีผู้ใช้ไฟฟ้า ใช้อัตราค่าไฟฟ้า ทีโอยู เพิ่มขึ้นเป็น 2,920 ราย ผู้ใช้ไฟฟ้า ทีโอยู เหล่านี้ ส่วนใหญ่ มีความพึงพอใจ กับอัตราค่าไฟฟ้า ทีโอยู (เนื่องจาก ทำให้ค่าไฟฟ้าของตนลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราค่าไฟฟ้าเดิม อัตราการจัดเก็บค่าไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาการใช้ โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ On Peak ตั้งแต่วันจันทร์-วันศุกร์ เวลา 09.00-22.00 น. Off Peak ตั้งแต่วันจันทร์-วันศุกร์ เวลา 22.00-09.00 น. และวันเสาร์-อาทิตย์ วันหยุดราชการ(ไม่รวมวันหยุดชดเชย)ทั้งวัน [3]

อัตราค่าไฟฟ้าทีโอยูที่กำหนดใช้ในปัจจุบัน สะท้อนถึงต้นทุนไฟฟ้าอย่างแท้จริงกล่าวคือในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak) ค่าไฟฟ้าจะสูงเนื่องจากการไฟฟ้าต้องลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าระบบสายส่ง / สายจำหน่าย ให้เพียงพอต่อความต้องการไฟฟ้าในช่วงนี้ และต้องใช้เชื้อเพลิงทุกชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ทั้งถูกและแพง)ในการผลิตไฟฟ้าแต่ในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) ค่าไฟฟ้าจะต่ำ เนื่องจากการไฟฟ้าไม่ต้องสร้างโรงไฟฟ้าและระบบสายส่ง / สายจำหน่าย (สร้างไว้แล้วในช่วง On Peak) จึงไม่มีต้นทุนค่าไฟฟ้าในส่วนนี้ มีเพียงต้นทุนค่าเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าซึ่งการไฟฟ้าสามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงที่ถูกมาผลิตไฟฟ้า จึงทำให้ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าในช่วง Off Peak ต่ำกว่าช่วง On Peak มากกว่าครึ่งหนึ่ง

อัตรา TOU สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าลงได้เมื่อมีการบริหารการใช้ไฟฟ้าที่ดีและเหมาะสม เช่นหลีกเลี่ยงการใช้อุปกรณ์ หรือเครื่องจักร ที่ก่อให้เกิดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ในช่วง On Peak (09.00-22.00 น.) เพื่อลดค่าพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ในกรณีที่กิจการนั้นมีการทำงาน 2 กะ พิจารณาเลื่อนขบวนการผลิต 1 กะ ให้ไปอยู่ในช่วง Off Peak (22.00-09.00 น.) เพื่อลดค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้า(Energy Charge) ในช่วง Off Peak จะถูกกว่าช่วง On Peak กว่าร้อยละ 55 ทำงานวันเสาร์วันอาทิตย์และวันหยุดราชการ อย่างเต็มที่ แทนวันทำงานปกติเนื่องจากวันดังกล่าวไม่ต้องเสียค่าพลังไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าจะถูกกว่าวันปกติในช่วง On Peak กว่าร้อยละ 65 นอกจากนี้ผู้ประกอบการควรคำนึงถึงการนำเอาเทคโนโลยีในการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมมาใช้ควบคู่กันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้า

อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติและสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์ และปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องมือวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.6.1 การคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU

การคิดคำนวณค่าไฟฟ้าแบบ TOU นั้นสามารถแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา On peak, Off peak สามารถหาได้จากดังสมการที่ 2.1 และสมการที่ 2.2 ดังนี้

$$E_{on} \times C_{on} = B_{on} \qquad (2.1)$$

$$E_{off} \times C_{off} = B_{off} \qquad (2.2)$$

เมื่อ

E_{on} คือปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงเวลา On peak (บาท)

E_{off} คือปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงเวลา Off peak (บาท)

C_{on} คือค่าไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยในช่วงเวลา On peak (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

C_{off} คือค่าไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยในช่วงเวลา Off peak (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B_{on} คือค่าไฟฟ้าในช่วงเวลา On peak (บาท)

B_{off} คือค่าไฟฟ้าในช่วงเวลา Off peak (บาท)

การคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU จะถูกเรียกเก็บค่าไฟฟ้าเป็นรายเดือนจากการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งสามารถคิดคำนวณค่าไฟฟฟ้าต่อเดือนได้ดังสมการที่ 2.3 โดยมีอัตราค่าบริการดังตารางที่ 2.2

$$(E_{on} + E_{off} + S) + (P \times c) + Ft + Vat \ = E_b \tag{2.3}$$

เมื่อ

C คือค่าปรับต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุดในเดือน (บาท)

S คือค่าบริการต่อเดือน (บาท)

P คือกำลังไฟฟ้าสูงสุดในเดือน (กิโลวัตต์)

Ft คือค่าไฟฟ้าแปรผัน (บาท)

Vat คือภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

E_b คือค่าไฟฟ้าต่อเดือน

ตารางที่ 2.1 อัตราค่าไฟฟ้าแบบปกติ [3]

ระดับแรงดัน	ค่าต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
แรงดัน 69 กิโลวัตต์ขึ้นไป	175.70	3.1355	312.24
แรงดัน 12-24 กิโลวัตต์	196.26	3.1729	312.24
แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลวัตต์	221.50	3.2009	312.24

ตารางที่ 2.2 อัตราค่าไฟตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff) ประเภทที่ 3 [3]

ระดับแรงดัน	ค่าต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak	
แรงดัน 69 กิโลวัตต์ขึ้นไป	74.14	0	4.1283	2.6107	312.24
แรงดัน 12-24 กิโลวัตต์	132.93	0	4.2097	2.6295	312.24
แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลวัตต์	210.00	0	4.3555	2.6627	312.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน (Payback period) เป็นตัวเลขที่ได้จากการคำนวณเพื่อใช้เป็นตัวเลือกในการตัดสินใจในการลงทุนโดยจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่าง เงินลงทุน และผลตอบแทนจากการลงทุนหรือผลกำไร สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.4

$$\frac{\text{เงินลงทุน (บาท)}}{\text{ผลประหยัดค่าไฟฟ้า }\left(\frac{\text{บาท}}{\text{ปี}}\right)} = \text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} \quad (2.4)$$

2.8 ข้อจำกัดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

เพื่อควบคุมผลกระทบจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) ที่อาจมีต่อระดับแรงดันไฟฟ้า คุณภาพไฟฟ้า และความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) จึงกำหนดขีดจำกัดขนาดกำลังผลิตติดตั้งรวมของ Solar PV Rooftop ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของ กฟน. ได้ดังนี้

2.8.1 กรณีเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ (230/400 โวลต์)

หากเป็นระบบผลิตไฟฟ้าชนิดเฟสเดียวจะต้องมีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งไม่เกิน 10 กิโลวัตต์ต่อราย ขนาดกำลังผลิตติดตั้งรวมของ Solar PV Rooftop (หน่วยเป็นกิโลวัตต์) ที่เชื่อมต่อในหม้อแปลงจำหน่ายของ กฟน. ลูกหนึ่งจะต้องไม่เกิน 15% ของพิกัดขนาดหม้อแปลงจำหน่าย (หน่วยเป็นกิโลโวลต์-แอมแปร์) หากหม้อแปลงจำหน่ายมี Solar PV Rooftop เชื่อมต่อเต็มขีดจำกัด 15% แล้วจะไม่สามารถรองรับการเชื่อมต่อของ Solar PV Rooftop เพิ่มเติมที่หม้อแปลงจำหน่ายลูกนั้นได้อีก ในกรณีที่ผู้ยื่นขอผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากยังคงมีความประสงค์จะขายไฟฟ้าถึงแม้หม้อแปลงจำหน่ายในพื้นที่นั้นรองรับ Solar PV Rooftop เต็มขีดจำกัดแล้ว ผู้ยื่นขอฯสามารถไปขอเชื่อมต่อขายไฟฟ้าในระบบ 12 หรือ 24 กิโลโวลต์ โดยผู้ยื่นขอฯจะต้องจัดหาและติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายพร้อมอุปกรณ์ป้องกันตามมาตรฐานของ กฟน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 กรณีเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงกลาง (12 หรือ 24 กิโลโวลต์)

ระบบผลิตไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง (หน่วยเป็นกิโลวัตต์) เกินกว่า 15% ของพิกัดขนาดหม้อแปลงจำหน่าย (หน่วยเป็นกิโลโวลต์-แอมแปร์) ในพื้นที่นั้นจะต้องไปเชื่อมต่อขายไฟฟ้าในระบบ 12 หรือ 24 กิโลโวลต์ โดยผู้ยื่นขอฯจะต้องจัดหาและติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายพร้อมอุปกรณ์ป้องกันตามมาตรฐานของ กฟน. กำลังผลิตติดตั้งรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าทุกประเภท (ทั้ง Solar PV Rooftop และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทอื่นๆ) ที่ติดตั้งในสายป้อนเดียวกันต้องไม่เกิน 8 เมกะวัตต์/สายป้อน สำหรับระบบ 24 กิโลโวลต์ และ 4 เมกะวัตต์/สายป้อน สาหรับระบบ 12 กิโลโวลต์ และผลรวมกำลังการผลิตติดตั้งจากทุกสายป้อนต้องไม่ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนไปด้านระบบส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย หากกำลังผลิตติดตั้งรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าทุกประเภทที่ติดตั้งในสายป้อนเต็มตามขีดจำกัดข้างต้นแล้ว กฟน. จะไม่รับซื้อไฟฟ้าเพิ่มเติมในสายป้อนนั้นอีก

2.9 ระบบการบริหารจัดการพลังงานอัจฉริยะ (Building energy management system, BEMS)

ระบบการบริหารจัดารพลังงานอัจฉริยะหรือ BEMS เป็นระบบการบริหารจัดการพลังงานที่ใช้ในอาคารเพื่อตรวจวัด และคุมควบการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความต้องการใช้ไฟฟ้าซึ่งประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ทำวานร่วมกัน โดยประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ

1) อุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุม (Device) ติดตั้งด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมต่างๆ

2) การเชื่อมโยงผ่านระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ (Network) เป็นตัวเชื่อมโยงข้อมูลและคำสั่งควบคุมให้ต่อถึงกันเป็นระบบ ในส่วนนี้จะประยุกต์ใช้โครงข่ายอินเทอร์เน็ตของผู้ให้บริการในท้องตลาดที่มีอยู่แพร่หลาย

3) ระบบฐานข้อมูลและแอพพลิเคชั่น ติดตั้งอยู่ในเครื่องแม่ข่าย (Server) บนโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ทำหน้าที่เก็บบันทึกข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์และควบคุมทั้งหมด และเว็บแอพพลิเคชั่นที่เป็นเครื่องมือหลักในการตรวจสอบสถานะควบคุมการใช้กำลังไฟฟ้าจากส่วนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการทดลอง

3.1 การสำรวจข้อมูล

3.1.1 สำรวจข้อมูลอาคารและพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

สำรวจอาคาร 7 โดยจำแนกเป็นพื้นที่ใช้สอยภายในตัวอาคาร จำนวนชั้น และประเภทของอาคาร สำรวจจำนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าและจดบันทึกกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร 7 บันทึกผลการสำรวจเพื่อหาการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของอาคารและตรวจวัดพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 3.1 พื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคารจอดรถ

รูปที่ 3.2 อาคาร 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สำรวจพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 7

ตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าและพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 7 โดยใช้พาวเวอร์มิเตอร์ Fluke รุ่น 1730 (รูปที่ 3.3 ก) ตรวจวัดและบันทึกผลเป็นระยะเวลา 30 วัน เพื่อนำข้อมูลที่บันทึกไปวิเคราะห์ ตรวจสอบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าและออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้สอดคล้องกับปริมาณการใช้ไฟฟ้า

(ก) (ข)

รูปที่ 3.3 พาวเวอร์มิเตอร์ รุ่น 1730 Fluke, USA (ก) ตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า (ข)

พาวเวอร์มิเตอร์ Fluke รุ่น 1730 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าภาระทางไฟฟ้า สามารถตรวจวัดได้ทั้งแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส ซึ่งสามารถแสดงข้อมูลการตรวจวัดผ่านหน้าจอ LED โดยแสดงผลเป็นกราฟและตัวเลขแบบเรียลไทม์และบันทึกโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์หรือ USB ซึ่งกล้องมีคุณสมบัติทางเทคนิคดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของพาวเวอร์มิเตอร์ Fluke รุ่น 1730

ข้อมูล	รายละเอียด
ช่วงแรงดันไฟฟ้าและความละเอียด	1000 V : 0.1 V
ช่วงกระแสไฟฟ้าและความละเอียด iFlex1500-12	150 A : 0.1 A
	1500 A : 1 A
ช่วงกระแสไฟฟ้าและความละเอียด iFlex3000-24	300 A : 1 A
	3000 A : 10 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงกระแสไฟฟ้าและความละเอียด iFlex6000-36	600 A : 1 A
	6000 A : 10 A
ช่วงกระแสไฟฟ้าและความละเอียด i40s-EL Clamp	4 A : 1 mA
	40 A : 10 mA
ช่วงความถี่และความละเอียด	42.5Hz ถึง 69Hz : 0.01Hz
Auxiliary Input Range and Resolution	± 10V DC : 0.1 mV

3.2 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

3.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษาและออกแบบระบบคือ เซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ JETION รุ่น JT300Ag มีกำลังผลิตไฟฟ้าต่อแผง 300 วัตต์ ซึ่งมีข้อมูลทางเทคนิคดังตารางที่ 3.2 ทำมุม 15 องศากับแนวราบ

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์ JETION รุ่น JT300Ag

ข้อมูล	รายละเอียด
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max})	300 วัตต์
แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{mm})	36.4 แอมป์
กระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{mm})	8.82 แอมป์
แรงดันไฟฟ้าที่ไม่ได้จ่ายโหลด (V_{oc})	44.9 โวลต์
กระแสไฟฟ้สูงสุดที่ได้จากการทดสอบลัดวงจร (I_{sc})	8.89 แอมป์
ประสิทธิภาพ	15.4 %
ขนาดแผง (กว้าง×ยาว×หนา)	1956×922×40 มิลลิเมตร

Standard Test Conditions (STC) : air mass AM 1.5, irradiance 1000W/m², cell temperature 25˚C

3.2.2 อินเวอเตอร์

อุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้า หรืออินเวอเตอร์ ยี่ห้อ Growatt รุ่น Growatt 3000 รองรับพิกัดกำลังไฟฟ้า 3.3 กิโลวัตต์ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 100 ถึง 500 โวลต์ และมีกระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 อินเวอเตอร์ยี่ห้อ Growattt รุ่น Growatt 3000

3.2.3 การออกแบบสายไฟ

การออกแบบสายไฟที่ใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไปตามมาตฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) เรื่องมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 (Thailand Electronic Code 2013)

3.3 ระบบบริหารจัดการพลังงานของอาคาร

3.3.1 โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของระบบบริหารจัดการพลังงาน

จากแนวคิดดังกล่าว สามารถออกแบบระบบที่มีโครงสร้างฮาร์ดแวร์ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งประกอบด้วย

1) อุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับเป็นเครื่องแม่ข่าย (Computer server) ของฐานข้อมูลและเว็บ รวมทั้งระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับฐานข้อมูล และการควบคุม

2) Modbus to BAC net gateway ทำหน้าที่เชื่อมต่อข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบที่สื่อสารข้อมูลด้วยโปรโตคอล Modbus เข้ากับเซิร์ฟเวอร์ ผ่านทางโปรโตคอล BAC net

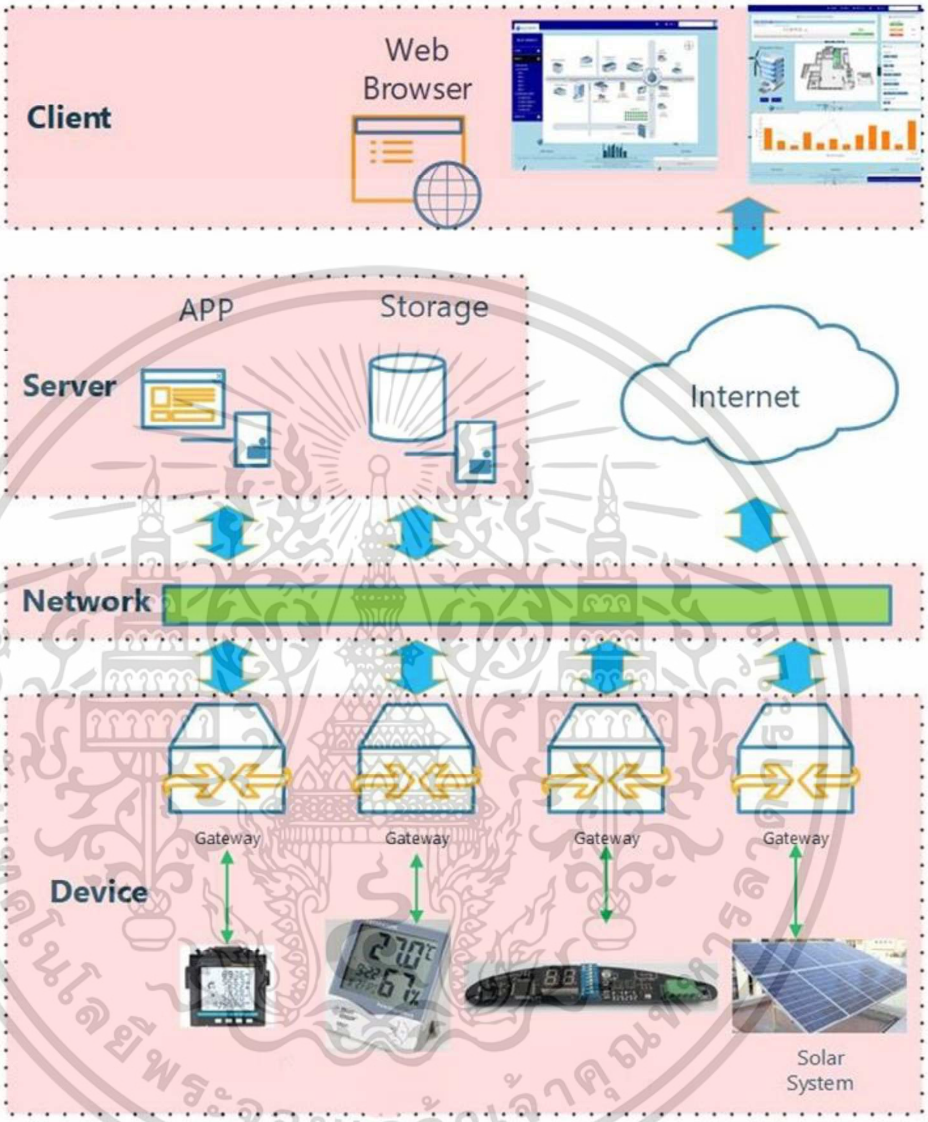
3) Power meter แบบ 3 phase ทำหน้าที่วัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละชั้นในอาคาร 7

4) Power meter แบบ 1 phase ทำหน้าที่วัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่อง

5) Temperature controller ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ จะทำหน้าที่รับคำสั่งจากโปรแกรม BEMS ผ่านโปรโตคอล Modbus เช่น คำสั่ง เปิด/ปิด เครื่องปรับอากาศ หรือคำสั่งตั้งค่าอุณหภูมิ เป็นต้น จากนั้น ชุดควบคุมจะสร้างสัญญาณอินฟราเรด เลียนแบบการทำงานของรีโมทเครื่องปรับอากาศ เพื่อสั่งการให้เครื่องปรับอากาศทำงานตามคำสั่งของโปรแกรม BEMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) Temperature Sensor สำหรับวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นผ่านโปรโตคอล Modbus



รูปที่ 3.5 แนวคิดระบบบริหารจัดการพลังงาน BEMS

3.3.2 โครงสร้างซอฟต์แวร์ของระบบบริหารจัดการพลังงาน

ซอฟต์แวร์ของระบบบริหารจัดการพลังงาน BEMS จะถูกออกแบบโดยใช้ระบบปฏิบัติการแบบโอเพนซอส (Open source operating system) ที่ชื่อว่า BEMOSS โดยสถาปัตยกรรมของระบบ BEMOSS ดังรูปที่ 3.6 จะประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 4 ส่วนคือ

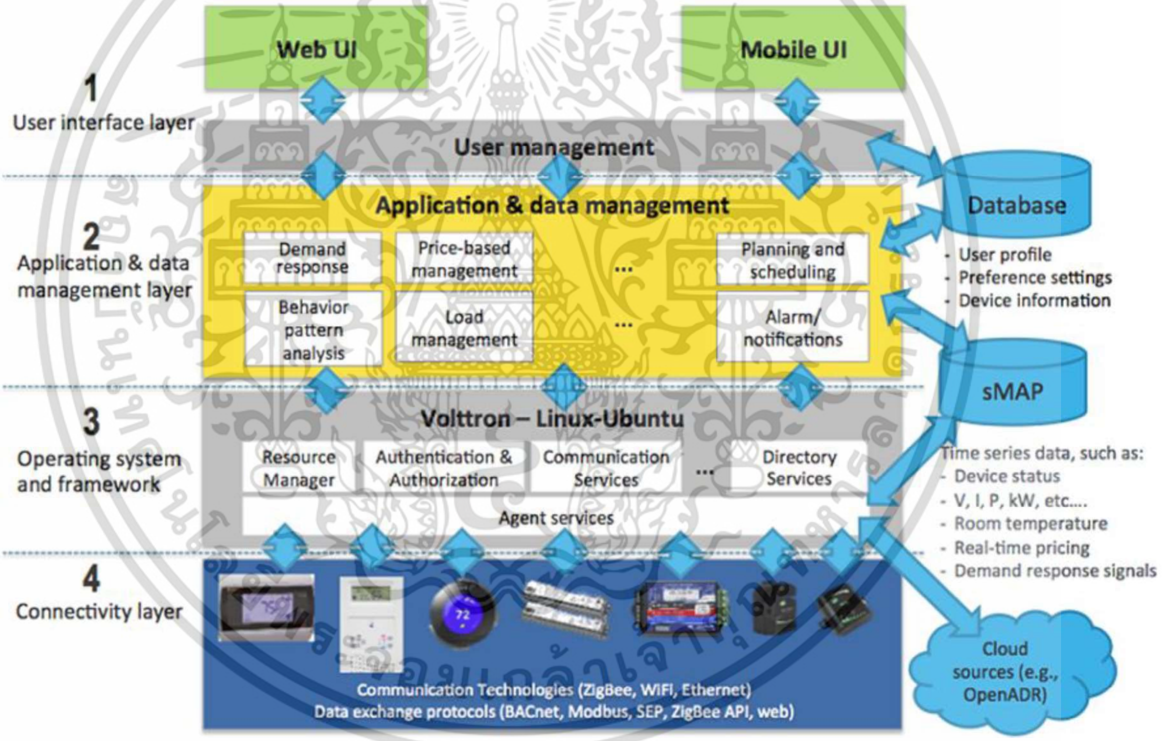
1) User Interface layer เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้ผ่าน Web browser หรือ Mobile Application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Application and data management layer เป็นส่วนจัดการข้อมูลโดยอัลกอริทึมต่าง ๆ เช่น Demand response, price-based management, Energy consumption Analysis หรือ Planning and scheduling เป็นต้น

3) Operating System and Framework เป็นส่วนของระบบปฏิบัติการที่จะทำหน้าที่ติดต่อกับอุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ เช่น Device discovery ซึ่งเป็นการระบุชนิดของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อเข้ามาในระบบ เป็นต้น

4) Connectivity layer เป็นส่วนของ Device driver ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์แต่ละตัว



รูปที่ 3.6 สถาปัตยกรรมของ BEMOSS

3.3.3 เว็บแอพพลิเคชั่นของระบบบริหารจัดการพลังงาน

โปรแกรมสำหรับระบบบริหารจัดการการใช้พลังงาน โดยหลักแล้วจะทำหน้าที่นำข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลมาแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้รับทราบ รวมถึงสามารถควบคุมอุปกรณ์บางตัวในระบบได้ โปรแกรมจะถูกพัฒนาในรูปแบบ Web application ผู้ใช้สามารถเข้าถึงได้ผ่าน Web browser ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถติดตั้งได้โดยง่ายทั้งบน Windows และ Mobile devices แบ่งส่วนติดต่อกับผู้ใช้ออกเป็นโมดูลย่อย ดังนี้

1) UI-Visualization ส่วนแสดงผลหลักที่จะแสดงผลให้ผู้ใช้ทราบ โดยส่วนนี้จะถูกออกแบบให้สามารถแสดงผลไปตามลำดับขั้นเพื่อให้ง่ายในการทำความเข้าใจ ทั้งนี้ ฟังก์ชันหลักในการทำงานจะเป็นการ แสดงผลและจัดการข้อมูลจากฐานข้อมูล เพื่อมาแสดงผลบน Web browser

2) UI-Control ส่วนแสดงผลเพื่อควบคุมอุปกรณ์ในระบบ เช่น เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น ส่วนนี้จะทำหน้าที่แสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุมจากรายการอุปกรณ์ที่ควบคุมได้ในระบบ ในการทำการควบคุมอุปกรณ์นั้น ระบบจะส่งข้อมูลควบคุมไปที่ Gateway แล้วจึงส่งต่อไปยังอุปกรณ์ปลายทาง

3) UI-Admin ส่วนตั้งค่าระบบต่างๆ สำหรับผู้ดูแลระบบ จะประกอบไปด้วยฟังก์ชันหลัก

4) Authentication/Authorization ส่วนตรวจสอบยืนยันผู้ใช้และกำหนดสิทธิในการเข้าถึงข้อมูล

5) Logging ส่วนบันทึกการทำงานของระบบ สำหรับการตรวจสอบย้อนหลังในกรณีที่เกิดปัญหาขึ้นกับส่วนต่าง ๆ ในระบบ

3.4 การใช้ระบบบริหารจัดการพลังงานของอาคารในการตรวจวัดข้อมูล

นำระบบการบริหารจัดการพลังงานอัจฉริยะมาใช้ในการตรวจสอบ ตรวจวัดและบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์สงอาทิตย์หลังจากการติดตั้งเซลล์ รวมถึงการควบคุมเครื่องใช้ฟ้าภายในตัวอาคาร เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลหลังจากการติดตั้งและติดตามผลหลังจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์โดยแสดงผลผ่านหน้าเว็บบราวเซอร์ ดังนี้

3.4.1 การแสดงการใช้พลังงานรวมของทั้งอาคาร

มีการแสดงค่าพลังงานสะสมที่ใช้ในรอบวันจากเวลา 00.00 - 24.00 นาฬิกา (หน่วย kWh) และค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ (Load Profile) ดังรูปที่ 3.7

3.4.2 การแสดงข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร

มีการแสดงค่าพลังงานสะสมที่ใช้ในรอบวันจากเวลา 00.00 – 24.00 นาฬิกา ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ ลักษณะเป็นกราฟแท่ง เปรียบเทียบการใช้พลังงานของแต่ละช่วงเวลา เพื่อให้สามารถเข้าไปดู

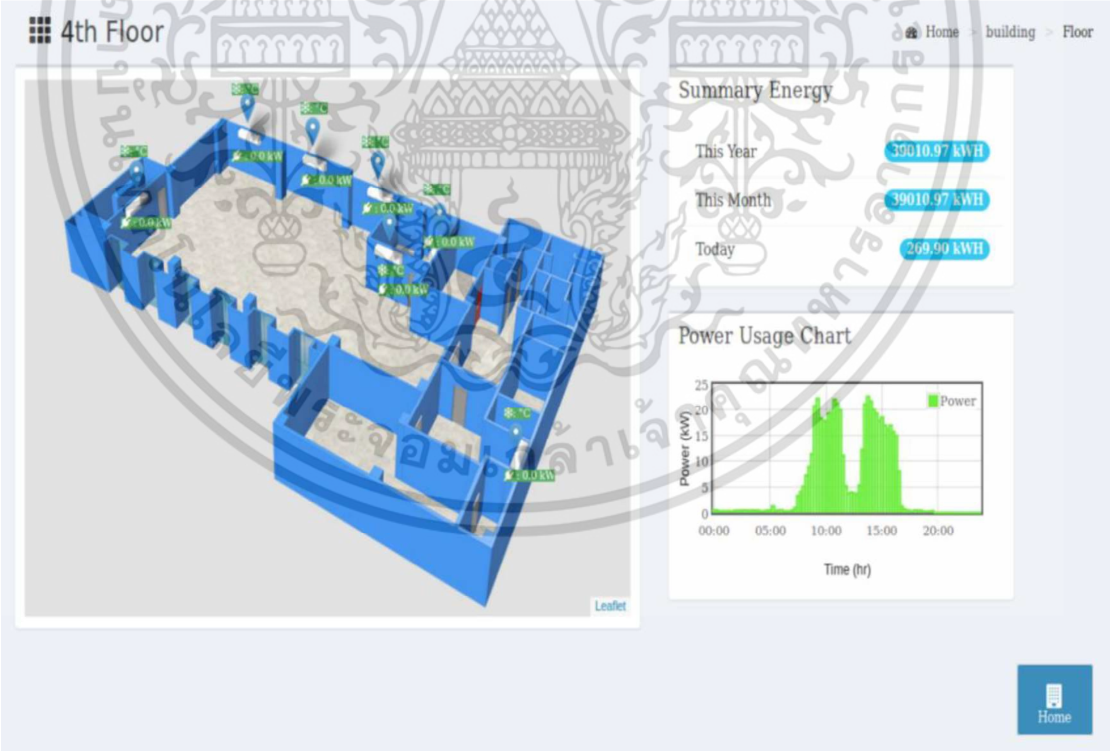
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของแต่ละชั้นได้ ดังรูปที่ 3.8 รูปที่ 3.9 และสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้ตามวันที่กำหนดดังรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.7 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของทั้งอาคาร

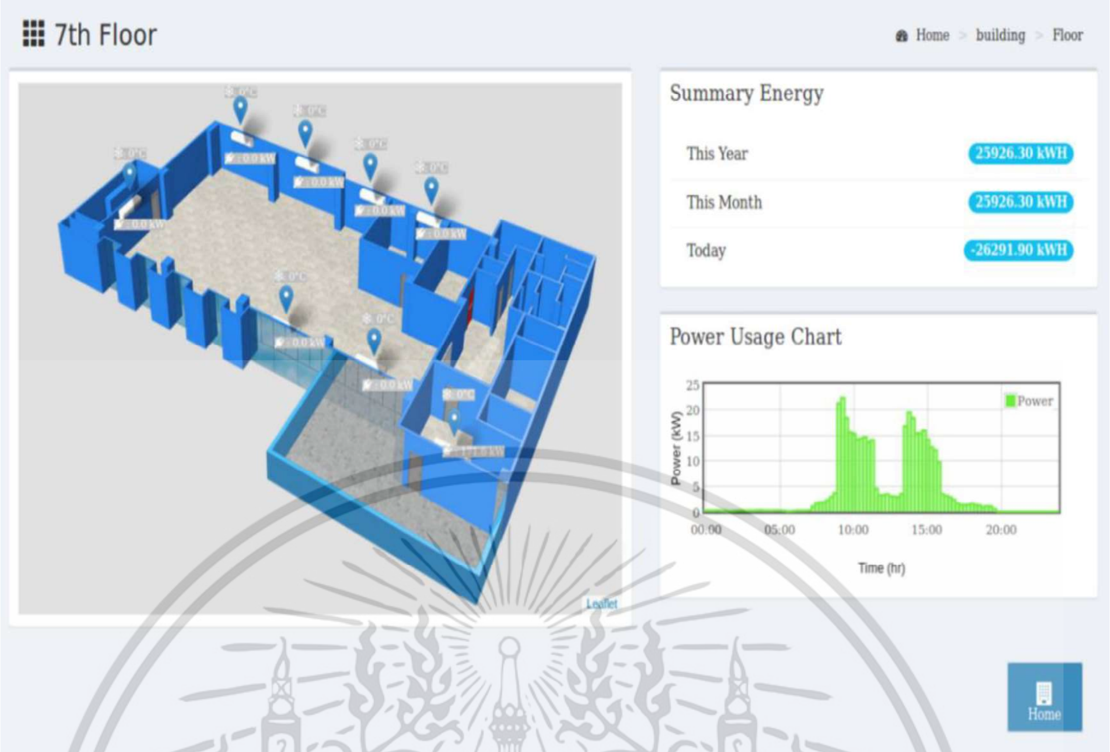
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร

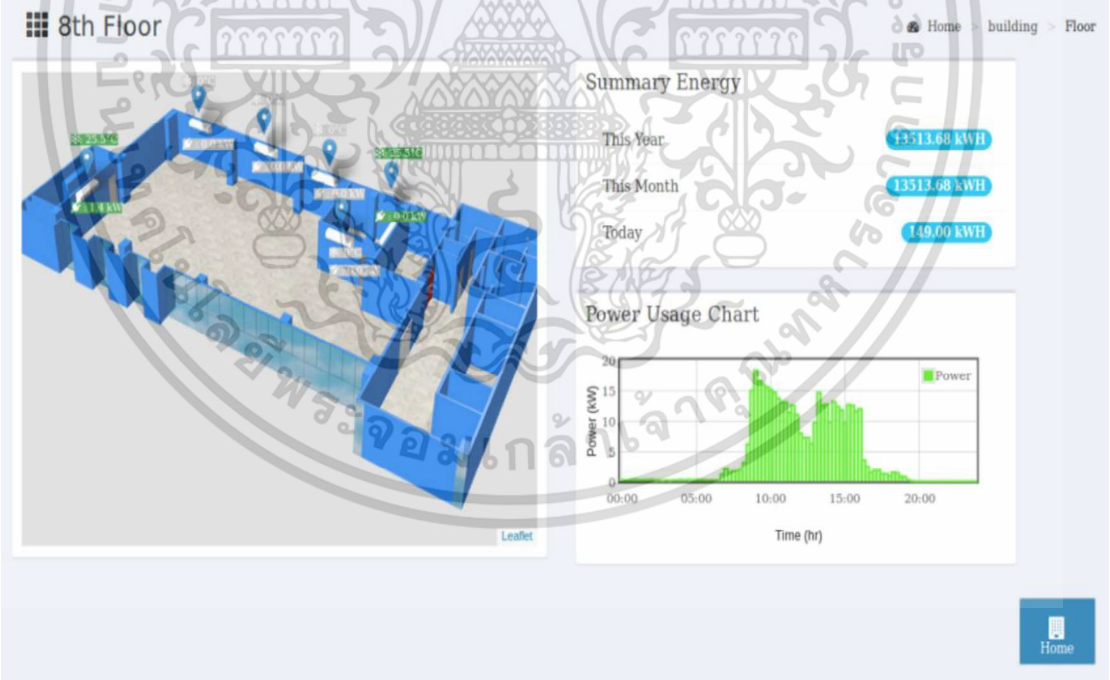


รูปที่ 3.9 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของชั้นที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



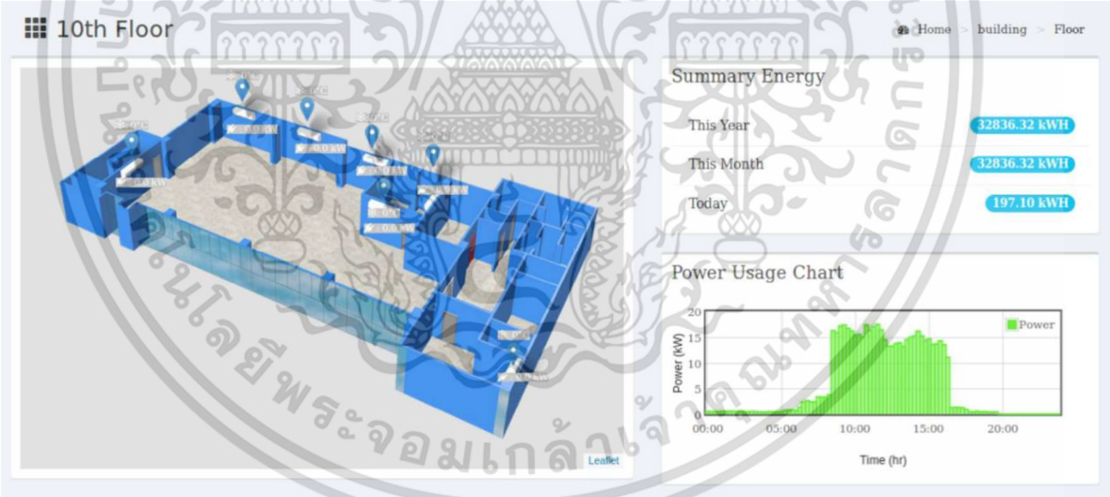
รูปที่ 3.10 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของชั้นที่ 7



รูปที่ 3.11 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของชั้นที่ 8

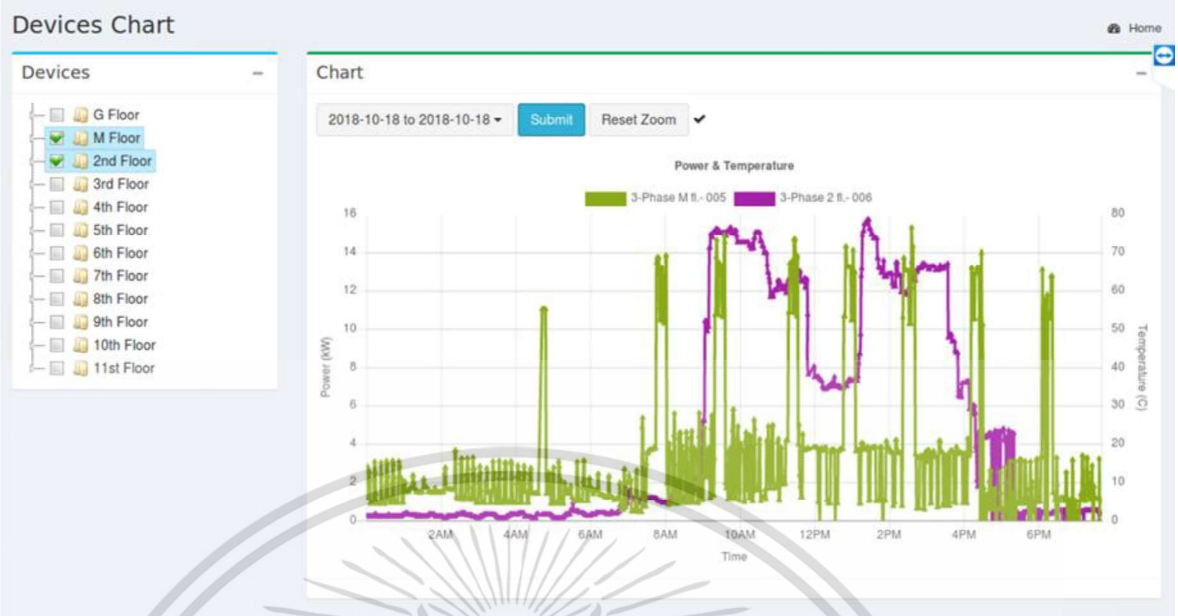
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของชั้นที่ 9



รูปที่ 3.13 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของชั้นที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารย้อนหลังตามวันที่กำหนด

3.5 โปรแกรม PVsyst

โปรแกรม PVsyst เป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมในการใช้งานเรื่องของการออกแบบและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อจำลองการออกแบบ ศึกษาและคำนวณการผลิตไฟฟ้าของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.15 โดยคำนวณจากความเข้มแสงจากพิกัดทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ติดตั้ง ประเภทของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง องศาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง ทิศทางติดตั้งของเซลล์แสงอาทิตย์ พิกัดขนาดของอิเวอเตอร์ และแบตเตอรี่ ผลลัพธ์ที่ได้จากการโปรแกรมจะถูกนำไปเป็นแนวทางการศึกษา และออกแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

หลังจากที่เราป้อนข้อมูลเบื้องต้นให้กับโปรแกรมเช่น ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ พื้นที่ติดตั้ง พิกัดพื้นที่ติดตั้ง องศาการติดตั้ง ขนาดของอินเวอเตอร์ และค่าอื่นๆ โปรแกรมจะทำการออกแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ และแสดงผลจากการจำลองถึงความเหมาะสมของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวอย่างเช่น พลังงานที่ผลิตได้ต่อปี พลังงานที่ผลิตได้รายเดือน ประสิทธิภาพของระบบ อุณหภูมิบริเวณติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยในแต่ละเดือน ดังรูปที่ 3.17 และแสดงถึงค่าพลังงานที่สูญเสียไปในระบบ ดังรูปที่ 3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 โปรแกรม PVsyst

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PVSYST V6.43		04/08/20	Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**BKK**			
Geographical Site	**Bangkok**		Country	**Thailand**
Situation	Latitude	13.7°N	Longitude	100.6°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	3 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	**Bangkok**	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic		

Simulation variant :	**New simulation variant**	
	Simulation date	04/08/20 11h32

Simulation parameters

Collector Plane Orientation	Tilt	15°	Azimuth	0°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			

PV Array Characteristics

PV module	Si-poly	Model	**AxiPower AC-300P/156-72S**		
Original PVsyst database		Manufacturer	Axitec USA		
Number of PV modules		In series	7 modules	In parallel	36 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	252	Unit Nom. Power	300 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**75.6 kWp**	At operating cond.	67.4 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	228 V	I mpp	296 A
Total area		Module area	**489 m²**	Cell area	442 m²

Inverter	Model	**3 kWac inverter**		
Original PVsyst database	Manufacturer	Generic		
Characteristics	Operating Voltage	125-440 V	Unit Nom. Power	3.00 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	25 units	Total Power	75 kWac

PV Array loss factors

Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	13 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.4 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05

User's needs : Unlimited load (grid)

รูปที่ 3.16 ตัวอย่างผลการออกแบบการติดตั้งของโปรแกรม PVsyst

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PVSYST V6.43		04/08/20	Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

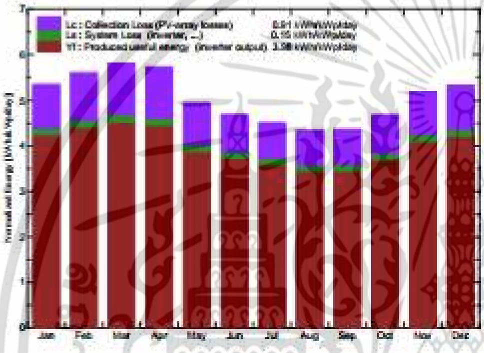
Project : **BKK**

Simulation variant : **New simulation variant**

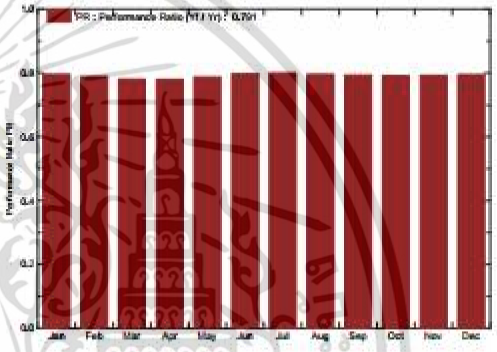
Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	15°	azimuth	0°
PV modules	Model	AxiPower AC-300P/156-72SPnom		300 Wp
PV Array	Nb. of modules	252	Pnom total	**75.6 kWp**
Inverter	Model	3 kWac inverter	Pnom	3000 W ac
Inverter pack	Nb. of units	25.0	Pnom total	**75.0 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results				
System Production	**Produced Energy**	**109957 kWh/year**	Specific prod.	1454 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	79.1 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 75.6 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	%	%
January	145.0	27.53	165.6	160.5	10316	9958	12.74	12.30
February	143.7	28.69	156.8	152.1	9687	9351	12.63	12.20
March	174.4	29.82	180.0	174.4	11004	10626	12.50	12.07
April	174.6	30.46	171.8	166.4	10497	10129	12.50	12.06
May	163.4	29.92	153.4	147.7	9468	9124	12.62	12.16
June	152.0	29.16	140.7	135.4	8799	8475	12.79	12.32
July	148.9	29.35	139.7	134.4	8768	8444	12.84	12.36
August	138.7	29.18	134.6	129.8	8406	8095	12.77	12.30
September	130.0	28.35	130.9	126.4	8155	7849	12.74	12.26
October	137.7	28.77	145.2	140.6	9010	8683	12.69	12.23
November	139.8	28.03	155.6	151.0	9661	9322	12.70	12.25
December	141.9	27.63	164.9	160.2	10259	9901	12.73	12.28
Year	1790.1	28.91	1839.2	1779.0	114030	109957	12.68	12.23

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

รูปที่ 3.17 ตัวอย่างผลการประเมินพลังงานจากโปรแกรม PVsyst

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PVSYST V6.43		04/08/20	Page 3/3

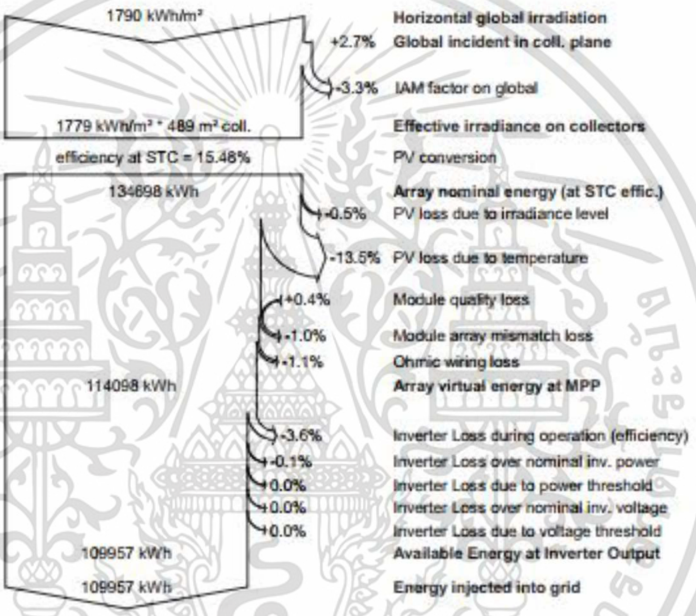
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **BKK**

Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	15°	azimuth	0°
PV modules	Model	AxiPower AC-300P/156-72S	Pnom	300 Wp
PV Array	Nb. of modules	252	Pnom total	**75.6 kWp**
Inverter	Model	3 kWac inverter	Pnom	3000 W ac
Inverter pack	Nb. of units	25.0	Pnom total	**75.0 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างผลการสูญเสียของระบบจากโปรแกรม PVsyst

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 แนวทางการออกแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

ในการออกแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จะทำการแบ่งออกเป็น 3 แนวทาง เพื่อความเหมาะสมของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคาร 7 ที่จะทำการติดตั้ง ซึ่งออกแบบจากข้อมูลการสำรวจพื้นที่ติดตั้งบนดาดฟ้า และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าดังนี้

1) ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่ ขนาด 830 ตารางเมตร กำลังผลิตไฟฟ้า 130 กิโลวัตต์

2) ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังผลิตไฟฟ้า 75 กิโลวัตต์

3) ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยให้เพียงพอกับการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคาร กำลังผลิตไฟฟ้า 155 กิโลวัตต์

โดยนำผลการศึกษาที่ได้ทั้ง 3 แนวทาง เปรียบเทียบค่าปรับ Peak demand ก่อนติดตั้งและหลังติดตั้ง เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าต่อเดือนก่อนติดตั้งและหลังติดตั้ง (สมการ 2.1 – 2.3) คำนวณผลประหยัดต่อเดือน ระยะเวลาคืนทุน (สมการ 2.4) ผลประหยัดสะสมระยะเวลา 25 ปี และวิเคราะห์ความเหมาะสมของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและการออกแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคารภาครัฐ โดยวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิดังสมการที่ 3.1

$$NPV = \left(\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}\right) - I \tag{3.1}$$

NPV คือมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

I คือเงินค่าลงทุนครั้งแรก

C_t คือผลประหยัดแต่ละปี

t คือปีที่ 1 ถึงปีที่ n

n คือ 25 ปี

r คืออัตราผลตอบแทน (7.5%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

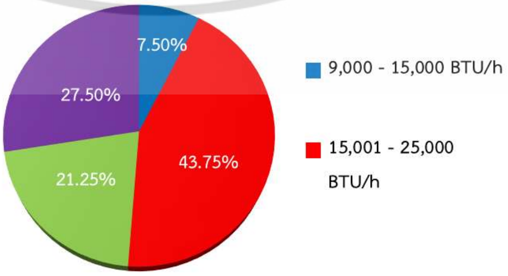
ในเนื้อหาของบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบแนวทางความเหมาะสมกับวิธีการเลือกติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคาร โดยการวิเคราะห์นี้จะแบ่งออกเป็น 3 แบบ ประกอบไปด้วยการ 1) ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่ ขนาด 830 ตารางเมตร กำลังผลิตไฟฟ้า 130 กิโลวัตต์ 2) ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังผลิตไฟฟ้า 75 กิโลวัตต์ และ 3) ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยให้เพียงพอกับการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคาร กำลังผลิตไฟฟ้า 155 กิโลวัตต์

4.1 ผลการสำรวจข้อมูล

4.1.1 การตรวจวัดข้อมูลทั่วไปของอาคาร 7 ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ความสูง 12 ชั้น พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร 2,525 ตารางเมตร และพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคารจอดรถขนาด 830 ตารางเมตร

4.1.2 การตรวจวัดและจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าของอาคาร 7 โดยจำแนกเป็น เครื่องปรับอากาศ หลอดไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์สำนักงาน ดังนี้

1) เครื่องปรับอากาศทั้งหมดเป็นประเภทเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ขนาด 9,000 – 40,000 บีทียู/ชั่วโมง มีกำลังไฟฟ้ารวม 173.78 กิโลวัตต์ คิดเป็นสัดส่วน 38.47% การใช้กำลังไฟฟ้าของอาคาร โดยจำแนกตามขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 โดยมี เครื่องปรับอากาศ ขนาด 9,000 - 15,000 บีทียู/ชั่วโมง จำนวน 6 เครื่อง ขนาด 15,001 - 25,000 บีทียู/ชั่วโมง จำนวน 35 เครื่อง ขนาด 25,001 - 35,000 บีทียู/ชั่วโมง จำนวน 17 เครื่อง ขนาด 35,001 - 40,000 บีทียู/ชั่วโมง จำนวน 22 เครื่อง ซึ่งขนาด 15,001 – 25,000 บีทียู/ชั่วโมง มีสัดส่วนมากที่สุดเป็น 43.75%



รูปที่ 4.1 จำนวนเครื่องปปรับอากาศของอาคาร 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดเครื่องปรับอากาศของอาคาร 7

ชั้น	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (บีทียู/ชั่วโมง)	จำนวน (เครื่อง)	พิกัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์)	พิกัดกำลังไฟฟ้า รวม (กิโลวัตต์)
1	9,384	1	780	0.78
1	31,686	1	2,700	2.70
1	18,835	2	1,500	3.00
M	36,518	3	3,000	9.00
M	24,514	1	2,000	2.00
M	18,159	1	1,500	1.50
M	12,861	1	1,000	1.00
2	18,159	6	1,500	9.00
2	24,514	2	2,000	4.00
3	38,000	5	3,000	15.00
3	20,000	1	1,700	1.70
4	38,000	5	3,000	15.00
5	28,264	6	2,300	13.80
6	38,000	2	3,000	6.00
6	20,000	2	1,700	3.40
6	36,158	2	3,000	6.00
7	12,866	3	1,000	3.00
7	28,264	5	2,300	11.50
7	17,439	1	1,400	1.40
8	12,866	1	1,000	1.00
8	28,268	5	2,300	11.50
9	24,000	7	2,000	14.00
9	18,159	1	1,500	1.50
9	24,514	1	2,000	2.00
10	36,518	5	3,000	15.00
10	18,159	1	1,500	1.50
10	24,514	1	2,000	2.00
11	19,000	1	1,500	1.50
11	25,000	7	2,000	14.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (บีทียู/ชั่วโมง)	จำนวน (เครื่อง)	พิกัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์)	พิกัดกำลังไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์)
รวม		80	-	173.78

2) หลอดไฟฟ้าแสงสว่าง ประกอบด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ (FL) T8 และ T5 และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (CFL) รวมจำนวน 808 หลอด มีพิกัดกำลังไฟฟ้ารวม 32.31 กิโลวัตต์ คิดเป็นสัดส่วน 7.15% การใช้กำลังไฟฟ้าของอาคาร สามารถแบ่งตามชนิดได้ดังรูปที่ 4.2 และสรุปข้อมูลตามชนิด จำนวน และพิกัดกำลังไฟฟ้าดังตารางที่ 4.2 โดยหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 169 หลอด หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 18 วัตต์ จำนวน 59 หลอด หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 28 วัตต์ จำนวน 247 หลอด หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 14 วัตต์ จำนวน 15 หลอด และ หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 24 วัตต์ จำนวน 318 หลอด ซึ่งมีสัดส่วนเป็นมากที่สุดเป็น 39.36%

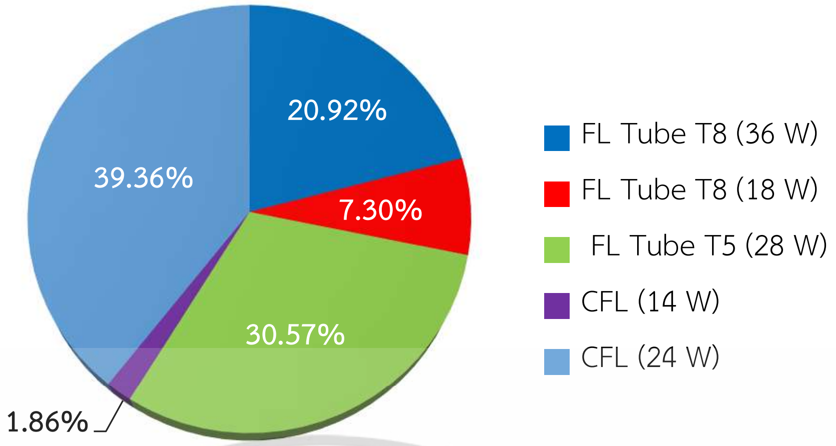
ตารางที่ 4.2 รายละเอียดหลอดไฟฟ้าแสงสว่างของอาคาร 7

ชั้น	ชนิดหลอดไฟฟ้า	จำนวน (หลอด)	พิกัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์)	พิกัดกำลังไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์)
1	หลอด Tube T5 (28 W)	8	62	0.50
1	หลอด Tube T8 (18 W)	2	48	0.10
1	หลอด Tube T8 (36 W)	6	48	0.29
1	หลอด CFL (14 W)	15	14	0.21
M	หลอด Tube T5 (28 W)	22	62	1.36
M	หลอด Tube T8 (18 W)	2	30	0.06
M	หลอด Tube T8 (36 W)	6	48	0.29
2	หลอด Tube T5 (28 W)	58	32	1.86
2	หลอด Tube T8 (18 W)	8	36	0.29
2	หลอด CFL (24 W)	29	24	0.70
3	หลอด Tube T5 (28 W)	4	62	0.25
3	หลอด Tube T8 (18 W)	1	48	0.05
3	หลอด Tube T8 (36 W)	1	48	0.05
3	หลอด CFL (24 W)	27	24	0.65
4	หลอด Tube T5 (28 W)	33	62	2.05
4	หลอด Tube T8 (18 W)	2	48	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น	ชนิดหลอดไฟฟ้า	จำนวน (หลอด)	พิกัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์)	พิกัดกำลังไฟฟ้า รวม (กิโลวัตต์)
4	หลอด Tube T8 (36 W)	2	48	0.10
4	หลอด CFL (24 W)	30	24	0.72
5	หลอด Tube T5 (28 W)	33	62	2.05
5	หลอด Tube T8 (18 W)	4	18	0.07
5	หลอด Tube T8 (36 W)	1	48	0.05
5	หลอด CFL (24 W)	26	24	0.62
6	หลอด Tube T5 (28 W)	18	62	1.12
6	หลอด Tube T8 (18 W)	2	48	0.10
6	หลอด Tube T8 (36 W)	8	48	0.38
6	หลอด CFL (24 W)	18	24	0.43
7	หลอด Tube T5 (28 W)	35	62	2.17
7	หลอด Tube T8 (18 W)	2	30	0.06
7	หลอด Tube T8 (36 W)	1	48	0.05
7	หลอด CFL (24 W)	35	24	0.84
8	หลอด Tube T5 (28 W)	35	62	2.17
8	หลอด Tube T8 (18 W)	2	30	0.06
8	หลอด Tube T8 (36 W)	2	48	0.10
8	หลอด CFL (24 W)	37	24	0.89
9	หลอด Tube T8 (36 W)	70	48	3.36
9	หลอด CFL (24 W)	38	28	1.06
10	หลอด Tube T8 (36 W)	70	48	3.36
10	หลอด CFL (24 W)	38	28	1.06
11	หลอด Tube T5 (28 W)	1	31	0.03
11	หลอด Tube T8 (18 W)	34	48	1.63
11	หลอด Tube T8 (36 W)	2	48	0.10
11	หลอด CFL (24 W)	40	24	0.96
รวม		808	-	32.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 จำนวนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างของอาคาร 7

3) อุปกรณ์สำนักงาน ประกอบชุดคอมพิวเตอร์ เครื่องปริ้น ตู้เย็น พัดลม และโทรทัศน์ เป็นต้น รวมจำนวน 658 เครื่อง มีพิกัดกำลังไฟฟ้ารวม 245.6 กิโลวัตต์ คิดเป็นสัดส่วน 54.37% การใช้กำลังไฟฟ้าของอาคาร โดยสรุปข้อมูลตามชนิด ขนาดและพิกัดกำลังไฟฟ้าดังตารางที่ 4.3 ซึ่งชุดคอมพิวเตอร์ และลำโพงมีจำนวนมากที่สุด ดังนี้

- ชุดคอมพิวเตอร์ และลำโพง จำนวน 288 เครื่อง
- เครื่องส่งแฟกซ์ จำนวน 10 เครื่อง
- เครื่องปริ้นเอกสาร จำนวน 86 เครื่อง
- เครื่องถ่ายเอกสาร จำนวน 7 เครื่อง
- เครื่องทำลายเอกสาร จำนวน 3 เครื่อง
- เครื่องสแกน จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่องทำน้ำเย็น จำนวน 14 เครื่อง
- กระติกน้ำร้อน จำนวน 7 เครื่อง
- โปรเจคเตอร์ จำนวน 3 เครื่อง
- พัดลม (แบบตั้งโต๊ะและระบายอากาศ) จำนวน 78 เครื่อง
- ไมโครเวฟ จำนวน 7 เครื่อง
- ตู้เย็น จำนวน 14 เครื่อง
- โคมไฟตั้งโต๊ะ จำนวน 1 เครื่อง
- โทรทัศน์ จำนวน 6 เครื่อง
- ไมโครโฟนห้องประชุม จำนวน 80 เครื่อง
- ลำโพงห้องประชุม จำนวน 113 เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดจำนวนอุปกรณ์สำนักงานของอาคาร 7

ลำดับ	ชนิดอุปกรณ์	จำนวน (เครื่อง)	พิกัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์)	พิกัดกำลังไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์)
1	ชุดคอมพิวเตอร์ และลำโพง	228	550	125.40
2	เครื่องส่งแฟกซ์	10	200	2.00
3	เครื่องปริ้นเอกสาร	86	700	60.20
4	เครื่องถ่ายเอกสาร	7	1800	12.60
5	เครื่องทำลายเอกสาร	3	440	1.32
6	เครื่องสแกน	1	200	0.20
7	เครื่องทำน้ำเย็น	14	650	9.10
8	กระติกน้ำร้อน	7	650	4.55
9	โปรเจคเตอร์	3	400	1.20
10	พัดลม (แบบตั้งโต๊ะและระบายอากาศ)	78	60	4.68
11	ไมโครเวฟ	7	1000	7.00
12	ตู้เย็น	14	180	2.52
13	โคมไฟตั้งโต๊ะ	1	40	0.04
14	โทรทัศน์	6	190	1.14
15	ไมโครโฟนห้องประชุม	80	100	8.00
16	ลำโพงห้องประชุม	113	50	5.65
	รวม	658	-	245.60

4.2 ตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 7

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 7 ได้ดำเนินการบันทึกจากมิเตอร์ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ที่ห้อง MDB ชั้น 1 ของอาคาร 7 ดังรูปที่ 4.3 โดยจดและบันทึกแบ่งเป็นแต่ละชั้น จำนวน 12 ชั้น ประกอบด้วย ชั้น 1, ชั้น M, และชั้น 2 - 11 เป็นเวลา 30 วัน บันทึกค่าไฟฟ้าทุกวัน จำนวน 2 ครั้ง เวลา 8.30 น. และ 16.30 น. ตั้งแต่วันที่ 28 มิถุนายน 2560 – 27 กรกฎาคม 2560 ได้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากมิเตอร์ไฟฟ้าดังตารางที่ 4.4

จากตารางปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร 7 พบว่าตลอดระยะเวลา 30 วัน ของอาคาร 7 มีการใช้พลังงานทั้งหมด 27,482.20 กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยเฉลี่ย 1,203.59 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน สำหรับวันทำงาน และ 285.20 กิโลวัตต์ชั่วโมง สำหรับวันหยุด มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อวันมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น 1,480 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในวันพุธที่ 28 มิถุนายน 2560 และน้อยสุดเป็น 224 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในวันอาทิตย์ที่ 1 กรกฎาคม 2560 และเมื่อพิจารณาเป็นรายชั้นของ 30 วัน พบว่า ชั้น 5 มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมมากที่สุดเป็น 4,176 กิโลวัตต์ชั่วโมง และชั้น 2 มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมน้อยที่สุดเป็น 611.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง

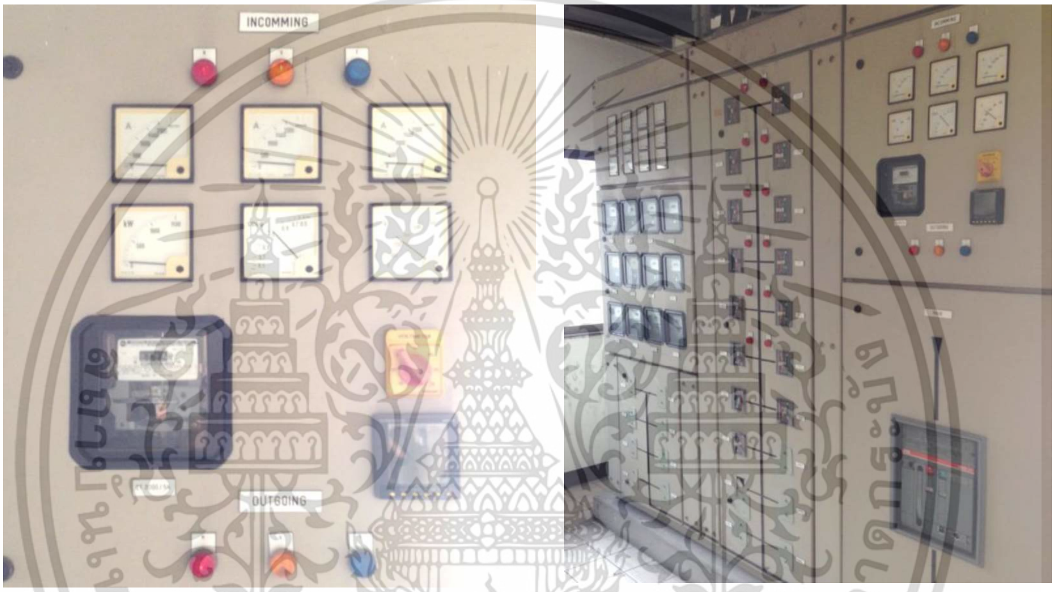
ตารางที่ 4.4 ปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร 7

ว/ด/ป	ปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร 7 (kWh)												
	1	M	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	รวม
28 มิ.ย.	160	60	20	160	140	180	40	100	60	160	220	180	1,480.0
29 มิ.ย.	140	60	20	140	120	180	40	100	40	140	140	140	1,260.0
30 มิ.ย.	114	72	26	166	158	151	38	104	44	125	151	33	1,182.0
1 ก.ค.	26	48	4	26	5	34	2	8	4	5	55	7	224.0
2 ก.ค.	44	53	8	32	20	95	9	20	10	21	22	44	378.0
3 ก.ค.	136	69	53	160	145	180	51	108	55	170	185	123	1,435.0
4 ก.ค.	148.4	65.8	22.6	149	124.4	189.8	57.2	117.2	65	148	134.2	90.8	1,312.4
5 ก.ค.	126.4	66.6	26.6	137.6	112.6	182	48.6	119.8	54.8	138.8	144	106.2	1,264.0
6 ก.ค.	135.2	63.6	48.6	146.4	122	172.2	49.2	107.4	56.2	145.8	143.8	115.6	1,306.0
7 ก.ค.	101	55	46	131.4	129.2	154.8	24	95.6	50	138.2	104	16.4	1,045.6
8 ก.ค.	27	44	7.4	28.6	17.8	46.2	5	6	5	8.2	8	24	227.2
9 ก.ค.	24	47	8.2	19	12	33	4	9.8	5	38	8	59.8	267.8
10 ก.ค.	38	47	5.4	29.4	21	86	6	13.2	9	19.8	19	6.4	300.2
11 ก.ค.	146	58	24.8	159.6	159	216	30	114	61	155.2	149	35.8	1,308.4
12 ก.ค.	137.2	52.6	14.6	112	110.4	192.2	26.8	90	53	117.8	129.8	112.2	1,148.6
13 ก.ค.	119.8	51.4	10.4	135	112.6	179.8	53.2	95	50	127.2	138.2	94.8	1,167.4
14 ก.ค.	148.2	53	26	131	122	138	28	80	49	114	119	31	1,039.2
15 ก.ค.	27.8	46	8	22	18	68	5	10	6	9	7	26	252.8
16 ก.ค.	99	46	8.4	16.2	16	34	4.8	15.4	11.4	22	18.6	25	316.8
17 ก.ค.	162.8	73.2	24.4	151.4	131.8	198.2	27.6	108.6	58	152.6	151.4	31.6	1,271.6
18 ก.ค.	136.2	58	24.8	145.6	128.2	181.2	55.6	101.6	57	139	147.8	43.8	1,218.8
19 ก.ค.	125	64	27.4	131	120.8	197.2	44.2	106.4	64.4	142.2	130.6	72.8	1,226.0
20 ก.ค.	126	66.8	17.8	137.6	105.2	175	57.8	95.6	52.2	103.2	86.2	76.4	1,099.8
21 ก.ค.	126	57	19.8	122.2	94	142	21	90.8	50	125	78.4	28	954.2
22 ก.ค.	27	45	7	33	9	46.4	5.8	12.6	5	22	8	24.4	245.2
23 ก.ค.	44	50	12	38	13.8	86.4	4.2	14	31	17.4	16	28	354.8
24 ก.ค.	156	68	21	153	143.2	174	44	127.4	42	147.6	142	133	1,351.2
25 ก.ค.	141	77	27	142	133	187.6	35.8	69.6	52	151	128	48.6	1,192.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว/ด/ป	ปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร 7 (kWh)												
	1	M	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	รวม
26 ก.ค.	133	67	24	133	116	159	38.2	92	47	119	133	92.4	1,153.6
27 ก.ค.	91	31	18	124	110	117	32	80	40	108	96	12	859.0
รวม	3,166	1,715	611.2	3,212	2,770	4,176	888	2,212	1,187	3,030	3,013	1,862	27,842.20
เฉลี่ย/วัน	105.53	57.17	20.37	107.07	92.33	139.20	29.60	73.73	39.57	101.00	100.43	62.07	928.07
ร้อยละ	11.37%	6.16%	2.20%	11.54%	9.95%	15.00%	3.19%	7.94%	4.26%	10.88%	10.82%	6.69%	100%

หมายเหตุ: วันที่ 1-2, 8-9, 15-16, 22-23 ก.ค. เป็นวันหยุดราชการ



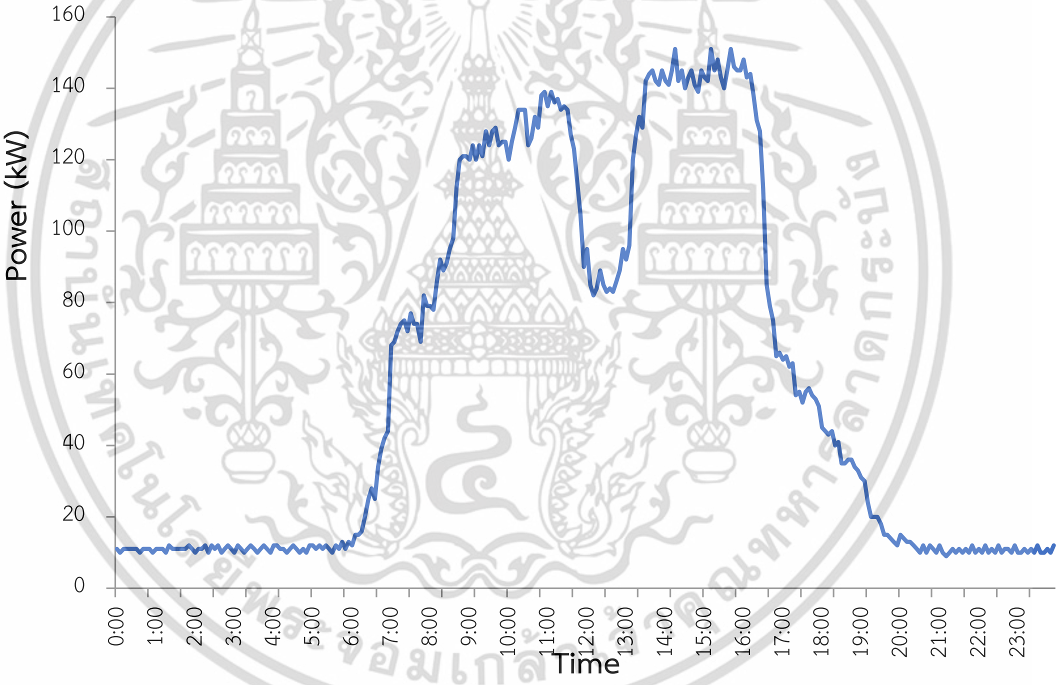
รูปที่ 4.3 ห้องควบคุมไฟฟ้าของอาคาร 7

รูปที่ 4.4 การจดบันทึกมิเตอร์ไฟฟ้าที่ห้องควบคุมไฟฟ้าอาคาร 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 7

การตรวจวัดพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 7 ดำเนินการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า Power meter (รุ่น 1730, Fluke, USA) ที่มิเตอร์ไฟฟ้ารวมของอาคาร 7 ในวันอังคารที่ 25 กรกฎาคม 2560 - 26 กรกฎาคม 2560 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณการใช้ไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.5 ตามเวลาราชการตั้งแต่ 8.30 - 16.30 น. และพักเที่ยงช่วงเวลา 12.00 – 13.00 น.จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการใช้งานของอาคาร 7 มีการใช้งานเริ่มต้นตั้งแต่เวลา 6.00 น. และมีการให้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วจนถึงเวลา 9.00 น. มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของช่วง 9.00 - 12.00 น. เป็น 138 กิโลวัตต์ และลดลงตอนพักเที่ยงในช่วงเวลา 12.00 – 13.00 น. เป็น 81.6 กิโลวัตต์ และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงบ่าย 13.00 – 16.30 น. มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็น 155.3 กิโลวัตต์ และลดเรื่อย ๆ จนมีค่าคงที่ในช่วงเวลา 21.00 – 5.00 น.



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร 7 ในวันอังคารที่ 25 กรกฎาคม 2560 - 26 กรกฎาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 การตรวจวัดพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ห้องควบคุมไฟฟ้าอาคาร 7

4.4 ผลการจำลองแนวทางการวิเคราะห์จากโปรแกรม PVsyst

4.4.1 ผลการจำลองจากโปรแกรม PVsyst ที่เงื่อนไขเต็มพื้นที่ 830 ตารางเมตร โดยที่เซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมเอียง 15 องศาจากพื้น เซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งทั้งหมด 432 แผ่น สามารถคำนวณกำลังผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ทั้งหมด 130 กิโลวัตต์ และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดต่อปีเท่ากับ 185.70 เมกะวัตต์ต่อปี อินเวอเตอร์ติดตั้งทั้งหมด 34 เครื่อง ดังรูปที่ 4.8(ก) และ 4.8(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PVsyst V7.1.5
VC0, Simulation date:
03/03/21 17:52
with v7.1.5

Project: BKK 830 m2

Variant: New simulation variant

General parameters

Grid-Connected System — **No 3D scene defined, no shadings**

PV Field Orientation

Orientation		Sheds configuration	Models used	
Fixed plane		No 3D scene defined	Transposition	Perez
Tilt/Azimuth	15 / 0 °		Diffuse	Perez, Meteonorm
			Circumsolar	separate

Horizon	Near Shadings	User's needs
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics

PV module		**Inverter**	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JT300PMe	Model	Growatt 3000MTL
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	300 Wp	Unit Nom. Power	3.00 kWac
Number of PV modules	432 units	Number of inverters	34 units
Nominal (STC)	130 kWp	Total power	102 kWac
Modules	48 Strings x 9 In series	Operating voltage	120-500 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.27
Pmpp	116 kWp		
U mpp	292 V		
I mpp	397 A		
Total PV power		**Total inverter power**	
Nominal (STC)	130 kWp	Total power	102 kWac
Total	432 modules	Nb. of inverters	34 units
Module area	829 m²	Pnom ratio	1.27

Array losses

Thermal Loss factor		**DC wiring losses**		**Module Quality Loss**	
Module temperature according to irradiance		Global array res.	12 mΩ	Loss Fraction	-1.3 %
Uc (const)	20.0 W/m²K	Loss Fraction	1.5 % at STC		
Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s				
Module mismatch losses		**IAM loss factor**			
Loss Fraction	1.0 % at MPP	ASHRAE Param: IAM = 1 - bo(1/cosi -1)			
		bo Param.	0.05		

03/03/21 PVsyst Evaluation mode Page 3/6

รูปที่ 4.7 ข้อมูลการจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เงื่อนไขพื้นที่ 830 ตารางเมตร จากโปรแกรม PVsyst (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project: BKK 830 m2

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.1.5

VC0, Simulation date:
03/03/21 17:52
with v7.1.5

Main results

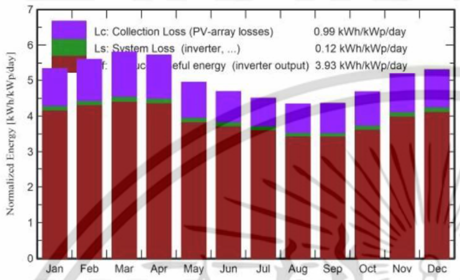
System Production

Produced Energy 185.7 MWh/year

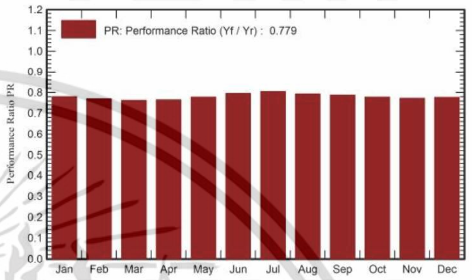
Specific production 1433 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 77.94 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	145.0	64.80	27.53	165.8	161.5	17.24	16.75	0.780
February	143.7	68.90	28.69	156.9	153.1	16.11	15.66	0.770
March	174.4	85.30	29.82	179.9	175.5	18.30	17.78	0.763
April	174.6	82.60	30.46	171.7	167.4	17.52	17.02	0.765
May	163.4	84.80	29.92	153.4	148.4	15.93	15.46	0.778
June	152.0	81.40	29.16	140.7	136.0	14.96	14.52	0.797
July	148.9	90.30	29.35	139.7	135.2	15.00	14.56	0.804
August	138.7	79.60	29.18	134.6	130.7	14.26	13.84	0.793
September	130.0	82.30	28.35	130.9	127.1	13.77	13.36	0.788
October	137.7	78.60	28.77	145.1	141.4	15.07	14.63	0.778
November	139.8	66.70	28.03	155.5	151.8	16.02	15.56	0.772
December	141.9	55.20	27.63	164.8	160.8	17.08	16.60	0.777
Year	1790.1	920.50	28.91	1838.9	1788.9	191.29	185.74	0.779

Legends

GlobHor Global horizontal irradiation
DiffHor Horizontal diffuse irradiation
T_Amb Ambient Temperature
GlobInc Global incident in coll. plane
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
EArray Effective energy at the output of the array
E_Grid Energy injected into grid
PR Performance Ratio

03/03/21 PVsyst Evaluation mode Page 4/6

รูปที่ 4.7 ข้อมูลการจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เงื่อนไขพื้นที่ 830 ตารางเมตร จากโปรแกรม Pvsyst (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลการจำลองจากโปรแกรม PVsyst ที่เงื่อนไขกำลังผลิต 75 กิโลวัตต์ โดยที่เซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมเอียง 15 องศาจากพื้น เซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งทั้งหมด 252 แผ่น พื้นที่ติดตั้ง 484 ตารางเมตร และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดต่อปีเท่ากับ 108.40 เมกะวัตต์ต่อปี อินเวอเตอร์ติดตั้งทั้งหมด 20 เครื่อง ดังรูปที่ 4.9(ก) และ 4.9(ข)

Project: BKK 75 kW

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.1.5
VC0, Simulation date:
03/03/21 17:49
with v7.1.5

General parameters

Grid-Connected System — **No 3D scene defined, no shadings**

PV Field Orientation		**Sheds configuration**	**Models used**	
Orientation		No 3D scene defined	Transposition	Perez
Fixed plane			Diffuse	Perez, Meteonorm
Tilt/Azimuth	15 / 0 °		Circumsolar	separate
Horizon		**Near Shadings**	**User's needs**	
Free Horizon		No Shadings	Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics

PV module		**Inverter**	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JT300PMe	Model	Growatt 3000MTL
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	300 Wp	Unit Nom. Power	3.00 kWac
Number of PV modules	252 units	Number of inverters	20 units
Nominal (STC)	75.6 kWp	Total power	60.0 kWac
Modules	28 Strings x 9 In series	Operating voltage	120-500 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.26
Pmpp	67.5 kWp		
U mpp	292 V		
I mpp	231 A		
Total PV power		**Total inverter power**	
Nominal (STC)	76 kWp	Total power	60 kWac
Total	252 modules	Nb. of inverters	20 units
Module area	484 m²	Pnom ratio	1.26

Array losses

Thermal Loss factor		**DC wiring losses**		**Module Quality Loss**	
Module temperature according to irradiance		Global array res.	21 mΩ	Loss Fraction	-1.3 %
Uc (const)	20.0 W/m²K	Loss Fraction	1.5 % at STC		
Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s				
Module mismatch losses		**IAM loss factor**			
Loss Fraction	1.0 % at MPP	ASHRAE Param: IAM = 1 - bo(1/cosi -1)			
		bo Param.	0.05		

PVsyst TRIAL

03/03/21 PVsyst Evaluation mode Page 3/6

รูปที่ 4.8 ข้อมูลการจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เงื่อนไขกำลังผลิต 75 กิโลวัตต์ จากโปรแกรม Pvsyst (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PVsyst V7.1.5
VC0, Simulation date:
03/03/21 17:49
with v7.1.5

Project: BKK 75 kW

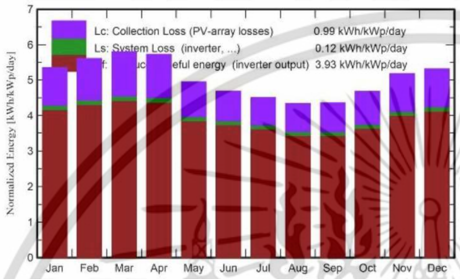
Variant: New simulation variant

Main results

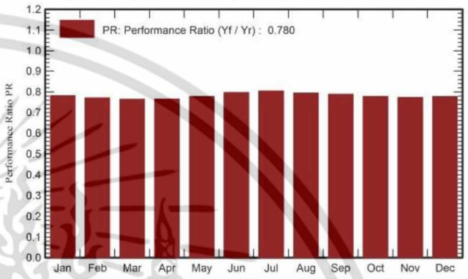
System Production

Produced Energy	108.4 MWh/year	Specific production	1434 kWh/kWp/year
		Performance Ratio PR	78.00 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	ratio
January	145.0	64.80	27.53	165.8	161.5	10.07	9.78	0.780
February	143.7	68.90	28.69	156.9	153.1	9.41	9.14	0.771
March	174.4	85.30	29.82	179.9	175.5	10.68	10.38	0.763
April	174.6	82.60	30.46	171.7	167.4	10.23	9.94	0.766
May	163.4	84.80	29.92	153.4	148.4	9.30	9.03	0.778
June	152.0	81.40	29.16	140.7	136.0	8.73	8.47	0.797
July	148.9	90.30	29.35	139.7	135.2	8.76	8.50	0.804
August	138.7	79.60	29.18	134.6	130.7	8.32	8.07	0.794
September	130.0	82.30	28.35	130.9	127.1	8.04	7.80	0.788
October	137.7	78.60	28.77	145.1	141.4	8.80	8.54	0.779
November	139.8	66.70	28.03	155.5	151.8	9.36	9.09	0.773
December	141.9	55.20	27.63	164.8	160.8	9.98	9.69	0.778
Year	1790.1	920.50	28.91	1838.9	1788.9	111.67	108.44	0.780

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

03/03/21 PVsyst Evaluation mode Page 4/6

รูปที่ 4.8 ข้อมูลการจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เงื่อนไขกำลังผลิต 75 กิโลวัตต์ จากโปรแกรม Pvsyst (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ผลการจำลองจากโปรแกรม PVsyst ที่เงื่อนไขผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 155 กิโลวัตต์ โดยที่เซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมเอียง 15 องศาจากพื้น เซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งทั้งหมด 518 แผ่น พื้นที่ติดตั้ง 994 ตารางเมตร และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดต่อปีเท่ากับ 230.90 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี อินเวอเตอร์ติดตั้งทั้งหมด 52 เครื่อง ดังรูปที่ 4.10(ก) และ 4.10(ข)

Project: BKK 155 kW

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.1.5
VC0, Simulation date:
03/03/21 17:45
with v7.1.5

General parameters

Grid-Connected System	**No 3D scene defined, no shadings**	
PV Field Orientation		
Orientation	**Sheds configuration**	**Models used**
Fixed plane	No 3D scene defined	Transposition: Perez
Tilt/Azimuth: 15 / 0 °		Diffuse: Perez, Meteonorm
		Circumsolar: separate
Horizon	**Near Shadings**	**User's needs**
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics

PV module		**Inverter**	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JT300PMe	Model	Growatt 3000MTL
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	300 Wp	Unit Nom. Power	3.00 kWac
Number of PV modules	518 units	Number of inverters	52 units
Nominal (STC)	155 kWp	Total power	156 kWac
Modules	74 Strings x 7 In series	Operating voltage	120-500 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.00
Pmpp	139 kWp		
U mpp	227 V		
I mpp	611 A		
Total PV power		**Total inverter power**	
Nominal (STC)	155 kWp	Total power	156 kWac
Total	518 modules	Nb. of inverters	52 units
Module area	994 m²	Pnom ratio	1.00

Array losses

Thermal Loss factor	**DC wiring losses**	**Module Quality Loss**
Module temperature according to irradiance	Global array res.: 6.2 mΩ	Loss Fraction: -1.3 %
Uc (const): 20.0 W/m²K	Loss Fraction: 1.5 % at STC	
Uv (wind): 0.0 W/m²K/m/s		
Module mismatch losses	**IAM loss factor**	
Loss Fraction: 1.0 % at MPP	ASHRAE Param: IAM = 1 - bo(1/cosi -1)	
	bo Param.: 0.05	

PVsyst TRIAL

03/03/21 PVsyst Evaluation mode Page 3/6

รูปที่ 4.9 ข้อมูลการจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เงื่อนไขกำลังผลิต 151 กิโลวัตต์ จากโปรแกรม Pvsyst (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PVsyst V7.1.5
VC0, Simulation date:
03/03/21 17:45
with v7.1.5

Project: BKK 155 kW

Variant: New simulation variant

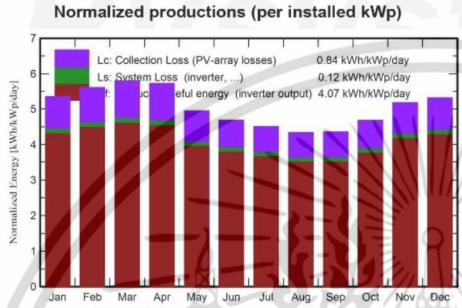
Main results

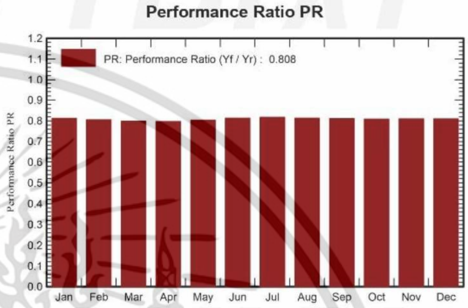
System Production

Produced Energy 230.9 MWh/year

Specific production 1486 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 80.79 %





Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	ratio
January	145.0	64.80	27.53	165.8	161.5	21.54	20.92	0.812
February	143.7	68.90	28.69	156.9	153.1	20.22	19.64	0.806
March	174.4	85.30	29.82	179.9	175.5	22.96	22.30	0.798
April	174.6	82.60	30.46	171.7	167.4	21.92	21.28	0.798
May	163.4	84.80	29.92	153.4	148.4	19.74	19.15	0.803
June	152.0	81.40	29.16	140.7	136.0	18.35	17.79	0.814
July	148.9	90.30	29.35	139.7	135.2	18.31	17.74	0.817
August	138.7	79.60	29.18	134.6	130.7	17.56	17.01	0.813
September	130.0	82.30	28.35	130.9	127.1	17.02	16.49	0.811
October	137.7	78.60	28.77	145.1	141.4	18.80	18.23	0.809
November	139.8	66.70	28.03	155.5	151.8	20.16	19.57	0.810
December	141.9	55.20	27.63	164.8	160.8	21.38	20.76	0.810
Year	1790.1	920.50	28.91	1838.9	1788.9	237.96	230.88	0.808

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation
T_Amb	Ambient Temperature
GlobInc	Global incident in coll. plane
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
EArray	Effective energy at the output of the array
E_Grid	Energy injected into grid
PR	Performance Ratio

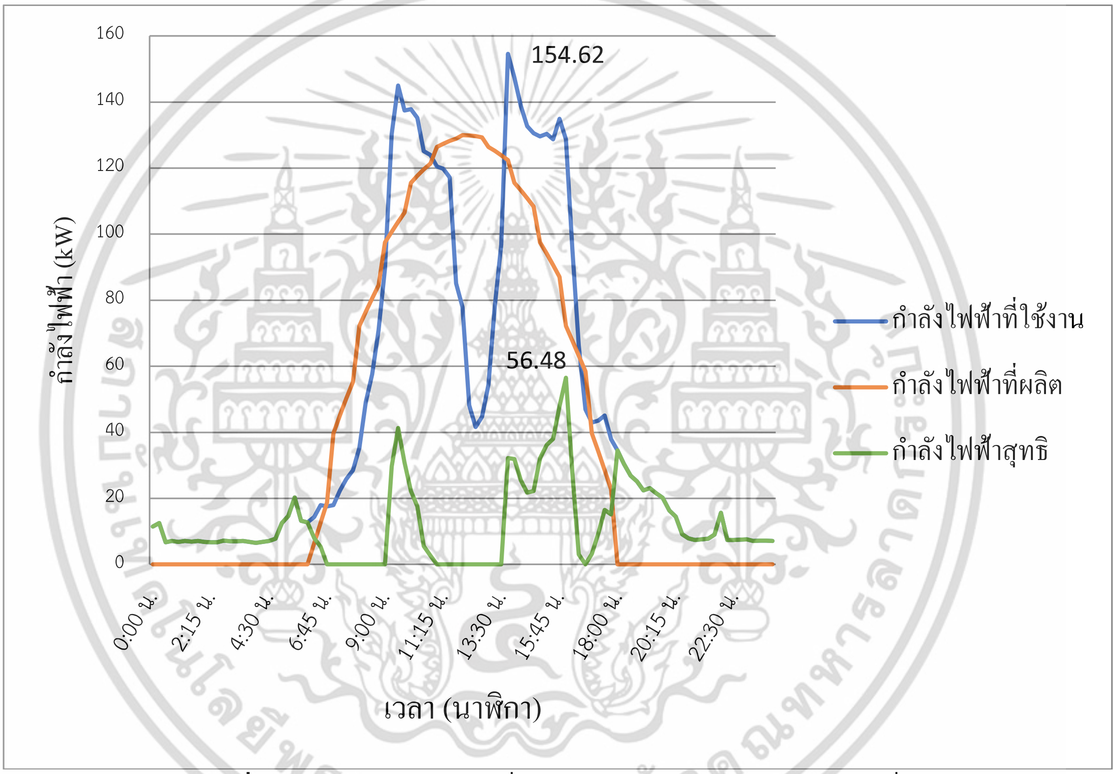
03/03/21 PVsyst Evaluation mode Page 4/6

รูปที่ 4.9 ข้อมูลการจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เงื่อนไขกำลังผลิต 151 กิโลวัตต์ จากโปรแกรม Pvsyst (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

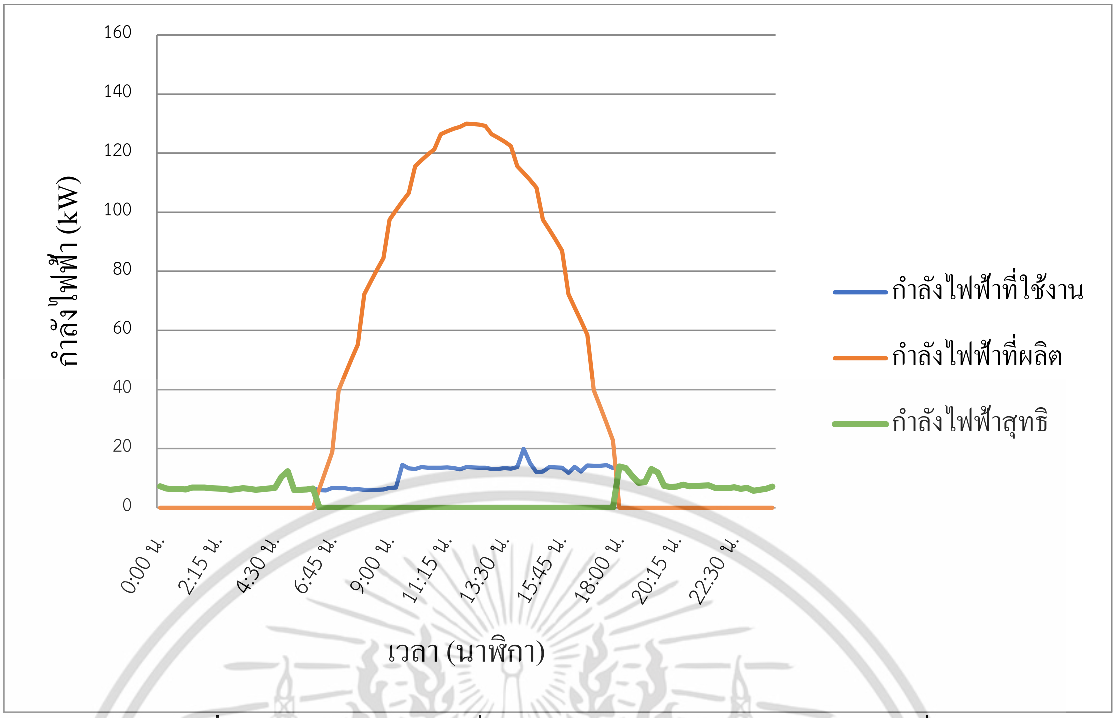
4.5 การเปรียบเทียบแนวการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์

4.5.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PVsyst ของการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่ ขนาด 830 ตารางเมตร กำลังผลิตไฟฟ้า 130 กิโลวัตต์ เปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าใช้งานในช่วงวันทำการ (รูปที่ 4.11) และวันหยุดราชการ (รูปที่ 4.12) จากการพิจารณาค่าไฟฟ้าแบบ TOU พบว่า ค่าปรับ Peak demand หลังการติดตั้งจะลดลงเป็น 7,508.15 บาท เกิดผลประหยัดค่าไฟฟ้าประมาณ 133,540.30 บาทต่อเดือน โดยใช้เงินลงทุนเป็น 5,200,000 บาท และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3.24 ปี เมื่อพิจารณาตลอดอายุการใช้งาน 25 ปี จะเกิดผลประหยัดสะสมประมาณ 40,062,089 บาท และมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 12,622,798 บาท



รูปที่ 4.10 กำลังผลิตไฟฟ้าที่ 130 กิโลวัตต์ ในวันทำการโดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กำลังผลิตไฟฟ้าที่ 130 กิโลวัตต์ ในวันหยุดราชการโดยเฉลี่ย

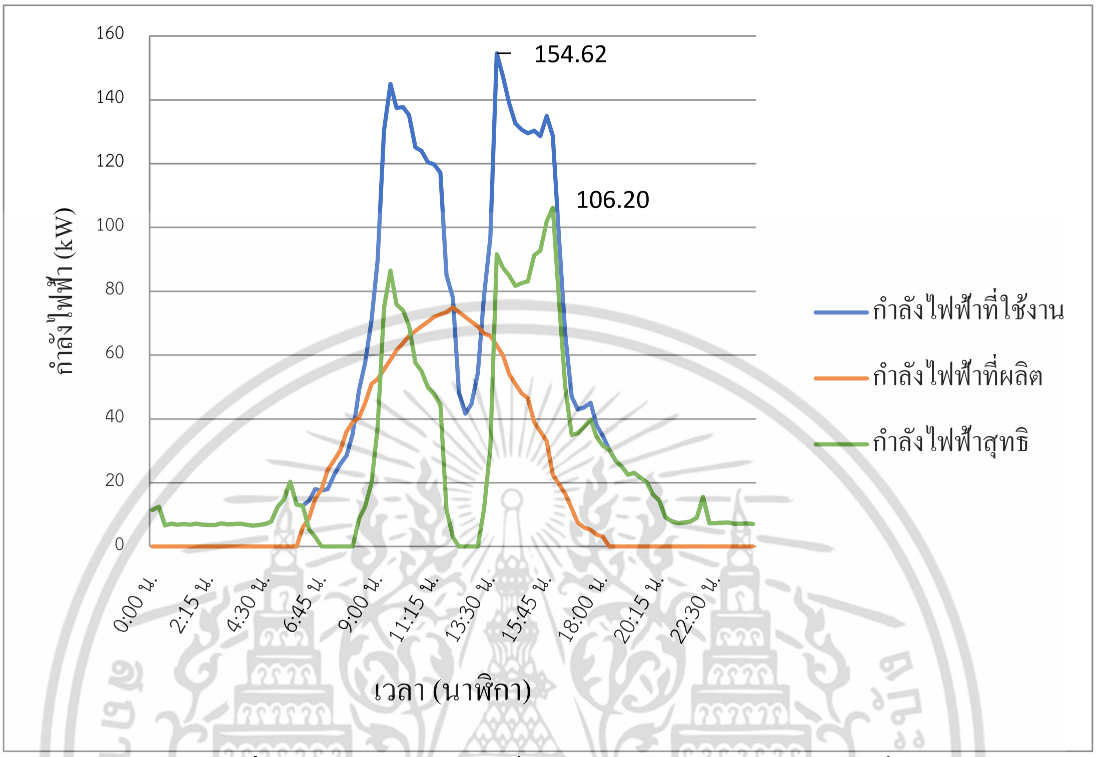
ตารางที่ 4.5 สรุปข้อมูลการวิเคราะห์ที่เงื่อนไขพื้นที่ 830 ตารางเมตร กำลังผลิตไฟฟ้า 130 กิโลวัตต์

ข้อมูล	ปริมาณ	หน่วย
ค่าปรับ Peak Demand ก่อนติดตั้ง	20,553.00	บาท
ค่าปรับ Peak Demand หลังติดตั้ง	7,508.15	บาท
ค่าไฟฟ้าต่อเดือนก่อนติดตั้ง	189,762.77	บาท
ค่าไฟฟ้าต่อเดือนหลังติดตั้ง	56,222.47	บาท
ผลประหยัดต่อเดือนหลังติดตั้ง	133,540.30	บาท
ค่าลงทุน	5,200,000.00	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	3.24	ปี
ผลประหยัดสะสม 25 ปี	40,062,089	บาท
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	12,662,798	บาท

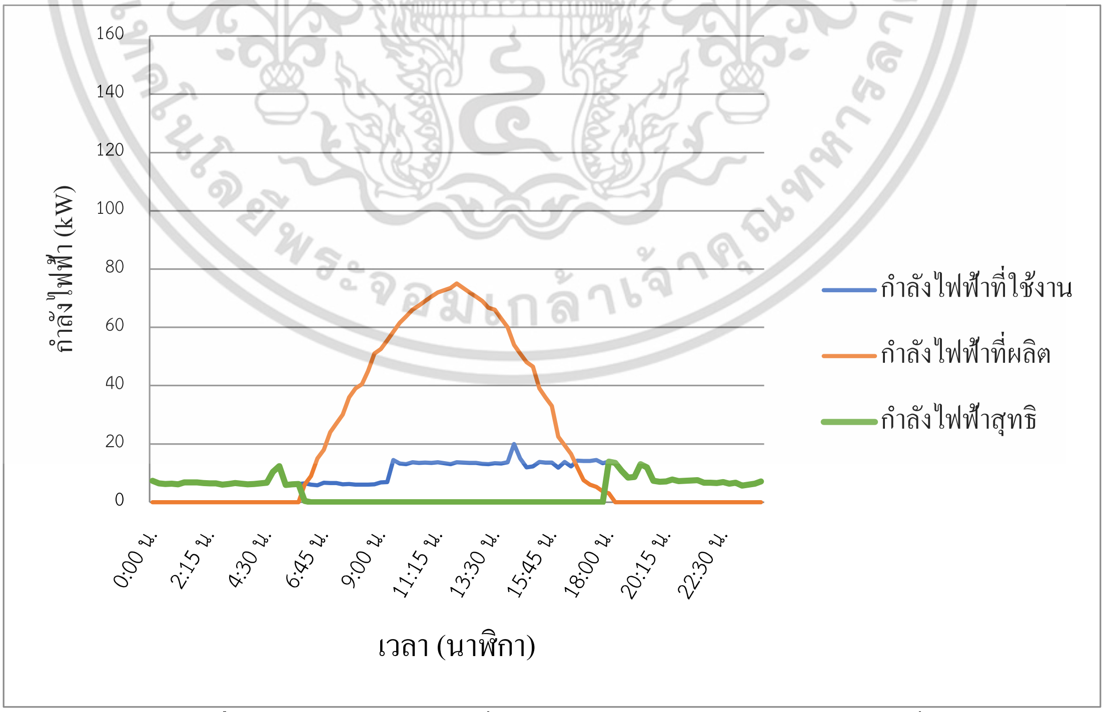
4.5.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PVsyst ของการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังผลิตไฟฟ้า 75 กิโลวัตต์ เปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าใช้งานในช่วงวันทำการ (รูปที่ 4.13) และวันหยุดราชการ (รูปที่ 4.14) จากการพิจารณาค่าไฟฟ้าแบบ TOU พบว่า ค่าปรับ Peak demand หลังการติดตั้งจะลดลงเป็น 14,117.72 บาท เกิดผลประหยัดค่าไฟฟ้าประมาณ 57,260.65 บาทต่อเดือน โดยใช้เงินลงทุนเป็น 3,000,000 บาท และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 4.37 ปี เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาตลอดอายุการใช้งาน 25 ปี จะเกิดผลประหยัดสะสมประมาณ 17,178,194 บาท และมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 4,659,376 บาท



รูปที่ 4.12 กำลังผลิตไฟฟ้าที่ 75 กิโลวัตต์ ในวันทำการโดยเฉลี่ย



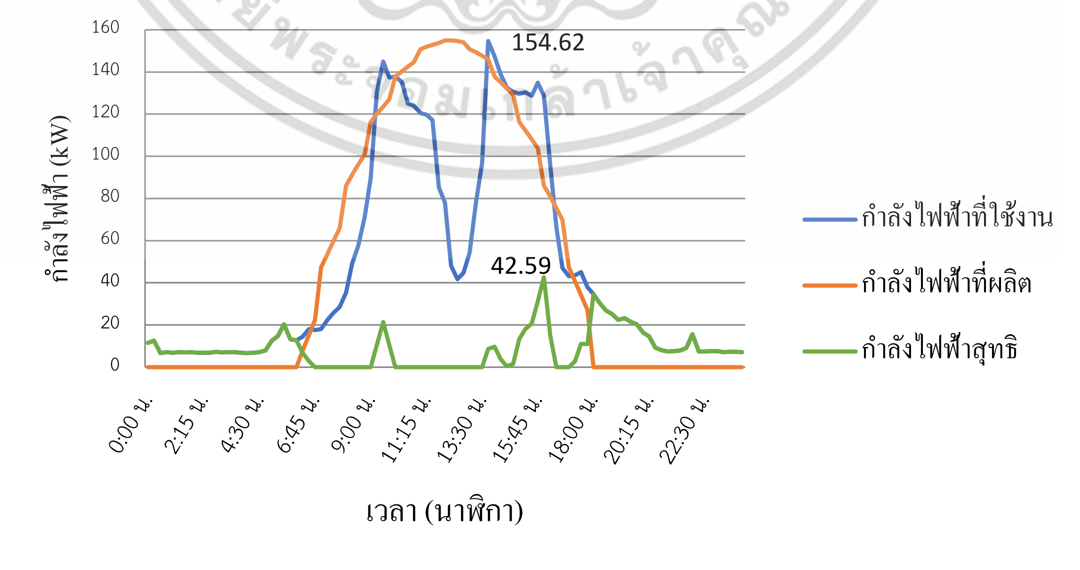
รูปที่ 4.13 กำลังผลิตไฟฟ้าที่ 75 กิโลวัตต์ ในวันหยุดราชการโดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 สรุปข้อมูลการวิเคราะห์ที่เงื่อนไขพิกัดกำลังผลิต 75 กิโลวัตต์

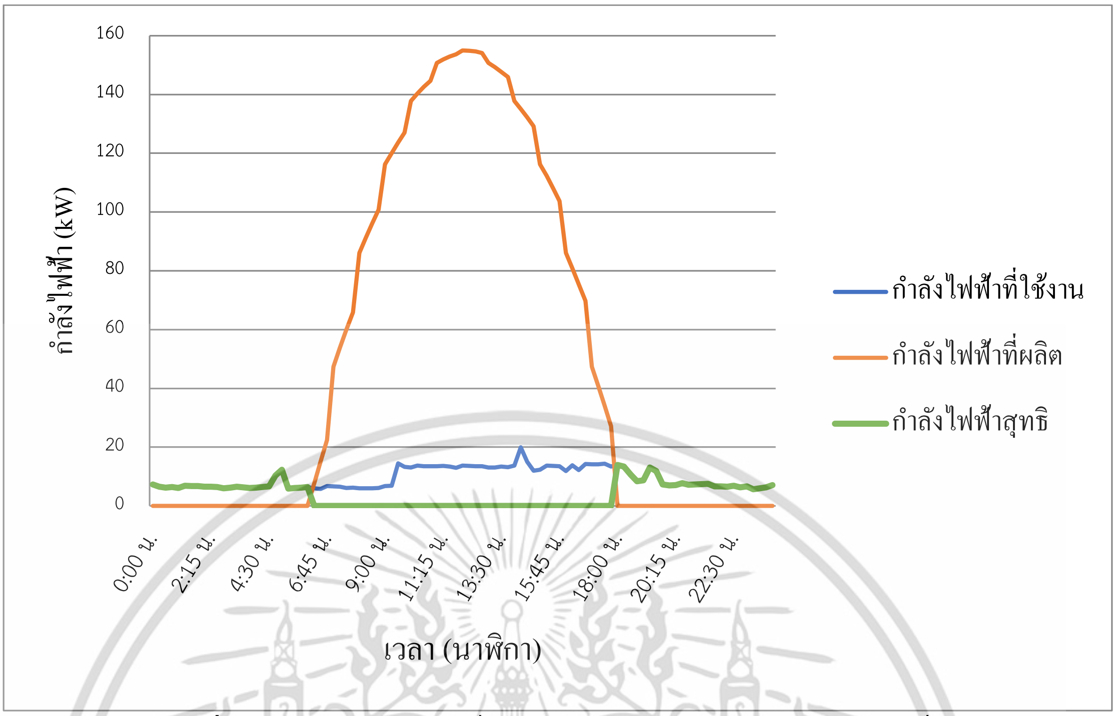
ข้อมูล	ปริมาณ	หน่วย
ค่าปรับ Peak Demand ก่อนติดตั้ง	20,553.00	บาท
ค่าปรับ Peak Demand หลังติดตั้ง	14,117.72	บาท
ค่าไฟฟ้าต่อเดือนก่อนติดตั้ง	189,762.77	บาท
ค่าไฟฟ้าต่อเดือนหลังติดตั้ง	132,502.12	บาท
ผลประหยัดต่อเดือนหลังติดตั้ง	57,260.65	บาท
ค่าลงทุน	3,000,000.00	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	4.37	ปี
ผลประหยัดสะสม 25 ปี	17,178,193	บาท
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	4,659,376	บาท

4.5.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PVsyst ของการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังผลิตไฟฟ้า 155 กิโลวัตต์ เปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าใช้งานในช่วงวันทำการ (รูปที่ 4.15) และวันหยุดราชการ (รูปที่ 4.16) จากการพิจารณาค่าไฟฟ้าแบบ TOU พบว่า ค่าปรับ Peak demand หลังการติดตั้งจะลดลงเป็น 5,661.90 บาท เกิดผลประหยัดค่าไฟฟ้าประมาณ 146,965.65 บาทต่อเดือน โดยใช้เงินลงทุนเป็น 6,200,000 บาท และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3.52 ปี เมื่อพิจารณาตลอดอายุการใช้งาน 25 ปี จะเกิดผลประหยัดสะสมประมาณ 44,089,695 บาท และมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 13,458,618 บาท



รูปที่ 4.14 กำลังผลิตไฟฟ้าที่ 155 กิโลวัตต์ ในวันทำการโดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กำลังผลิตไฟฟ้าที่ 155 กิโลวัตต์ ในวันหยุดราชการโดยเฉลี่ย

ตารางที่ 4.7 สรุปข้อมูลการวิเคราะห์ที่เงื่อนไขพิกัดกำลังผลิต 155 กิโลวัตต์

ข้อมูล	ปริมาณ	หน่วย
ค่าปรับ Peak Demand ก่อนติดตั้ง	20,553.00	บาท
ค่าปรับ Peak Demand หลังติดตั้ง	5,661.90	บาท
ค่าไฟฟ้าต่อเดือนก่อนติดตั้ง	189,762.77	บาท
ค่าไฟฟ้าต่อเดือนหลังติดตั้ง	42,797.11	บาท
ผลประหยัดต่อเดือนหลังติดตั้ง	146,965.65	บาท
ค่าลงทุน	6,200,000.00	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	3.52	ปี
ผลประหยัดสะสม 25 ปี	44,089,695	บาท
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	13,458,618	บาท

จากการเปรียบเทียบแนวทางการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าของหน่วยงานราชการสามารถช่วยโดยลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum demand) จากระบบโครงข่ายได้ และจะช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าต่อเดือน เนื่องจากเป็นการลดค่าปรับ Peak demand และลดการใช้ปริมาณไฟฟ้าจากโครงข่ายของการไฟฟ้านครหลวง การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากขึ้น ในการศึกษาเรื่องนี้แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงอาทิตย์ควรมีกำลังผลิตไฟฟ้าไม่น้อยกว่ากำลังไฟฟ้าใช้สูงสุด การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์กำลังผลิตไฟฟ้า 130 กิโลวัตต์ มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด เป็น 3.24 ปี เมื่อพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิพบว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์กำลังผลิตไฟฟ้า 155 กิโลวัตต์ มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ มากที่สุดเป็น 13,458,618 บาท ส่วนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์กำลังผลิตไฟฟ้า 130 กิโลวัตต์ มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็น 12,622,798 บาท และการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์กำลังผลิตไฟฟ้า 75 กิโลวัตต์ มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิน้อยที่สุดเป็น 4,659,376 บาท จึงควรเลือกติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์กำลังผลิตไฟฟ้า 155 กิโลวัตต์ เพราะมีความคุ้มค่ามากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเป็น 3.52 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ยอมรับได้สำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงาน อย่างไรก็ตามการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้า หรือบนหลังคาของอาคารมักจะมีข้อจำกัดเกี่ยวกับพื้นที่ ทำให้ไม่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากตามที่ต้องการ จึงแนะนำให้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เต็มพื้นที่เท่าที่ทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการและแนวคิดในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคารของภาครัฐซึ่งมีการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU เพื่อเป็นแนวทางการศึกษา สนับสนุนการลดภาระค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้า และเป็นแบบอย่างให้กับอาคารของหน่วยงานอื่น ๆ ในส่วนภาครัฐ และที่จะติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคาร ซึ่งแนวทางในการวิจัยนี้ได้กำหนดออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่ ขนาด 830 ตารางเมตร กำลังผลิตไฟฟ้า 130 กิโลวัตต์ 2) ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังผลิตไฟฟ้า 75 กิโลวัตต์ และ 3) ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยให้เพียงพอกับการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคาร กำลังผลิตไฟฟ้า 155 กิโลวัตต์ และนำผลที่ได้จากทั้ง 3 รูปแบบ มาวิเคราะห์และศึกษาแนวทางตามความเหมาะสม โดยสรุปได้ดังนี้

1) อาคารของภาครัฐที่ทำการศึกษามีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์สำนักงานมากที่สุด (54.37%) ระบบปรับอากาศ (38.47%) และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (7.15%) ตามลำดับ

2) การใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในอาคารภาครัฐเกิดขึ้นในช่วงเวลาทำงาน และพบว่ามักจะมีค่ากำลังการใช้สูงสุดเกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 13.00-16.30 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมค่อนข้างสูง และเป็นภาระโหลดปริมาณมากสำหรับระบบปรับอากาศ ทำให้ระบบปรับอากาศใช้ไฟฟ้าปริมาณมาก

3) ค่ากำลังไฟฟ้าใช้สูงสุดของอาคารเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการพิจารณาแนวทางการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อการคำนวณค่าไฟฟ้าแบบ TOU การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จึงควรมีกำลังผลิตไฟฟ้าไม่น้อยกว่ากำลังไฟฟ้าใช้สูงสุด

4) การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังผลิตไฟฟ้า 155 กิโลวัตต์ ค่าปรับ Peak demand หลังการติดตั้งจะลดลงเป็น 5,661.90 บาท เกิดผลประหยัดค่าไฟฟ้าประมาณ 146,965.65 บาทต่อเดือน โดยใช้เงินลงทุนเท่ากับ 6,200,000 บาท และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3.52 ปี เมื่อพิจารณาตลอดอายุการใช้งาน 25 ปี จะเกิดผลประหยัดสะสมประมาณ 44,089,695 บาท และมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 13,458,618 บาท

5) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้า หรือบนหลังคามีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ ทำให้ไม่สามารถติดตั้งได้มากตามที่ต้องการหรือออกแบบ อย่างไรก็ตามควรติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เต็มพื้นที่บนดาดฟ้า หรือหลังคาเท่าที่จะทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

อุปกรณ์ติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CNBM

JETION SOLAR
Visionary Green Energy

中建材浚鑫科技有限公司
www.jetion.com.cn

JT PAg

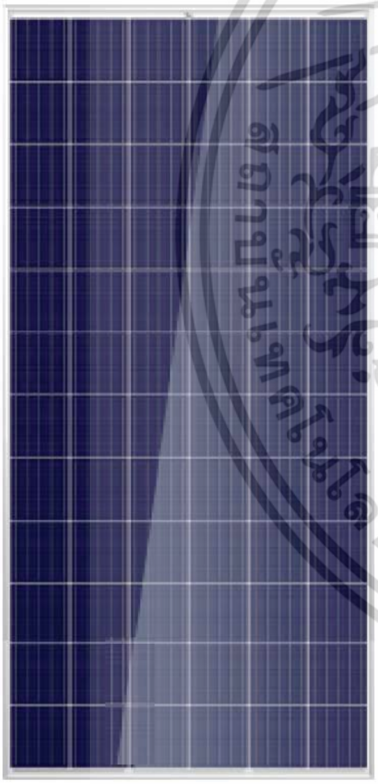
Multi-crystalline156×156 Module

72 cells
MulticryStalline Module

18.0%
Max Efficiency

300-350W
Output Power

0~+5w
Power Tolerance



Key Features

High conversion efficiency
High module conversion efficiency, through innovative manufacturing technology.

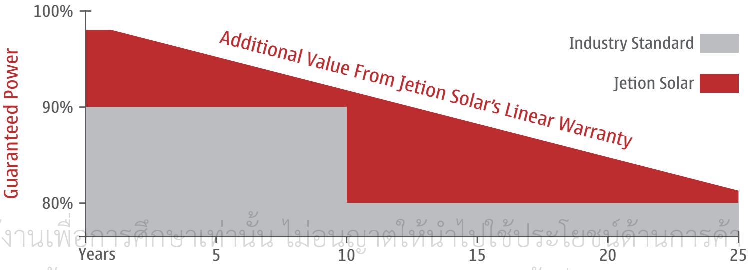
Low-light Performance
Excellent module efficiency even in the weak light conditions, such as morning or cloudy.

Severe Weather Resilience
Certified to withstand : wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).

Durability against extreme environmental conditions
High salt mist and PID certified by TUV SUD(Optional).

Linear Performance Warranty

10 Year Product Warranty / 25 Year Linear Power Warranty



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

All specified Parameters are at STC 25℃ Ambient , 1000W/m² irradiance and AM 1.5

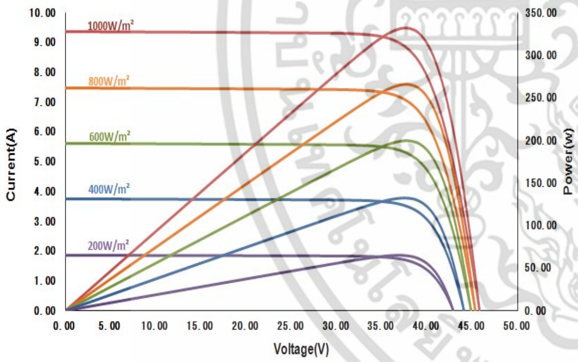
STC		Electrical Characteristics									
Tape		JT305PAg	JT310PAg	JT315PAg	JT320PAg	JT325PAg	JT330PAg	JT335PAg	JT340PAg	JT345PAg	JT350PAg
Module Power Range	(W)	305≤Pm<310	310≤Pm<315	315≤Pm<320	320≤Pm<325	325≤Pm<330	330≤Pm<335	335≤Pm<340	340≤Pm<345	345≤Pm<350	350≤Pm
Max-Power	Pm(W)	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350
Max-Power Voltage	Vm(V)	36.5	36.6	36.7	36.9	37.1	37.3	37.5	37.7	37.9	38.2
Max-Power Current	Im(A)	8.40	8.51	8.63	8.72	8.81	8.89	8.97	9.06	9.13	9.19
Open-Circuit Voltage	Voc(V)	45.0	45.1	45.2	45.4	45.6	45.7	45.9	46.1	46.3	46.6
Short-Circuit Current	Isc(A)	8.96	9.05	9.14	9.23	9.27	9.35	9.42	9.50	9.57	9.63
Module Efficiency	(%)	15.7	16.0	16.2	16.5	16.7	17.0	17.3	17.5	17.8	18.0
Pm Temperature Coefficients	(%/℃)	-0.41									
Voc Temperature Coefficients	(%/℃)	-0.31									
Isc Temperature Coefficients	(%/℃)	0.05									

Class AAA solar simulator (IEC 60904-4), power or current measurement uncertainty is within ±3%,voltage is within ±2%。

Varied Irradiation Efficiencies

Irradiance(W/m2)	200	400	600	800	1000
Efficiency (%)	16.7	17.1	17.3	17.4	17.3

I-V Curves at different Irradiances

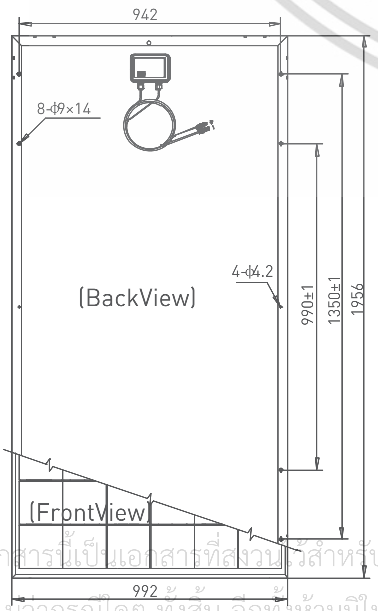


NOCT		JT325PAg	JT330PAg
Max-Power	Pm(W)	240.8	244.4
Max-Power Voltage	Vm(V)	34.4	34.5
Max-Power Current	Im(A)	7.01	7.08
Open-Circuit Voltage	Voc(V)	42.2	42.3
Short-Circuit Current	Isc(A)	7.48	7.54
NOCT Nominal Operating Cell Temperature		45±2℃	

NOCT: Irradiance 800W/m², ambient temperature20℃, AM=1.5, wind speed 1m/s.

Absolute Ratings

Dielectric Insulation Voltage		6000/8000V
Operating Temperature	(℃)	-40~+85
Max-System Voltage	(V DC)	1000/1500
Max.Series Fuse	(A)	15
Maximum load rating		5400Pa(112.78lbf/ft²)



Mechanical Parameters

Cable type,Diameter and Length		4mm²,TUV certified,1000mm
Type of Connector		Compatible with MC4 plug
Number,type and arrangement of cells		72pcs,Multi-Crystalline Silicon(6×12)
Cell Size	(mm)	156.75x156.75
Dimension	(mm)	1956x992x40
Weight	(Kg)	25.5
No.of Draining Holes in Frame		16
Glass,Type and Thickness		Low Iron,High Transmission,Tempered Glass 4.0mm

Packaging Configuration

Packing Configuration	27pcs/box
Quantity/Pallet	54 pcs/pallet
Loading Capacity	648 pcs/40ft(H)

Specifications included in this datasheet are subject to change without prior notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Growatt 750~3000-S

- Maximum efficiency of 97.6%
- Optional DC switch
- Max.DC voltage up to 550V
- Flexible Interfaces

P O W E R
- I N G O
T O M O -
R R O W O

Growatt powering tomorrow

www.ginverter.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Datasheet	750-S	1000-S	1500-S	2000-S	2500-S	3000-S
Input Data						
Max. recommended PV power (for module STC)	970W	1300W	1950W	2600W	3250W	3900W
Max. DC voltage	450V	450V	450V	450V	550V	550V
Start voltage	50V	80V	80V	80V	80V	80V
MPP work voltage range	50V-450V	70V-450V	70V-450V	70V-450V	70V-500V	70V-550V
Nominal voltage	120V	180V	250V	360V	360V	360V
Max. input current	10A	10A	10A	11A	12A	13A
Max. input current per string	10A	10A	10A	11A	12A	13A
Number of independent MPP trackers/strings per MPP tracker	1/1	1/1	1/1	1/1	1/ 1	1/ 1
Output (AC)						
Rated AC output power	750W	1000W	1600W	2000W	2500W	3000W
Max. AC power	750W	1000W	1650W	2000W	2500W	3000W
Max. output current	3.3A	4.7A	7.8A	9.5A	11.9A	14.3A
AC nominal voltage	220V/230V/240V	220V/230V/240V	220V/230V/240V	220V/230V/240V	220V/230V/240V	220V/230V/240V
AC grid frequency; range	50Hz,60Hz / ±5Hz	50Hz,60Hz / ±5Hz	50Hz,60Hz / ±5Hz	50Hz,60Hz / ±5Hz	50Hz,60Hz / ±5Hz	50Hz,60Hz / ±5Hz
Adjustable power factor	0.8leading...0.8lagging	0.8leading...0.8lagging	0.8leading...0.8lagging	0.8leading...0.8lagging	0.8leading...0.8lagging	0.8leading...0.8lagging
THDI	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
AC connection	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase
Efficiency						
Max. efficiency	97.2%	97.4%	97.4%	97.4%	97.6%	97.6%
Euro weighted efficiency	96%	96.5%	97%	97%	97.3%	97.3%
MPPT efficiency	99.5%	99.5%	99.5%	99.5%	99.5%	99.5%
Protection Devices						
DC reverse polarity protection	yes	yes	yes	yes	yes	yes
DC switch	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Output over current protection	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Output AC overvoltage Protection - Varistor	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Ground fault monitoring	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Grid monitoring	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Integrated all-pole sensitive leakage current monitoring unit	yes	yes	yes	yes	yes	yes
General Data						
Dimensions (W / H / D) in mm	271/299/141	271/299/141	271/299/141	271/299/141	271/359/141	271/359/141
Weight	6.4KG	6.4KG	6.4KG	6.4KG	9.1KG	9.1KG
Operating temperature range	- 25°C ... +60°C	- 25°C ... +60°C	- 25°C ... +60°C	- 25°C ... +60°C	- 25°C ... +60°C	- 25°C ... +60°C
Noise emission (typical)	≤25 dB(A)	≤25 dB(A)	≤25 dB(A)	≤25 dB(A)	≤25 dB(A)	≤25 dB(A)
Self-Consumption night	<0.5 W	<0.5 W	<0.5 W	<0.5 W	<0.5 W	<0.5 W
Topology	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless
Cooling concept	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural
Environmental Protection Rating	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Altitude	2000m without derating	2000m without derating	2000m without derating	2000m without derating	2000m without derating	2000m without derating
Relative humidity	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Features						
DC connection	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)
AC connection	Connector	Connector	Connector	Connector	Connector	Connector
Display	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD
Interfaces: RS232/RF/Wi-Fi/ LAN/GPRS	yes/opt/opt/opt/opt	yes/opt/opt/opt/opt	yes/opt/opt/opt/opt	yes/opt/opt/opt/opt	yes/opt/opt/opt/opt	yes/opt/opt/opt/opt
Warranty:5 years/10 years	yes/opt	yes/opt	yes/opt	yes/opt	yes/opt	yes/opt

CE, VDE 0126-1-1, IEC 62109, G83, AS4777, AS/NZS 3100, CEI0-21, VDE-AR-N4105, EN50438, CQC, UTE C 15-712, IEC 61683, IEC 60068, IEC 61727, IEC 62116, INMETRO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GROWATT NEW ENERGY TECHNOLOGY Co.,LTD A: No.28 Guangmming Road, Longteng Community, Shiyan, Baoan District, Shenzhen, P.R.China.
T: + 86 755 2747 1900 F: + 86 755 2749 1460 E: info@ginverter.com

Growatt powering tomorrow

SHENZHEN GROWATT NEW ENERGY TECHNOLOGY CO.,LTD
Add:#28,GuangMing Road,Shiyan,Baoan District,Shenzhen, China
TEL: 0086 755 2951 5888 FAX: 0086 755 2747 2131
Email:info@ginverter.com
Web:www.ginverter.com

Declaration Of Compliance

We, The Manufacturer
SHENZHEN GROWATT NEW ENERGY TECHNOLOGY CO.,LTD

Declare The Products:

Growatt 1500-S, Growatt 2000-S, Growatt 3000-S
Growatt 3600MTL-S, Growatt 4200MTL-S, Growatt 5500MTL-S
Growatt 18000UE, Growatt 20000UE,
Growatt 7000TL3-S, Growatt 8000TL3-S, Growatt 9000TL3-S,
Growatt 10000TL3-S, Growatt 11000TL3-S,
Growatt 12000TL3-S, Growatt 15000TL3-S,
Growatt 17000TL3-S, Growatt 20000TL3-S, Growatt 25000TL3-S,
Growatt 30000TL3-S, Growatt 33000TL3-S, Growatt 40000TL3-NS
MAX 50KTL3 LV, MAX 60KTL3 LV, MAX 70KTL3 LV, MAX 75KTL3 LV, MAX 80KTL3 LV
MAX 60KTL3 MV, MAX 70KTL3 MV, MAX 80KTL3 MV

The Growatt inverters listed above comply with the relevant requirements of the Brazilian standard:
ABNT NBR 16149:2013 Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Primeira edição (01.03.2013)
[Photovoltaic (PV) systems – Characteristics of the utility interface – first edition, March 01-2013]
As results after internal testing made in accordance to the applicable conformance test protocol:
ABNT NBR 16150:2013 Sistemas fotovoltaicos (FV) — Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição — Procedimento de ensaio de conformida - Primeira edição (04.03.2013)
[Photovoltaic (PV) systems – Characteristics of the utility interface – Conformity test procedure. First edition, March 04-2013]
ABNT NBR 62116-2012 Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaico conectados à rede.

Please refer to the conditions and restriction of use specified in the table, as well as in the following notes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHENZHEN GROWATT NEW ENERGY TECHNOLOGY CO.,LTD
Add:#28,GuangMing Road,Shiyan,Baoan District,Shenzhen, China
TEL: 0086 755 2951 5888 FAX: 0086 755 2747 2131
Email:info@ginverter.com
Web:www.ginverter.com

Inverter Model	Power	Nominal voltage/frequency No. of phase	Cos(phi)=f(p)	Reactive Power Capability	FRT capability
Growatt 1500-S	1.5kw	220V/230V/240V/60Hz,1-phase	No	No	Yes
Growatt 2000-S	2kw	220V/230V/240V/60Hz,1-phase	No	No	Yes
Growatt 3000-S	3kw	220V/230V/240V/60Hz,1-phase	No	No	Yes
Growatt 3600MTL-S	3.6kw	220V/230V/240V/60Hz,1-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 4200MTL-S	4.2kw	220V/230V/240V/60Hz,1-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 5500MTL-S	5kw	220V/230V/240V/60Hz,1-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 18000UE	18kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 20000UE	20kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 7000TL3-S	7kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 8000TL3-S	8kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 9000TL3-S	9kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 10000TL3-S	10kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 11000TL3-S	11kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 12000TL3-S	12kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 15000TL3-S	15kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 17000TL3-S	17kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 20000TL3-S	20kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 25000TL3-S	25kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 30000TL3-S	30kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 33000TL3-S	33kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
Growatt 40000TL3-NS	40kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
MAX 50KTL3 LV	50kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
MAX 60KTL3 LV	60kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
MAX 70KTL3 LV	70kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
MAX 75KTL3 LV	75kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
MAX 80KTL3 LV	80kw	380V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
MAX 60KTL3 MV	60kw	480V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
MAX 70KTL3 MV	70kw	480V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes
MAX 80KTL3 MV	80kw	480V/60Hz,3-phase	Yes	Yes	Yes

Manufacturer
Shenzhen Growatt New Energy Technology CO., LTD

R&D Director
Woodey

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Registro 005810/2016 Data Concessão 06/10/2016 Validade 06/10/2020

Razão Social	Número de certificado
INOVACARE TECNOLOGIA EM ENERGIAS RENOVAVEIS LTDA - EPP - 24.114.056/0001-35	Não aplicável

Endereço	Telefone
AV. JOAO XXIII, 1160 BL.B, S 1 Cep:08830000 | CEZAR DE SOUZA - MOGI DAS CRUZES - SP	(11) 2610.4004

E-mail
atendimento@inovacare.solar

Objeto/Produto

Programa de Avaliação da Conformidade: Sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica (módulo, controlador de carga, inversor e bateria)

Portaria: 4 de 04/01/2011

Nome de Família: IINVERSOR MONOFÁSICO ON-GRID GROWATT

Data	Alteração	Marca	Modelo	Descrição	Código de barras
06/10/2016	Incluido	Growatt	3000 S	Inversor Solar Fotovoltaico Monofásico conectado à rede	

ภาคผนวก ข
งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมบนดาดฟ้าของอาคารภาครัฐ

Optimal design of solar rooftop for Thai government building

เอกพัชร ชีวิตโสภณ[1] เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง[2] และ ทวีพล ซื่อสัตย์[3]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์ 02-329-8000 E-mail: ekkapach@gmail.com
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์ 02-329-8000 E-mail: k.roonprasang@gmail.com
[3]ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์ 02-329-8000 E-mail: taweepol.suesut@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับกริดบนดาดฟ้าอาคารต้นแบบของภาครัฐในประเทศไทยเพื่อชดเชยการใช้ไฟฟ้าซึ่งสอดคล้องกับการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU ประกอบไปด้วยวิธีการออกแบบ การคิดคำนวณผลประหยัดและแสดงผลประหยัดจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระยะเวลา 1 ปี โดยไม่คิดค่าเสื่อมสภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่คิดค่าสูญเสียของระบบ และเปรียบเทียบแนวคิดการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าตามลักษณะการใช้ไฟฟ้าของอาคารที่จะติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งเป็นการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่ติดตั้งของดาดฟ้าและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ตามพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของอาคารที่จะติดตั้งในช่วงเวลากลางวันและวันทำการโดยให้เหลือพลังงานไฟฟ้าเหลือใช้น้อยที่สุดและเพียงพอต่อการใช้งาน และคำนวณเปรียบเทียบก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งทั้งสองวิธีการเพื่อเป็นข้อมูลในการติดตั้งจริงบนดาดฟ้าอาคารต้นแบบของภาครัฐ ผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์โดยที่วิธีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่ดาดฟ้าประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากถึง 550,000 บาทบาทต่อปี

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์, TOU, อาคารภาครัฐ, ประหยัดพลังงาน

Abstract

This research depicts the solar cells installation guide which is connected to the deck of prototype government building in Thailand to compensate the building's electricity consumption cost which is calculated by TOU. Including the saving result calculation designing after a year of solar cells installation, solar cells decay and electrical loss excluded. The research also compare between 2 installation methods, install over the deck up to usage which could be full of the deck or just install them up to the usage behavior, aiming to as store least as the researchers can manage. This research also compare between before and after installation of solar cells to use the comparing result as a decision factor. The result of this research say that installing solar cells all over the deck of the building can cut down the electrical cost for around and save us 550,000 THB per year.

Keywords: solar cell, TOU, government building, saving energy

1. บทนำ

ในปัจจุบันการคิดค่าไฟฟ้าแบบ Time-of-use (TOU) ถูกใช้เป็นแนวทางในการลดปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (On Peak) ผลที่ได้รับคือการช่วยลดต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลา On peak และช่วง Off Peak และวันหยุดราชการ[2] มีอิทธิพลอย่างมากต่อการทำให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพ[1] และส่งผลให้เกิดการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งหน่วยงานของภาครัฐในประเทศไทยถูกกำหนดให้ใช้แนวทางการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU ดังนั้นแนวทางการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแบบเชื่อมต่อกับระบบกริดจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของอาคารในช่วงเวลาดังกล่าว สอดคล้องกับช่วงเวลาทำการของหน่วยงานในภาครัฐ ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก จึงมีแนวคิดวิธีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าของอาคารเพื่อเป็นอาคารต้นแบบให้กับหน่วยงานของรัฐในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง Wang et al.[3] นำเสนอวิธีแก้ปัญหาจากการที่มีพื้นที่จำกัดในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ให้ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นำมาลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของอาคาร Chaianong et al.[4] นำเสนอการวิเคราะห์หลักเศรษศาสตร์ของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาในประเทศไทย โดยเปรียบเทียบค่าพลังงานที่วัดได้จากมิเตอร์และค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่าย และใช้ผลในการวิเคราะห์เพื่อช่วยในการพัฒนาและสนับสนุนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าในประเทศไทย Johnson et al.[5] ทำการวิเคราะห์ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคารของรัฐบาลในประเทศไนจีเรีย กำลังผลิตขนาด 148.5 กิโลวัตต์ เพื่อบันทึกและประเมินประสิทธิภาพการผลิตของระบบและปริมาณการผลิตไฟฟ้าตลอดปี จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีมากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าในอาคาร จึงนำไฟฟ้าที่เหลือจากการผลิตส่งขายต่อให้กับระบบสาธารณูปโภค

2. วิธีการวิจัย

2.1 การสำรวจข้อมูลอาคาร

สำรวจข้อมูลพื้นที่อาคาร ทำการวัดขนาดพื้นที่ที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคาร และสำรวจบริเวณพื้นที่การบดบังของเงา สำรวจข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร โดยแบ่งเป็น 3 ประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ หลอดไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์สำนักงาน เพื่อหาการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของอาคาร สำรวจข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร โดยใช้พาวเวอร์มิเตอร์ รุ่น 1730, Fluke, USA ตรวจวัดและบันทึกผลก่อนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระยะเวลา 30 วัน เพื่อหาลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของอาคาร โดยออกเป็นช่วงวันทำการ และวันหยุดราชการ โดยงานวิจัยนี้กำหนดแนวคิดแบ่งเป็น 2 วิธี วิธีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่ดาดฟ้าของอาคารและวิธีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์โดยคำนึงถึงลักษณะการใช้ไฟฟ้าอาคารให้ไม่เหลือพลังงานไฟฟ้าเหลือใช้ โดยพื้นที่ติดตั้งบนดาดฟ้ามีพื้นที่ทั้งหมด 830 ตารางเมตร

2.2 การออกแบบการติดตั้ง

การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปเริ่มต้นจากการสำรวจพื้นที่ติดตั้ง ประเมินพลังงานแสงอาทิตย์และความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่นั้น จากนั้นวิเคราะห์ภาระทางไฟฟ้าเพื่อกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้าของระบบและขอบเขตสำหรับการเลือกอุปกรณ์ประกอบระบบต่างๆ การออกแบบระบบประกอบด้วย การประมาณขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ตามขนาดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน พื้นที่ติดตั้งของระบบ ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน หลังจากนั้นทำการตรวจวัดความเข้มแสงโดยเฉลี่ย และนำข้อมูลที่ได้คำนวณหาพิกัดขนาดการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่ดาดฟ้า และการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์โดยคำนึงถึงการใช้ไฟฟ้าของคาร พลังงานไฟฟ้าเหลือใช้ การออกแบบระบบการติดตั้งประกอบไปด้วย อุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น JT300Pag ดังตารางที่ 1 ติดตั้งตามการคำนวณที่ได้และติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้า (Inverter) เชื่อมต่อกับโหลดภายในอาคาร โดยทำมุมกับพื้นราบ 15 องศา บริเวณพื้นที่ติดตั้งไม่มีเงาบดบัง ในการคำนวณไม่คิดค่าสูญเสียของระบบ และอุณหภูมิ

ตารางที่ 1 ข้อมูลอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น JT300Pag

องค์ประกอบ	ขนาด
กำลังไฟฟ้า (P_{max})	300 วัตต์
แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{mm})	36.4 โวลต์
กระแสไฟฟ้าสูงสุด ($_{mm}$)	8.82 แอมป์
ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ไม่ได้จ่ายโหลด ($_{oc}$)	44.9 โวลต์
ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากการทดสอบลัดวงจร (I_{sc})	8.89 แอมป์
ประสิทธิภาพ	15.4 %
ขนาดแผง (กว้าง×ยาว×หนา)	1956×922×40 มม.

Standard Test Conditions (STC) : air mass AM 1.5, irradiance 1000W/m2, cell temperature 25°C

2.3 การคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU

การคิดคำนวณค่าไฟฟ้าต่อหน่วยแบบ TOU นั้น ถูกแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา On-peak, Off-peak สามารถหาได้จากค่าไฟฟ้าต่อหน่วยตามช่วงเวลาได้ดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2

$$En \times Cn = Bn \quad (1)$$

$$Ef \times Cf = Bf \quad (2)$$

โดยที่

Bn	คือค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าต่อหน่วยในช่วงเวลา On-peak (THB)
Bf	คือค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าต่อหน่วยในช่วงเวลา Off-peak (THB)
Cn	คือค่าไฟฟ้าต่อหน่วยในช่วงเวลา On-peak (THB/kWh)
Cf	คือค่าไฟฟ้าต่อหน่วยในช่วงเวลา Off-peak (THB/kWh)
En	เป็นหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง On-peak (kWh)
Ef	เป็นหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง Off-peak (kWh)

การจ่ายค่าไฟฟ้าแบบ TOU จะถูกเรียกเก็บค่าใช้จ่ายเป็นรายเดือนจากการไฟฟ้านครหลวง โดยวิธีคิดเป็นไปตามสมการที่ 3 และอัตราค่าบริการดังตารางที่ 2

$$(En + Ef + F) + (P \times C) + Ft + Vat. = Eb \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

D คือค่าปรับต่อค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในเดือน (บาท)
Eb คือรายจ่ายค่าไฟฟ้าต่อเดือน (บาท/เดือน)
F คือค่าการบริการต่อเดือน (บาท/เดือน)
Ft คือค่าไฟฟ้าแปรผัน
P คือค่าการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในเดือน (กิโลวัตต์)
Vat. คือภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

ตารางที่ 2 อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU (ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง)

ระดับแรงดันหม้อแปลงไฟฟ้า	ความต้องการไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	
	On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak
แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	74.14	0	4.1283	2.6107
แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์ขึ้นไป	132.93	0	4.2097	2.6295
แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์ขึ้นไป	210.00	0	4.3555	2.6627

*อัตราค่าบริการรายเดือน 312.24 บาท/เดือน

2.4 ผลประหยัด

คำนวณการเปรียบเทียบผลประหยัดค่าไฟฟ้าก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะเวลา 1 เดือน ระยะเวลาคืนทุน ในระยะเวลา 1 ปี ซึ่งหาได้จากสมการที่ 4. ของทั้ง 2 วิธีการ เพื่อหาวิธีการที่คุ้มค่าสำหรับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคารภาครัฐมากที่สุดสำหรับในการวิจัยนี้

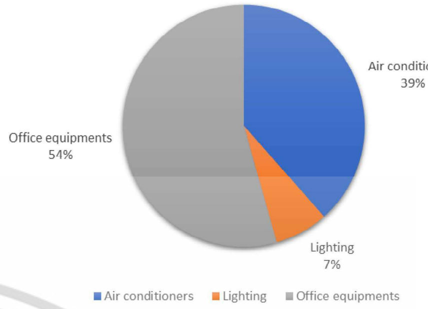
$$\frac{\text{ค่าลงทุน (บาท)}}{\text{ผลประหยัดค่าไฟฟ้า 1 ปี (บาท)}} = \text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} \qquad (4)$$

3. ผลการทดลอง

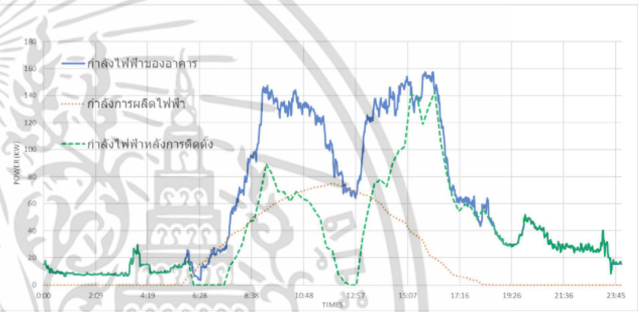
3.1 การสำรวจข้อมูลอาคาร

การสำรวจข้อมูลพื้นที่ติดตั้งบนดาดฟ้าของอาคารมีพื้นที่ทั้งหมด 830 ตารางเมตร ไม่มีพื้นที่บดบังจากเงา อาคารใช้หม้อแปลงไฟฟ้าพิกัดขนาด 12-24 กิโลโวลต์

การสำรวจข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคารเป็นดังรูปที่ 1. พบว่าเครื่องปรับอากาศทั้งหมดมีปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 173.79 กิโลวัตต์ หลอดไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมดมีปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 32.3 กิโลวัตต์ อุปกรณ์สำนักงานทั้งหมดมีปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 245.6 กิโลวัตต์ ซึ่งอาคารนี้มีปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม 451.68 กิโลวัตต์ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของคารซึ่งได้จากการตรวจวัดจากเครื่องมือวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งตรงมิเตอร์ไฟฟ้าของอาคารเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าในวันทำการ 21 วัน ของอาคาร มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 25,275 กิโลวัตต์-ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยต่อวันเป็น 1,203.59 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และปริมาณพลังงานไฟฟ้าในวันหยุด 9 วัน พบว่ามีการใช้พลังงานทั้งหมด 2,566.80 กิโลวัตต์-ชั่วโมง



รูปที่ 1. สัดส่วนการใช้กำลังไฟฟ้าภายในอาคาร



รูปที่ 2. กำลังไฟฟ้าติดตั้งขนาด 75 กิโลวัตต์

3.2 การออกแบบการติดตั้ง

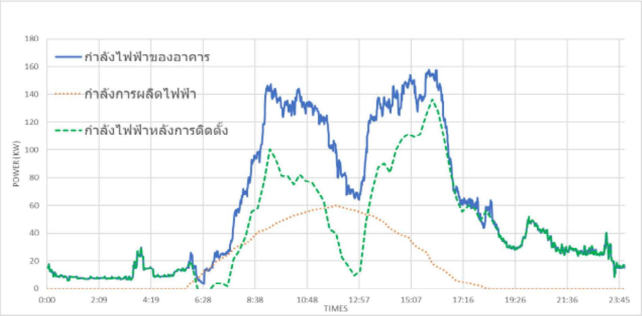
จากการนำข้อมูลการสำรวจพื้นดาดฟ้า การใช้ปริมาณไฟฟ้าโดยเฉลี่ย และความเข้มแสงที่วัดได้โดยเฉลี่ยพบว่าที่การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่ดาดฟ้า สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 75 กิโลวัตต์ ดังรูปที่ 2. และพบว่ามีพลังงานไฟฟ้าเหลือใช้ในบางช่วงเวลา และได้ทำการคำนวณเพื่อหาพิกัดการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหลือพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดและมีกำลังไฟฟ้าเพียงพอต่อการใช้ที่พิกัดขนาด 60 กิโลวัตต์ ดังรูปที่ 3.

จากการคำนวณเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าพบว่า วิธีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่พิกัด 75 กิโลวัตต์นั้น และที่พิกัดขนาด 60 กิโลวัตต์เป็นดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละพิกัดขนาด

พารามิเตอร์	75 กิโลวัตต์	60 กิโลวัตต์
ต้นทุน	3,000,000 บาท	2,400,000 บาท
ผลประหยัดรายเดือน	45,910.69 บาท	39,626.06 บาท
ผลประหยัดรายปี	550,928.22 บาท	475,512.75 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	5 ปี 5 เดือน	5 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3. กำลังไฟฟ้าติดตั้งขนาด 60 กิโลวัตต์

4. วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 3 จากการวิจัยนี้พบว่าที่การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่ติดตั้งบนดาดฟ้าขนาด 830 ตารางเมตร ที่พิกัดติดตั้งขนาด 75 กิโลวัตต์ มีผลประหยัดค่าไฟฟ้าที่มากกว่าที่พิกัดขนาดติดตั้ง 60 กิโลวัตต์ ประมาณ 75,000 บาทต่อปี มีระยะเวลาคืนที่ช้ากว่า 5 เดือน แต่มีพลังงานเหลือใช้มากกว่า

วิเคราะห์ผลสรุปจากการวิจัยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่ดาดฟ้าของอาคารนั้นในกรณีที่มีพื้นที่จำกัด และตัวอาคารที่จะติดตั้งมีการใช้ไฟฟ้าในปริมาณมาก แนะนำให้มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ให้เต็มพื้นที่ และในกรณีที่มีพื้นที่ไม่จำกัด และตัวอาคารติดตั้งมีการใช้ปริมาณไฟฟ้าในปริมาณน้อย แนะนำให้มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ตามงานวิจัยนี้โดยเปลี่ยนการคำนวณการผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ให้สอดคล้องกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร โดยที่กราฟแสดงผลกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ครอบคลุมกราฟปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคาร และส่งผลให้กราฟค่ากำลังไฟฟ้าใช้งานหลังการติดตั้งเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด การวิเคราะห์นี้จะทำให้ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าต่อเดือนน้อยลงเป็นจำนวนมาก แต่ส่งผลให้ต้นทุนการติดตั้งที่สูงขึ้น ระยะเวลาคืนทุนที่ยาวนานขึ้น แต่ทว่าผลประหยัดนั้นคุ้มค่าที่สุดในระยะยาว

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานที่มีความคิดริเริ่ม สนับสนุนสถานที่และติดตั้งโครงการต้นแบบในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคารภาครัฐ ช่วยลดการใช้ไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าและเป็นแบบอย่างในการอนุรักษ์พลังงานแก่หน่วยงานอื่นๆทั้งในส่วนของรัฐบาลและเอกชน

เอกสารอ้างอิง

[1] Yudong Tang " Investigation on TOU pricing principles" Metropolitan Electricity Authority (THAILAND).Medium GeneralService.Availableat:http://www.mea.or.th/en/profile/109/113. [Accessed 14 august 2018].

[2] Yu Wang, Haiyang Lin, Luyao Liu, Ronald Wennersten, Qie Sun. "High-rise building peak load shaving using rooftop attached PV", Energy Procedia,Volume 152, 2018, Pages 484-489,ISSN 1876-6102.

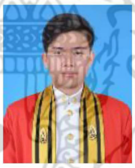
[3] Aksornchan Chaianong," Bill saving analysis of rooftop PV customers and policy implications for Thailand", Renewable Energy,Volume 131,2019,Pages 422-434,ISSN 0960-1481.

[4] D. O. Johnson, "GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM DESIGN FOR LOCAL GOVERNMENT OFFICES IN NIGERIA" Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH), Vol. 36, No. 2, April 2017, pp. 571 – 581.

[5] M. Tripathy, "A critical review on building integrated photovoltaic products and their applications", Renewable and Sustainable Energy Reviews,Vol 61, 2016, Pages 451–465, ISSN 1364-0321.

[6] CSSKMUTT, "Solar Cells and Applications", Available at: http://www.cssckmutt.in.th/cssc/classroom.php.

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายเอกพัชร ชีวิตโสภณ
วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2560
กำลังศึกษา วศ.ม. (วิศวกรรมการวัดคุม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ. ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์
วศ.บ. (วิศวกรรมการวัดคุม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538
วศ.ม.(วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541
วศ.ด. (Mont-Institute for Automation) University of Leoben, Austria, 2551

ผศ. ดร. เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง
วศ.บ. (วิศวกรรมเกษตร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540
วศ.ม. (เทคโนโลยีอุณหภาพ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544
วศ.ด. (Processing Machine and Processing Technology) Technische Universität Dresden, Germany, 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายเอกพัชร ชีวิตโสภณ
วัน เดือน ปี เกิด	10 กุมภาพันธ์ 2538
ที่อยู่	100/92 ถนนหลวงแพ่ง ต.ศีรษะจรเข้น้อย อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ 10540
ประวัติการศึกษา	
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ความเชี่ยวชาญ	พลังงานทางเลือก, เซลล์แสงอาทิตย์, การอนุรักษ์พลังงาน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้