

การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับผลกระทบของไฟฟ้าในระบบหม้อแปลงพลังงานที่มีหม้อแปลงคู่
เพื่อหาจุดวิกฤตของระบบ

Break Down Point Analysis of Joint Feeding System for Load in
Power Grid System



ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การศึกษาความคุ้มค่าทุนในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน
เพื่อพัฒนาเป็นระบบนาโนกริด

Break Even Point Analysis of Solar Rooftop System for Apply in
Nano-Grid System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Break Even Point Analysis of Solar Rooftop System for Apply in
Nano-Grid System



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

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

การศึกษาความคุ้มค่าในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน
เพื่อพัฒนาเป็นระบบนาโนกริด

Break Even Point Analysis of Solar Rooftop System for Apply in
Nano-Grid System



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. อรรถพล เเง้าพิทักษ์กุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาความคุ้มทุนในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน
เพื่อพัฒนาเป็นระบบนาโนกริด

ผู้จัดทำ



1. นาย กฤษณ์ ชูหาต
2. นาย กิรติ จูประเสริฐพร
3. นาย เกริก โรจนมงคล

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถพล เเง่าพิทักษ์กุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาความคุ้มค่าในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน เพื่อพัฒนาเป็นระบบนาโนกริด

นาย กฤษณ์ ชูหาด

นาย กิรติ จูประเสริฐพร

นาย เกริก โรจนมงคล

รศ.ดร. อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอถึงการจำลองและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านเพื่อจ่ายคืนสู่ระบบจำหน่าย ซึ่งเป็นการช่วยให้ความรู้และตัดสินใจให้กับผู้มีความสนใจที่จะทำการติดตั้งระบบ โดยทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าที่ปัจจัยหลัก 2 ประการคือ ต้นทุนในการติดตั้งและรายได้จากพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ ซึ่งปัจจัยด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นได้ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการจำลองระบบด้วย 2 รูปแบบคือ จำลองระบบจริงด้วยเครื่องจำลอง Photovoltaic simulator และจำลองระบบด้วยโปรแกรม PSIM 9.0.3 ในคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงให้เห็นภาพรวมของระบบ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่าย และแสดงการคำนวณให้เห็นถึงระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนของการติดตั้งระบบตามอายุการใช้งานสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Break Even Point Analysis of Solar Rooftop System for Apply in Nano-Grid System

Mr. Krit Chuhard

Mr. Keerati Juprasertporn

Mr. Kirk Rodjanamongkol

Assoc.Prof.Dr.Atthapol Ngaopitakkul Advisor

Year 2014

ABSTRACT

This project presents the simulation and value analysis of power transmission to grid by PV solar rooftop system. It will help people's decision who interested to invest in solar rooftop system. Analysis the value of system by the two main factors. Installation cost and system revenue from energy generation. Energy generation factor was analyzed by means of simulations with two forms. Real system simulation by using photovoltaic simulator and system schematic simulation by PSIM 9.0.3 program on computer. These simulation will show the system overall, the factors that affect power generation of solar panels and system performance comparison. Performing calculation of the pay back period and return on investment of system by a lifetime maximum.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องนี้สามารถสำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะ รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถพล เงามพิทักษ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้ข้อเสนอแนะ แนวคิดในการแก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอดจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย จากข้อมูลดาวเทียมและข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันของแต่ละเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538-2552 ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่เป็นประโยชน์ปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณที่ มงคล เพชรกล้า ตัวแทนจำหน่ายและติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บริษัท พลังงานทดแทนเพื่อคนไทย จำกัด ที่ได้ให้ข้อมูลการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านเพื่อจำหน่ายไฟฟ้าคืนกลับสู่ระบบจำหน่ายอย่างละเอียด

ขอขอบคุณที่ ป.โท ได้แก่ พี่ติ่มและพี่ต้นที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์ และขอขอบคุณเพื่อนในห้อง ECC-305 ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และทำงานร่วมห้องกันเสมอมา

นอกจากนี้คณะผู้จัดทำยังได้รับความช่วยเหลือจากพี่ตัวเล็ก เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการในเรื่องการเบิกใช้อุปกรณ์และเครื่องทางวิศวกรรม และพี่กึ่งที่ช่วยดำเนินเรื่องเอกสารและธุรการให้มาโดยตลอด

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวที่คอยให้การสนับสนุนในด้านการเงิน ให้กำลังใจในเวลาที่ย่ำแย่ ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงสำเร็จลงได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	6
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	6
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	7
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	8
1.6.1 ประโยชน์ในส่วนของผู้จำหน่ายไฟฟ้า	8
1.6.2 ประโยชน์ในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า	8
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 ลักษณะและประโยชน์ของพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)	9
2.2 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	9
2.3 รูปแบบการติดตั้งใช้เซลล์แสงอาทิตย์	10
2.3.1 ระบบติดตั้งแบบอิสระ (Stand-alone system)	10
2.3.2 ระบบติดตั้งแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (Grid connected system)	10
2.4 หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.5 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.5.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว	12
2.5.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก	13
2.5.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง)	13
2.6 ลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	15
2.7.1 ผลกระทบของอุณหภูมิ และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้า	15
2.7.2 ค่าอุณหภูมิสะสมบนพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ (NOCT)	16
2.8 ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ในประเทศไทย	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9	ทิศทางและตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	18
2.10	ระยะเวลาผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อวัน (Peak Sun Hour)	19
2.11	ระยะเวลาในการคืนทุน (Payback Period)	20
2.12	อัตราผลตอบแทน (Return on Investment)	20
2.13	เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)	20
2.13.1	เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบอิสระ (Stand-alone Inverter)	20
2.13.2	เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อบบบจำหน่าย (Grid tie Inverter)	21
2.14	คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality)	21
2.14.1	ความหมายและความสำคัญของคุณภาพกำลังไฟฟ้า	21
2.14.2	สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า	22
2.15	ปัญหาด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า	22
2.15.1	ไฟกระชาก (Voltage surge or impulse)	22
2.15.2	แรงดันไฟตกชั่วคราว (Voltage dip or sag)	22
2.15.3	ฮาร์มอนิก (Harmonic)	22
2.16	มาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์ (Standards of Solar cell)	23
2.17	มาตรฐานการเชื่อมต่อไฟฟ้าขนาดเล็ก (Nano-grid Connection Standards)	23
2.17.1	ข้อกำหนดสำหรับอินเวอร์เตอร์ประเภทเชื่อมต่อโครงข่าย	23
2.17.1.1	การควบคุมคุณภาพไฟฟ้า	23
2.17.1.2	การตอบสนองต่อแรงดันไฟฟ้า	24
2.17.2	ข้อกำหนดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา	25
2.17.3	รูปแบบการติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้า	25
บทที่ 3	การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ตามสภาพอากาศ	27
3.1	บทนำ	27
3.2	ต้นทุนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน	27
3.2.1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์	27
3.2.2	พื้นที่หลังคาที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	29
3.2.3	เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)	29
3.2.4	อุปกรณ์ประกอบระบบ	30
3.2.4.1	อุปกรณ์จับยึดแผงเซลล์ (PV Solar Mounting)	30
3.2.4.2	อุปกรณ์ตัดต่อ (Circuit Breaker)	30
3.2.4.3	สายไฟและท่อร้อยสายไฟ	30
3.2.5	ค่าบริการติดตั้ง	31
3.2.6	ค่าห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Cost)	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3	รายได้จากการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	31
3.3.1	ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	32
3.3.2	ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ	33
3.3.2.1	ความเข้มแสงอาทิตย์และระยะเวลาผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อวัน (PSH)	33
3.3.2.2	อุณหภูมิบนแผงเซลล์	34
3.3.3	อัตราเสื่อมสภาพของระบบและค่าความสูญเสียจากปัจจัยต่างๆ	34
3.3.4	นโยบายของรัฐบาล	35
3.4	สรุป	36
บทที่ 4	การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน	
	แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย	37
4.1	แบบจำลองหลังคาบ้านสำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	37
4.2	วงจรจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย	38
4.2.1	หลักการการทำงานของวงจร	39
4.3	การจำลองทดสอบประสิทธิภาพของวงจรจำลอง	40
4.3.1	การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว	41
4.3.2	การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก	43
4.3.3	การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง)	45
4.4	การจำลองเปรียบเทียบการติดตั้งระบบในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย	47
4.4.1	พลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันแต่ละภูมิภาค	47
4.4.2	ผลการเก็บข้อมูลระบบจำลอง	50
4.4.3	ผลการจำลอง	53
4.5	วิเคราะห์ และสรุปผล	54
บทที่ 5	การคำนวณระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทน	55
5.1	บทนำ	55
5.2	ต้นทุนสุทธิในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน	55
5.2.1	ราคาต้นทุนในหน่วย บาท/กิโลวัตต์	55
5.2.2	ราคาต้นทุนในหน่วย บาท/ตารางเมตร	57
5.3	การคำนวณความคุ้มค่าในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน	57
5.3.1	การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านในแต่ละภูมิภาค	58
5.3.2	การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านขนาดต่างๆ	64
5.4	วิเคราะห์ และสรุปผล	72

บทที่ 6 สรุป และข้อเสนอแนะ	74
6.1 สรุป	74
6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับแนวทางการพัฒนาต่อยอดงานวิจัย	75
เอกสารอ้างอิง	76
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ	81
ภาคผนวก ข ข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการจำลอง	86
ภาคผนวก ค การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป	93
ภาคผนวก ง ข้อมูลอุปกรณ์สำหรับระบบจำลองผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย	108
ภาคผนวก จ ขั้นตอน และวิธีการใช้โปรแกรม TerraSAS สำหรับการกำหนด ค่าการทำงานของเครื่องลอง Photovoltaic Simulator	115
ภาคผนวก ฉ การคำนวณอัตราผลตอบแทนในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน เป็นระยะเวลา 25 ปี	121
ประวัติผู้เขียน	129

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การคาดการณ์การใช้พลังงานรูปแบบต่างๆในอนาคตโดยกลุ่มนักวิจัยยุโรป	1
1.2 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2557	2
1.3 เปรียบเทียบขนาดของนาโนกริด กับกริดและไมโครกริด	5
2.1 ระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Transmission System)	9
2.2 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ	10
2.3 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย	11
2.4 ลักษณะและกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของ Solar Cell	11
2.5 ขนาดและการเชื่อมต่อแผง Solar Cell	12
2.6 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว (ก) ซิลิกอนหลายผลึก (ข) และซิลิกอนไร้รูปร่าง-ฟิล์มบาง (ค)	13
2.7 วงจรสมมูลของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์	14
2.8 กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)	15
2.9 กราฟกระแสและแรงดัน (I-V Curve) ที่อุณหภูมิ และความเข้มแสงค่าต่างๆ	16
2.10 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย จัดทำในปี พ.ศ. 2553 (ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน ต่อ ปี)	17
2.11 แผนภูมิเปรียบเทียบพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{Day}$) แต่ละประเทศปี พ.ศ. 2553	18
2.12 เส้นสุริยะวิถีดวงอาทิตย์ และประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่หันตาม ทิศทางต่างๆ	19
2.13 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบอิสระ (ก) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อบริเวณจำหน่าย (ข)	21
2.14 การติดตั้งและเชื่อมต่อบริเวณโซลาเซลล์ขนาดย่อมกับระบบโครงข่ายการไฟฟ้านครหลวง (PV system connected to MEA distribution system)	26
3.1 ราคาเฉลี่ยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($\$/\text{W}$) ตามราคาตลาดโลกตั้งแต่ปี ค.ศ.1977-2013	28
3.2 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบราคาค่าเฉลี่ยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($\$/\text{W}$) ทั้ง 3 ประเทศผู้ผลิต	29
3.3 ราคาเฉลี่ยของแผงเซลล์แต่ละชนิดในปัจจุบัน	29
3.4 ต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน	36
4.1 แบบแปลนหลังคาบ้านครอบครัวไทยเป็นสุข	37
4.2 วงจรจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริเวณจำหน่าย	39
4.3 วงจรควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า (MPPT : Maximum power point tracking) (ก)	

และวงจรรีโวลต์เรเตอร์เฟสเดียว และชุดกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน (LC Low pass filter) (ข)	39
4.4 ตัวอย่างการต่ออนุกรมและต่อขนานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มระดับแรงดันและกระแสขาเข้า	40
4.5 ข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้า (ก) และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) ค่าแรงดันและกระแสที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (V_{max} , I_{max}) (ข) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว	41
4.6 กำลังไฟฟ้า (W) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายของแผงเซลล์ซิลิกอนผลึกเดี่ยว	41
4.7 กระแสไฟฟ้า (A) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายของแผงเซลล์ซิลิกอนผลึกเดี่ยว	42
4.8 แรงดันไฟฟ้า (V) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายของแผงเซลล์ซิลิกอนผลึกเดี่ยว	42
4.9 ข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้า (ก) และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) ค่าแรงดันและกระแสที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (V_{max} , I_{max}) (ข) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก	43
4.10 กำลังไฟฟ้า (W) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายของแผงเซลล์ซิลิกอนหลายผลึก	43
4.11 กระแสไฟฟ้า (A) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายของแผงซิลิกอนหลายผลึก	44
4.12 แรงดันไฟฟ้า (V) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายของแผงซิลิกอนหลายผลึก	44
4.13 ข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้า (ก) และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) ค่าแรงดันและกระแสที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (V_{max} , I_{max}) (ข) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง)	45
4.14 กำลังไฟฟ้า (W) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายของแผงเซลล์ซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง)	45
4.15 กระแสไฟฟ้า (A) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายของแผงเซลล์ซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง)	46
4.16 แรงดันไฟฟ้า (V) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่ายของแผงเซลล์ซิลิกอนไร้รูปร่าง	46
4.17 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m^2) รายวันของทั้ง 6 ภูมิภาค	48
4.18 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย ($^{\circ}C$) รายวันของทั้ง 6 ภูมิภาค	50
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบกับเวลา (S) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อทำการติดตั้ง ณ ภาคเหนือ	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และขอยกอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบ
กับเวลา (S) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อทำการติดตั้ง ณ ภาคกลาง 51
- 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบ
กับเวลา (S) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อทำการติดตั้ง ณ ภาคตะวันออก 51
- 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบ
กับเวลา (S) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อทำการติดตั้ง ณ ภาคอีสาน 52
- 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบ
กับเวลา (S) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อทำการติดตั้ง ณ ภาคใต้ฝั่งตะวันตก 52
- 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบ
กับเวลา (S) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อทำการติดตั้ง ณ ภาคใต้ฝั่งตะวันออก 53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ปริมาณการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย	4
1.2 ระยะเวลาการดำเนินการทำปริญญานิพนธ์	7
2.1 ค่าปัจจัยในอุดมคติ (Ideal factor) เปรียบเทียบตามชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	14
2.2 ซีตจำกัดของอาร์มอนิกที่ยอมรับได้ในลำดับต่างๆ	24
2.3 เวลาในการปลดวงจรของช่วงระดับแรงดันต่างๆ	24
3.1 ลักษณะและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	32
3.2 การคำนวณและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด	33
3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเปลี่ยนแปลงของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ	34
3.4 อัตราการรับซื้อไฟของภาครัฐจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน	35
4.1 กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด	38
4.2 ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย (kWh /m ² /Day) แต่ละเดือนทั้ง 6 ภูมิภาค	48
4.3 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย (°C /Day) แต่ละเดือนทั้ง 6 ภูมิภาค	49
4.4 สรุปผลค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่วัดได้จากการจำลอง	54
5.1 ราคาต้นทุนสุทธิของระบบขนาด 4.2 กิโลวัตต์ (ซิลิกอนผลึกเดี่ยว)	56
5.2 ราคาต้นทุนสุทธิของระบบขนาด 4.2 กิโลวัตต์ (ซิลิกอนหลายผลึก)	56
5.3 ข้อมูลราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	57
5.4 ระยะเวลาคืนทุนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวในแต่ละภูมิภาค	58
5.5 การคำนวณอัตราผลตอบแทนของระบบ 4.2 kW ที่ภาคกลาง เป็นระยะเวลา 25 ปี (ซิลิกอนผลึกเดี่ยว)	59
5.6 ระยะเวลาคืนทุนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกในแต่ละภูมิภาค	61
5.7 การคำนวณอัตราผลตอบแทนของระบบ 4.2 kW ที่ภาคกลาง เป็นระยะเวลา 25 ปี (ซิลิกอนหลายผลึก)	62
5.8 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวบนหลังคาบ้านขนาดต่างๆ	65
5.9 การคำนวณอัตราผลตอบแทนของระบบ 2.4 kW เป็นระยะเวลา 25 ปี (ซิลิกอนผลึกเดี่ยว)	66
5.10 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกบนหลังคาบ้านขนาดต่างๆ	68
5.11 การคำนวณอัตราผลตอบแทนของระบบ 2.4 kW เป็นระยะเวลา 25 ปี (ซิลิกอนหลายผลึก)	69

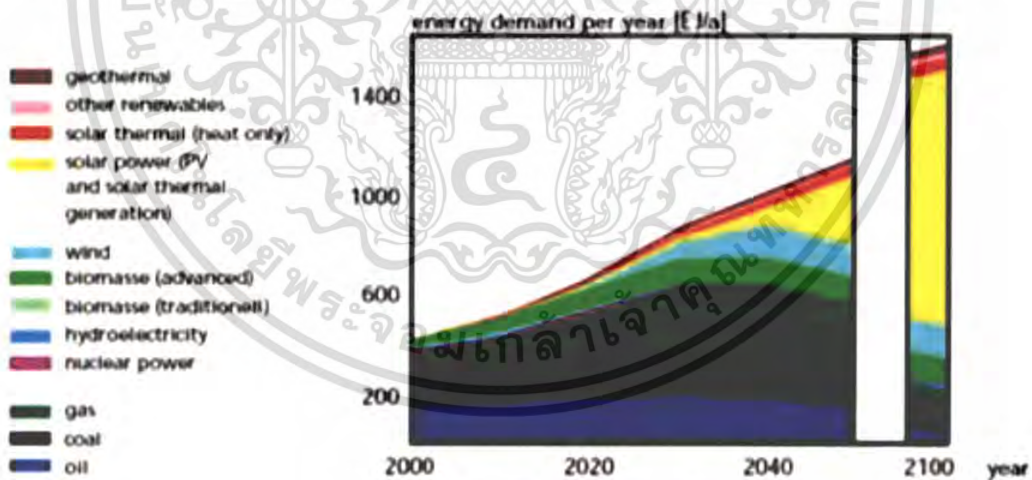
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และ Xing อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

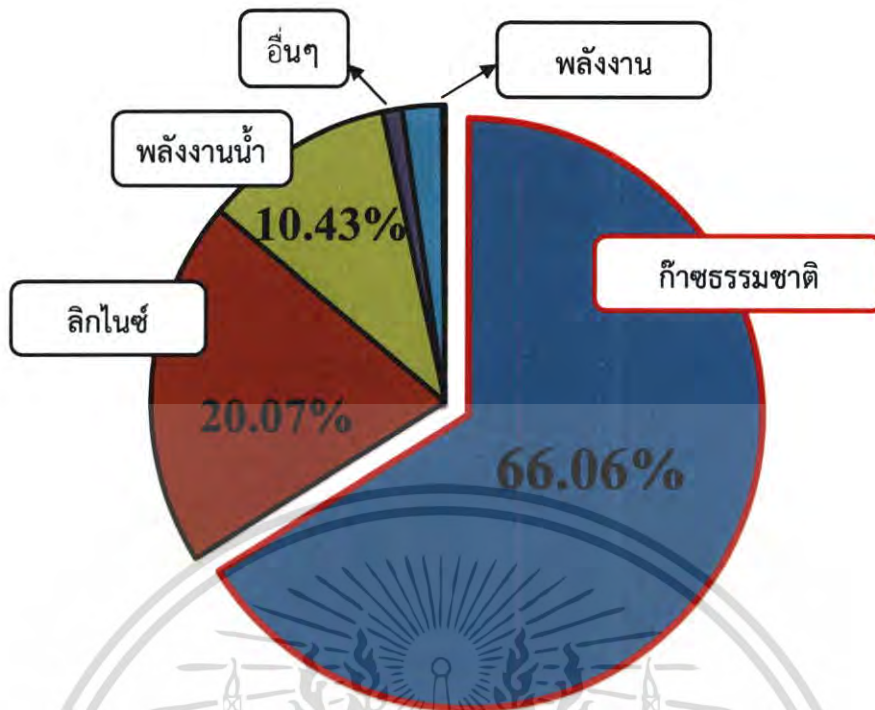
แต่เดิมนั้นการผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้นั้นจะใช้ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินและน้ำมันมาเป็นเชื้อเพลิงหลัก แต่ทว่าเชื้อเพลิงเหล่านี้ก็ยังเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป ไม่สามารถหามาทดแทนได้เพราะว่าการจะได้มาซึ่งน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาตินั้นต้องรอให้เกิดการทับถมกันของสารอินทรีย์ต่างๆภายในดินเป็นเวลาหลายหมื่นปี เพราะฉะนั้นในอนาคตอันใกล้นี้เชื้อเพลิงเหล่านี้ก็จะหมดไป นอกจากนี้การใช้ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินและน้ำมันมาเป็นเชื้อเพลิงหลักนั้นยังก่อให้เกิดมลพิษต่างๆ โดยการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จึงส่งของเสียออกสู่ชั้นบรรยากาศ ทำให้ปัจจุบันโลกเกิดภาวะต่างๆ ขึ้น เช่น ภาวะเรือนกระจก เป็นต้น ซึ่งทั่วโลกกำลังวิตกกังวลเรื่องนี้กันเป็นอย่างมากและด้วยเหตุผลดังกล่าวมาข้างต้นทำให้มีการค้นหาแหล่งพลังงานใหม่ๆ ที่เป็นพลังงานสะอาดและมีอยู่อย่างไม่จำกัด ได้แก่ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น[1] ซึ่งในปัจจุบันมีหลายประเทศทั่วโลกได้คิดค้นและพัฒนาการผลิตกำลังไฟฟ้าโดยใช้พลังงานทางเลือกเหล่านี้อย่างจริงจัง[2]และกำลังรณรงค์ให้หันมาใช้พลังงานทางเลือกเหล่านี้ทั้งสิ้นโดยเฉพาะการผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีการพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นแต่ราคาต้นทุนลดลง[3],[4]อย่างต่อเนื่อง ด้วยการใช้ธาตุและสารประกอบต่างๆเข้ามา[5],[6]



รูปที่ 1.1 การคาดการณ์การใช้พลังงานรูปแบบต่างๆในอนาคตโดยกลุ่มนักวิจัยยุโรป[7]

จากรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าในปัจจุบันมีการใช้น้ำมัน ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติจำนวนมาก แต่ในอนาคตช่วงปี ค.ศ.2100 จะมีการใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้น้อยลงมาก กลับกันจะมีการใช้พลังงานทางเลือกอื่นๆ เพิ่มมากขึ้น และพลังงานจากแสงอาทิตย์จะเป็นพลังงานที่ทางเลือกที่นิยมมากที่สุด ซึ่งจากในรูปจะเห็นได้ชัดเจนในพื้นที่สี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2557

จากรูปที่ 1.2 ในการผลิตกำลังไฟฟ้าของประเทศไทยจะมีสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ปี 2557 ดังนี้ ก๊าซธรรมชาติคิดเป็นร้อยละ 66.06 รองลงมาคือลิกไนต์ร้อยละ 20.07 และเป็นพลังงานน้ำ น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล พลังงานทดแทน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าประเทศไทยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นหลักในการผลิตกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติเฉลี่ยวันละ 987.26 ล้านลูกบาศก์ฟุต [8] ซึ่งจะเห็นได้ว่าประเทศไทยพึ่งพาการใช้เชื้อเพลิงอย่างเดียวมกเกินไปและยังมีผลในด้านมลพิษในบรรยากาศอีกด้วย ตามที่กล่าวมาทั้งหมดทางรัฐบาลร่วมกับองค์กรต่างๆ ในด้านการลงทุนเพื่อการศึกษาและพัฒนาการผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานทางเลือกต่างๆ ขึ้นในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ยกตัวอย่างดังนี้ ปีงบประมาณ 2546 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้มีโครงการพัฒนาการใช้ระบบประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับหมู่บ้านชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้รวมทั้งสิ้น 287 ทั่วประเทศไทย [9] เดือนกันยายน พ.ศ. 2549 มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ หรือ กพช. ได้มีมติเห็นชอบให้มีการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยใช้มาตรการจูงใจด้านราคาผ่านระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer : SPP) และผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อย (Very Small Power Producer : VSPP) โดยกำหนดส่วนเพิ่มอัตราซื้อไฟฟ้า (ส่วนเพิ่มฯ) จากราคารับซื้อไฟฟ้าตามระเบียบผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) หรือ ผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อย (VSPP) ตามประเภทเชื้อเพลิงและเทคโนโลยี เดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ หรือ กพช. กำหนดการขายไฟฟ้าเข้าระบบตามระเบียบผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อย (VSPP) โดยกำหนดระยะเวลาสนับสนุน 7 ปี นับจากวันเริ่มต้นซื้อขายไฟฟ้าตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญา และมีการปรับราคาซื้อขายไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อย (VSPP) ขึ้นจากเดิม โดยพลังงานแสงอาทิตย์เป็น 8 บาท/หน่วย พลังงานลมและขยะเป็น 2.50 บาท/หน่วย พลังงานน้ำขนาดเล็ก (50-200 kW) 0.40 บาท/หน่วย พลังงานน้ำขนาดเล็กมาก (ต่ำกว่า 50 kW) 0.80 บาท/หน่วย ชีวมวล 0.30 บาท/หน่วย เมื่อเดือนมิถุนายน 2550 กพช. ได้มีมติเห็นชอบการกำหนดส่วนเพิ่มฯ พิเศษสำหรับโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดยะลา ปัตตานี และนราธิวาส อีก 1 บาทต่อหน่วย สำหรับเชื้อเพลิงชีวมวล/ก๊าซชีวภาพ พลังน้ำขนาดเล็ก พลังน้ำขนาดเล็กมาก และขยะ สำหรับพลังงานลมและแสงอาทิตย์เพิ่มอีก 1.50 บาทต่อหน่วย ภายหลังจากออกมาตรการให้ส่วนเพิ่มฯ สำหรับโครงการผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) และผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อย (VSPP) ปรากฏว่ายังไม่มีโครงการพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์เสนอขายไฟฟ้า ซึ่งจากการศึกษาของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้วิเคราะห์ต้นทุน การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน พบว่าการส่งเสริมสำหรับพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ยังไม่คุ้มค่าการลงทุน ควรมีการปรับส่วนเพิ่มฯ ขึ้น และขยายระยะเวลาการสนับสนุน โดยมีการปรับปรุงส่วนเพิ่มฯ สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) พลังงานลมเป็น 3.50 บาทต่อหน่วย และขยายระยะเวลาสนับสนุนสำหรับพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์จาก 7 ปี เป็น 10 ปี นับจากวันเริ่มต้นจำหน่ายไฟฟ้าเข้าระบบ [10] เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2556 คณะรัฐมนตรีได้มีมติรับทราบมติของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) เห็นชอบให้มีการซื้อขายไฟฟ้าจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Rooftop PV System) โดยมีปริมาณกำลังผลิตติดตั้งรวม 200 MW แบ่งเป็น 1.อาคารประเภทที่พักอาศัย 100 MW และ 2.อาคารประเภทธุรกิจและโรงงาน 100 MW ทั้งนี้ให้มีการเริ่มจำหน่ายไฟฟ้าเชิงพาณิชย์เข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายในปี 2556 ด้วยอัตราค่ารับซื้อไฟฟ้าคงที่ (Feed-in Tariff) ระยะเวลาการสนับสนุน 25 ปี[11] แต่ในโครงการนี้ประเภทอาคารธุรกิจและโรงงานมีผู้สมัครเข้ามาเกินขนาดที่กำหนด 100 MW แต่ในประเภทบ้านพักอาศัยกลับมีคนสมัครเข้ามาเพียง 30 MW เท่านั้น ส่วนอีก 70 MW มาเปิดต่อโครงการที่ 2 โดยเริ่มรับสมัครตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 สำหรับบ้านพักอาศัยที่ผ่านการสมัครเรียบร้อยแล้ว ต้องติดตั้งแล้วเสร็จพร้อมขายไฟฟ้าภายในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558

จากโครงการต่างๆ ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นนี้ทำให้ประเทศไทยได้มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์มากยิ่งขึ้นเรื่อยๆ โดยตารางที่ 1.1 จะแสดงให้เห็นถึงปริมาณการติดตั้งรายปีและปริมาณติดตั้งสะสมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545-2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย[12]

ปี พ.ศ.	ปริมาณติดตั้งสะสม (MW)			ปริมาณติดตั้งต่อปี (MW)		
	On-grid	Off-grid	รวม	On-grid	Off-grid	รวม
2545	0.32	2.57	2.89	0.19	0.93	1.12
2546	1.10	3.13	4.22	0.78	0.56	1.33
2547	1.76	9.07	10.83	0.67	5.94	6.61
2548	1.77	22.11	23.88	0.01	13.04	13.05
2549	1.86	28.66	30.52	0.09	6.55	6.64
2550	3.61	28.90	32.51	1.74	0.24	0.98
2551	4.06	29.34	33.39	0.45	0.44	0.89
2552	13.67	29.49	43.17	9.62	0.16	9.77
2553	19.57	29.65	49.22	5.89	0.16	6.05
2554	212.80	29.88	242.68	193.23	0.23	193.46
2555	357.38	30.19	387.57	144.89	0.15	145.04
2556	794.07	29.73	823.80	463.69	-0.45	463.24

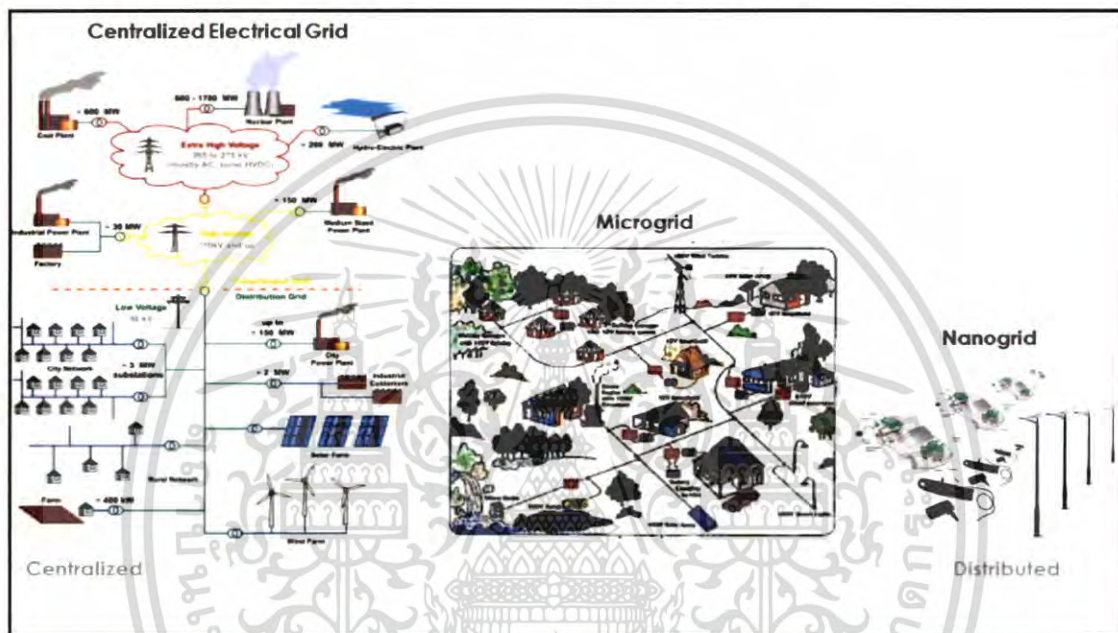
จากตารางที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าปริมาณติดตั้งแบบอิสระ (Off-Grid) มีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2555 จนกระทั่งปี 2556 จะเห็นว่ามีค่า -0.45 เมกกะวัตต์ หมายความว่ามีการยกเลิกการติดตั้ง ทำให้ปริมาณติดตั้งแบบอิสระมีค่าลดลง

ตลอดมาภาครัฐและเอกชนได้มีการสนับสนุนให้หันมาใช้พลังงานแสงอาทิตย์มากยิ่งขึ้น เพื่อลดการใช้ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และน้ำมันในการผลิตกำลังไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถลดการนำเข้าเชื้อเพลิงและไฟฟ้าจากต่างประเทศอีกด้วย ซึ่งในประเทศไทยได้เริ่มมีการศึกษาและทดสอบติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านตามพื้นที่ต่างๆ ซึ่งมีการประยุกต์ใช้งานระบบในรูปแบบต่างๆ มากมาย [13],[14]

โดยในต่างประเทศนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายนั้น จัดว่าเป็นที่นิยมและเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าที่สำคัญของประเทศอีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ เช่น การติดตั้งระบบเพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าในช่วงการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand)[15],[16] อย่างไรก็ตาม การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านนั้นมีต้นทุนที่สูง และมีความผันผวนในการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากมีปัจจัยด้านธรรมชาติเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งในแต่ละประเทศนั้นก็จะมีสภาพแวดล้อม สภาพอากาศแตกต่างกันไป ทำให้จึงต้องมีการศึกษาและวิเคราะห์ถึงศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละประเทศ เพื่อดูถึงความเหมาะสมและความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบ[17]-[19] ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า[20] และการลดต้นทุนในการติดตั้งระบบ[21]

จากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นจึงเกิดเป็นโครงงานชิ้นนี้ ซึ่งจะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน[22],[23] เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้ากลับคืนสู่การไฟฟ้าที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดปริมาณกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 10 กิโลวัตต์ จากระบบดังกล่าวจัดเป็นระบบนาโนกริด (Nano Grid)[24]-[29] เป็นระบบที่มีขนาดเล็กกว่าระบบไมโครกริด (Micro Grid) เพราะมีขนาดของภาระทางไฟฟ้าขึ้นเดียว หรืออาคารหลังเดียว ถ้าจะกล่าวให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นก็คือระบบที่มีขนาดไม่เกิน 100 กิโลวัตต์ สำหรับการเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า (On Grid) หรือระบบที่มีขนาดไม่เกิน 5 กิโลวัตต์ สำหรับระบบอิสระ (Stand-alone) แสดงดังรูปที่ 1.3 ซึ่งโดยส่วนมากแล้วเราสามารถพบเห็นระบบนาโนกริดตามท้องชนบทเพราะเนื่องจากต้องมีการผลิตไฟฟ้าใช้ด้วยตนเอง เนื่องจากในบางพื้นที่นั้นไฟฟ้าจากส่วนกลางยังเข้าไม่ถึง หรือมีไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ



รูปที่ 1.3 เปรียบเทียบขนาดของนาโนกริด กับกริดและไมโครกริด

จากที่กล่าวมาข้างต้นโครงการนี้ศึกษาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนสู่ระบบของการไฟฟ้า ซึ่งจำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อนั้นคืออินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อนระบบจำหน่าย (Grid tie inverter) [30],[31] โดยอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จะสามารถเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายและส่งกำลังไฟฟ้าได้เลย งานวิจัยนี้จะศึกษาถึงความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบ โดยวิเคราะห์ถึงปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ ระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทน[32]-[36] ซึ่งมีตัวแปรสำคัญที่ต้องทำการรวบรวมข้อมูลและคิดคำนวณคือ ต้นทุนการติดตั้งได้แก่ ราคาของแผงเซลล์อาทิตย์ ราคาของอินเวอร์เตอร์ ราคาค่าแรงงานติดตั้ง เป็นต้น และคำนวณถึงรายได้ที่ได้รับจากการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน โดยทำการจำลองระบบให้เห็นถึงการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ปัจจัยสภาพแวดล้อมรูปแบบต่างๆ เพื่อนำค่าตัวเลขทั้งหมดมาวิเคราะห์และสรุปผลออกมาว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านนั้นมีความคุ้มค่าหรือไม่? เป็นการลงทุนที่น่าจะลงทุนหรือไม่?อย่างไร? ผู้ที่สนใจที่จะติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านก็จะสามารถนำโครงการนี้เป็นเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงแนวโน้มต้นทุนด้านต่างๆ ในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านที่ปัจจัยต่างๆ
3. เพื่อศึกษาถึงศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย
4. เพื่อศึกษาความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยทำการวิเคราะห์ที่ปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ ระยะเวลาคุ้มทุน และอัตราผลตอบแทนของระบบ โดยแสดงการความคุ้มค่าของระบบด้วยตัวแปรสำคัญคือ ต้นทุนในการติดตั้งระบบ และพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ และทำการจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่สภาพอากาศต่างๆ และเมื่อทำการติดตั้งระบบที่แต่ละภูมิภาคในประเทศไทย

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ และการเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่าย รวมไปถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาถึงปัจจัยที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่า และรวบรวมข้อมูลราคาต้นทุนของการติดตั้งด้านต่างๆ ทั้งหมด
3. ศึกษาการใช้เครื่องจำลองเซลล์อาทิตย์ (PV Simulator) และโปรแกรม TerraSAS ที่ใช้สำหรับการทำงานเครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์
4. ใช้เครื่องจำลองเซลล์อาทิตย์ (PV Simulator) จำลองการผลิตไฟฟ้าที่สภาพอากาศรูปแบบต่างๆ เพื่อดูถึงประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
5. ศึกษาการใช้โปรแกรม PSIM และสร้างวงจรสำหรับจำลองระบบ เพื่อใช้ในการจำลองการติดตั้งระบบที่แต่ละภูมิภาคในประเทศไทย
6. คำนวณหาระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทนของการติดตั้งระบบ
7. สรุปผล และข้อเสนอแนะในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินการทำปริญญาานิพนธ์

การดำเนินการ	ระยะเวลา																																															
	ส.ค.				ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				เม.ย.				พ.ค.											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4												
1. ศึกษาหลักการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์และทฤษฎีต่างๆ	←————→				←————→																																											
2. ศึกษาการใช้โปรแกรม PSIM ในการจำลอง					←————→				←————→																																							
3. จำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโดย PSIM									←————→				←————→																																			
4. ศึกษาการใช้ PV Simulator และโปรแกรม TerraSAS													←————→				←————→																															
5. ใช้ PV Simulator เพื่อเก็บข้อมูลและบันทึกผล																	←————→				←————→																											
6. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จาก PSIM และ PV Simulator เพื่อหาจุดคุ้มทุน																					←————→				←————→																							
7. จัดทำรูปเล่มปริญญาานิพนธ์																																									←————→				←————→			



ระยะเวลาที่วางแผนไว้



ระยะเวลาที่ดำเนินงานจริง

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.6.1 ประโยชน์ในส่วนของผู้จำหน่ายไฟฟ้า

1. เป็นการช่วยเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าแบบกระจายไปในภูมิภาคต่างๆ ทำให้ลดการก่อสร้างโรงไฟฟ้า และระบบสายส่งไฟฟ้า
2. ช่วยลดการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล ทำให้ลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้า เพราะประชาชนสามารถผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียน มีไม่สิ้นสุด
3. ได้มีการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ทำให้ลดปัญหาภาวะโลกร้อน และแก้ปัญหาพลังงานให้กับประเทศไทย ซึ่งเป็นการสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้แก่ประเทศไทย

1.6.2 ประโยชน์ในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า

1. ช่วยให้ความรู้ และตัดสินใจแก่ผู้ที่สนใจลงทุนติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน
2. การลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเป็นการเพิ่มมูลค่าของบ้าน ที่สามารถช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าในอนาคต
3. สามารถขายไฟฟ้าให้กับกริดไฟฟ้าในราคาพิเศษ เป็นการสร้างรายได้พิเศษให้แก่บ้านของผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างคุ้มค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

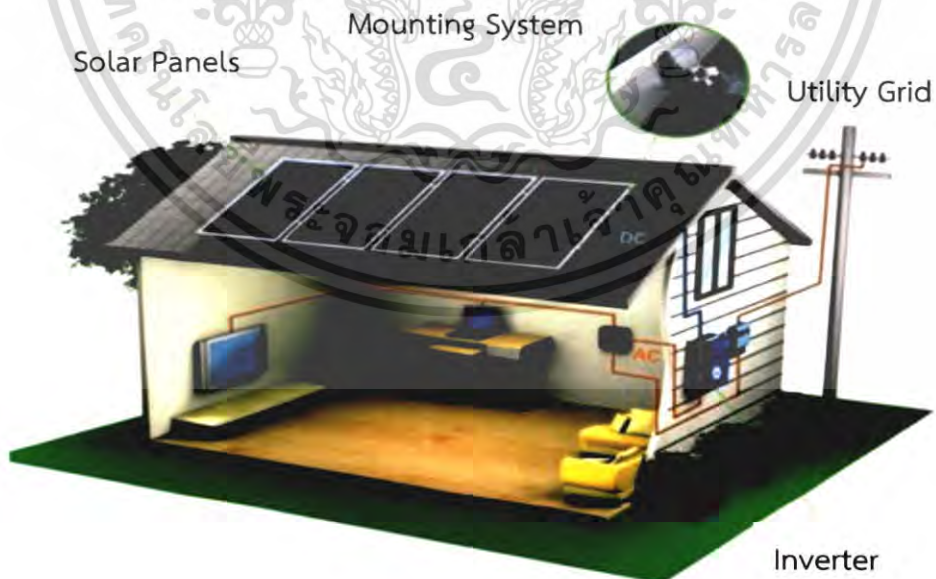
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะและประโยชน์ของพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)

พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) [37] เป็นพลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ของดวงอาทิตย์แล้วส่งกระจายพลังงานมายังโลกในรูปคลื่นรังสี (Solar Radiation) ซึ่งมีค่าพลังงานประมาณ 1,368 วัตต์ต่อตารางเมตรเมื่อเข้ามาสู่ชั้นบรรยากาศของโลกจะลดลงเหลือประมาณ 70 % หรือเหลือค่าพลังงานประมาณ 958-1,000 วัตต์ต่อตารางเมตรเท่านั้นพลังงานที่โลกได้รับจะอยู่ในรูปของความร้อนและแสงพลังงานที่ได้เป็นพลังงานปฐมภูมิซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานชนิดอื่นๆต่อไป ซึ่งปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในปัจจุบันมีการใช้งาน 2 รูปแบบใหญ่ๆ ได้แก่การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อน (Solar Thermal) และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสง (Solar Radiation)

2.2 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์หรือโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสง โดยระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.1 ได้แก่ แผงโซลาร์เซลล์ เครื่องควบคุมการชาร์จประจุ แบตเตอรี่ เครื่องปรับระบบไฟฟ้าและแบตเตอรี่เป็นอย่างน้อยซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ต้องมีการคำนวณค่าเพื่อให้พอเพียงต่ออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 ระบบการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Transmission System)

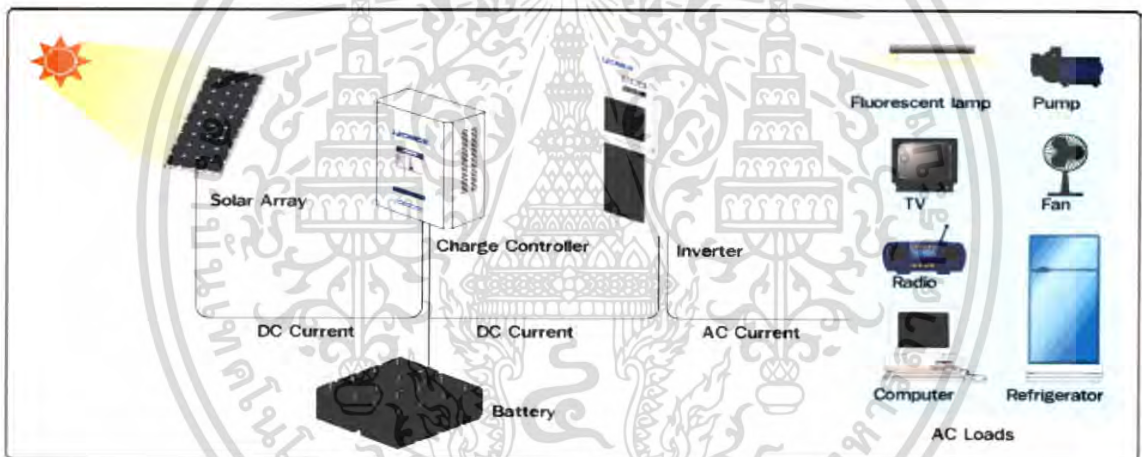
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 รูปแบบการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์

การติดตั้งเพื่อใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์นั้นต้องคำนึงถึงความเหมาะสม และจุดประสงค์ของผู้ที่ทำการติดตั้ง เพื่อให้ได้ซึ่งประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบดังนี้

2.3.1 ระบบติดตั้งแบบอิสระ (Stand-alone system)

ระบบติดตั้งแบบอิสระ (Stand-alone system) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้าเข้าถึง จ่ายพลังงานไฟฟ้าเฉพาะโหนดที่ต่ออยู่กับระบบเท่านั้น หลักการทำงานของระบบติดตั้งแบบอิสระแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืน โดยในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งได้รับแสงแดดจะสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหนดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อม ๆ กัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืน เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงแดดจึงไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้นพลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บประจุไว้ในช่วงกลางวันจะถูกจ่ายให้แก่โหนด ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตั้งแบบอิสระนี้จึงสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหนดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน

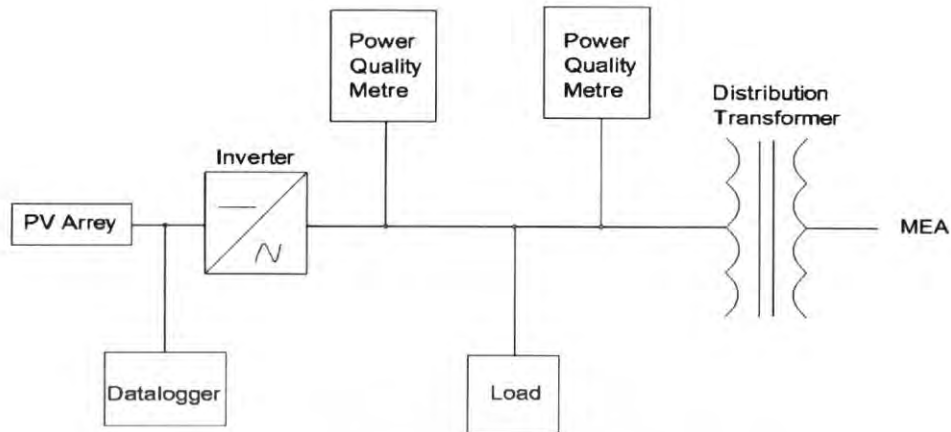


รูปที่ 2.2 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

2.3.2 ระบบติดตั้งแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย (Grid connected system)

[37]ระบบติดตั้งแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย (Grid connected system) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เป็นระบบที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน และการลงทุนไม่สูงมากเท่าแบบระบบติดตั้งอิสระ แต่ต้องติดตั้งในพื้นที่ที่มีระบบสายส่งไฟฟ้าอยู่แล้ว ระบบนี้จะไม่มีการเก็บพลังงานลงแบตเตอรี่ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายเข้าระบบจำหน่ายได้เลย ทำให้ช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในส่วนของการดูแลรักษาแบตเตอรี่ และเป็นการช่วยเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าให้กับประเทศได้ด้วย แต่มีข้อจำกัด คือหากระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลักขัดข้อง ระบบนี้ก็หยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าระบบด้วย เนื่องจากเป็นมาตรฐานความปลอดภัยป้องกันไม่ให้มีกระแสไหลในสายส่งขณะทำการซ่อมบำรุง

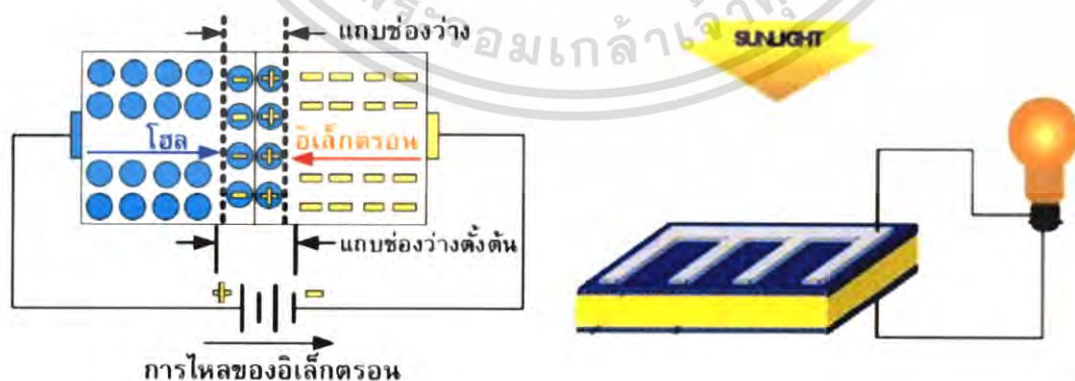
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

2.4 หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์[37] ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เริ่มจากแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ (เรียกว่าอิเล็กตรอน) และประจุบวก (เรียกว่าโฮล) ซึ่งอยู่ในภายในโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำโดยโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นนี้จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบและทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิด โฮล ไหลไปที่ขั้วบวก ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสองเมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า (เช่นหลอดไฟมอเตอร์ เป็นต้น) ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรงดังนั้นถ้าต้องการจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)



รูปที่ 2.4 ลักษณะและกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของ Solar Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกผลิตให้เป็นแผ่นเล็กๆก่อนแล้วจึงนำเซลล์มาต่อเชื่อมเป็นวงจรสำเร็จรูปที่เรียกว่าโมดูล (Module) หรือพาแนล (Panel) ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดค่ากำลังวัตต์ที่มีการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสามารถต่อเชื่อมออกไปใช้งานได้ทันทีแต่เมื่อหากต้องการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีกำลังวัตต์สูงๆก็สามารถทำได้โดยนำแผงโซลาเซลล์มาต่อเชื่อมกันเป็นวงจรขนาดใหญ่ (Array) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 การต่อเชื่อมกันนี้อาจจะต่อเป็นวงจรแบบขนานหรือแบบอนุกรมก็ได้



2.5 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

แผงโซล่าเซลล์แบ่งออกตามชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิตได้ 2 ชนิด คือกลุ่มที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน (Silicon) และ กลุ่มที่ทำจากสารประกอบ ที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทหลังนี้ จะเป็นโซล่าเซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25 % ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ส่วนมากใช้งานสำหรับดาวเทียม แต่ปัจจุบันมีการพัฒนา ทำให้แผงโซล่าเซลล์ที่ทำจากสารประกอบมีราคาถูกลง และมีแนวโน้มการมาใช้มากขึ้นในอนาคต

2.5.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว

โซล่าเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว (Mono Crystalline Silicon Solar Cell) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ก) เป็นโซล่าเซลล์ที่มีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงสูงถึง 15-20% เพราะมีส่วนผสมของซิลิกอนอยู่มากถึง 99.99% โดยปัจจุบันโซล่าเซลล์ชนิดโมโนซิลิกอน ได้มีการปรับปรุงและพัฒนา โดยมีการสะท้อนของแสงอาทิตย์ภายในเซลล์ลดลง เพื่อให้แสงตกกระทบลงบนชั้น n ได้มากที่สุด ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถึง 25% นิยมใช้งานในพื้นที่เฉพาะได้แก่ในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นหลัก

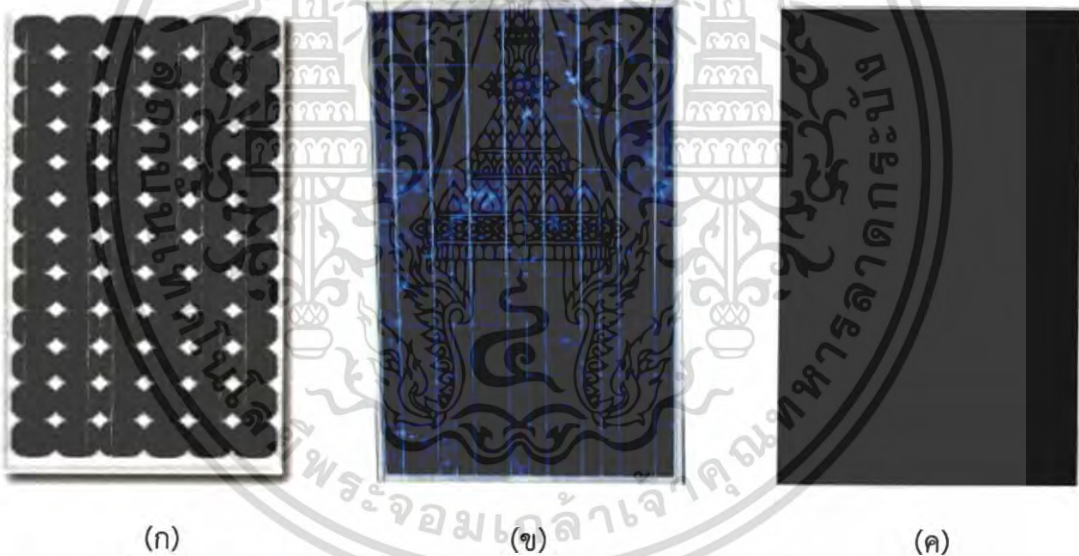
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก

โซลาร์เซลล์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ข) จะมีความบริสุทธิ์ของซิลิกอนน้อยกว่าชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว เพราะโซลาร์เซลล์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกจะมีการผสมแร่ธาตุอื่นๆ เจือปนเข้าไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพต่ำกว่า แต่จะมีราคาที่ถูกกว่าแบบซิลิกอนผลึกเดี่ยวอยู่ประมาณร้อยละ 10 โดยประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกจะอยู่ที่ประมาณ 13-16%

2.5.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง)

โซลาร์เซลล์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (Amorphous Silicon Solar Cell) แบบฟิล์มบาง (Thin film) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ค) เป็นโซลาร์เซลล์ที่ทำจากธาตุซิลิกอนชนิดไม่เป็นผลึก ซึ่งผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิกอน ซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา และสามารถดัดแปลงรูปร่างได้ง่ายแต่มีประสิทธิภาพเพียง 5-10% จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

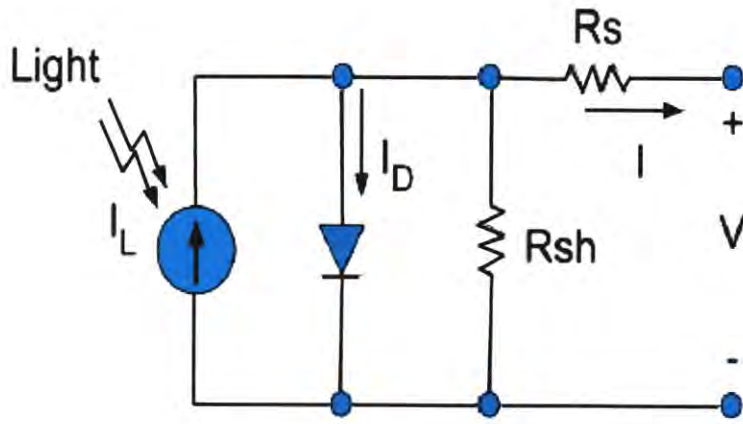


รูปที่ 2.6 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว (ก) ซิลิกอนหลายผลึก (ข) และซิลิกอนไร้รูปร่าง-ฟิล์มบาง (ค)

2.6 ลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

กระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (Photo current) เกิดจากแสงสว่างไปทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สร้างประจุพาหะอิสระให้ไหลผ่านโหลดที่ต่ออยู่เป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มแสงที่ตกกระทบรอยต่อ PN Junction ซึ่งจะเขียนแทนด้วยไดโอด (แหล่งกำเนิดแสง) และแหล่งจ่ายกระแสโดยวงจรสมมูลแสดงดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

ในสมการที่ (2.1) แสดงถึงคุณลักษณะของกระแสและแรงดันที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันเอ็กโปเนนเชียล (exponential equation)

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \frac{q(V+IR_s)}{N \cdot K \cdot T} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \tag{2.1}$$

- เมื่อ
- I_{ph} = กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแสง ; A
 - I_s = กระแสไปกลับของไดโอด ; A
 - q = ประจุอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} C
 - N = Ideal factor
 - K = ค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ $1.3806504 \times 10^{-23}$ J/Kevin
 - T = อุณหภูมิที่รอยต่อของเซลล์ ; Kevin
 - V = แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด ; V
 - R_s = ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์ ; Ω
 - R_{sh} = ค่าความต้านทานขนานของเซลล์ ; Ω

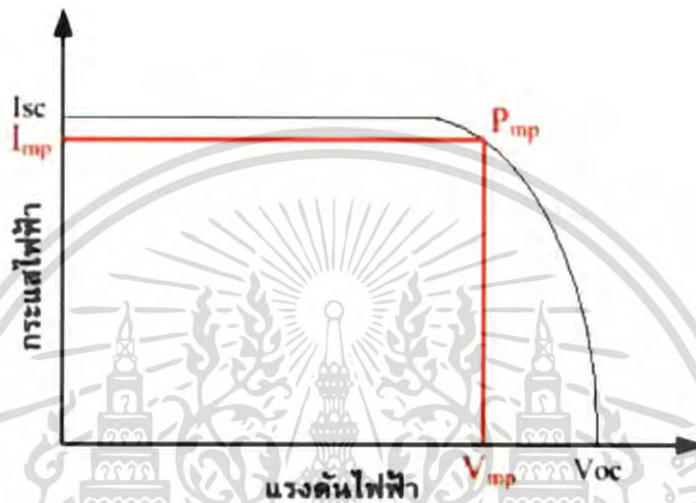
ตารางที่ 2.1 ค่าปัจจัยในอุดมคติ (Ideal factor) เปรียบเทียบตามชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

Technology	N	Technology	N
Si-mono	1.2	a-Si:H triple	5
Si-poly	1.3	CdTe	1.5
a-Si:H	1.8	CIS	1.5
a-Si:H tandem	3.3	AsGa	1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น โดยแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิแผงเซลล์ และความเข้มรังสีอาทิตย์ รูปที่ 2.8 แสดงกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเทียบกับโหลดที่แปรค่า ตั้งแต่สภาวะลัดวงจร (short circuit) ถึงสภาวะเปิดวงจร (open circuit) เมื่อนำค่ากระแสคูณแรงดันก็จะได้กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด เรียกว่า กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด (Power at maximum point : P_{mp})



รูปที่ 2.8 กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)

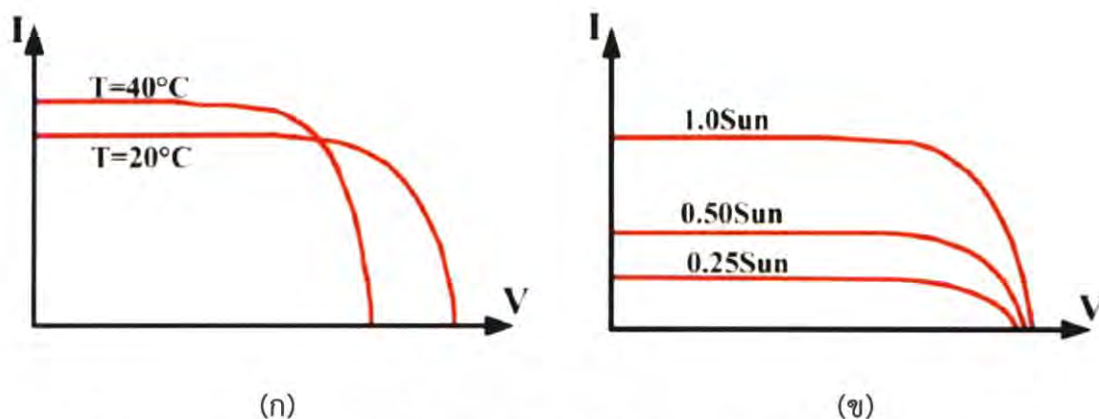
โดยพารามิเตอร์ที่บอกถึงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย กระแสลัดวงจร (I_{sc}) แรงดันเปิดวงจร (V_{oc}) และฟิลต์แฟกเตอร์ (FF) โดยค่าฟิลต์แฟกเตอร์นี้จะเป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะมีค่าไม่เกิน 1 ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.2) ดังนี้

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2.2)$$

2.7.1 ผลกระทบของอุณหภูมิ และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.9 แสดงกราฟ I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะอุณหภูมิ และความเข้มรังสีอาทิตย์แตกต่างกันไป โดยพบว่ากรณีที่ความเข้มรังสีอาทิตย์คงที่ แต่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น (n) มีผลให้แรงดันลดลง และกระแสลัดวงจรมีค่าสูงขึ้นและกรณีที่อุณหภูมิคงที่ แต่ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงขึ้น (x) มีผลให้กระแสลัดวงจรเพิ่มขึ้น และแรงดันเพิ่มสูงขึ้นด้วยเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 กราฟกระแสและแรงดัน (I-V Curve) ที่อุณหภูมิ และความเข้มแสงค่าต่างๆ

2.7.2 ค่าอุณหภูมิสะสมบนพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (NOCT)

ในสภาวะการทำงานจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นต้องอยู่กลางแจ้งตลอดทั้งวัน ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิที่หน้าแผงเซลล์นั้นมีค่าสูงมาก ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้านั้นลดลง ดังนั้นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ [38] ค่าอุณหภูมิสะสมบนพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Nominal Operating Cell Temperature) เป็นค่าที่แตกต่างกันไปตามแต่ละวัสดุที่ใช้ในการทำแผงเซลล์ ซึ่งวัดได้จากการทดสอบสภาพรับแสงกลางแจ้ง (outdoor testing) โดยแผงเซลล์ที่ติดตั้งไม่ควรมียุณหภูมิสะสมบนพื้นผิวแผงเซลล์ที่สูงจนเกินไป หรือควรมีค่าอุณหภูมิสะสมบนพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (NOCT) ที่ต่ำ การคำนวณหาอุณหภูมิที่พื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3) ดังนี้

$$T_{cell} = T_{Air} + \frac{NOCT - 20}{800} S \quad (2.3)$$

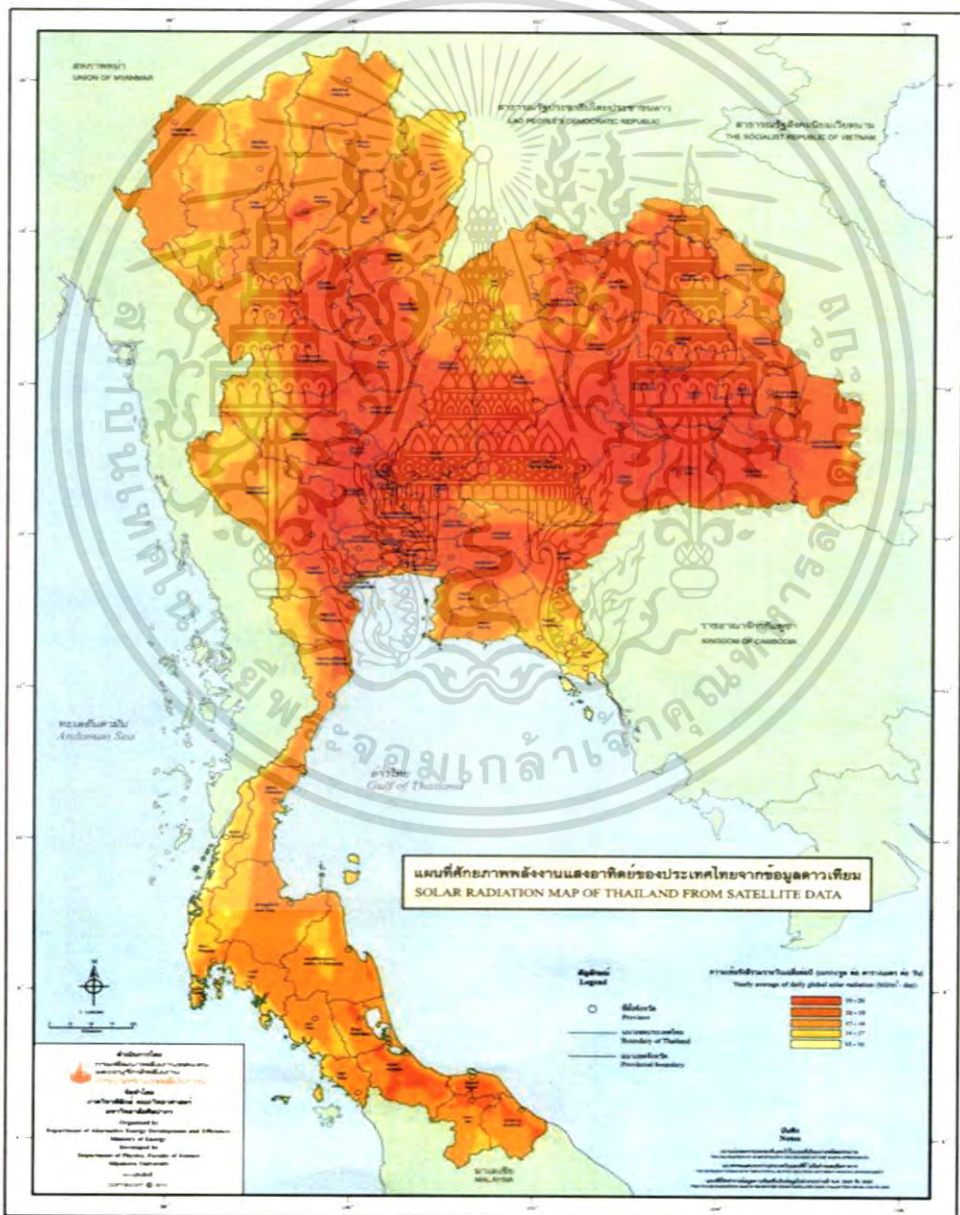
เมื่อ	T_{cell}	=	อุณหภูมิที่พื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($^{\circ}C$)
	T_{Air}	=	อุณหภูมิอากาศโดยรอบ ($^{\circ}C$)
	NOCT	=	ค่าอุณหภูมิสะสมบนพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($^{\circ}C$)
	S	=	ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2)

2.8 ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

[39] ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะแปรผันตรงกับความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งรังสีแสงอาทิตย์นั้นประกอบไปด้วยสเปกตรัมช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.3 ถึง 3 ไมโครเมตร โดยเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดก็จะมี การตอบสนองต่อสเปกตรัมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบ และเลือกตำแหน่งในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้สามารถกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด

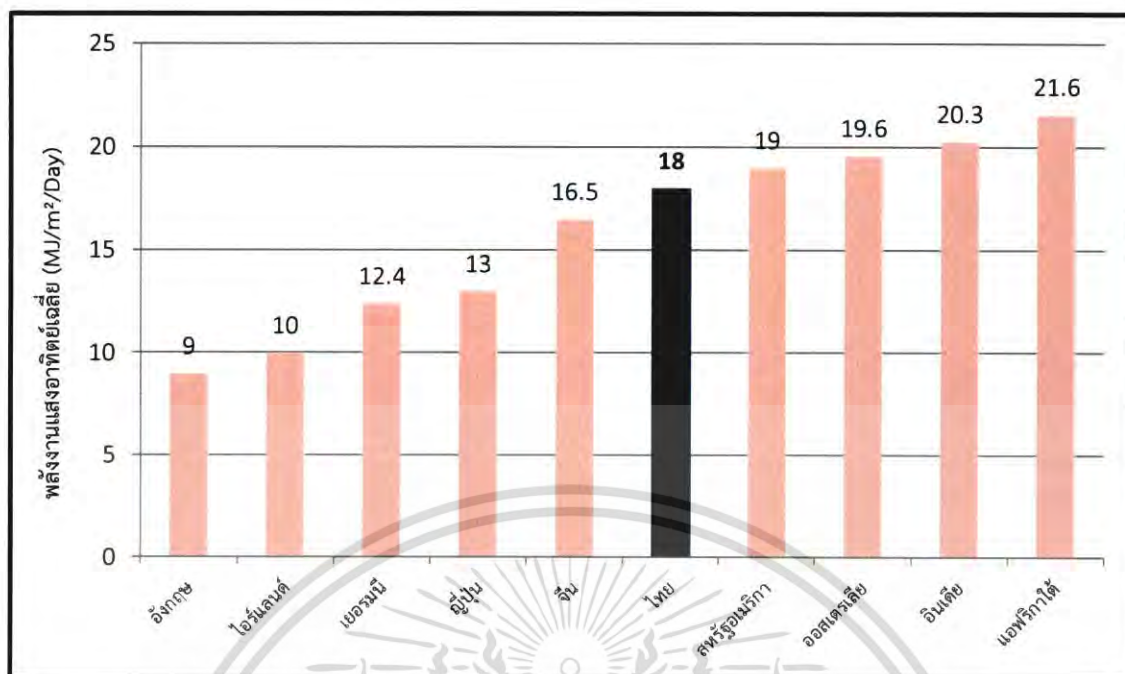
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเก็บข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 – 2552 ของกรมพลังงานทดแทน บริเวณที่รับรังสีเฉลี่ยสูงสุดตลอดทั้งปีนั้นอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยได้รับรังสีเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ในช่วง 4.97 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อ ตารางเมตร-วัน ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งประเทศ สำหรับประเทศไทยนั้นจะได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งส่งผลต่อการกระจายความเข้มแสงรังสีอาทิตย์ของบริเวณต่างๆ ในไทย โดยพบว่าประเทศไทยจะได้รับรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดในช่วงระหว่างเดือนมีนาคม ถึงเมษายนโดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.05 ถึง 6.15 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อ ตารางเมตร-วัน และมีรังสีอาทิตย์รวมรายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศไทยมีค่า 4.92 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อ ตารางเมตร-วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงดังแสดงตามรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย จัดทำในปี พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน ต่อปี) วัตถุประสงค์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แผนภูมิเปรียบเทียบพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย (MJ/m²/Day) แต่ละประเทศปี พ.ศ. 2553

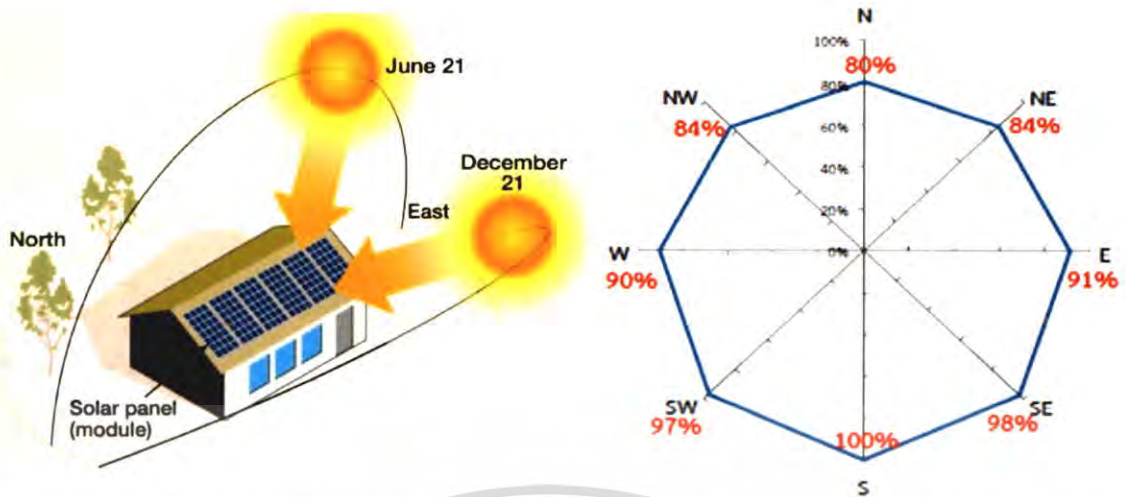
จากรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นถึงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศต่างๆ ซึ่งประเทศไทยนั้นได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งประเทศสูงถึง 18 MJ/m²/Day หรือประมาณ 5 kWh/m²/Day จัดอยู่ในระดับที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมที่จะผลิตไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้

2.9 ทิศทางและตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์นั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อได้รับรังสีแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่นั่นคือ แผงเซลล์ควรวางในทิศทางที่ตั้งฉากกับรังสีแสงอาทิตย์ ดังนั้นก่อนทำการติดตั้งแผงพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านต้องมีการพิจารณาถึงทิศทาง และมุมในการติดตั้ง

ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะทำการติดตั้งให้แผงเซลล์หันหน้าไปทางเส้นศูนย์สูตร ซึ่งประเทศไทยนั้นอยู่ทางซีกโลกเหนือทำให้จึงควรติดตั้งให้แผงเซลล์หันหน้าไปทางทิศใต้ เป็นผลเนื่องมาจากลักษณะการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในหนึ่งวัน หรือเส้นสุริยวิถีนั้นจะมีเป็นลักษณะในแนวเอียงไปทางทิศใต้ในเวลากลางวันและทำมุมกับเส้นศูนย์สูตรเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งปี ดังแสดงตามรูปที่ 2.12 ทำให้ทิศใต้เป็นทิศที่ได้รับรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดและประเทศไทยนั้นอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรเล็กน้อยทำให้ได้รับปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมต่อการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

มุมเอียงในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นส่งผลต่อการรับแสงของแผงเซลล์ ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งตามทฤษฎีแล้ว เราควรวางแผงเซลล์ให้เอียงตามองศาละติจูดของพื้นที่ที่ทำการติดตั้ง เพื่อให้แผงเซลล์สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ดีที่สุด



รูปที่ 2.12 เส้นสุริยะวิถีดวงอาทิตย์ และประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่หันตามทิศทางต่างๆ

2.10 ระยะเวลาผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อวัน (Peak Sun Hour)

Peak Sun Hour (PSH) คือระยะเวลาเฉลี่ยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดต่อวัน โดยจะนิยามให้ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดคือ 1000 W/m^2 สามารถคำนวณค่า PSH ได้โดยการนำผลรวมของปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้รับทุกชั่วโมงตลอดวันมาหารด้วย 1000 W/m^2 ดังสมการที่ (2.4)

$$PSH = \frac{\text{Total Wh/m}^2/\text{day}}{1000 \text{ w/m}^2} \tag{2.4}$$

ซึ่งสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ต่อวัน โดยการนำขนาดกำลังไฟฟ้ารวมของระบบคูณด้วยค่า PSH ดังสมการที่ (2.5)

$$\text{Unit} = P_{\text{cell}} * PSH \tag{2.5}$$

- โดยที่ Unit = กำลังไฟฟ้าที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อวัน (kWh)
- P_{cell} = ขนาดกำลังไฟฟ้ารวมของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง (kW)
- PSH = ระยะเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดต่อวัน (hr)

ค่า PSH ที่คำนวณได้นี้จะมีค่าที่แตกต่างกันไปตามแต่ละพื้นที่หรือภูมิภาคนั้นๆ เนื่องจากปัจจัยทางด้านภูมิประเทศและภูมิอากาศซึ่งค่า PSH เป็นค่าสำคัญที่จำเป็นต้องมีการพิจารณาก่อนทำการติดตั้ง เพราะปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ส่งผลต่อระยะเวลาในการคืนทุนที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 ระยะเวลาในการคืนทุน (Payback Period)

สิ่งสำคัญในการลงทุนติดตั้งระบบที่เราจำเป็นต้องพิจารณาคือระยะเวลาในการคืนทุน ซึ่งหากระบบมีระยะเวลาคืนทุนที่รวดเร็ว จะทำให้ได้กำไรในปริมาณที่มากขึ้นตามอายุการใช้งานสูงสุดของระบบ ซึ่งเราสามารถคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุนของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านได้ดังสมการที่ (2.6) คือ นำต้นทุนในการติดตั้งทั้งหมดไปหารกำไรที่ได้จากการขายไฟฟ้าคืนสู่การไฟฟ้าต่อปี ซึ่งมาจากการนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยทั้งปี (หน่วย/ปี) ที่ได้มาจากการคำนวณด้วยค่า PSH และนำไปคูณกับอัตราการรับซื้อไฟของภาครัฐจากระบบ (บาท/หน่วย)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ต้นทุนในการติดตั้งระบบ}}{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้} \times \text{อัตราการรับซื้อไฟฟ้า}} \quad (2.6)$$

2.12 อัตราผลตอบแทน (Return on Investment)

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านจะต้องเสียต้นทุนการติดตั้งเป็นราคาที่สูงและจะเริ่มได้กำไรหลังจากผ่านจุดคุ้มทุนมาแล้ว แต่ว่าอัตราผลตอบแทนนี้บ่งบอกถึงผลรวมรายได้ตลอดอายุการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านทั้งหมด โดยไม่ได้หักลบต้นทุนการติดตั้ง ซึ่งอัตราผลตอบแทนเป็นร้อยละของต้นทุนการติดตั้ง โดยคำนวณได้จากสมการที่ (2.7)

$$\text{อัตราผลตอบแทน} = \frac{\text{ผลรวมรายได้ตลอดอายุการใช้งาน}}{\text{ต้นทุนการติดตั้ง}} \times 100 \quad (2.7)$$

2.13 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)

[37] เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่มาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V สำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในบ้านโดยทั่วไป เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะออกแบบวงจรภายในโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังแปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับโดยมีสัญญาณความถี่ไฟฟ้า 50 Hz โดยใช้ระบบการสวิตชิง (Switching) ที่เรียกว่า PWM (Pulse width modulation) ในการใช้งานต้องมีค่ากำลังงานที่สูงกว่ากำลังวัตต์ที่จ่ายโหลด 15-20 % ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพประมาณ 80-85 % ซึ่งเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่นำมาใช้งานกับเซลล์แสงอาทิตย์มี 2 แบบคือ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบอิสระ (Stand-alone Inverter) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย (Grid tie Inverter)

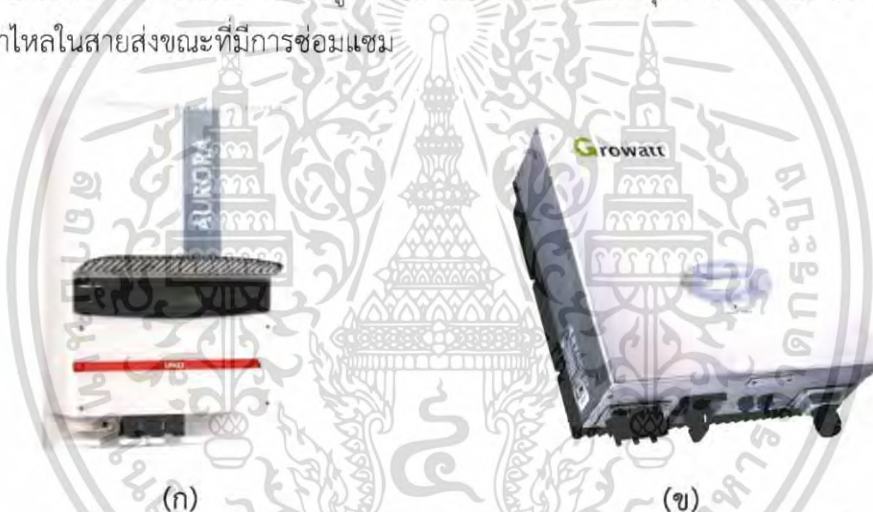
2.13.1 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบอิสระ (Stand-alone Inverter)

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบอิสระ (Stand-alone Inverter) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ก) คือเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับระบบติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ที่มีจ่ายพลังงานให้กับโหลดภายในอาคาร หรือบ้านเรือนเพียงหลังเดียวซึ่งมีปริมาณโหลดไม่มาก โดยปกติแล้วจะใช้งานในรูป เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเฟสเดียว ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ แบบฮาล์ฟบริดจ์ (Half-Bridge) และแบบฟูลบริดจ์ (Full-Bridge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.2 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อบระบบจำหน่าย (Grid tie Inverter)

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อบระบบจำหน่าย (Grid tie Inverter) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ข) เป็นเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่สามารถต่อเชื่อมจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับระบบจำหน่ายได้โดยตรงผ่านตัวรับลักษณะการทำงานของอินเวอร์เตอร์ระบบนี้จะเหมือนกับอินเวอร์เตอร์โดยปกติทั่วไปแต่จะต้องมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากการไฟฟ้าป้อนให้กับอินเวอร์เตอร์อีกทางหนึ่งด้วย ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกใช้ไปกับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้าน ถ้าใช้ไฟฟ้ามมากกว่าที่ผลิตได้อินเวอร์เตอร์ก็จะดึงไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเข้ามาจ่ายให้เพิ่มเติม แต่ถ้าแผงโซลาร์เซลล์ผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าที่ใช้ภายในบ้าน ไฟฟ้าก็จะถูกขายให้การไฟฟ้าต่อไป สามารถใช้ได้กับไฟฟ้าที่มีแรงดัน 220 โวลต์ โดยจะทำการจะตรวจสอบ ความถี่และเฟสของไฟฟ้าระบบจำหน่าย จากนั้นจะปรับรูปคลื่นของไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่มีลูกคลื่นสัญญาณต่อเนื่อง (Pure sine wave) และปรับรูปแบบความถี่และเฟสของคลื่นให้ตรงกับไฟฟ้าของระบบจำหน่ายเพื่อเชื่อมต่อบระบบเข้าด้วยกัน แต่เมื่อไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายถูกตัดไป อินเวอร์เตอร์จะหยุดทำงานด้วยทันที เพื่อป้องกันไม่ให้มีไฟฟ้าไหลในสายส่งขณะที่มีการซ่อมแซม



รูปที่ 2.13 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบอิสระ (ก) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อบระบบจำหน่าย (ข)

2.14 คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality)

2.14.1 ความหมายและความสำคัญของคุณภาพกำลังไฟฟ้า

นิยามความหมายของคุณภาพกำลังไฟฟ้า ตามที่มาตรฐานสากล IEC และ IEEE ได้กล่าวไว้คือ คุณลักษณะกระแส แรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหาย

คุณภาพของกำลังไฟฟ้าเป็นสิ่งบ่งชี้ที่สำคัญถึงความน่าเชื่อถือ และเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า ซึ่งโหลดที่ต่ออยู่ภายในระบบทั้งหมดนั้นมีการเชื่อมต่อถึงกัน หากเกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่ใดก็จะส่งผลกระทบต่อโหลดทั้งหมดที่ต่ออยู่ด้วยดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อบระบบเอกรจำหน่ายนั้น ต้องมีการควบคุมคุณภาพไฟฟ้าที่ได้ก่อนทำการเชื่อมต่อตามมาตรฐานของการไฟฟ้าด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.2 สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า

สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้านั้นมีอยู่มากมาย ทั้งจากธรรมชาติ เช่น พายุ ไฟฟ้าสถิต ซึ่งเป็นผลให้เกิดสภาวะความผิดปกติ (fault) ทางไฟฟ้าในระบบสายส่งและระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า และสาเหตุจากสิ่งมนุษย์กระทำ เช่น การตัดต่อหรือลดทอนระดับแรงดันโดยอุปกรณ์สวิตซ์ การใช้งานอุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นในระบบอุตสาหกรรม การต่อลงดินที่ไม่ถูกต้อง

ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นระบบที่มีราคาค่อนข้างสูง และมีความไวต่อคุณภาพไฟฟ้า หากคุณภาพไฟฟ้าของระบบไม่ดีจะทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ได้ ดังนั้นจึงมีการติดตั้งอุปกรณ์ตัดต่อและป้องกันต่างๆ เช่น รีเลย์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์

2.15 ปัญหาด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า

2.15.1 ไฟกระชาก (Voltage surge or impulse)

เป็นสภาวะที่ระดับกระแสหรือแรงดันนั้นสูงขึ้นอย่างทันทีทันใด มีค่าเวลาไต่ขึ้น (Rise time) และตกลง (Fall time) เร็วมาก โดยปกติมีสาเหตุมาจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น พายุ หรือ อาจเกิดจากการปลดวงจรของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า

2.15.2 แรงดันไฟตกชั่วคราว (Voltage dip or sag)

เป็นสภาวะที่ระดับค่าแรงดัน rms มีขนาดลดลงระหว่าง 0.1-0.9 p.u. ในช่วงเวลาไม่เกิน 1 นาที อาจเกิดจากการปลดหรือต่อโหลดขนาดใหญ่ในระบบ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในกระแสของโหลด แรงดันไฟฟ้าจึงเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อเกิดแรงดันไฟตกชั่วคราว อาจทำให้เครื่องจักรที่อยู่ในระบบหยุดทำงานหรือทำงานผิดปกติได้

2.15.3 ฮาร์โมนิก (Harmonic)

สัญญาณส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency) โดยผลของฮาร์โมนิกเมื่อรวมกันกับสัญญาณความถี่หลักมูลด้วยทางขนาด (Amplitude) และมุมเฟส (Phase Angle) ทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นมีขนาดเปลี่ยนไปและมีรูปสัญญาณผิดเพี้ยน (Distortion) ไปจากสัญญาณคลื่นไซน์เป็นผลทำให้อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดและอาจเกิดความเสียหายได้ ซึ่งแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์มาจากการใช้อุปกรณ์ประเภทที่ไม่เป็นเชิงเส้น เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

2.16 มาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์ (Standards of Solar cell)

ปัจจุบันหน่วยงานสากล [40] คือ International Electro Committee (IEC) ได้ออกมาตรฐานเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น เพื่อใช้สำหรับทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า และใช้ประเมินผลทางด้านความปลอดภัยของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.) ได้นำมาตรฐาน IEC นี้มาปรับเป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมของไทย (มอก.) อีกด้วย

โดยตามข้อกำหนดตามมาตรฐาน IEC นี้แบ่งการทดสอบชนิดแผงเป็น 2 ประเภท คือ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน (มีเลขมาตรฐานเป็น IEC 61515 หรือ มอก.1843) และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (มีเลขมาตรฐานเป็น IEC 61646 หรือ มอก.221) โดยมาตรฐานทั้งสองแบบนี้ได้กำหนดวิธีการทดสอบ (testing method) และเกณฑ์การตัดสินผลการทดสอบที่สำคัญสำหรับใช้ประเมินประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ด้านความปลอดภัย และอายุในการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีหัวข้อทดสอบดังนี้คือ การทดสอบเกี่ยวกับสภาพแวดล้อม (environment testing) การทดสอบประสิทธิภาพของแผงเซลล์ (performance testing) การทดสอบสภาพรับแสงกลางแจ้ง (outdoor testing) และการทดสอบวัสดุของ Hot-spot Endurance

2.17 มาตรฐานการเชื่อมต่อไฟฟ้าขนาดเล็ก (Nano-grid Connection Standards)

ในการติดตั้งเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) สำหรับเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายนั้นจำเป็นต้องเป็นไปตามมาตรฐาน และปฏิบัติตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) [41]

2.17.1 ข้อกำหนดสำหรับอินเวอร์เตอร์ประเภทเชื่อมต่อโครงข่าย

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้โซลาเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) จะต้องมีความสมบัติเป็นไปตาม “ข้อกำหนดสำหรับอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าประเภทเชื่อมต่อกับโครงข่าย”

2.17.1.1 การควบคุมคุณภาพไฟฟ้า

- ฮาร์มอนิก

เมื่ออินเวอร์เตอร์จ่ายไฟให้โหลดเชิงเส้นที่สมดุล (Balanced Linear Load) อินเวอร์เตอร์จะต้องไม่สร้างกระแสฮาร์มอนิกจ่ายเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินขีดจำกัดดังต่อไปนี้ (แสดงค่าเป็นร้อยละเทียบกับกระแสพิคก์ของอินเวอร์เตอร์)

ตารางที่ 2.2 ขีดจำกัดของฮาร์มอนิกที่ยอมรับได้ในลำดับต่างๆ

อันดับคี่	ขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิก (%)	อันดับคู่	ขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิก (%)
3 - 9	4.0	2 - 10	1.0
11 - 15	2.0	12 - 16	0.5
17 - 21	1.5	18 - 22	0.375
23 - 33	0.6	24 - 34	0.15
> 35	0.3	> 36	0.075
ความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (THD) 5.0 %			

- **แรงดันกระเพื่อม**

อินเวอร์เตอร์จะต้องไม่ก่อให้เกิดแรงดันกระเพื่อมเกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-3 (2008) สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่มีกระแสพิคกิ้งไม่เกิน 16 A หรือมาตรฐาน IEC 61000-3-5 (2009) สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่มีกระแสพิคกิ้งเกินกว่า 16 A หรือมาตรฐาน IEC 61000-3-11 (2000) สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่มีกระแสพิคกิ้งไม่เกิน 75 A

- **การจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง**

อินเวอร์เตอร์จะต้องไม่สร้างไฟฟ้ากระแสตรง (DC Injection) จ่ายเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินกว่า 0.5 % ของกระแสพิคกิ้งของอินเวอร์เตอร์

2.17.1.2 การตอบสนองต่อระบบไฟฟ้า

- **ช่วงแรงดันทำงาน**

อินเวอร์เตอร์จะต้องปลดตวงจรรอบจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าหากขนาดของแรงดันระหว่างสายกับสาย (Line to Line) หรือ แรงดันระหว่างสายกับนิวทรัล (Line to Neutral) ในระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีค่าออกนอกช่วง 346 - 416 V และ 200 - 240 V ตามลำดับในระยะเวลาดังนี้

ตารางที่ 2.3 เวลาในการปลดตวงจรของช่วงระดับแรงดันต่างๆ

ช่วงแรงดัน (โวลต์)		เวลาในการปลดตวงจรสูงสุด (วินาที)
Line to Line	Line to Neutral	
V < 199	V < 115	0.1
199 < V < 346	115 < V < 200	2.0
346 < V < 416	200 < V < 240	ทำงานต่อเนื่อง (ไม่ปลดตวงจร)
416 < V < 539	240 < V < 311	2.0
V > 539	V > 311	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่วงความถี่ทำงาน

อินเวอร์เตอร์จะต้องปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายในเวลาไม่เกิน 0.1 วินาทีหากความถี่ของระบบโครงข่ายไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วง 49 - 51 Hz

- การป้องกันสภาวะไอส์แลนดิง

ในกรณีที่เกิดสภาวะไอส์แลนดิง คือระบบจำหน่ายไม่มีแรงดันไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์จะต้องตรวจพบและปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายในเวลาไม่เกิน 2 วินาที

อย่างไรก็ตามเนื่องจากการไฟฟ้านครหลวงมีการติดตั้งระบบสับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยอัตโนมัติเมื่อระบบจ่ายไฟฟ้าขัดข้องเพื่อลดระยะเวลาการเกิดไฟฟ้าดับและผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า โดยขณะที่ระบบข้างต้นทำงานผู้ใช้ไฟฟ้าจะประสบเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นเวลาประมาณ 0.3 วินาที นั่นคืออินเวอร์เตอร์จะประสบกับสภาวะไอส์แลนดิงเป็นเวลา 0.3 วินาทีเช่นกัน

หลังจากผ่านไป 0.3 วินาทีเมื่อระบบการไฟฟ้าจ่ายแรงดันกลับคืนมาหากอินเวอร์เตอร์ไม่ปลดวงจรออกไปภายในช่วงเวลาดังกล่าวอาจเกิดปัญหาหลุดการซิงโครไนซ์ (Out of Synchronization) คือแรงดันที่จ่ายจากอินเวอร์เตอร์มีมุมเฟสแตกต่างจากแรงดันที่จ่ายจากระบบการไฟฟ้าซึ่งอาจส่งผลให้เกิดแรงดันกระชากสร้างความเสียหายกับอินเวอร์เตอร์และอุปกรณ์อื่นๆในระบบไฟฟ้าได้ผู้เชื่อมต่อต้องเป็นผู้รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้น

- การเชื่อมต่อหลังไฟฟ้ากลับคืน

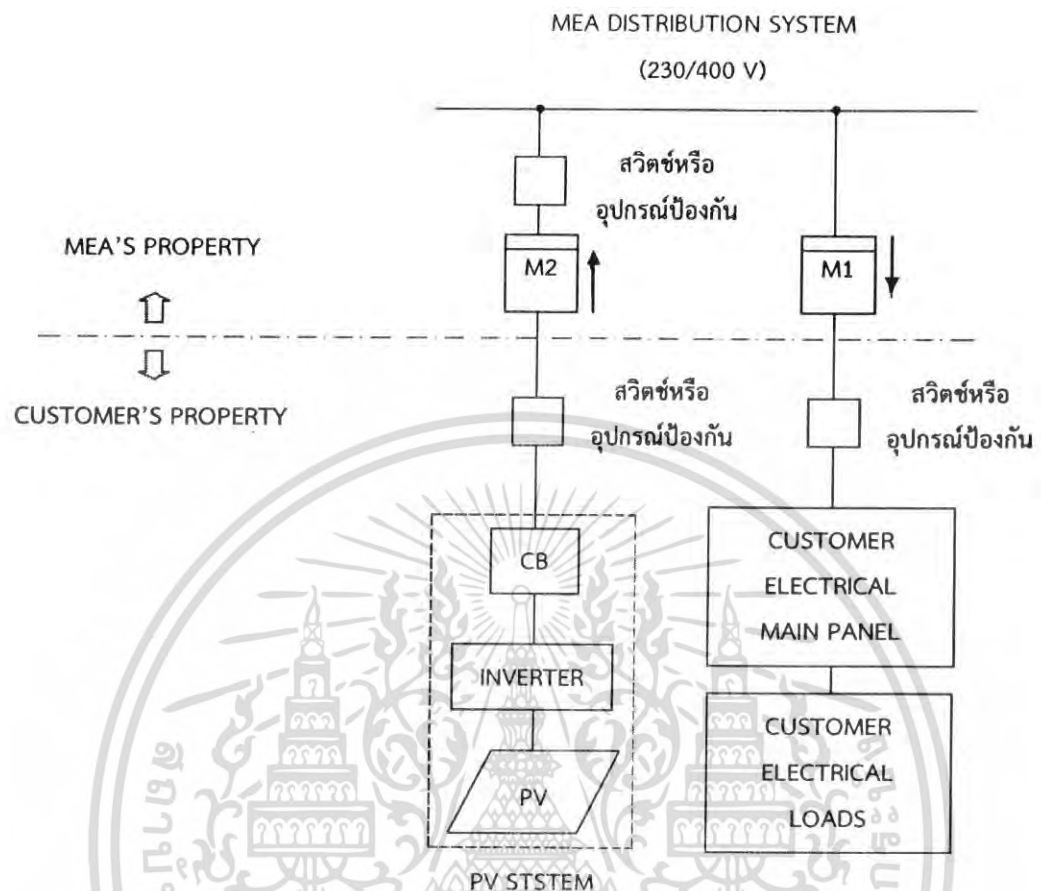
ภายหลังจากที่อินเวอร์เตอร์ปลดวงจรเนื่องจากเกิดไฟฟ้าดับหรือแรงดันความถี่ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดและเมื่อระบบโครงข่ายไฟฟ้ากลับเข้าสู่สภาวะปกติแล้วอินเวอร์เตอร์จะต้องหน่วงเวลาการเชื่อมต่อกลับเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นเวลาอย่างน้อย 2 นาที

2.17.2 ข้อกำหนดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

ขนาดกำลังผลิตติดตั้งของโซลาเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ต้องเป็นไปตาม “ข้อกำหนดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา” ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะติดตั้งเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ (230/400 V)

2.17.3 รูปแบบการติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้า

[41] มาตรฐานรูปแบบการเชื่อมต่อรวมทั้งการติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่การไฟฟ้านครหลวงกำหนดเพื่อความปลอดภัยความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้าซึ่งผู้ผลิตไฟฟ้าโซลาเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา Solar PV Rooftop จะต้องยอมรับและปฏิบัติตาม ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การติดตั้งและเชื่อมต่อระบบโซลาเซลล์ขนาดย่อยกับระบบโครงข่ายการไฟฟ้านครหลวง
(PV system connected to MEA distribution system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบ

3.1 บทนำ

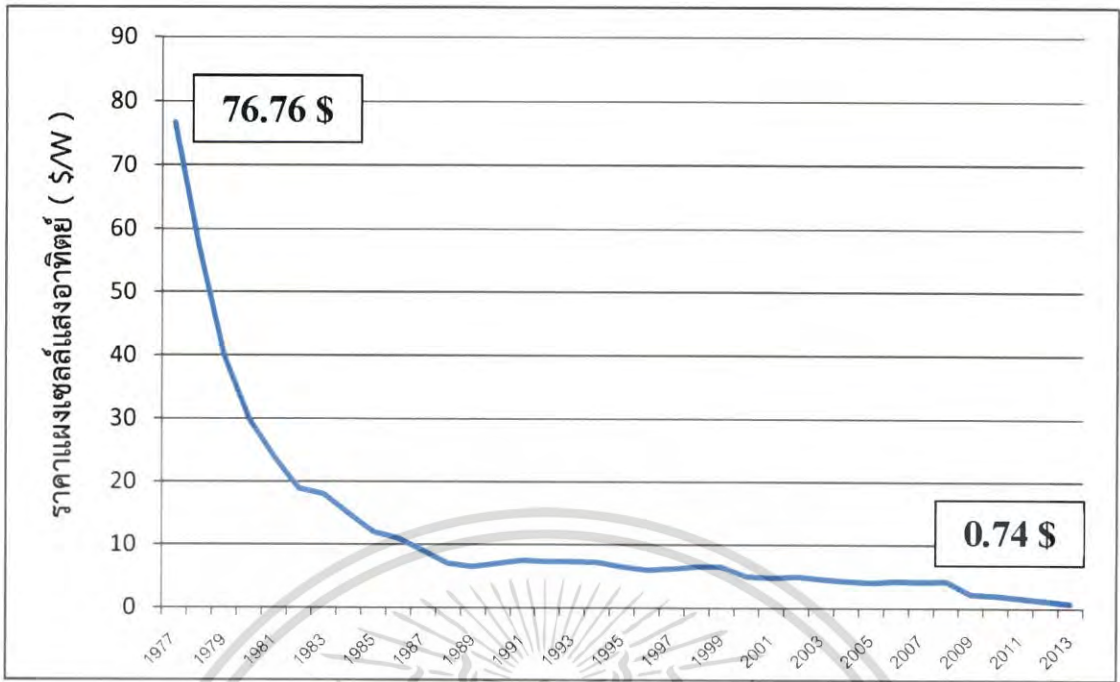
ในบทนี้กล่าวถึงความคุ้มค่าในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน โดยความคุ้มค่านี้นี้จะพิจารณาปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทน ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยหลักนี้จะเกี่ยวข้องกับ ต้นทุนการติดตั้ง และรายได้จากการผลิตไฟฟ้าโดยตรง นอกจากนี้ในบทนี้ยังวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนการติดตั้งระบบ และปัจจัยที่ส่งผลต่อรายได้จากการผลิตไฟฟ้าเพื่อทราบถึงภาพรวมของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านว่ามีการใช้งบประมาณในด้านใดบ้าง และได้ผลตอบแทนมาจากอะไรบ้าง

3.2 ต้นทุนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน

ต้นทุนการติดตั้งเป็นสิ่งสำคัญสิ่งแรกสำหรับผู้สนใจที่จะติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านจะให้การพิจารณาและตัดสินใจได้ทันที โดยต้นทุนการติดตั้งจะประกอบไปด้วย ราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ราคาอุปกรณ์โครงสร้าง ราคาเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ราคาอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่น สายไฟ อุปกรณ์ตัดต่อ (Circuit Breaker) เป็นต้น รวมไปถึงราคาค่าบริการติดตั้งและอื่นๆ

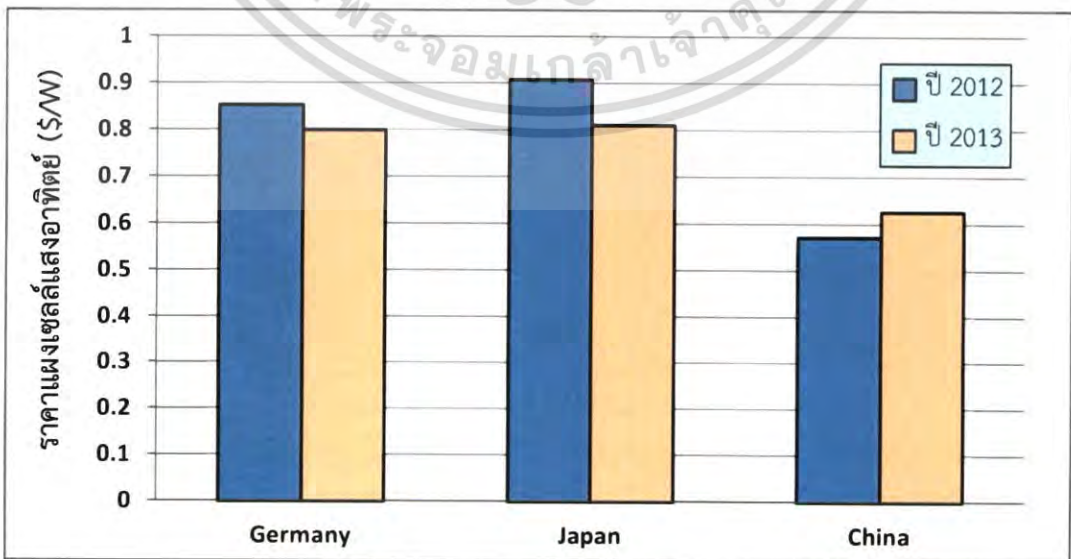
3.2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่มีต้นทุนในการผลิตที่สูง เนื่องจากมีการใช้ธาตุซิลิกอนมาผลิตซึ่งมีราคาสูง ในอดีตแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีราคาต้นทุนในการผลิตสูงถึง 76.76 \$/W โดยใช้สำหรับงานเฉพาะทางเท่านั้น เช่น เป็นแหล่งพลังงานให้กับดาวเทียม แต่จากการค้นคว้าพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิต ปริมาณการผลิตที่มีแนวโน้มสูงขึ้น และมีการแข่งขันกันด้านราคาของผู้ผลิตหลากหลายแห่ง ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันนั้นมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและมีราคาต้นทุนในการผลิตแผงเซลล์ลดต่ำลงเรื่อยมา ทำให้ราคาเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2013 เหลือเพียง 0.74 \$/W ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ราคาเฉลี่ยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (\$/W) ตามราคาตลาดโลกตั้งแต่ปี ค.ศ.1977-2013

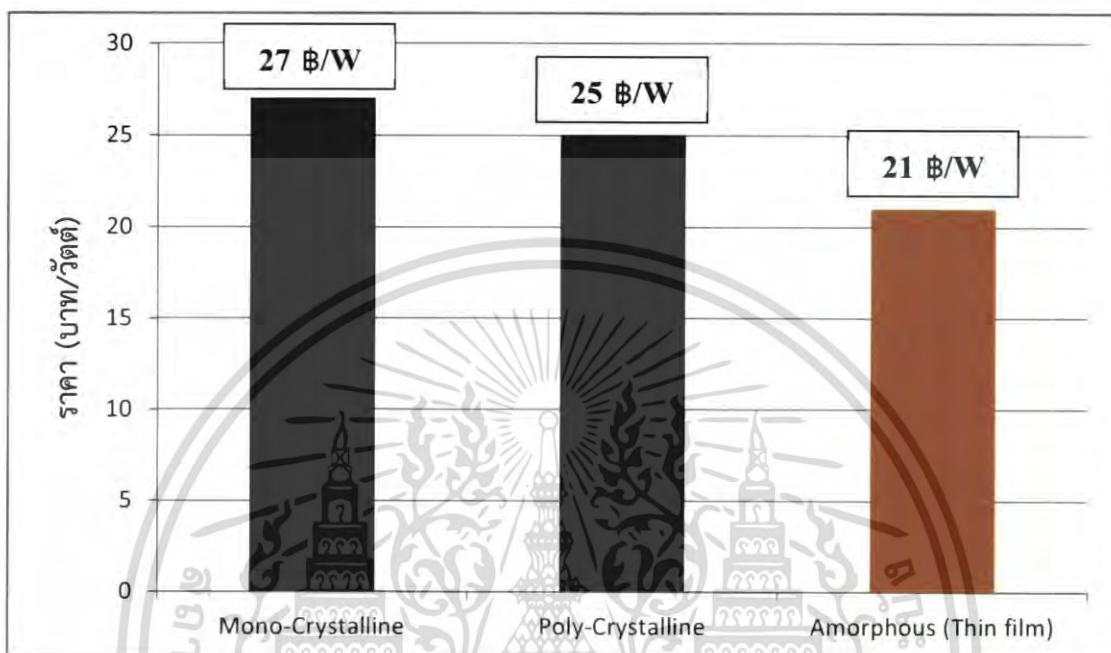
กลุ่มประเทศรายใหญ่ที่เป็นผู้ผลิตและส่งออกแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นได้แก่ เยอรมัน ญี่ปุ่น และจีน ดังรูปที่ 3.2 [42] แสดงเปรียบเทียบราคาเฉลี่ยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (\$/W) ที่ผลิตจากประเทศทั้ง 3 โดยมีราคาที่แตกต่างกันเล็กน้อยตามลักษณะและคุณภาพของวัสดุที่ใช้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยนั้นไม่มีบริษัทที่ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์และจำหน่ายในประเทศ จึงได้นำเข้าแผงเซลล์และอุปกรณ์ประกอบระบบจาก 3 ประเทศหลักข้างต้น ทำให้ราคาระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีราคาสูงกว่าราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถึงประมาณ 2 เท่า



รูปที่ 3.2 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบราคาเฉลี่ยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (\$/W) ทั้ง 3 ประเทศผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เช่าได้เข้ามาใช้ระบบเชิงพาณิชย์ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ มีราคาแพงที่แตกต่างกันไป ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวมีราคาแพงอยู่ที่ 27 บาท/วัตต์ ชนิดซิลิกอนหลายผลึกมีราคาอยู่ที่ 25 บาท/วัตต์ และสุดท้ายชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) มีราคาอยู่ที่ 21 บาท/วัตต์ [43],[44] ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ราคาเฉลี่ยของแผงเซลล์แต่ละชนิดในปัจจุบัน

3.2.2 พื้นที่หลังคาที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

อีกปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน ก็คือพื้นที่ของหลังคาบ้าน เมื่อหลังคาบ้านมีพื้นที่เยอะก็จะสามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้เยอะขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อสามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้เยอะขึ้นก็จะส่งผลให้ต้นทุนการติดตั้งเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย ซึ่งขนาดพื้นที่หลังคาบ้านนี้ก็จะเป็นตัวกำหนดขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ จึงทำให้มีผลกับราคาต้นทุนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์ประกอบระบบด้วย เพราะฉะนั้นขนาดพื้นที่หลังคาบ้านจึงเป็นปัจจัยสำคัญของราคาต้นทุนการติดตั้งระบบ

3.2.3 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์หลักที่ต้องติดตั้งในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน เพราะว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จึงต้องทำการติดตั้งเครื่องกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยโครงการชั้นนี้ศึกษาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าจึงต้องใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (On Grid Inverter) ซึ่งราคาของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะอยู่ที่ประมาณ 10.8 บาท/วัตต์[45] จะเห็นได้ว่าราคาของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้านั้นมีราคาขึ้นอยู่กับขนาดของระบบที่ติดตั้ง ทั้งนี้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญของระบบ เพราะว่าภายในไม่ได้มีแค่วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ยังมีวงจรดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุด วงจรเพิ่มระดับแรงดัน เป็นต้น

3.2.4 อุปกรณ์ประกอบระบบ

อุปกรณ์ประกอบระบบในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านนั้นจะประกอบไปด้วย อุปกรณ์จับยึดแผงเซลล์ (PV Solar Mounting) อุปกรณ์ตัดต่อระบบ (Circuit Breaker) และสุดท้ายสายไฟและท่อร้อยสายไฟ โดยอุปกรณ์ประกอบระบบเหล่านี้จะมีราคาที่น้อยเมื่อเทียบกับราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าอย่างชัดเจน

3.2.4.1 อุปกรณ์จับยึดแผงเซลล์ (PV Solar Mounting)

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านนั้นจะใช้อุปกรณ์จับยึดแบบหลังคาจั่ว (Pitched Roof) จึงมีติดตั้งแบบเรียบขนานไปกับตัวหลังคาบ้าน โดยราคาจะอยู่ที่ประมาณ 2 บาท/วัตต์[46] ซึ่งจะเห็นได้ว่าราคาน้อยกว่าราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และราคาของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าอย่างมาก แต่ราคาของอุปกรณ์จับยึดนี้ก็ขึ้นอยู่กับขนาดของระบบติดตั้งด้วย

3.2.4.2 อุปกรณ์ตัดต่อ (Circuit Breaker)

ระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านที่ทำการศึกษา มีขนาดระบบที่ใหญ่ที่สุดที่ 10 กิโลวัตต์ เพราะฉะนั้นกระแสสูงสุดของระบบจึงอยู่ที่ 45 แอมป์ (A) ตัวอุปกรณ์ตัดต่อที่ใหญ่ที่สุดจึงควรอยู่ที่ 60 แอมป์ (AT) ซึ่งตัวอุปกรณ์ตัดต่อเฟสเดียวขนาด 60 แอมป์ นั้นจะมีราคาอยู่ที่ประมาณ 600 บาท[47] หรือประมาณ 0.06 บาท/วัตต์ (คิดกรณีที่ราคาแพงที่สุดที่ใช้ในการติดตั้ง)

3.2.4.3 สายไฟและท่อร้อยสายไฟ

ในระบบขนาดใหญ่ที่สุดในการติดตั้งคือ 10 กิโลวัตต์ และต้องการสายไฟฟ้าที่ทนต่อกระแสไฟฟ้าประมาณ 60 แอมป์ ซึ่งก็คือสายไฟขนาด 16 ตารางมิลลิเมตร (sq.mm.) เมื่อเทียบราคาจากบริษัทไทยยาซากิ[48] ซึ่งมีราคาเมตรละ 77 บาท เมื่อคิดซื้อ 10 เมตรจะทำให้ราคาอยู่ที่ 0.077 บาท/วัตต์ ในส่วนของท่อร้อยสายไฟใช้เป็นรางเก็บสายไฟแบบโปรงก็ได้ เพราะสายไฟนี้เดินผ่านในบ้านและยังระบายความร้อนได้ดีอีกด้วย แต่ส่วนใหญ่แล้วจะใช้เป็นรางเก็บสายไฟและท่อแอร์สีขาว (Air Duct) เมื่อคิดกำลังผลิตสูงสุดจึงควรใช้ขนาด 50x50 ตารางมิลลิเมตร ยาว 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแพคละ 20 ชิ้น ซึ่งราคาอยู่ที่ 348 บาท หรือก็คือ 0.0348 บาท/วัตต์ เมื่อรวมกับสายไฟแล้วจึงมีราคาอยู่ที่ 0.11 บาท/วัตต์ (คิดกรณีที่ราคาแพงที่สุดที่ใช้ในการติดตั้ง)

3.2.5 ค่าบริการติดตั้ง

ค่าบริการติดตั้งจะขึ้นอยู่กับตัวบริษัทที่ขายโครงการติดตั้ง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับว่าบริษัทนั้นๆ จะมีทีมงานติดตั้งเป็นของตัวเองหรือว่าบริษัทนั้นๆ จ้างทีมงานติดตั้งจากที่อื่น โดยส่วนใหญ่ถ้าบริษัทมีทีมงานเป็นของตัวเองราคาค่าบริการติดตั้งจะถูกกว่าเพราะไม่ต้องจ้าง และในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านนั้นจะใช้เวลาไม่นานเกิน 1 วัน ดังนั้นจึงไม่คิดค่าแรงเป็นรายวันแต่จะคิดค่าแรงเป็นเงินก้อนแบบเหมาจ่ายในราคาเดียวซึ่งราคาจะอยู่ที่ประมาณ 20.75 บาท/วัตต์[49]

3.2.6 ค่าห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Cost)

ค่าห่วงโซ่อุปทาน คือ ค่าการดำเนินงานในกระบวนการต่างๆ ทั้งในด้านสินค้าและบริการ ตั้งแต่ผู้ผลิตจนถึงมือลูกค้าลำดับสุดท้าย เช่น ด้านข้อมูลข่าวสาร การขนส่ง หรือภาษีต่างๆ ซึ่งผู้ลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้นจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงจากค่าดังกล่าว เพราะอุปกรณ์ส่วนใหญ่ในระบบนั้นต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศนั่นเอง ซึ่งมีราคาประมาณ 12 บาท/วัตต์ จะเห็นได้ว่าเป็นราคาที่แพงมากสำหรับผู้ลงทุนประเทศไทยต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ[50]

3.3 รายได้จากการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

รายได้จากการผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วย ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ ความเข้มของแสงอาทิตย์ ระยะเวลาผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Sun Hour: PSH) และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเมื่อปัจจัยเหล่านี้เหมาะสมจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามาก ก็จะส่งผลให้ได้กำไรจากการขายพลังงานไฟฟ้าสู่การไฟฟ้าด้วยอัตราค่ารับซื้อไฟฟ้าคงที่ (Feed-in Tariff) มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะเห็นว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลกับความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการศึกษามีด้วยกันทั้งสิ้น 3 ชนิด ได้แก่ ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว ชนิดซิลิกอนหลายผลึก และชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) ซึ่งทั้งชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันไปในแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของเฉพาะของแต่ละชนิด โดยที่ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวและชนิดหลายผลึกถูกผลิตออกมาให้มีขนาดของแผงเท่ากัน เมื่อขนาดของแผงทั้ง 2 ชนิดเท่ากันก็ส่งผลให้คุณสมบัติต่างๆ เหมือนกันไปด้วย ในส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) จะไม่มีขนาดของแผงที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกับอีก 2 ชนิด มีขนาดแผงเซลล์ที่ใหญ่กว่าในขณะที่กำลังผลิตน้อยกว่า ซึ่งมีประสิทธิภาพต่อแผงต่ำที่สุด

ในโครงการชั้นนี้จะศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิดคือ

- 1.) ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว ยี่ห้อ Schutten Solar model: STM6-300/72 300W
- 2.) ชนิดซิลิกอนหลายผลึก ยี่ห้อ Schutten Solar model: STP6-300/72 300W
- 3.) ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง ยี่ห้อ Sharp Solar model: NS-F135G5 135W

โครงการชั้นนี้เลือกเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวและชนิดซิลิกอนหลายผลึกขนาด 300 วัตต์ ของยี่ห้อ Schutten Solar เพราะว่ายี่ห้อนี้ได้รับความนิยมในการติดตั้งในประเทศไทยมาก และมีตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทยอีกด้วย แต่ที่ต้องเลือกเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) เป็นยี่ห้อ Sharp Solar เพราะว่ายี่ห้อ Schutten Solar ไม่มีจำหน่ายเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ และนอกจากนี้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) ยังไม่มีขนาดที่กำลังผลิตที่ใกล้เคียงกับอีก 2 ชนิด และส่วนใหญ่ยังมีแค่กำลังผลิตต่อแผงน้อยอีกด้วย

ตารางที่ 3.1 ลักษณะและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์	ขนาดแผง (m^2)	แรงดันเปิดวงจร (Voc : V)	กระแสลัดวงจร (Isc : A)	แรงดัน กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Vmp : V)	กระแส กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Imp : A)	ฟิลต์แฟกเตอร์ (FF : %)
ซิลิกอนผลึกเดี่ยว (300 W)	1.956 x 0.992	44.92	8.81	36.24	8.28	0.758
ซิลิกอนหลายผลึก (300 W)	1.956 x 0.992	44.50	8.92	35.90	8.35	0.755
ซิลิกอนไร้รูปร่าง (135 W)	1.001 x 1.402	61.30	3.41	47.00	2.88	0.647

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.1 จะแสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด เพื่อที่จะให้ทราบว่าเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดมีลักษณะเป็นอย่างไร โดยบอกค่าแรงดันเปิดวงจร กระแสลัดวงจร กระแสและแรงดันที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย

ตารางที่ 3.2 การคำนวณและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด

แผงเซลล์ แสงอาทิตย์	พื้นที่แผงเซลล์ (m^2)	กำลังผลิต / ตารางเมตร (W/m^2)	ประสิทธิภาพ (%)
ซิลิกอนผลึกเดี่ยว (300 W)	$1.96 * 0.99 = 1.94$	$\frac{300}{1.94} = 154.64$	$\frac{154.64}{1000} * 100 = 15.46$
ซิลิกอนหลายผลึก (300 W)	$1.96 * 0.99 = 1.94$	$\frac{300}{1.94} = 154.64$	$\frac{154.64}{1000} * 100 = 15.46$
ซิลิกอนไร้รูปร่าง (135 W)	$1.00 * 1.40 = 1.400$	$\frac{135}{1.40} = 96.428$	$\frac{96.428}{1000} * 100 = 9.643$

จากตารางที่ 3.2 เป็นการคำนวณประสิทธิภาพต่อพื้นที่ โดยจะมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่เท่ากันดังนี้ คือ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมีความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบ $1000 W/m^2$ และพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) นั้นมีประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าอยู่เพียง $96.43 W/m^2$ ซึ่งน้อยกว่าแผงเซลล์อาทิตย์แบบชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว และชนิดหลายผลึกอยู่มาก

3.3.2 ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้า ดังนั้นปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเข้มแสงอาทิตย์และระยะเวลาผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อวัน และอุณหภูมิของแผงเซลล์ ซึ่งแสดงการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน โดยใช้เครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Simulator) ดังภาคผนวก ค

3.3.2.1 ความเข้มแสงอาทิตย์และระยะเวลาผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อวัน (PSH)

ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์เปรียบเสมือนเชื้อเพลิงหลักที่ป้อนให้เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมา ยิ่งมีความเข้มแสงอาทิตย์มากก็จะต้องทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมามาก และเมื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมามากก็จะต้องสร้างรายได้จากการขายไฟฟ้าให้มากขึ้น เป็นผลทำให้ระยะเวลาคุ้มทุนสั้นลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในด้านของระยะเวลาผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อวัน (PSH) คือช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำไปใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าได้ ซึ่งในแต่ละพื้นที่จะมีระยะเวลาที่แตกต่างกันไป สถานที่ใดที่มีระยะเวลาผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อวันนานๆ ก็เท่ากับว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง ณ ที่นั้นจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาได้มากยิ่งขึ้น จะเห็นได้ว่าทั้งความเข้มแสงอาทิตย์และระยะเวลาผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นมีผลกับประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และยังส่งผลต่อเนื่องไปถึงรายได้ที่จะได้รับการผลิตไฟฟ้าอีกด้วย

3.3.2.2 อุณหภูมิบนแผงเซลล์

เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงอาทิตย์จะไม่ได้รับเพียงแค่ความเข้มแสงอาทิตย์ แต่จะได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วย เมื่ออุณหภูมิโดยรอบเพิ่มสูงขึ้นแผงเซลล์ก็จะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นตาม และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงจากสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (Temperature Coefficient of Power Maximum) ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเปลี่ยนแปลงของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์	Temp. Coefficient of V_{oc} (% / °C)	Temp. Coefficient of I_{sc} (% / °C)	Temp. Coefficient of P_{max} (% / °C)	Nominal Operating Cell Temperature (°C)
ซิลิกอนผลึกเดี่ยว	-0.32	0.04	-0.44	45.3
ซิลิกอนหลายผลึก	-0.32	0.04	-0.47	45
ซิลิกอนไร้รูปร่าง	-0.30	0.07	-0.24	44

3.3.3 อัตราเสื่อมสภาพของระบบและค่าความสูญเสียจากปัจจัยต่างๆ

โดยทั่วไปแล้วแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีอายุการใช้งานอยู่ที่ 25 – 30 ปี ซึ่งมีมาตรฐานรองรับประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ในปีที่ 10 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 90% และในปีที่ 25 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 80% ดังนั้นในแต่ละปีประสิทธิภาพจะลดลงประมาณ 0.8% และในส่วนของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้านั้นจะมีอายุการใช้งานอยู่ที่ 5 - 7 ปี ตามแต่ประสิทธิภาพของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงกระแสไฟฟ้าอื่นๆ ซึ่งน้อยกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นอาจต้องมีการเปลี่ยนเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าทุกๆ 5 ปี ทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม และนอกจากนี้อาจมีค่าบำรุงรักษาระบบอีกเล็กน้อย

3.3.4 นโยบายของรัฐบาล

ภาครัฐพยายามผลักดันให้คนในประเทศเกิดความสนใจและริเริ่มติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ประเทศไทยเริ่มมีนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 และมีแผนในการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกเรื่อยมา ปัจจุบันนั้นได้เริ่มมีการรณรงค์ และสนับสนุนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์อย่างจริงจัง โดยได้มีการนำนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบอัตราค่ารับซื้อไฟฟ้าคงที่ (Feed-in Tariff) มาใช้แทนรูปแบบเก่า (Adder) ทำให้เกิดความน่าสนใจในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านแก่ประชาชนทั่วไปมากขึ้น

อัตราค่ารับซื้อไฟฟ้าคงที่ (Feed-in Tariff: FiT)[51] คือ มาตรการส่งเสริมการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่ง เพื่อจูงใจให้ผู้ประกอบการเอกชนเข้ามาลงทุนในธุรกิจโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน (เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนมีต้นทุนค่อนข้างสูง) ซึ่งอัตราค่ารับซื้อไฟฟ้าคงที่ จะอยู่ในรูปแบบ อัตราค่ารับซื้อไฟฟ้าคงที่ตลอดอายุโครงการ โดยอัตราค่ารับซื้อไฟฟ้าคงที่คำนวณจากต้นทุนจริง คือ การคิดคำนวณผลตอบแทนที่มีการคำนวณต้นทุนด้านต่างๆ เช่น แนวโน้มเทคโนโลยี ค่าวัสดุ ค่าที่ดิน ค่าก่อสร้าง และอัตราค่ารับซื้อไฟฟ้าคงที่ จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าไฟฟ้าฐานและค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าลอยตัว (Ft) ทำให้มีราคาที่ชัดเจนและเกิดความเป็นธรรม โดยอัตราค่ารับซื้อไฟของภาครัฐจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 อัตราค่ารับซื้อไฟของภาครัฐจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน

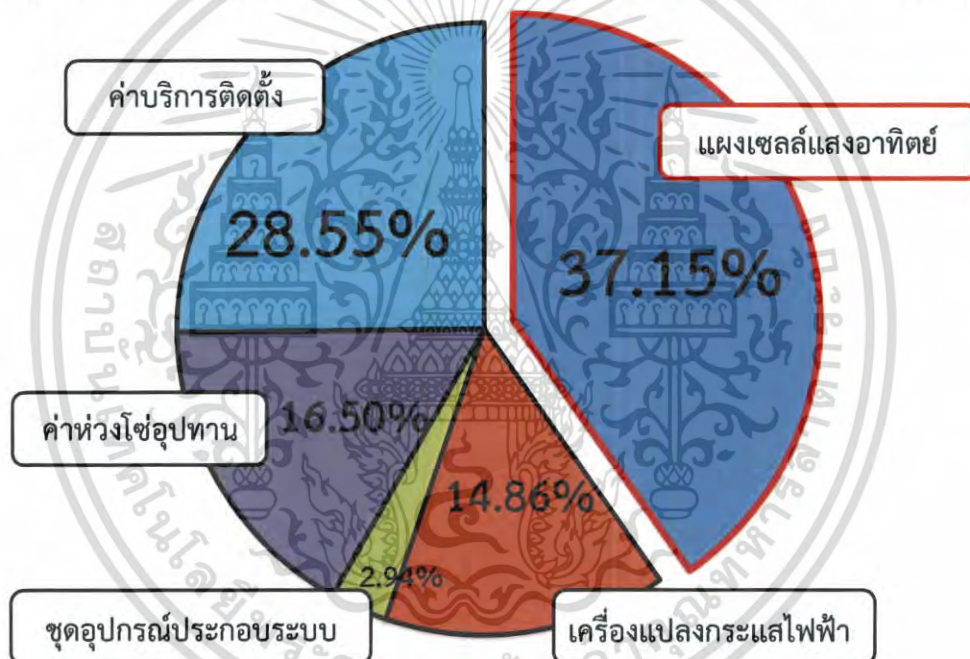
ประเภทอาคาร	ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง	อัตรา FiT (บาท/หน่วย)	ระยะเวลาในการ สนับสนุน (ปี)
บ้านพักอาศัย	< 10 kW	6.85	25
อาคารธุรกิจขนาดเล็ก	10-250 kW	6.40	25
อาคารธุรกิจขนาด กลาง-ใหญ่/โรงงาน	250-1000 kW	6.01	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สรุป

ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านมีปัจจัยหลักๆ ที่มีผลต่อความคุ้มค่าในการติดตั้งคือ ต้นทุนในการติดตั้งระบบ และรายได้จากการผลิตไฟฟ้า ซึ่งระยะเวลาคืนทุนจะช้าหรือเร็วก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักทั้ง 2 ประการนี้ทั้งสิ้น

ต้นทุนในการติดตั้งระบบจะประกอบไปด้วย ราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวอยู่ที่ 27 บาท/วัตต์ ชนิดซิลิกอนหลายผลึกอยู่ที่ 25 บาท/วัตต์ และชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) อยู่ที่ 21 บาท/วัตต์ ราคาเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 10.8 บาท/วัตต์ ราคาอุปกรณ์ประกอบระบบอยู่ที่ 2.17 บาท/วัตต์ ราคาค่าบริการติดตั้งอยู่ที่ 20.75 บาท/วัตต์ ค่าห้วงโซ่อุปทานอยู่ที่ 12 บาท/วัตต์ ซึ่งจากราคาของอุปกรณ์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาถึง 37.15% ของราคารวมของระบบทั้งหมด รองลงมาคือค่าบริการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์คิดเป็น 28.55% ค่าห้วงโซ่อุปทานคิดเป็น 16.50% ค่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าคิดเป็น 14.86% และค่าอุปกรณ์ประกอบระบบคิดเป็น 2.94% ตามลำดับ

และในบทถัดไปจะนำปัจจัยที่มีผลต่อรายได้จากการผลิตไฟฟ้ามาจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน โดยใช้โปรแกรม PSIM เพื่อนำผลผลิตที่ได้ไปวิเคราะห์ความคุ้มค่าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

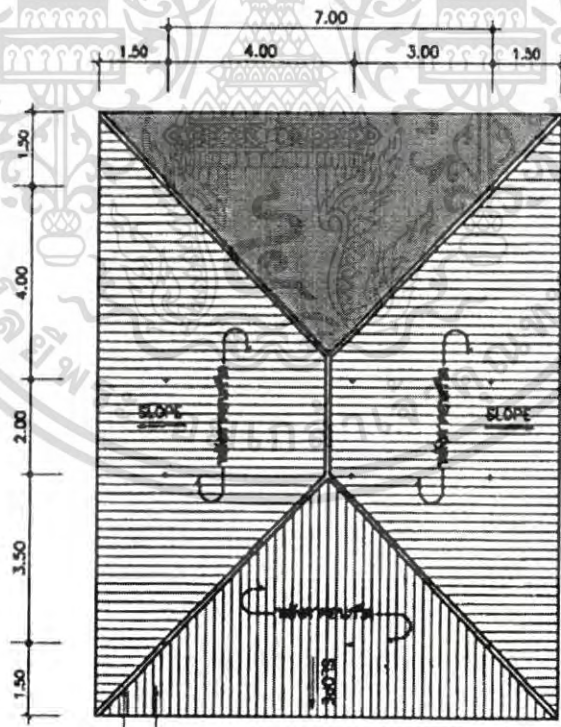
บทที่ 4

การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านแบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

การจำลองครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม PSIM 9.0.3 ในการจำลอง เพื่อให้ได้เห็นภาพรวมของวงจรและระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย โดยได้เลือกหลังคาบ้านสำหรับจำลองติดตั้งระบบ และเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิดดังที่ได้กล่าวในบทที่ผ่านมา โดยทำการจำลองติดตั้งตามภูมิภาคในประเทศไทยทั้ง 6 คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ฝั่งตะวันตก และภาคใต้ฝั่งตะวันออก ซึ่งมีอุณหภูมิและความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันไป

4.1 แบบจำลองหลังคาบ้านสำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

พื้นที่หลังคาบ้านจัดเป็นปัจจัยสำคัญหนึ่ง เพราะส่งผลต่อจำนวนแผงเซลล์ที่ติดตั้งได้สูงสุด ซึ่งในการจำลองติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านครั้งนี้นั้น ได้ทำการเลือกแบบแปลนหลังคาบ้านครอบครัวไทยเป็นสุขมาใช้ โดยขนาดพื้นที่หลังคาบ้านแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แบบแปลนหลังคาบ้านครอบครัวไทยเป็นสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาในด้านทิศใต้คือ พื้นที่หลังคาส่วนที่แรงา เนื่องจากต้องการลดผลจากปัจจัยด้านการติดตั้งแผงเซลล์ตามทิศทางต่างๆ จึงเลือกติดตั้งที่ด้านทิศใต้ที่มีประสิทธิภาพในการรับแสงอาทิตย์ดีที่สุด โดยจากการคำนวณพื้นที่หลังคาส่วนดังกล่าวเท่ากับ $0.5 \times 10 \times 6.714 = 33.57$ ตารางเมตร ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าพื้นที่ที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์ได้จริงนั้นจะมีได้สูงสุดไม่เกิน 85% ของพื้นที่ทั้งหมด [49] ดังนั้นพื้นที่สูงสุดที่สามารถติดตั้งระบบได้จริง คือ $33.57 \times 0.85 = 28.53$ ตารางเมตร ดังนั้นสามารถคำนวณกำลังติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิดได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด

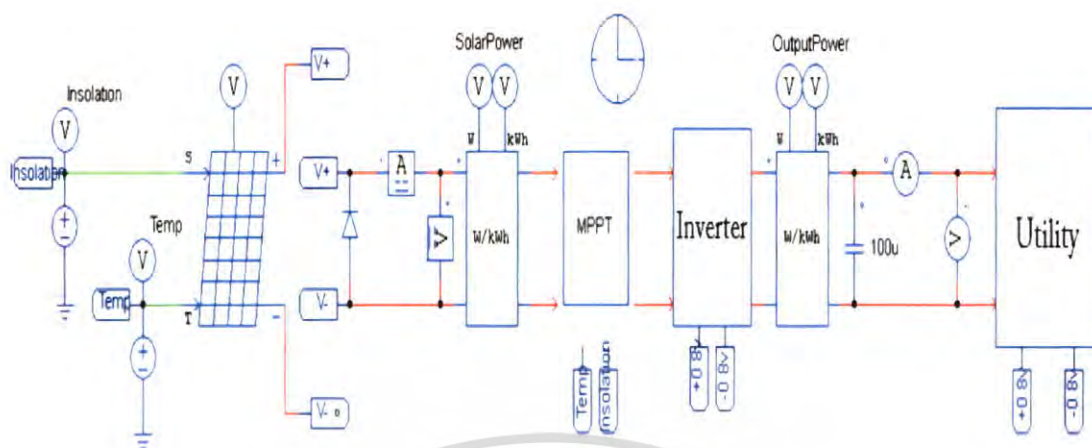
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	ขนาดแผง (m ²)	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวนติดตั้งสูงสุด (แผง)	กำลังติดตั้งสูงสุด (W)
ซิลิกอนผลึกเดี่ยว	1.94	300	$\frac{28.53}{1.94} = 14$	$14 \times 300 = 4200$
ซิลิกอนหลายผลึก	1.94	300	$\frac{28.53}{1.94} = 14$	$14 \times 300 = 4200$
ซิลิกอนไร้รูปร่าง	1.40	135	$\frac{28.53}{1.40} = 20$	$20 \times 135 = 2700$

โดยจะทำการนำค่ากำลังติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิดที่คำนวณได้ไปใช้ในการกำหนดค่าสำหรับวงจรจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายในหัวข้อต่อไป

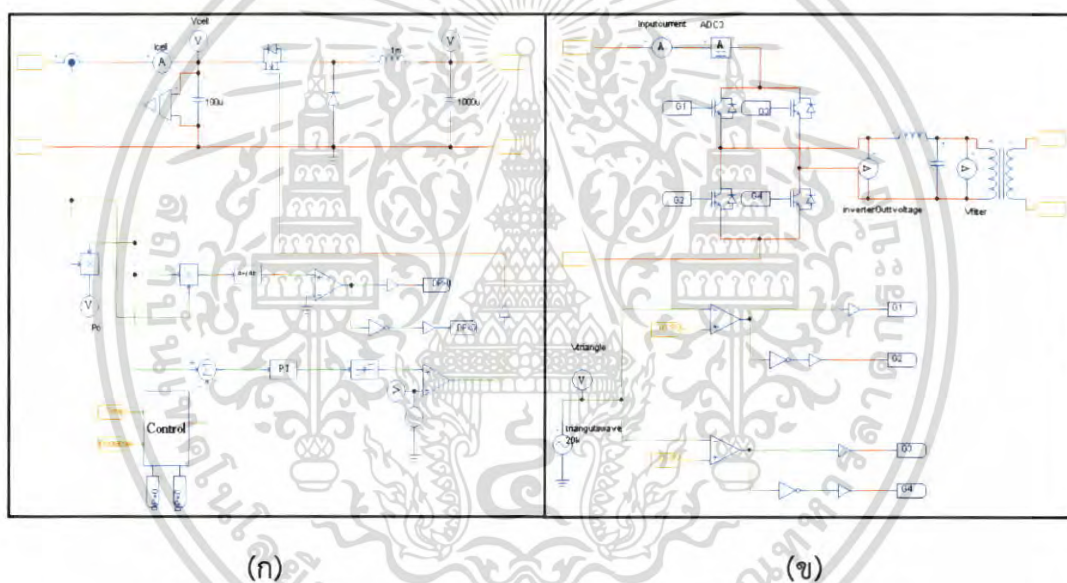
4.2 วงจรจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

ในการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นี้ จำลองด้วยโปรแกรม PSIM 9.0.3 โดยในวงจรจะประกอบไปด้วยชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า (MPPT: Maximum power point tracking) แสดงดังรูปที่ 4.3 (ก) และวงจรอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแสดงดังรูปที่ 4.3 (ข) ซึ่งประกอบไปด้วย วงจรกำลังและวงจรควบคุม ชุดกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน (LC Low pass filter) และเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (Utility) แสดงดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 วงจรจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรยากาศ



รูปที่ 4.3 วงจรควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า (MPPT: Maximum power point tracking) (ก) และวงจรอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว และชุดกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน (LC Low pass filter) (ข)

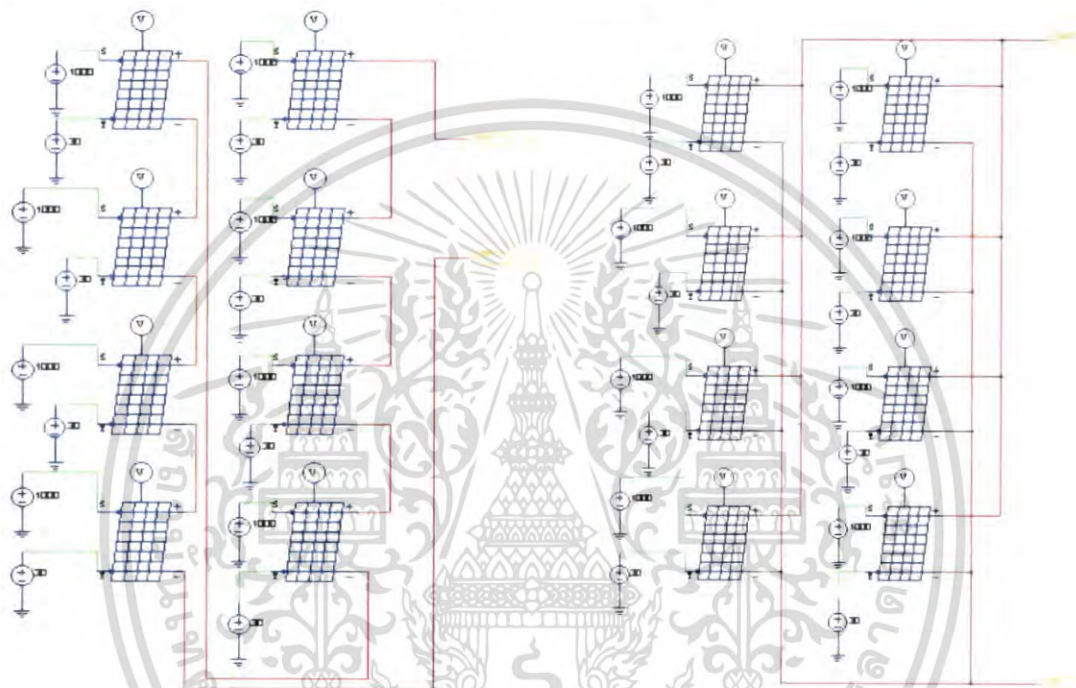
4.2.1 หลักการทำงานของวงจร

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ระบบ โดยในการจำลองครั้งนี้ได้ทำการจำลองกำลังติดตั้งแผงเซลล์ตามกำลังติดตั้งสูงสุดบนหลังคาบ้านตามตารางที่ 4.1 ซึ่งสามารถเพิ่มกำลังติดตั้งแผงเซลล์ได้โดยทำการต่ออนุกรม หรือต่อขนานแผงเซลล์ แสดงรูปที่ 4.4 จากนั้นชุด MPPT จะรับไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์และทำการควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้ได้คงที่ ณ จุดที่ผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้หลักการสวิทชิงของวงจร buck-boost (Buck-Boost converter) จากนั้นอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ และปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าเพื่อจ่ายสู่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า 220 Vrms 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดวงจรควบคุมของอินเวอร์เตอร์จะมีหน้าที่สร้างสัญญาณสวิตชิงเพื่อไปขับเกต โดยการสร้างสัญญาณจะประกอบด้วยสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มาจากกรตรวจจับแรงดันหนึ่งสัญญาณ นำมาเมื่อคูณกับสัญญาณพาหะที่ความถี่ 2.5 kHz

โดยในการจำลองครั้งนี้จะมีการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และวัดแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า วัดพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า เพื่อนำไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สู่ระบบที่ลักษณะต่างๆ



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการต่ออนุกรมและต่อขนานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มระดับแรงดันและกระแสขาเข้า

4.3 การจำลองทดสอบประสิทธิภาพของวงจรจำลอง

จากวงจรจำลองระบบข้างต้นที่ได้นำเสนอมานั้น ต้องทำการทดสอบประสิทธิภาพของวงจร โดยดูค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) ค่าแรงดันและกระแสที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (V_{max} , I_{max}) ที่วงจรจำลองผลิตออกมา เปรียบเทียบกับค่าที่โปรแกรมคำนวณได้มีค่าที่เท่ากันจริง จึงจะกล่าวได้ว่าวงจรจำลองนี้มีความน่าเชื่อถือ และมีประสิทธิภาพที่ยอมรับได้จริง โดยทำการจำลองที่สภาวะเหมือนตามที่คุณผลิตทดสอบคือ ความเข้มแสงอาทิตย์ 1000 W/m^2 และอุณหภูมิแผงเซลล์ $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$

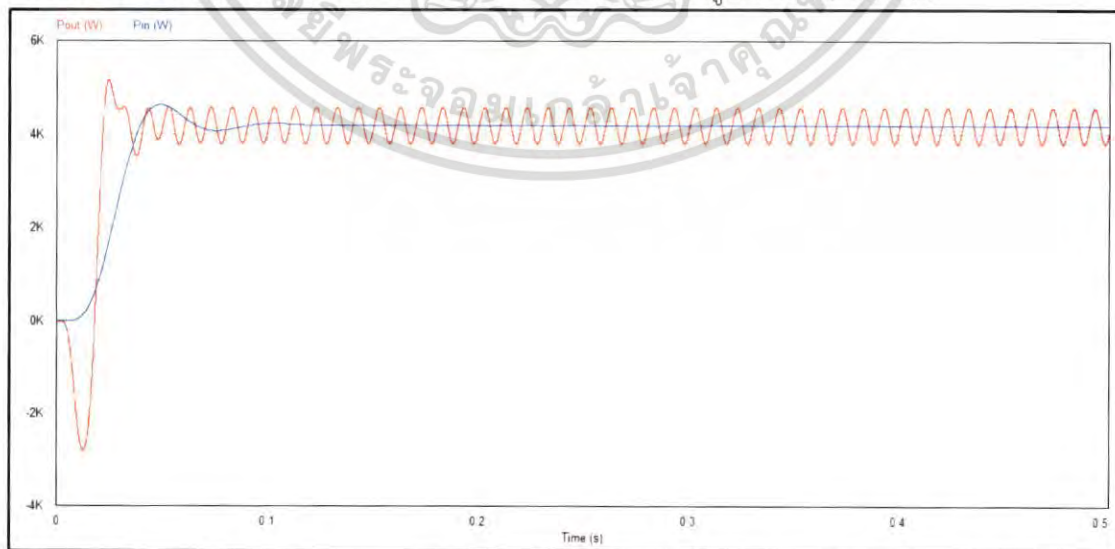
4.3.1 การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว

จากการคำนวณการติดตั้งแผงเซลล์บนหลังคาบ้านที่กำหนดตามขนาดแผงเซลล์นั้นพบว่าสามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวได้สูงสุด 14 แผง ทำการต่อขนาน 2 ชุด และแต่ละชุดต่ออนุกรม 7 แผง ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 4.2 kW โดยค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 4.5 (ก) และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) ค่าแรงดันและกระแสที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (V_{max} , I_{max}) ที่โปรแกรมคำนวณได้แสดงดังรูปที่ 4.5 (ข)



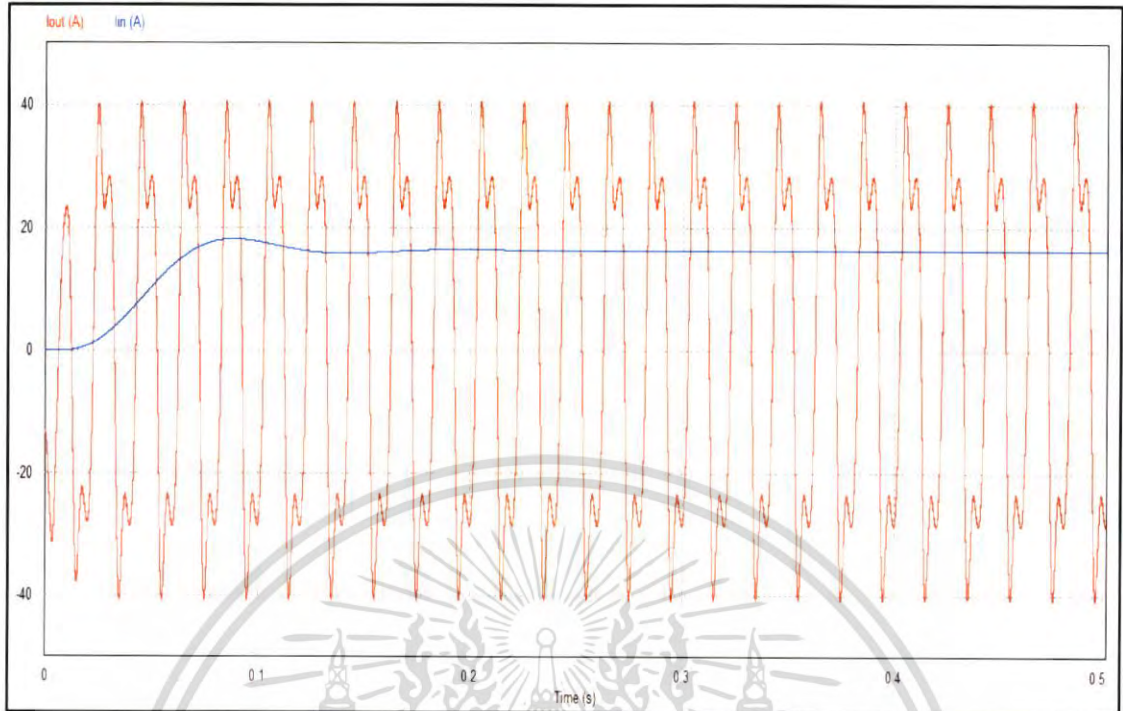
รูปที่ 4.5 ข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้า (ก) และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) ค่าแรงดันและกระแสที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (V_{max} , I_{max}) (ข) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว

โดยเมื่อนำข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวจากรูปที่ 4.5 (ก) มาป้อนเข้าวงจรจำลอง และทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ด้านขาเข้าวงจร และด้านขาออกเข้าระบบจำหน่าย แสดงได้ดังรูปที่ 4.6 - 4.8 ดังนี้

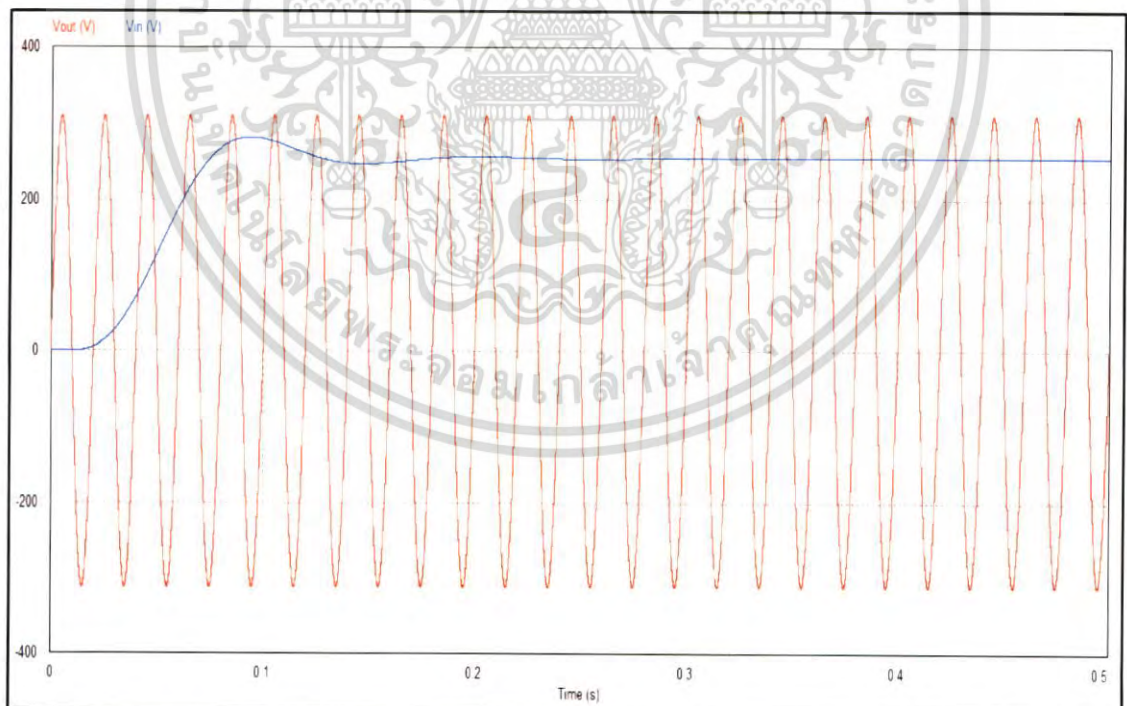


รูปที่ 4.6 กำลังไฟฟ้า (W) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กระแสไฟฟ้า (A) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่าย
ของแผงเซลล์ซิลิกอนผลึกเดี่ยว

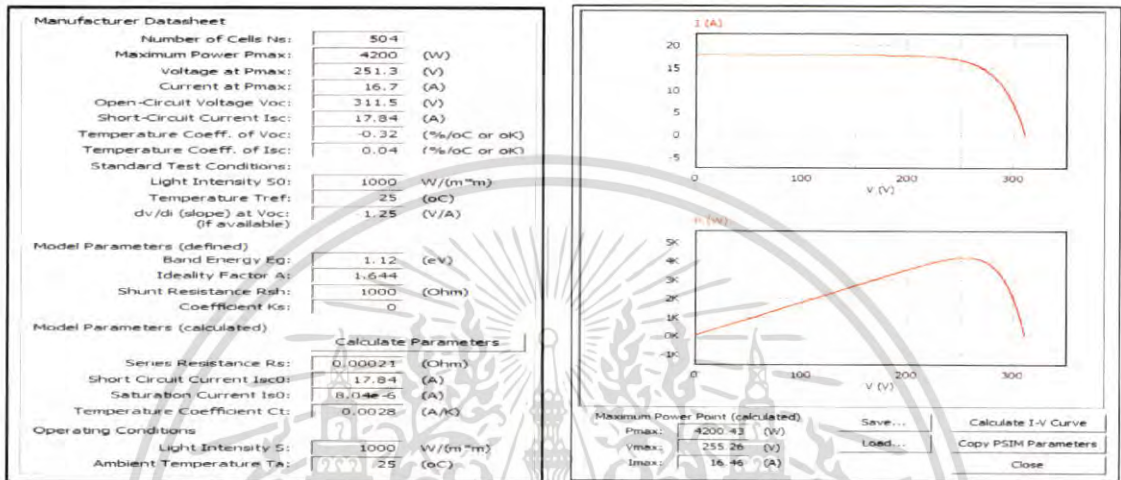


รูปที่ 4.8 แรงดันไฟฟ้า (V) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่าย
ของแผงเซลล์ซิลิกอนผลึกเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก

จากการคำนวณการติดตั้งแผงเซลล์บนหลังคาบ้านที่กำหนดตามขนาดแผงเซลล์นั้นพบว่าสามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกได้สูงสุด 14 แผง ทำการต่อขนาน 2 ชุด และแต่ละชุดต่ออนุกรม 7 แผง ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 4.2 kW โดยค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 4.9 (ก) และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Pmax) ค่าแรงดันและกระแสที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Vmax, Imax) ที่โปรแกรมคำนวณได้แสดงดังรูปที่ 4.9 (ข)

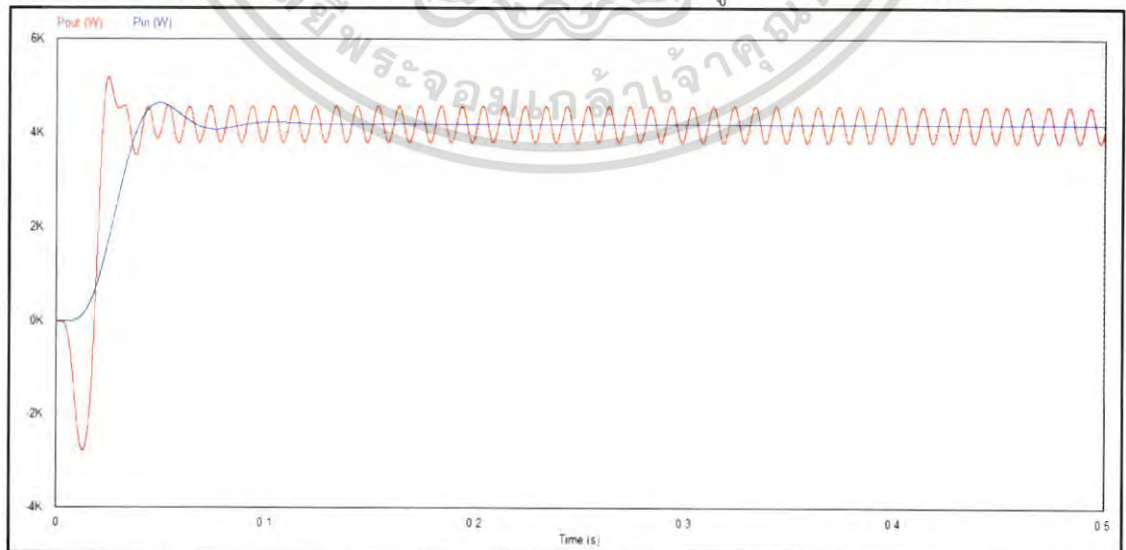


(ก)

(ข)

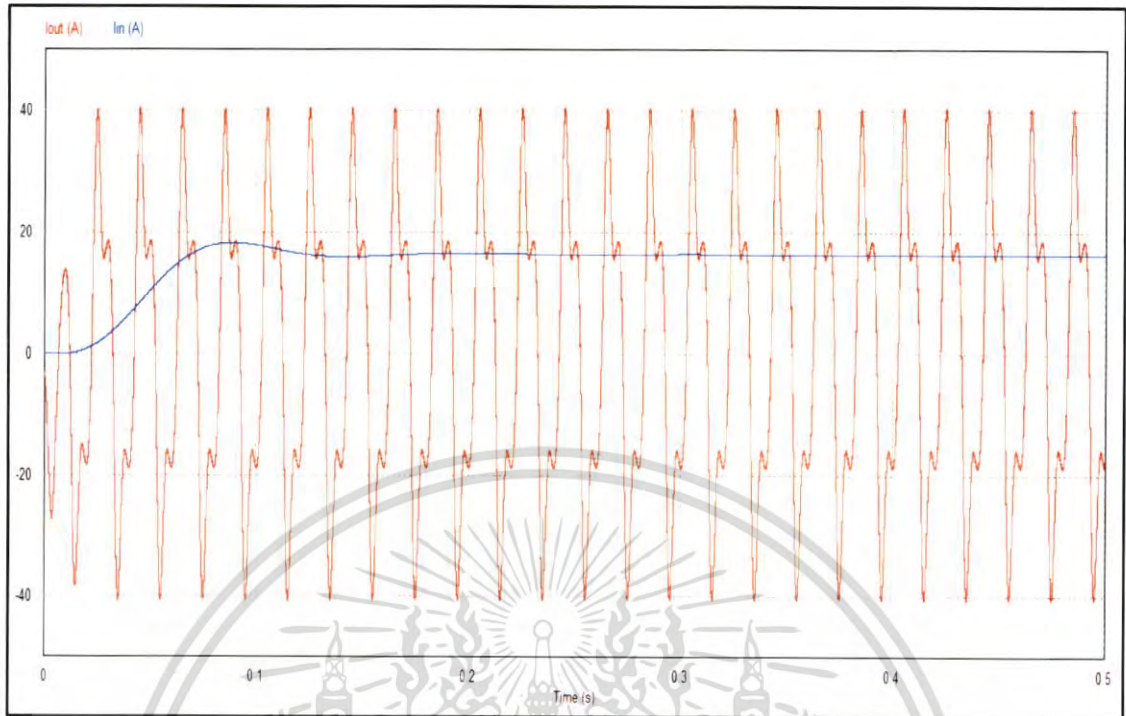
รูปที่ 4.9 ข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้า (ก) และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Pmax) ค่าแรงดันและกระแสที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Vmax, Imax) (ข) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก

โดยเมื่อนำข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวจากรูปที่ 4.9 (ก) มาป้อนเข้าวงจรจำลอง และทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ด้านขาเข้าวงจร และด้านขาออกเข้าระบบจำหน่าย แสดงได้ดังรูปที่ 4.10 - 4.12 ดังนี้

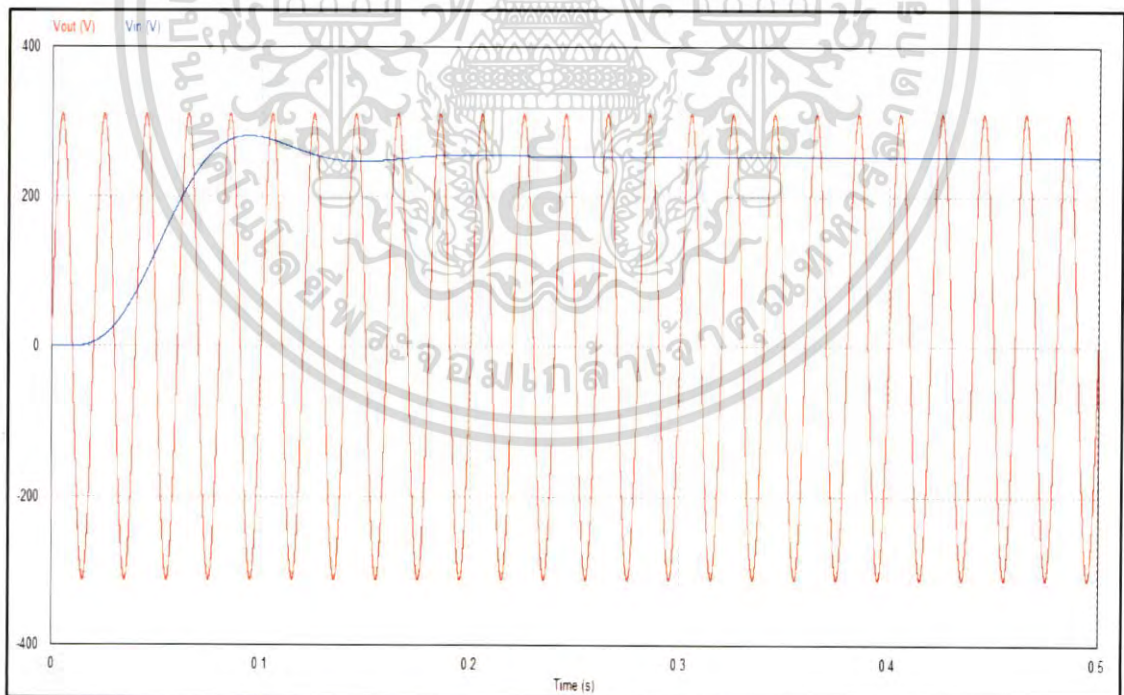


รูปที่ 4.10 กำลังไฟฟ้า (W) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานของแผงเซลล์ซิลิกอนหลายผลึก อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กระแสไฟฟ้า (A) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อนำเข้าของแผงซิลิกอนหลายผลึก

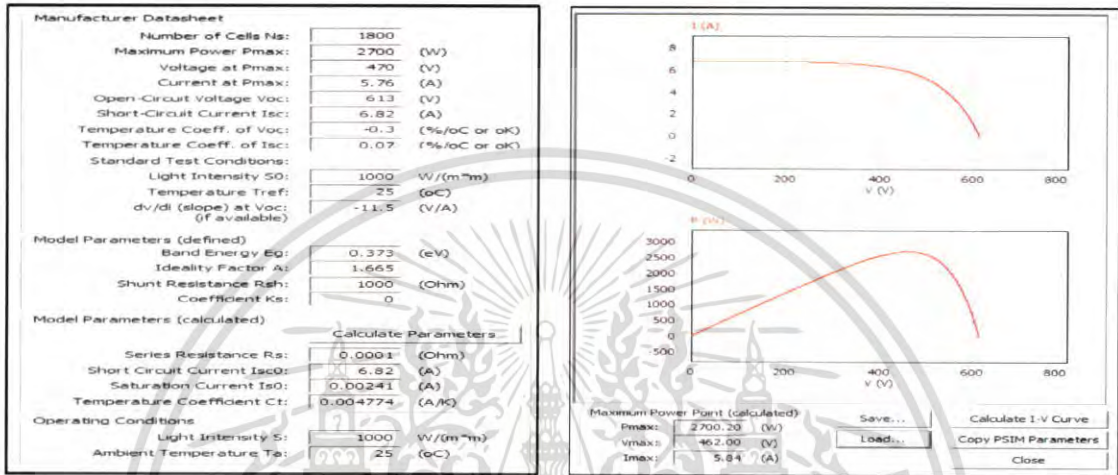


รูปที่ 4.12 แรงดันไฟฟ้า (V) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อนำเข้าของแผงซิลิกอนหลายผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

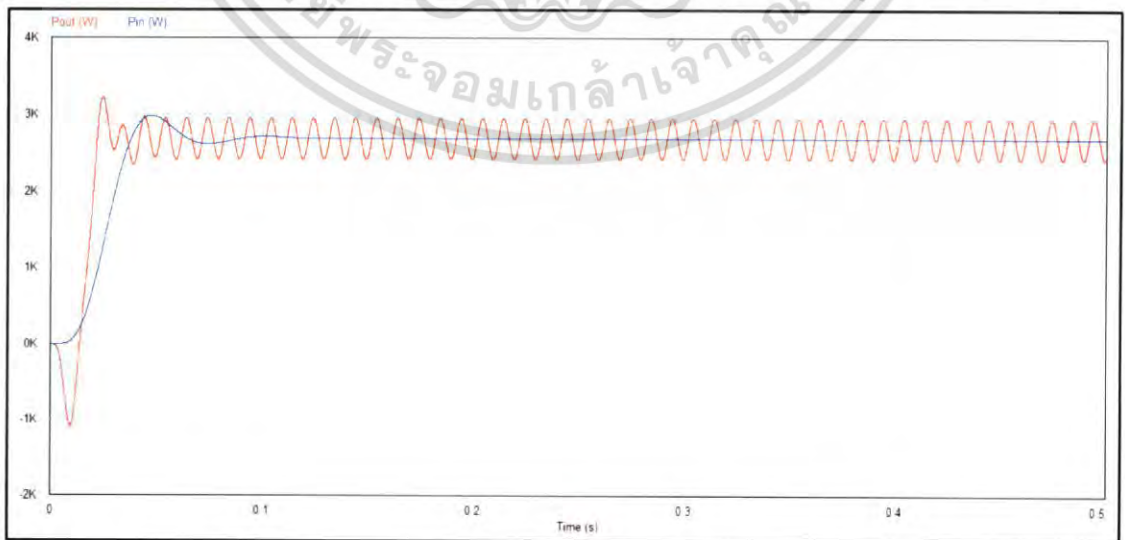
4.3.3 การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง)

จากการคำนวณการติดตั้งแผงเซลล์บนหลังคาบ้านที่กำหนดตามขนาดแผงเซลล์นั้นพบว่าสามารถติดตั้งแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) ได้สูงสุด 20 แผง ทำการต่อขนาน 2 ชุด และแต่ละชุดต่ออนุกรม 10 แผง แผง ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 2.7 kW โดยค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 4.13 (ก) และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Pmax) ค่าแรงดันและกระแสที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Vmax, Imax) ที่โปรแกรมคำนวณได้แสดงดังรูปที่ 4.13 (ข)



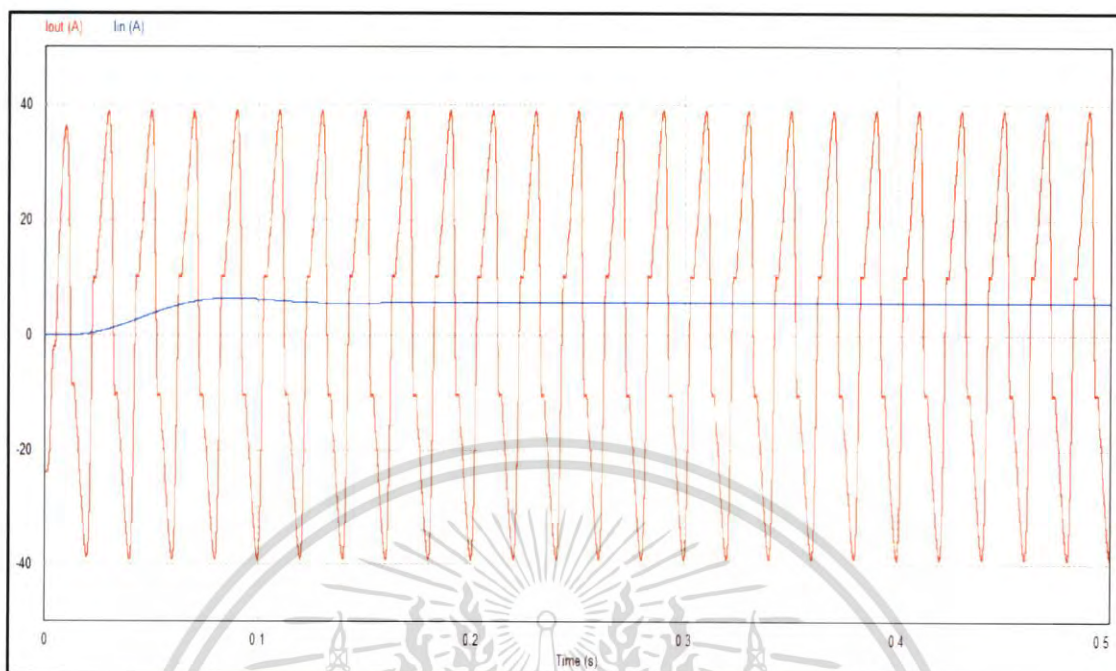
รูปที่ 4.13 ข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้า (ก) และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Pmax) ค่าแรงดันและกระแสที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Vmax, Imax) (ข) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง)

โดยเมื่อนำข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวจากรูปที่ 4.13 (ก) มาป้อนเข้าวงจรจำลอง และทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ด้านขาเข้าวงจร และด้านขาออกเข้าระบบจำหน่าย แสดงได้ดังรูปที่ 4.14 - 4.16 ดังนี้

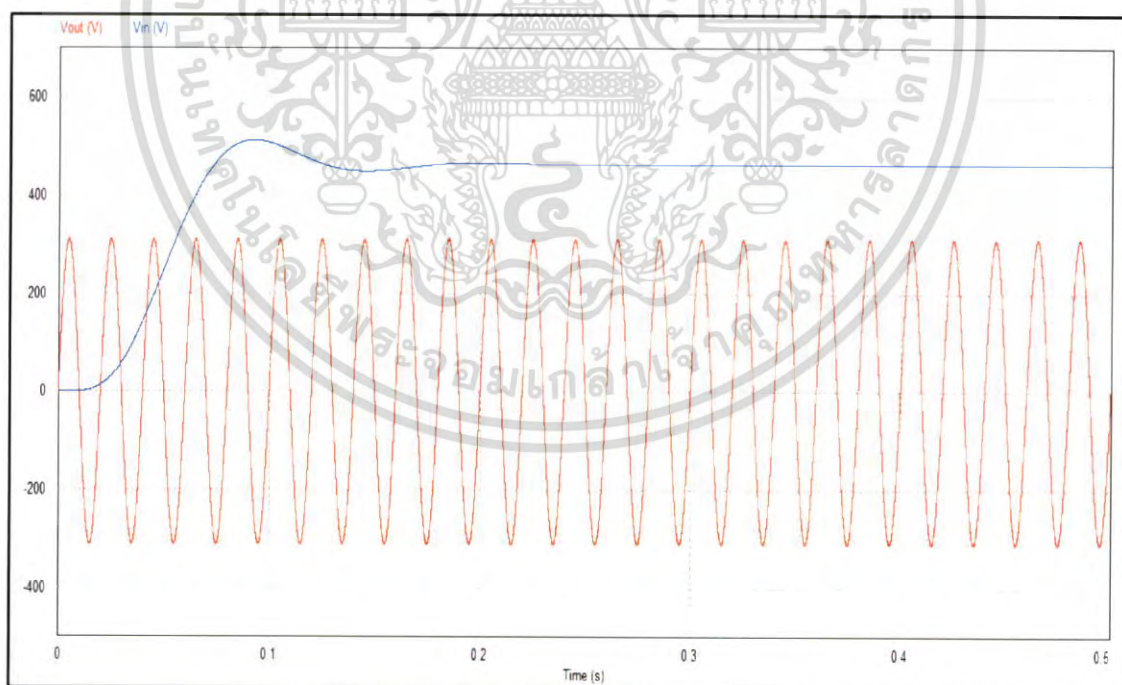


รูปที่ 4.14 กำลังไฟฟ้า (W) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อบริษัทจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับของแผงเซลล์ซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) ภายใต้งานวิจัยโครงการนำร่องการนำเทคโนโลยีโซลาร์เซลล์ฟิล์มบางมาใช้ในประเทศไทย ซึ่งหากมีการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของโครงการฯ จะถือว่าผิดกฎหมาย และต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กระแสไฟฟ้า (A) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่าย
ของแผงเซลล์ซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง)



รูปที่ 4.16 แรงดันไฟฟ้า (V) ที่แผงเซลล์จ่ายเข้าระบบ และที่จุดเชื่อมต่อระบบจำหน่าย
ของแผงเซลล์ซิลิกอนไร้รูปร่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัดกำลังไฟฟ้าด้านขาเข้าระบบที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับที่จุดเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบจำหน่าย พบว่ากำลังไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้นเปิดระบบนั้นมีการแกว่งและพุ่งเกิน (Overshoot) ซึ่งที่ด้านเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบจำหน่ายนั้นกำลังไฟฟ้าย้อนเข้าระบบในช่วงแรกเล็กน้อย โดยจะเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ช่วงเวลาประมาณ 0.1 วินาทีต่อมา ซึ่งมีค่าเท่ากับกำลังติดตั้งของระบบ

ค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้าที่สภาวะคงตัวของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว ซิลิกอนหลายผลึก และชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) นั้นมีค่าเท่ากับ 16.46A/255V , 16.52A/254V และ 5.82A/411V เรียงตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีความใกล้เคียงกับค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดตามคุณสมบัติแผงเซลล์จริง

กระแส และแรงดันไฟฟ้าด้านจุดเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายมีลักษณะคงที่ โดยกระแสนั้นมีผลของฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากวงจรกำลังไฟฟ้าอยู่มากทำให้ลักษณะรูปกราฟผิดเพี้ยนไป และแรงดันไฟฟ้ามีขนาดและมุมเฟสที่ตรงกับด้านระบบจำหน่าย

4.4 การจำลองเปรียบเทียบการติดตั้งระบบที่แต่ละภูมิภาคของประเทศไทย

การจำลองครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบที่ทำการติดตั้งตามแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ซึ่งมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์แตกต่างกันไป โดยใช้ข้อมูลการจำลองติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิดบนหลังคาบ้านในหัวข้อที่ผ่านมา

4.4.1 พลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันแต่ละภูมิภาค

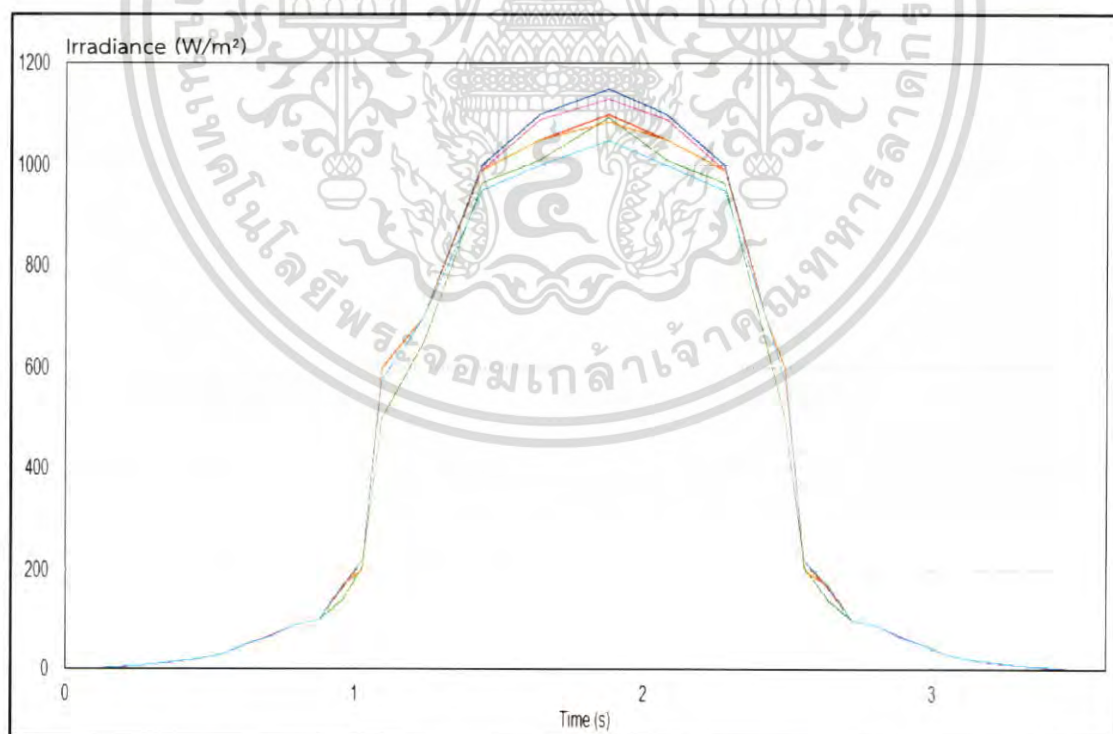
ข้อมูลสำคัญที่ได้นำมาเพื่อใช้วิเคราะห์ในการจำลองครั้งนี้ คือ พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย (ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ.2538 – 2553) ซึ่งได้ทำการขออนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานมาเพื่อใช้ศึกษาและทำการวิจัย และข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันแต่ละภูมิภาค (ข้อมูลสภาวะอากาศประเทศไทยปี พ.ศ.2553) โดยแสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

เนื่องจากข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยข้างต้นนั้นไม่สามารถนำมาป้อนเข้าโปรแกรม PSIM ได้ ดังนั้นจึงได้ทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน (W/m^2) ดังรูปที่ 4.17 เพื่อที่จะสามารถป้อนเข้าโปรแกรมและทำการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ ณ เวลาต่างๆได้ โดยในการจำลองครั้งนี้ได้ทำการจำลองที่ระยะเวลาการดำเนินระบบเท่ากับ 3.6 วินาที ซึ่งย่อจากระยะเวลาสภาพแวดล้อมจริงที่ 12 ชั่วโมง กำหนดให้กราฟสีเขียวเป็นค่าของภาคเหนือ กราฟสีน้ำเงินเป็นค่าของภาคกลาง กราฟสีแดงเป็นค่าของภาคตะวันออก กราฟสีม่วงเป็นค่าของภาคอีสาน กราฟสีส้มเป็นค่าของภาคใต้ฝั่งตะวันออก และกราฟสีฟ้าเป็นค่าของภาคใต้ฝั่งตะวันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย (kWh /m² /Day) แต่ละเดือนทั้ง 6 ภูมิภาค

เดือน	ภูมิภาค					
	เหนือ	กลาง	ตะวันออก	อีสาน	ใต้ ฝั่งตะวันตก	ใต้ ฝั่งตะวันออก
มกราคม	4.38	4.75	4.85	4.68	4.88	4.66
กุมภาพันธ์	4.98	5.27	5.20	5.13	5.41	5.30
มีนาคม	5.47	5.61	5.40	5.49	5.55	5.62
เมษายน	5.72	5.77	5.40	5.62	5.43	5.62
พฤษภาคม	5.16	5.31	4.94	5.33	4.84	5.17
มิถุนายน	4.74	5.11	4.87	5.15	4.61	4.98
กรกฎาคม	4.33	4.84	4.61	4.89	4.53	4.91
สิงหาคม	4.27	4.75	4.62	4.73	4.47	4.91
กันยายน	4.47	4.77	4.57	4.75	4.43	4.90
ตุลาคม	4.49	4.73	4.79	4.87	4.20	4.50
พฤศจิกายน	4.22	4.64	4.80	4.60	4.11	3.96
ธันวาคม	4.08	4.51	4.66	4.43	4.24	3.91
ตลอดทั้งปี	4.69	5.01	4.89	4.97	4.72	4.87



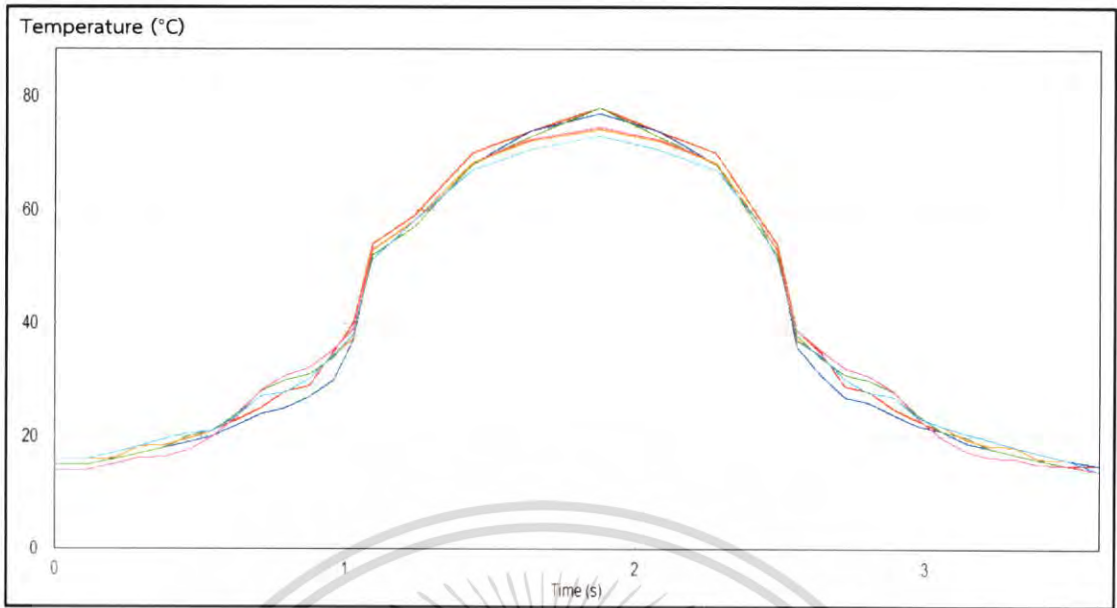
รูปที่ 4.17 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m²) รายวันของทั้ง 6 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$ /Day) แต่ละเดือนทั้ง 6 ภูมิภาค

เดือน	ภูมิภาค					
	เหนือ	กลาง	ตะวันออก	อีสาน	ใต้ ฝั่งตะวันตก	ใต้ ฝั่งตะวันออก
มกราคม	24.4	26.9	27.2	24.8	27.7	27.0
กุมภาพันธ์	25.7	29.4	28.9	27.6	28.8	28.0
มีนาคม	28.1	30.3	29.4	28.8	29.4	28.7
เมษายน	31.4	31.8	30.5	31.1	29.5	29.7
พฤษภาคม	31.0	31.4	30.4	30.6	29.5	30.0
มิถุนายน	29.6	30.2	29.5	29.7	28.2	29.0
กรกฎาคม	28.3	29.1	28.8	28.7	27.6	28.2
สิงหาคม	27.2	28.1	27.9	27.5	27.9	28.0
กันยายน	27.4	28.3	28.3	27.7	27.6	27.8
ตุลาคม	26.6	27.4	27.4	26.4	27.4	27.2
พฤศจิกายน	24.7	27.0	27.4	25.1	26.7	26.5
ธันวาคม	23.6	26.3	26.9	24.1	26.5	26.2
ตลอดทั้งปี	27.3	28.90	28.6	27.7	28.1	28.0

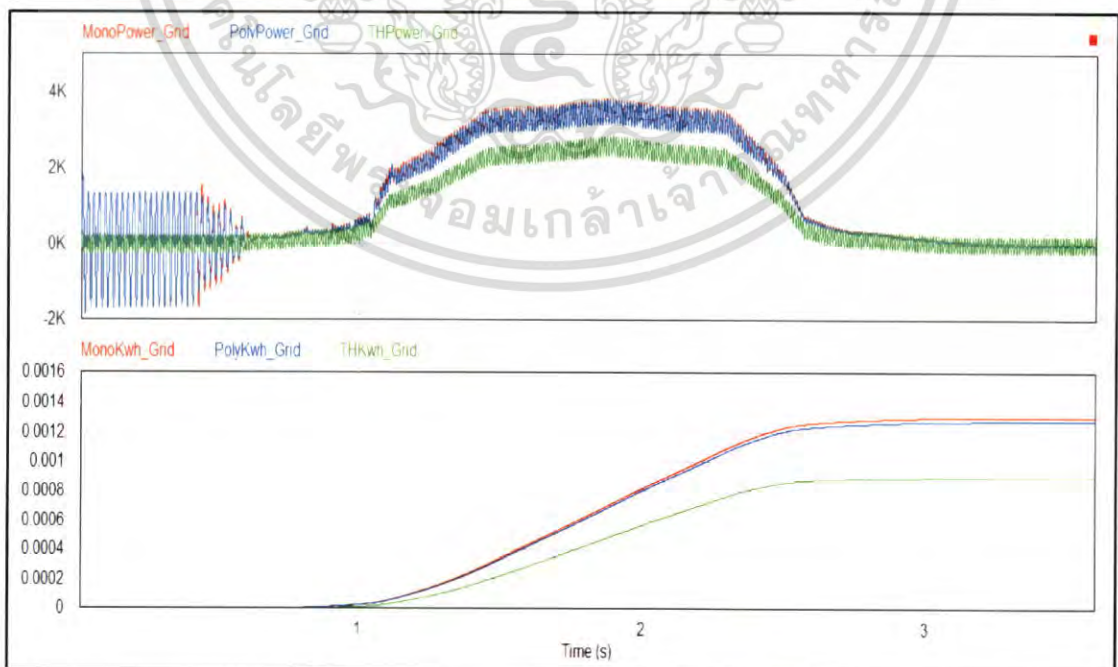
จากข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยข้างต้นนั้น ข้อมูลที่ได้เป็นค่าอุณหภูมิอากาศโดยรอบ (Ambient Temperature) ซึ่งจากที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมาคือ ในสภาวะการทำงานจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นต้องอยู่กลางแจ้งตลอดทั้งวัน ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิที่หน้าแผงเซลล์นั้นมีค่าสูงมาก โดยปัจจัยหลักที่ส่งผลต่ออุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือค่าอุณหภูมิอากาศโดยรอบ ค่าอุณหภูมิสะสมบนพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (NOCT) และความเข้มแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ดังรูปที่ 4.17 ดังนั้นในการจำลองครั้งนี้ได้ทำการคำนวณ และแสดงอุณหภูมิแผงเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งแผงเซลล์ทั้ง 3 ชนิดนั้นจะมีค่าอุณหภูมิที่แผงเซลล์แตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากค่า NOCT ของแผงเซลล์แต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 4.18



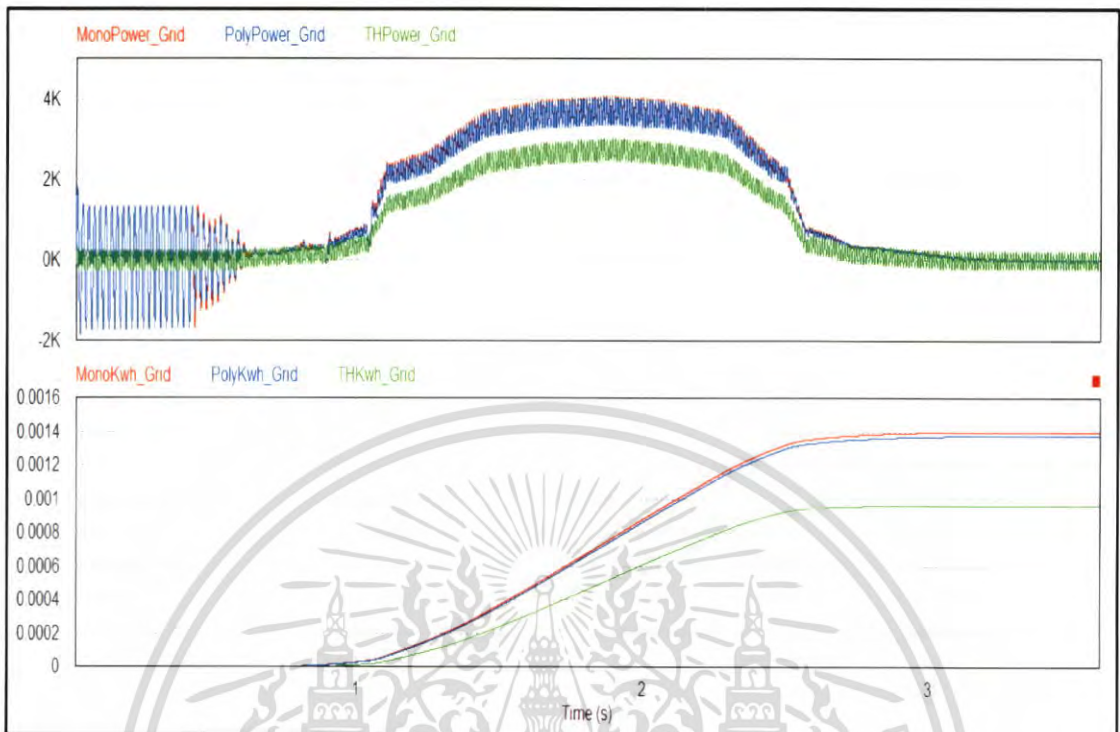
รูปที่ 4.18 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย (°C) รายวันของทั้ง 6 ภูมิภาค

4.4.2 ผลการเก็บข้อมูลระบบจำลอง

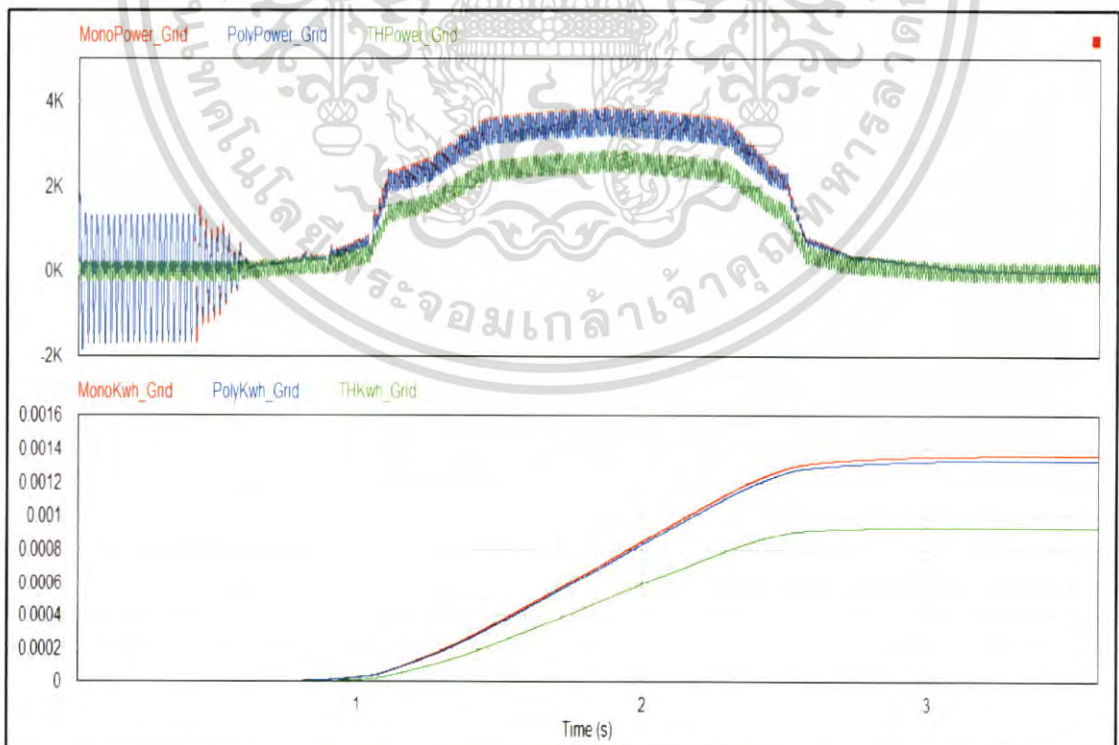
ในการจำลองครั้งนี้จะทำการบ่อนค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิแผงเซลล์เฉลี่ยของแต่ละภูมิภาค และวัดค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์ทั้ง 3 ชนิดจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่าย กำหนดให้กราฟสีแดงเป็นค่าที่แสดงของแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว กราฟสีน้ำเงินเป็นค่าที่แสดงของแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก และกราฟสีเขียวเป็นค่าของแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง(ฟิล์มบาง) โดยผลที่ได้จากการจำลองติดตั้งระบบที่แต่ละภูมิภาคเป็นดังรูปที่ 4.19 ถึง 4.24



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบ
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถือว่าผิดกฎหมาย ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

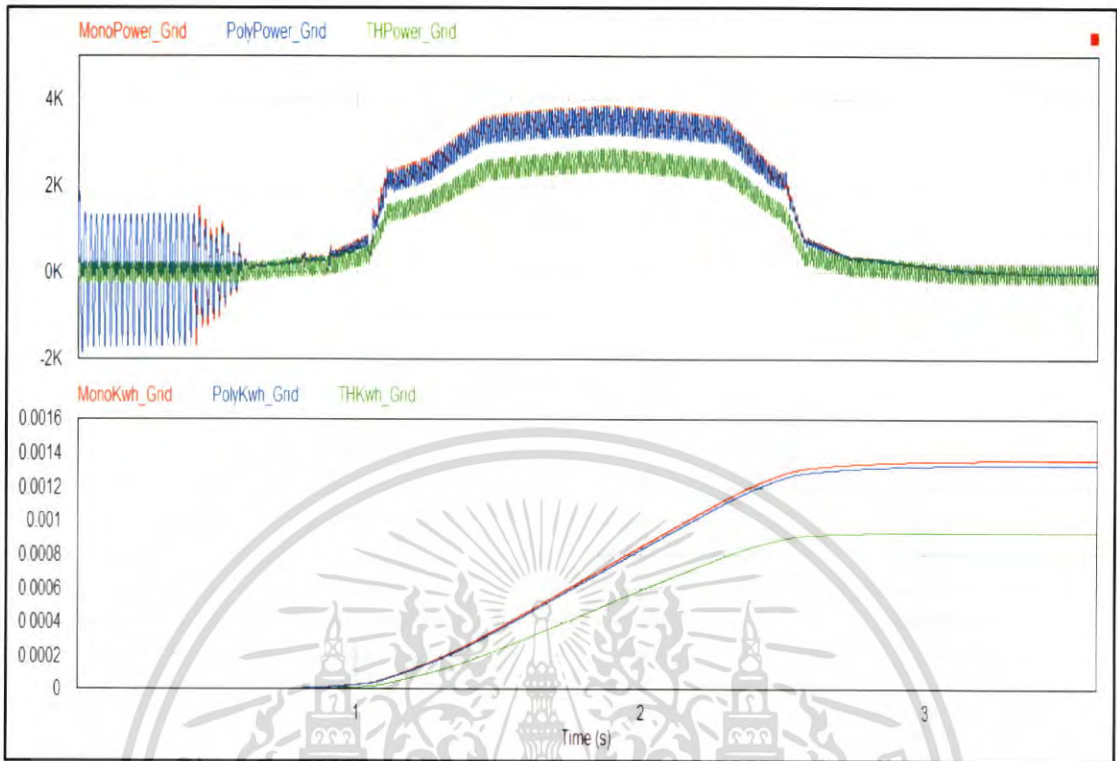


รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบ กับเวลา (S) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อทำการติดตั้ง ณ ภาคกลาง

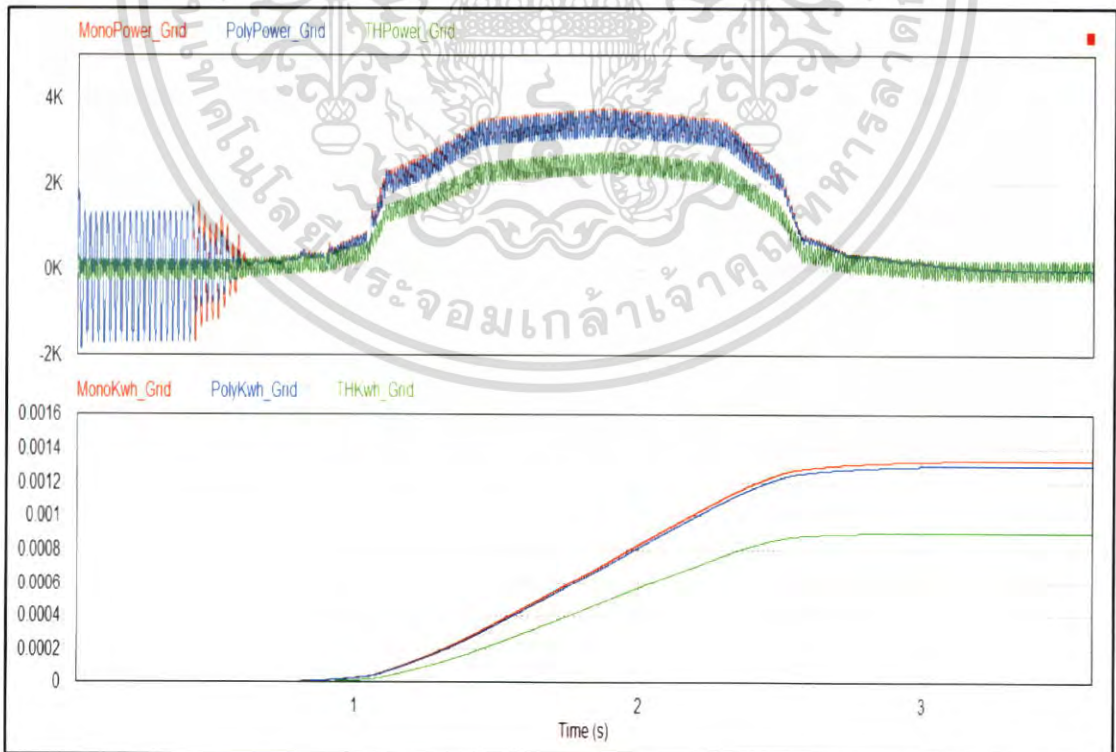


รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบ

กับเวลา (S) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อทำการติดตั้ง ณ ภาคตะวันออก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือที่ละเมิดลิขสิทธิ์โดยผู้จัดทำเอกสารนี้ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย ผู้ที่นำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจะมีความผิดตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

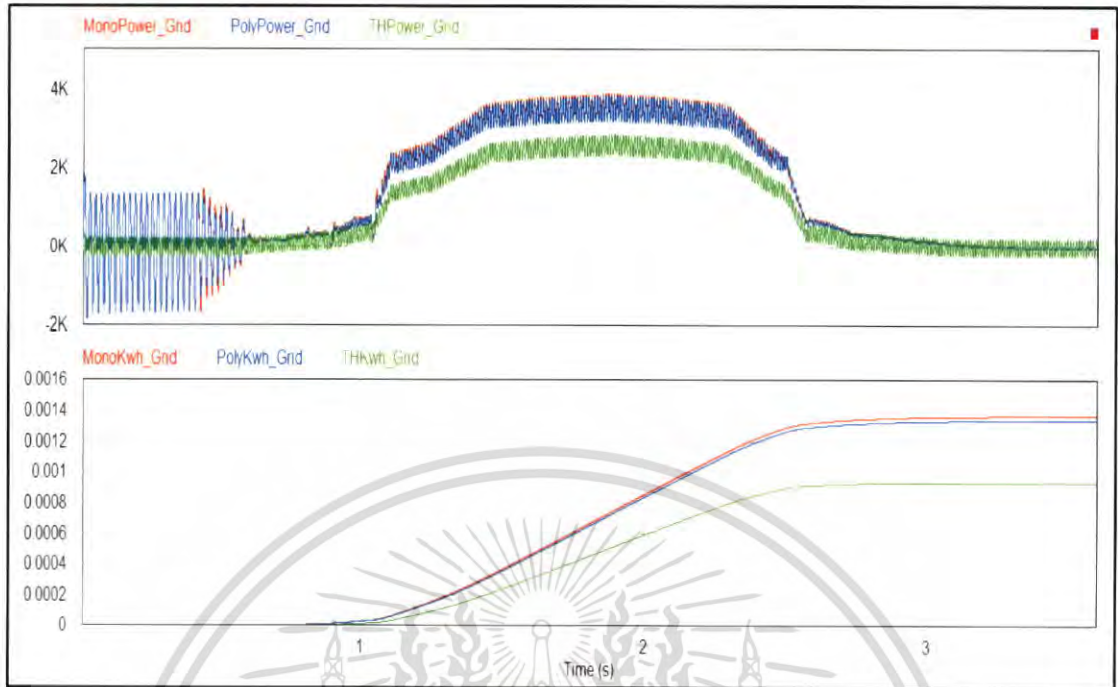


รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบ กับเวลา (S) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อทำการติดตั้ง ณ ภาคอีสาน



รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบ

กับเวลา (S) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อทำการติดตั้ง ณ ภาคใต้ฝั่งตะวันตก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อประโยชน์ทางการศึกษา เมื่ออยู่ในพื้นที่สาธารณะโดยไม่มีการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบกับเวลา (S) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อทำการติดตั้ง ณ ภาคใต้ฝั่งตะวันออก

4.4.3 ผลการจำลอง

จากผลการวัดกำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายพบว่า ในช่วงเริ่มต้นนั้นกำลังไฟฟ้าเกิดการพุ่งสูงและไม่คงที่ ซึ่งเป็นผลมาจากการเชื่อมต่อระบบ (Grid Connected) และเมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งระบบจะเข้าสู่ภาวะคงตัว โดยจะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตนั้นจะมีปริมาณและลักษณะเปลี่ยนแปลงไปแต่ละช่วงเวลา ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มแสงและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวและซิลิกอนหลายผลึกมีกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) เนื่องจากมีกำลังติดตั้งที่น้อยกว่า

จากผลการวัดกล่าวได้ว่า ภาคกลางมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงที่สุด และรองลงมาเป็นภาคอีสาน ภาคใต้ฝั่งตะวันออก ภาคตะวันออก ภาคใต้ฝั่งตะวันตก และภาคเหนือตามลำดับ โดยที่ภาคกลางนั้น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว และซิลิกอนหลายผลึกสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดใกล้เคียงกันที่ 16.84 และ 16.52 kWh ตามลำดับ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 11.58 kWh และที่ภาคเหนือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว และซิลิกอนหลายผลึกสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดใกล้เคียงกันที่ 15.62 และ 15.28 kWh ตามลำดับ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 10.69 kWh ซึ่งคำนวณได้ว่าทั้ง 2 ภูมิภาคมีประสิทธิภาพแตกต่างกันอยู่ที่ 7.5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจากกราฟผลการจำลองข้างต้นจะเห็นได้ว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และจ่ายเข้าสู่ระบบนั้นมีค่าน้อยมาก เนื่องจากในการจำลองครั้งนี้นั้นได้ดำเนินการจำลองระบบเป็นระยะเวลา 3.6 วินาที จากสภาพระยะเวลาจริง คือ 12 ชั่วโมง ซึ่งนับเป็นอัตราเร่ง คือ 12000 เท่า ดังนั้นค่าพลังงานไฟฟ้าที่เก็บผลได้นั้นจึงต้องนำมาคูณกลับด้วยอัตราเร่งที่เท่ากับระบบ เพื่อเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามสภาพความจริง โดยสามารถสรุปผลค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากการจำลองทั้ง 6 ภูมิภาคดังตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 สรุปผลค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่วัดได้จากการจำลอง

ภูมิภาค	แผงเซลล์แสงอาทิตย์					
	ซิลิกอนผลึกเดี่ยว		ซิลิกอนหลายผลึก		ซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง)	
	Pmax	Unit	Pmax	Unit	Pmax	Unit
เหนือ	3530	15.62	3494	15.28	2603	10.69
กลาง	3752	16.84	3709	16.52	2765	11.58
ตะวันออก	3560	16.32	3521	15.97	2627	11.22
อีสาน	3731	16.73	3725	16.52	2715	11.45
ใต้ฝั่งตะวันตก	3476	15.96	3432	15.61	2521	10.85
ใต้ฝั่งตะวันออก	3583	16.41	3533	16.08	2613	11.23

4.5 วิเคราะห์ และสรุปผล

จากการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านพบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวและซิลิกอนหลายผลึก มีความเหมาะสมในการติดตั้งบนหลังคาบ้านมากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) เนื่องจากเหตุผลสำคัญ คือในการติดตั้งบนพื้นที่จำกัด เช่น หลังคาบ้านนั้น แผงเซลล์ชนิดไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) สามารถติดตั้งได้กำลังผลิตที่น้อยกว่าแผงเซลล์ซิลิกอนผลึกเดี่ยวและซิลิกอนหลายผลึกมาก

จากการจำลองติดตั้งระบบที่แต่ละภูมิภาคในประเทศไทยพบว่า ทั้ง 6 ภูมิภาคมีประสิทธิภาพในการติดตั้งระบบที่ใกล้เคียงกัน โดยมีประสิทธิภาพแตกต่างกันไม่เกิน 7.5 % ซึ่งภูมิภาคที่มีความเหมาะสมต่อการติดตั้งระบบ และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า (kWh) ได้มากที่สุด คือ ภาคกลาง โดยพบว่าผลจากอุณหภูมินั้นทำให้กำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์ลดลงมากกว่า 10 % จากกำลังติดตั้ง ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองครั้งนี้นั้นอาจมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย เนื่องจากประสิทธิภาพของวงจรกำลังไฟฟ้าจำลองที่ใช้นั้นยังมีความไม่สมบูรณ์ ทำให้กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ลดลงไป อย่างไรก็ตาม การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านนั้นมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนเพียงใด เป็นเรื่องที่ต้องนำไปวิเคราะห์ในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การคำนวณระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทน

5.1 บทนำ

การคำนวณระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทนของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านนั้นจะเริ่มจากการหาราคาต้นทุนการติดตั้งสุทธิ และนำข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากบทก่อนหน้ามาใช้พิจารณาร่วมกัน โดยจะพิจารณาการติดตั้งในแบบต่างๆ และไม่นำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) เพราะจากบทที่ผ่านมาทำให้เห็นว่าความสามารถของแผงเซลล์ชนิดนี้น้อยมาก ซึ่งไม่คุ้มค่ากับการลงทุนร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆในระบบ ดังนั้นในบทนี้จึงไม่นำเซลล์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) เข้ามาพิจารณา

5.2 ต้นทุนสุทธิในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน

จากบทที่ 3 ต้นทุนในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านได้ถูกแบ่งออกเป็น 5 อย่างได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์ประกอบระบบ ค่าบริการติดตั้ง และค่าห่วงโซ่อุปทาน และตัวอย่างหลังคาบ้านไทยเป็นสุขในจากบทที่ 4 จะนำมาทำการคำนวณหาค่าราคาต้นทุนในหน่วย บาท/กิโลวัตต์ (฿/kW) และ บาท/ตารางเมตร (฿/m^2) เพื่อนำไปใช้คำนวณระยะเวลาคืนทุนต่อไป

5.2.1 ราคาต้นทุนในหน่วย บาท/กิโลวัตต์

จากหลังคาบ้านไทยเป็นสุขที่สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ทั้งสิ้น 4.2 กิโลวัตต์ ซึ่งสามารถนำขนาดติดตั้งมาคิดราคาของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบได้ โดยตารางที่ 5.1 จะเป็นราคาต้นทุนสุทธิของระบบ 4.2 กิโลวัตต์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว ตารางที่ 5.2 จะเป็นราคาต้นทุนสุทธิของระบบ 4.2 กิโลวัตต์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก ซึ่งในบทนี้จะไม่นำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) มาคิดเพราะจากเหตุผลในบทที่ผ่านมา

ตารางที่ 5.1 ราคาต้นทุนสุทธิของระบบขนาด 4.2 กิโลวัตต์ (ซิลิกอนผลึกเดี่ยว)

รายการอุปกรณ์	ราคาอุปกรณ์ (บาท/วัตต์)	ราคาสุทธิ (บาท)
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	27.00	113,400
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	10.80	45,360
อุปกรณ์ประกอบระบบ	2.17	9,114
ค่าบริการติดตั้ง	20.75	87,150
ค่าห้วงโซ่อุปทาน	12.00	50,400
รวม	72.72	305,424

ตารางที่ 5.2 ราคาต้นทุนสุทธิของระบบขนาด 4.2 กิโลวัตต์ (ซิลิกอนหลายผลึก)

รายการอุปกรณ์	ราคาอุปกรณ์ (บาท/วัตต์)	ราคาสุทธิ (บาท)
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	25.00	105,000
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	10.80	45,360
อุปกรณ์ประกอบระบบ	2.17	9,114
ค่าบริการติดตั้ง	20.75	87,150
ค่าห้วงโซ่อุปทาน	12.00	50,400
รวม	70.72	297,024

จากตารางที่ 5.1 และ 5.2 จะได้ราคาต้นทุนสุทธิที่ติดตั้งด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว และชนิดซิลิกอนหลายผลึก เท่ากับ 305,424 บาท และ 297,024 บาท ตามลำดับ จะสามารถคำนวณหาราคาต้นทุนได้ดังนี้

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว

$$\begin{aligned} \text{ราคาต้นทุน} &= \frac{305,424}{4.2} \\ &= 72,720 \text{ บาท/กิโลวัตต์} \end{aligned}$$

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก

$$\begin{aligned} \text{ราคาต้นทุน} &= \frac{297,024}{4.2} \\ &= 70,720 \text{ บาท/กิโลวัตต์} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวอยู่ที่ 72,720 บาท/กิโลวัตต์ และต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกอยู่ที่ 70,720 บาท/กิโลวัตต์ ซึ่งราคาต้นทุนนี้จะนำไปคำนวณต้นทุนในหัวข้อถัดไป

5.2.2 ราคาต้นทุนในหน่วย บาท/ตารางเมตร

ราคาต้นทุนในหน่วย บาท/ตารางเมตร สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้การคำนวณหาราคาต้นทุนจากการติดตั้งระบบขนาด 4.2 กิโลวัตต์ บนหลังคาบ้านไทยเป็นสุข ซึ่งจะใช้ข้อมูลตามตารางที่ 5.3 มาคำนวณ

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ชนิดแผงเซลล์	พื้นที่แผงเซลล์ (ตารางเมตร)	จำนวนแผงที่ติดตั้ง (แผง)	ราคาต้นทุนติดตั้ง (บาท)
ซิลิกอนผลึกเดี่ยว	$1.956 \times 0.992 = 1.94$	14	305,424
ซิลิกอนหลายผลึก	$1.956 \times 0.992 = 1.94$	14	297,024

จากตารางที่ 5.3 สามารถคำนวณหาต้นทุนในหน่วย บาท/ตารางเมตร ได้ดังนี้

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว

$$\begin{aligned} \text{ราคาต้นทุน} &= \frac{305,424}{1.94 \times 14} \\ &= 11,245 \text{ บาท/ตารางเมตร} \end{aligned}$$

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก

$$\begin{aligned} \text{ราคาต้นทุน} &= \frac{297,024}{1.94 \times 14} \\ &= 10,936 \text{ บาท/ตารางเมตร} \end{aligned}$$

ต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวอยู่ที่ 11,245 บาท/ตารางเมตร และต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกอยู่ที่ 10,936 บาท/ตารางเมตร

5.3 การคำนวณความคุ้มค่าในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน

ในการคำนวณนี้จะแบ่งหัวข้อในการพิจารณาออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านในแต่ละภูมิภาค ซึ่งจะวิเคราะห์ว่าในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยมีจุดคุ้มทุนที่เท่าไรกันบ้าง เพื่อเปรียบเทียบการติดตั้งในแต่ละภูมิภาคนั่นเอง หัวข้อต่อมาคือ การติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านขนาดต่างๆ เพื่อพิจารณาว่าติดตั้งขนาดต่างๆ มีจุดคุ้มทุนและกำไรเป็นอย่างไร โดยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน 25 ปี เพื่อคำนวณให้เห็นว่าในแต่ละปีจะมีรายได้และรายจ่ายเป็นอย่างไร จะคืนทุนในปีที่เท่าไร

5.3.1 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านในแต่ละภูมิภาค

ในการพิจารณาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านในแต่ละภูมิภาคนั้นจะกำหนดปริมาณกำลังผลิตติดตั้งให้เท่ากันในทุกๆ ภูมิภาค เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาและจะพิจารณาระบบที่ติดตั้งด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวและชนิดซิลิกอนหลายผลึกเท่านั้น โดยการนำข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านจากบทที่ผ่านมามาวิเคราะห์ และกำหนดให้มีปริมาณกำลังผลิตติดตั้งที่ 4.2 กิโลวัตต์ คิดต้นทุนการติดตั้งที่ราคา 72,720 บาท/กิโลวัตต์ สำหรับชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวและ 70,720 บาท/กิโลวัตต์ นอกจากนี้ยังขายไฟฟ้าคืนกลับสู่ระบบไฟฟ้าด้วยอัตราการรับซื้อไฟฟ้าคงที่ (FiT) ปัจจุบันมีราคา 6.85 บาท/หน่วย ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.4 และตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.4 ระยะเวลาคืนทุนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวในแต่ละภูมิภาค

ภูมิภาค	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย/วัน ในปีแรก (หน่วย)	ต้นทุนการติดตั้ง (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
เหนือ	15.62	305,424	9.01	337,130	210.38
กลาง	16.84	305,424	8.25	387,595	226.90
ตะวันออก	16.32	305,424	8.57	366,017	219.84
อีสาน	16.73	305,424	8.32	383,070	225.42
ใต้ฝั่งตะวันออก	15.96	305,424	8.79	351,399	215.05
ใต้ฝั่งตะวันตก	16.41	305,424	8.51	369,845	221.09

จากตารางที่ 5.4 จะนำภาคกลางมาเป็นตัวอย่างแสดงการคำนวณระยะเวลาคืนทุน ซึ่งในการคำนวณจะทำการคิดกรณีที่แย่ที่สุด โดยคิดความเสี่ยงสภาพจากอายุการใช้งานและคิดค่าบำรุงรักษาปีละ 2,000 บาท และคิดอัตราเงินเฟ้อ 2.4% ต่อปี[52] โดยประมาณว่าเงินเฟ้อจะเพิ่มขึ้น การคำนวณระยะเวลาคืนทุนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.5 (ข้อมูลที่ได้จากบทที่แล้วนั้นมีการคิดความเสี่ยงจากอุณหภูมิแล้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 การคำนวณอัตราผลตอบแทนของระบบขนาด 4.2 kW ที่ภาคกลาง เป็นระยะเวลา 25 ปี (ซิลิกอนผลึกเดี่ยว)

ปี	ต้นทุนการติดตั้ง (บาท)	อัตราความเสื่อมจากอายุใช้งาน (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (หน่วย)	รายได้ (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
1	305,424	0.8	16.84	42,101	2,000	-265,323	13.13
2	-	1.6	16.70	41,761	2,000	-224,540	26.48
3	-	2.4	16.57	41,422	2,000	-185,037	39.42
4	-	3.2	16.43	41,082	2,000	-147,000	51.87
5	-	4	16.30	40,743	2,000	-110,232	63.91
6	-	4.8	16.16	40,403	2,000	-74,695	75.54
7	-	5.6	16.02	40,064	2,000	-40,749	86.66
8	-	6.4	15.89	39,724	2,000	-8,007	97.38
9	-	7.2	15.75	39,385	2,000	23,571	107.72
10	-	8	15.62	39,045	2,000	53,496	117.52
11	-	8.8	15.48	38,706	2,000	82,297	126.95
12	-	9.6	15.34	38,366	2,000	110,013	136.02
13	-	10.4	15.21	38,027	2,000	136,684	144.75

ตารางที่ 5.5 การคำนวณอัตราผลตอบแทนของระบบขนาด 4.2 kW ที่ภาคกลาง เป็นระยะเวลา 25 ปี (ซิลิกอนผลึกเดี่ยว) (ต่อ)

ปี	ต้นทุนการติดตั้ง (บาท)	อัตราความเสื่อมจากอายุใช้งาน (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (หน่วย)	รายได้ (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
14	-	11.2	15.07	37,687	2,000	162,347	153.15
15	-	12	14.94	37,348	2,000	187,039	161.24
16	-	12.8	14.80	37,008	2,000	210,793	169.02
17	-	13.6	14.67	36,669	2,000	233,643	176.50
18	-	14.4	14.53	36,329	2,000	255,623	183.69
19	-	15.2	14.39	35,990	2,000	276,763	190.62
20	-	16	14.26	35,650	2,000	297,094	197.27
21	-	16.8	14.12	35,310	2,000	316,644	203.67
22	-	17.6	13.99	34,971	2,000	335,443	209.83
23	-	18.4	13.85	34,631	2,000	353,517	215.75
24	-	19.2	13.72	34,292	2,000	370,892	221.44
25	-	20	13.58	33,952	2,000	387,595	226.90

ซึ่งจากตารางที่ 5.5 จะเห็นได้ว่ากำไรจากการขายไฟฟ้าเป็นค่าบวกที่ปีที่ 9 หมายความว่าระบบจะคืนทุนที่ 8 ปีกว่า เมื่อต้องการระบุชัดเจนว่ากี่ปีจะต้องทำการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} \text{สิ้นสุด 8 ปี กำไรติดลบอยู่} &= 8,007 \text{ บาท} \\ \text{ในปีที่ 9 สามารถสร้างได้} &= 31,578 \text{ บาท} \\ \text{ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่} &= 8 + \frac{8,007}{31,578} \\ &= 8.25 \text{ ปี} \end{aligned}$$

จากตารางที่ 5.4 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกในภาคกลางมี ระยะเวลาคืนทุนที่สั้นที่สุดอยู่ที่ 8.25 ปี ทั้งนี้เป็นเพราะเป็นภูมิภาคที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ดีที่สุด นั่นเอง และภาคที่มีระยะเวลาคืนทุนที่ยาวที่สุดก็คือภาคเหนือ อยู่ที่ 9.01 ปี

ตารางที่ 5.6 ระยะเวลาคืนทุนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกในแต่ละภูมิภาค

ภูมิภาค	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย/วัน ในปีแรก (หน่วย)	ต้นทุนการติดตั้ง (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
เหนือ	15.28	297,024	8.95	331,609	211.64
กลาง	16.52	297,024	8.17	382,769	228.87
ตะวันออก	15.97	297,024	8.50	360,147	221.25
อีสาน	16.52	297,024	8.17	382,769	228.87
ใต้ฝั่งตะวันออก	15.61	297,024	8.73	345,182	216.21
ใต้ฝั่งตะวันตก	16.08	297,024	8.34	364,672	222.78

จากตารางที่ 5.6 จะนำภาคกลางมาเป็นตัวอย่างแสดงการคำนวณระยะเวลาคืนทุน ซึ่งในการคำนวณจะทำการคิดกรณีที่แย่ที่สุด โดยคิดความเสื่อมสภาพจากอายุการใช้งานและคิดค่าบำรุงรักษาปีละ 2,000 บาท การคำนวณระยะเวลาคืนทุนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.7 (ข้อมูลที่ได้จากบทที่แล้วนั้นมีการคิดความเสื่อมจากอุณหภูมิแล้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 การคำนวณอัตราผลตอบแทนของระบบขนาด 4.2 kW ที่ภาคกลาง เป็นระยะเวลา 25 ปี (ซิลิกอนหลานผลึก)

ปี	ต้นทุนการติดตั้ง (บาท)	อัตราความเสื่อมจากอายุใช้งาน (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (หน่วย)	รายได้ (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
1	297,024	0.8	16.52	41,300	2,000	-257,724	13.23
2	-	1.6	16.39	40,967	2,000	-217,718	26.70
3	-	2.4	16.25	40,634	2,000	-178,966	39.75
4	-	3.2	16.12	40,301	2,000	-141,652	52.31
5	-	4	15.99	39,968	2,000	-105,585	64.45
6	-	4.8	15.85	39,635	2,000	-70,724	76.19
7	-	5.6	15.72	39,301	2,000	-37,423	87.40
8	-	6.4	15.59	38,968	2,000	-5,304	98.21
9	-	7.2	15.45	38,635	2,000	25,673	108.64
10	-	8	15.32	38,302	2,000	55,028	118.53
11	-	8.8	15.19	37,969	2,000	83,281	128.04
12	-	9.6	15.05	37,636	2,000	110,470	137.19
13	-	10.4	14.92	37,303	2,000	136,634	146.00

ตารางที่ 5.7 การคำนวณอัตราผลตอบแทนของระบบขนาด 4.2 kW ที่ภาคกลาง เป็นระยะเวลา 25 ปี (ซิลิกอนหลานผลึก) (ต่อ)

ปี	ต้นทุนการติดตั้ง (บาท)	อัตราความเสื่อมจากอายุใช้งาน (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (หน่วย)	รายได้ (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
14	-	11.2	14.79	36,970	2,000	161,808	154.48
15	-	12	14.65	36,637	2,000	186,030	162.63
16	-	12.8	14.52	36,304	2,000	209,332	170.48
17	-	13.6	14.39	35,971	2,000	231,748	178.02
18	-	14.4	14.25	35,638	2,000	253,309	185.28
19	-	15.2	14.12	35,305	2,000	274,047	192.26
20	-	16	13.99	34,972	2,000	293,991	198.98
21	-	16.8	13.85	34,639	2,000	313,169	205.44
22	-	17.6	13.72	34,306	2,000	331,610	211.64
23	-	18.4	13.59	33,972	2,000	349,340	217.61
24	-	19.2	13.45	33,639	2,000	366,385	223.35
25	-	20	13.32	33,306	2,000	382,769	228.87

ซึ่งจากตารางที่ 5.7 จะเห็นได้ว่ากำไรจากการขายไฟฟ้าเป็นค่าบวกที่ปีที่ 9 หมายความว่าระบบจะคืนทุนที่ 8 ปีกว่า เมื่อต้องการระบุชัดเจนว่ากี่ปีจะต้องทำการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} \text{สิ้นสุด 8 ปี กำไรติดลบอยู่} &= 5,304 \text{ บาท} \\ \text{ในปีที่ 9 สามารถสร้างได้} &= 30,977 \text{ บาท} \\ \text{ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่} &= 8 + \frac{5,304}{30,977} \\ &= 8.17 \text{ ปี} \end{aligned}$$

จากตารางที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาคืนทุนของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกของภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วที่สุดที่ 8.17 ปี เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบกันระหว่างการติดตั้งด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวในตารางที่ 5.4 กับชนิดซิลิกอนหลายผลึกในตารางที่ 5.6 จะพบว่าในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกนั้นจะมีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นกว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวเล็กน้อย เพราะว่ราคาต้นทุนการติดตั้งที่ต่ำกว่าและผลิตพลังงานออกมาได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งทั้ง 2 กรณีก็อยู่ที่ดุลยพินิจของผู้ติดตั้งว่าต้องการแบบใด

5.3.2 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านขนาดต่างๆ

ในการพิจารณาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านขนาดต่างๆนั้น จะพิจารณาเพื่อต้องการให้เห็นว่าการติดตั้งปริมาณมากหรือน้อยจะให้ผลตอบแทนอย่างไร ระยะเวลาคืนทุนแตกต่างกันเพียงใด เป็นต้น ซึ่งการที่จะติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านขนาดใดก็ต้องขึ้นอยู่กับพื้นที่ของหลังคาบ้านด้วยว่าเพียงพอหรือไม่

การพิจารณาในหัวนี้จะกำหนดชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวทั้งหมดทุกขนาดระบบในตารางที่ 5.8 กำหนดชนิดซิลิกอนหลายผลึกในตารางที่ 5.9 และกำหนดสถานที่ติดตั้งเป็นที่ภาคกลางเหมือนกันทุกขนาด ซึ่งจะทำให้มีต้นทุนเท่ากัน มีประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์เท่ากัน และยังมีค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิเท่ากัน เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาและเห็นข้อเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีขนาดเล็กและขนาดใหญ่นั้นเอง นอกจากนี้ยังกำหนดให้ขายไฟฟ้าคืนกลับสู่ระบบไฟฟ้าด้วยอัตรากรรับซื้อไฟฟ้าคงที่ (FiT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวบนหลังคาบ้านขนาดต่างๆ

ขนาดติดตั้ง (กิโลวัตต์)	พื้นที่ติดตั้งโดยประมาณ (ตรม.)	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย/วัน ในปีแรก (หน่วย)	ต้นทุนการติดตั้งระบบ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
2.4	16	10.14	174,528	7.81	241,945	238.63
3	20	12.67	218,160	7.79	302,931	238.86
3.6	24	15.21	261,792	7.78	363,917	239.01
4.8	32	20.28	349,052	7.76	485,890	239.20
6	40	25.35	436,320	7.75	607,862	239.32
7.2	48	30.42	523,584	7.74	729,835	239.39
9	60	38.02	654,480	7.75	912,793	239.47

จากตารางที่ 5.8 จะเห็นได้ว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวในภาคกลางทุกขนาดการติดตั้ง จะให้ระยะเวลาคืนทุนที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อติดตั้งระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะทำให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นลงและได้กำไรมากขึ้นด้วย โดยที่ขนาด 2.4 กิโลวัตต์จะได้กำไร 241,945 บาท แต่ที่ระบบ 9 กิโลวัตต์จะได้กำไร 912,793 บาท ซึ่งต้องเพิ่มต้นทุน 479,952 บาท แต่ผลกำไรที่ได้เพิ่มขึ้น 670,848 บาท ทั้งนี้ผู้ที่สนใจที่จะติดตั้งมีเงินลงทุนเพียงพอที่จะลงทุนระบบใหญ่ก็ควรที่จะลงทุนระบบใหญ่ เพราะทำให้ผลกำไรที่มีราคามากกว่าถึงแม้ว่าจะเป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

และจากตารางที่ 5.8 จะนำการติดตั้งระบบ 2.4 กิโลวัตต์ มาเป็นตัวอย่างในการคำนวณ ซึ่งในการคำนวณจะทำการคิดกรณีที่แย่ที่สุด โดยคิดความเสี่ยงสภาพจากอายุการใช้งานและคิดค่าบำรุงรักษาปีละ 2,000 บาท การคำนวณระยะเวลาคืนทุนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 การคำนวณอัตราผลตอบแทนของระบบขนาด 2.4 kW เป็นระยะเวลา 25 ปี (ซิลิกอนผลึกเดี่ยว)

ปี	ต้นทุนการติดตั้ง (บาท)	อัตราความเสื่อมจากอายุใช้งาน (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (หน่วย)	รายได้ (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
1	174,528	0.8	10.14	25,349	2,000	-151,179	13.38
2	-	1.6	10.06	25,145	2,000	-126,624	27.45
3	-	2.4	9.98	24,940	2,000	-102,839	41.08
4	-	3.2	9.89	24,736	2,000	-79,936	54.20
5	-	4	9.81	24,531	2,000	-57,798	66.88
6	-	4.8	9.73	24,327	2,000	-36,401	79.14
7	-	5.6	9.65	24,123	2,000	-15,962	90.85
8	-	6.4	9.57	23,918	2,000	3,752	102.15
9	-	7.2	9.48	23,714	2,000	22,765	113.04
10	-	8	9.40	23,509	2,000	40,783	123.37
11	-	8.8	9.32	23,305	2,000	58,124	133.30
12	-	9.6	9.24	23,100	2,000	74,812	142.87
13	-	10.4	9.16	22,896	2,000	90,871	152.07

ตารางที่ 5.9 การคำนวณอัตราผลตอบแทนของระบบขนาด 2.4 kW เป็นระยะเวลา 25 ปี (ซิลิกอนผลึกเดี่ยว) (ต่อ)

ปี	ต้นทุนการติดตั้ง (บาท)	อัตราความเสื่อมจากอายุใช้งาน (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (หน่วย)	รายได้ (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
14	-	11.2	9.08	22,692	2,000	106,323	160.92
15	-	12	8.99	22,487	2,000	121,189	169.44
16	-	12.8	8.91	22,283	2,000	135,492	177.63
17	-	13.6	8.83	22,078	2,000	149,250	185.52
18	-	14.4	8.75	21,874	2,000	162,484	193.10
19	-	15.2	8.67	21,669	2,000	175,213	200.39
20	-	16	8.59	21,465	2,000	187,454	207.41
21	-	16.8	8.50	21,261	2,000	199,225	214.15
22	-	17.6	8.42	21,056	2,000	210,544	220.64
23	-	18.4	8.34	20,852	2,000	221,427	226.87
24	-	19.2	8.26	20,647	2,000	231,888	232.87
25	-	20	8.18	20,443	2,000	241,945	238.63

ซึ่งจากตารางที่ 5.9 จะเห็นได้ว่ากำไรจากการขายไฟฟ้าเป็นค่าบวกที่ปีที่ 8 หมายความว่าระบบจะคืนทุนที่ 7 ปีกว่า เมื่อต้องการระบุชัดเจนว่าปีที่จะต้องทำการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} \text{สิ้นสุด 7 ปี กำไรติดลบอยู่} &= 15,962 \text{ บาท} \\ \text{ในปีที่ 8 สามารถสร้างได้} &= 19,714 \text{ บาท} \\ \text{ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่} &= 7 + \frac{15,962}{19,714} \\ &= 7.81 \text{ ปี} \end{aligned}$$

ตารางที่ 5.10 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกบนหลังคาบ้านขนาดต่างๆ

ขนาดติดตั้ง (กิโลวัตต์)	พื้นที่ติดตั้งโดยประมาณ (ตรม.)	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย/วัน ในปีแรก (หน่วย)	ต้นทุนการติดตั้งระบบ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
2.4	16	9.44	169,728	7.57	246,745	245.38
3	20	11.80	212,160	7.55	308,931	245.61
3.6	24	14.16	254,592	7.55	371,117	245.77
4.8	32	18.88	339,456	7.52	495,490	245.97
6	40	23.60	424,320	7.51	619,862	246.08
7.2	48	28.32	509,184	7.50	744,235	246.16
9	60	35.40	636,480	7.49	930,793	246.24

จากตารางที่ 5.10 จะเห็นได้ชัดเจนว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกขนาดระบบต่างๆ นั้น เมื่อติดตั้งระบบที่ใหญ่ขึ้นก็จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากและขายไฟฟ้าได้กำไรเป็นจำนวนมาก เช่นเดียวกับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวในตารางที่ 5.8 พบว่าเมื่อเพิ่มเงินลงทุนจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกจากขนาด 2.4 กิโลวัตต์เป็นขนาด 9 กิโลวัตต์ ต้องทำการเพิ่มเงินลงทุน 466,752 บาท แต่จะได้กำไรที่มากขึ้นถึง 565,061 บาท เพราะฉะนั้นควรที่จะติดตั้งขนาดปริมาณที่มากที่สุดเท่าที่งบประมาณการติดตั้งและพื้นที่ติดตั้งสูงสุดที่สามารถติดตั้งได้

และจากตารางที่ 5.10 จะนำการติดตั้งระบบ 2.4 กิโลวัตต์ มาเป็นตัวอย่างในการคำนวณ ซึ่งในการคำนวณจะทำการคิดกรณีที่แย่ที่สุด โดยคิดความเสื่อมสภาพและคิดค่าบำรุงรักษาปีละ 2,000 บาท การคำนวณระยะเวลาคืนทุนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 การคำนวณอัตราผลตอบแทนของระบบขนาด 2.4 kW เป็นระยะเวลา 25 ปี (ซิลิกอนหลายผลึก)

ปี	ต้นทุนการติดตั้ง (บาท)	อัตราความเสื่อมจากอายุใช้งาน (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (หน่วย)	รายได้ (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
1	169,728	0.8	10.14	25,349	2,000	-146,379	13.76
2	-	1.6	10.06	25,145	2,000	-121,824	28.22
3	-	2.4	9.98	24,940	2,000	-98,039	42.24
4	-	3.2	9.89	24,736	2,000	-75,136	55.73
5	-	4	9.81	24,531	2,000	-52,998	68.77
6	-	4.8	9.73	24,327	2,000	-31,601	81.38
7	-	5.6	9.65	24,123	2,000	-11,162	93.42
8	-	6.4	9.57	23,918	2,000	8,552	105.04
9	-	7.2	9.48	23,714	2,000	27,565	116.24
10	-	8	9.40	23,509	2,000	45,583	126.86
11	-	8.8	9.32	23,305	2,000	62,924	137.07
12	-	9.6	9.24	23,100	2,000	79,612	146.91
13	-	10.4	9.16	22,896	2,000	95,671	156.37

ตารางที่ 5.11 การคำนวณอัตราผลตอบแทนของระบบขนาด 2.4 kW เป็นระยะเวลา 25 ปี (ซิลิกอนหลายผลึก) (ต่อ)

ปี	ต้นทุนการติดตั้ง (บาท)	อัตราความเสื่อมจากอายุใช้งาน (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (หน่วย)	รายได้ (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
14	-	11.2	9.08	22,692	2,000	111,123	165.47
15	-	12	8.99	22,487	2,000	125,989	174.23
16	-	12.8	8.91	22,283	2,000	140,292	182.66
17	-	13.6	8.83	22,078	2,000	154,050	190.76
18	-	14.4	8.75	21,874	2,000	167,284	198.56
19	-	15.2	8.67	21,669	2,000	180,013	206.06
20	-	16	8.59	21,465	2,000	192,254	213.27
21	-	16.8	8.50	21,261	2,000	204,025	220.21
22	-	17.6	8.42	21,056	2,000	215,344	226.88
23	-	18.4	8.34	20,852	2,000	226,227	233.29
24	-	19.2	8.26	20,647	2,000	236,688	239.45
25	-	20	8.18	20,443	2,000	246,745	245.38

ซึ่งจากตารางที่ 5.11 จะเห็นได้ว่ากำไรจากการขายไฟฟ้าเป็นค่าบวกที่ปีที่ 8 หมายความว่าระบบจะคืนทุนที่ 7 ปีกว่า เมื่อต้องการระบุชัดเจนว่าปีที่จะต้องทำการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} \text{สิ้นสุด 7 ปี กำไรติดลบอยู่} &= 11,162 \text{ บาท} \\ \text{ในปีที่ 8 สามารถสร้างได้} &= 19,714 \text{ บาท} \\ \text{ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่} &= 7 + \frac{11,162}{19,714} \\ &= 7.57 \text{ ปี} \end{aligned}$$

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวใน ตารางที่ 5.8 และการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหลายผลึกในตารางที่ 5.10 พบว่าที่การติดตั้งใน ขนาดปริมาณการติดตั้งที่เท่ากัน การลงทุนติดตั้งของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกนั้นมี ต้นทุนที่น้อยกว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว จึงทำให้จุดคุ้มทุนของชนิดซิลิกอน หลายผลึกน้อยกว่าด้วย แต่ว่าจากการเปรียบเทียบในด้านผลกำไรที่ได้กลับมามีพบว่า การติดตั้งเซลล์ แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวที่ขนาด 9 กิโลวัตต์ ให้ผลกำไรที่มากกว่าชนิดซิลิกอนหลายผลึก เท่ากับ 24,275 บาท ในขณะที่ต้องเพิ่มเงินลงทุน 18,000 บาท ทั้งนี้เพราะประสิทธิภาพการผลิต พลังงานไฟฟ้าที่ดีกว่า ซึ่งทั้งหมดนี้ก็ขึ้นอยู่กับความสมด้านเงินลงทุนและพื้นที่ติดตั้งของผู้ที่สนใจติดตั้ง เองด้วย

ซึ่งจากตารางที่ 5.8 และ 5.10 จะนำระบบที่มีขนาดติดตั้ง 2.4 กิโลวัตต์ ทั้งเซลล์ แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวและซิลิกอนหลายผลึก มาคำนวณหาต้นทุน ในหน่วย บาท/กิโลวัตต์ และ บาท/ตารางเมตร เพื่อตรวจสอบดูว่าราคาต้นทุนที่กล่าวมาก่อนหน้านี้สามารถนำไปใช้ได้ หรือไม่ โดยการคำนวณสามารถแสดงได้ดังนี้

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว

$$\begin{aligned} \text{ขนาด 2.4 kW ติดตั้ง} &= 8 \text{ แผง} \\ \text{ขนาดแผงเซลล์} &= 1.956 \times 0.992 \\ &= 1.94 \text{ ตารางเมตร} \\ \text{ต้นทุนการติดตั้งทั้งหมด} &= 174,528 \text{ บาท} \\ \text{ต้นทุน(บาท/กิโลวัตต์)} &= \frac{174,528}{2.4} \\ &= 72,720 \text{ บาท/กิโลวัตต์} \\ \text{ต้นทุน(บาท/ตารางเมตร)} &= \frac{174,528}{8 \times 1.94} \\ &= 11,245 \text{ บาท/ตารางเมตร} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก

ขนาด 2.4 kW ติดตั้ง	=	8 แผง
ขนาดแผงเซลล์	=	1.956 x 0.992
	=	1.94 ตารางเมตร
ต้นทุนการติดตั้งทั้งหมด	=	169,728 บาท

ต้นทุน(บาท/กิโลวัตต์)	=	$\frac{169,728}{2.4}$
	=	70,720 บาท/กิโลวัตต์
ต้นทุน(บาท/ตารางเมตร)	=	$\frac{169,728}{8 \times 1.94}$
	=	10,936 บาท/ตารางเมตร

ซึ่งจะเห็นได้ว่าราคาค่าต้นทุนในหน่วย บาท/กิโลวัตต์ และ บาท/ตารางเมตร ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิดนั้น มีค่าเท่ากับที่ทำการคำนวณก่อนหน้านี้ เพราะฉะนั้นราคาค่าต้นทุนนี้สามารถนำไปเป็นตัวเลขประมาณการลงทุนติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านได้ทันที ซึ่งจะช่วยให้ผู้ที่สนใจติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านได้มีตัวเลขเงินไว้เพื่อเปรียบเทียบกับ การติดตั้งจริง เพื่อให้สามารถตัดสินใจได้ในติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน

5.4 วิเคราะห์ และสรุปผล

ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน มีราคาค่าต้นทุนสุทธิ ณ ปัจจุบันอยู่ที่ 72,720 บาท/กิโลวัตต์ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว และ 70,720 บาท/กิโลวัตต์ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก และเมื่อคิดราคาต่อหน่วยพื้นที่จะมีราคาค่าต้นทุนสุทธิเท่ากับ 11,245 บาท/ตารางเมตร สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว และ 10,936 บาท/กิโลวัตต์ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก

โดยการเข้าโครงการรับซื้อไฟคืนในอัตรา 6.85 บาท/หน่วย โดยติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวในภูมิภาคต่างๆของประเทศไทยพบว่าภาคกลางที่มีปริมาณความเข้มแสงสูงสุดทำให้มีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วที่สุด รองลงมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกในภูมิภาคต่างๆ ในประเทศไทยพบว่าภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีระยะเวลาคืนทุนที่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยกว่าอุณหภูมิของภาคกลาง และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกมีการตอบสนอง
พอสมควร

การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ปริมาณต่างๆ พบว่า เมื่อทำการติดตั้งเยอะขึ้นก็จะลงทุน
เพิ่มขึ้นแต่ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาก็มากขึ้นด้วยทุกให้ระยะเวลาคืนทุนใกล้เคียงกันทุกขนาด
การติดตั้ง แต่ที่ต่างกันชัดเจนคือผลกำไรที่ตอบแทนกลับมาจากการติดตั้งมีค่าที่มากขึ้นเมื่อ
ติดตั้งระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ตลอด 25 ปีจะให้ผลตอบแทนแต่ละปีที่ลดลงเนื่องจากค่า
ความเสื่อมสภาพจากอุณหภูมิและอายุการใช้งานที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าในแต่ละปี เป็นผล
ให้ต้องใช้เวลาชดเชยมากขึ้นกว่าจะถึงระยะเวลาคืนทุน เนื่องด้วยการพิจารณาแบบกรณีเลวร้ายที่สุด
โดยคิดอัตราเงินเฟ้อ อัตราความเสื่อมสภาพ และค่าบำรุงรักษาระบบ

สรุปได้ว่าในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจำหน่ายไฟฟ้าคืนสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า
โดยการเข้าโครงการรับซื้อไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ของรัฐบาลเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าไม่ว่าจะติดตั้ง
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวหรือชนิดซิลิกอนหลายผลึก ไม่ว่าจะติดตั้งที่ภูมิภาคใดของ
ประเทศไทย และไม่ว่าจะติดตั้งขนาดปริมาณการติดตั้งเท่าใด แต่ที่ทั้งหมดนี้ก็ขึ้นอยู่กับความพร้อม
ของผู้ที่สนใจจะติดตั้งทั้ง 2 ประการ คือ เงินลงทุนติดตั้งและพื้นที่ติดตั้งนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุป และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อที่จะศึกษาความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านแบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย เพื่อเป็นส่วนช่วยในการให้ความรู้และตัดสินใจในการลงทุนติดตั้งระบบแก่ผู้สนใจ

โดยในการศึกษาความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบครั้งนี้ได้ศึกษาเฉพาะในกรณีของการติดตั้งระบบในประเทศไทย โดยแสดงให้เห็นถึงปัจจัยหลักสำคัญ 2 ส่วนที่ต้องนำมาพิจารณาคือต้นทุนในการติดตั้งระบบ และรายได้จากการผลิตไฟฟ้าของระบบ ในส่วนต้นทุนนั้นปัจจัยหลักที่มีผลมากที่สุดคือ แนวนอ้มนราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในปัจจุบันราคาลดน้อยลงจากอดีตมากอยู่ที่ราคาต่ำกว่า 0.74 \$/W กล่าวได้ว่าอยู่ในระดับมีความน่าสนใจในการติดตั้งลงทุน และจากการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าราคาการติดตั้งระบบในปัจจุบันอยู่ที่ 70000 – 80000 บาท/กิโลวัตต์ ซึ่งพบว่า การติดตั้งระบบในประเทศไทยนั้นจะเสียค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าปกติ เนื่องจากอุปกรณ์ส่วนใหญ่ในระบบนั้นนำเข้ามาจากต่างประเทศ และในส่วนของรายได้จากการผลิตไฟฟ้าของระบบนั้นมีปัจจัยสำคัญคือค่าอัตราซื้อไฟฟ้าของการไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ ซึ่งมีปัจจัยหลักคือชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ติดตั้ง พื้นที่หลังคา ความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิ ซึ่งในโครงการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการจำลองระบบไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านด้วยวิธีทางวิศวกรรมดังนี้

ในการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายครั้งนี้ได้เลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิดคือ ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว ชนิดซิลิกอนหลายผลึก และชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) เพื่อทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า และความคุ้มค่าในการติดตั้งแผงเซลล์แต่ละชนิด โดยทำการจำลองใน 2 รูปแบบคือ

1) การจำลองระบบจริงด้วยเครื่อง Photovoltaic Simulator โดยมีคุณสมบัติในการจ่ายกำลังไฟฟ้าตามคุณลักษณะแผงเซลล์ และสภาพอากาศตามที่กำหนด ซึ่งในการจำลองครั้งนี้พบว่า แผงเซลล์ทั้ง 3 ชนิดนั้นมีประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งที่สภาพอากาศแย่ที่สุดต่อการผลิตไฟฟ้าคือ สภาพอากาศฝนตก (Rainy) แผงเซลล์ทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันคือ 83 % ดังนั้นกล่าวได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ แม้ได้รับผลกระทบจากปัจจัยทางด้านสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

2) การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านแบบเชื่อมต่อกับระบบหน่วยด้วยโปรแกรม PSIM 9.0.3 จากการจำลองพบว่า ตามพื้นที่หลังคาบ้านที่กำหนดคือ 33.57 m^2 สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวและชนิดซิลิกอนหลายผลึกได้กำลังสูงสุดที่เท่ากันคือ 4.2 kW และชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) ติดตั้งได้กำลังสูงสุดคือ 2.7 kW ซึ่งคำนวณได้ว่ามีกำลังติดตั้งมากกว่าถึง 35% แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) ไม่เหมาะต่อระบบการติดตั้งบนหลังคาบ้าน และจากการจำลองการติดตั้งระบบในแต่ละภูมิภาคในประเทศไทยสรุปได้ว่า ภาคกลางสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดคือ 16.84 kWh และภาคเหนือผลิตได้น้อยที่สุดคือ 15.62 แยกต่างกัน 7.24%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการจำลองข้างต้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ นั้นมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าที่ทนต่อสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปได้ กล่าวได้ว่าสามารถติดตั้งในประเทศไทยที่มีความผันผวนด้านสภาพอากาศได้ และแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) ไม่เหมาะสมต่อระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน เนื่องจากติดตั้งบนหลังคาได้ กำลังสูงสุดที่น้อย ไม่คุ้มค่าต่อค่าอุปกรณ์ประกอบระบบที่มีราคาสูง และจากการนำข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ระบบจำลองผลิตได้มาทำการคิดคำนวณความคุ้มค่า (เฉพาะแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว และชนิดซิลิกอนหลายผลึก) พบว่าระบบสามารถคืนทุนในช่วงระยะเวลาเท่ากันตลอดทุกขนาดกำลังติดตั้งในช่วงในปีที่ 8 และให้อัตราผลตอบแทน (Return on investment) สูงสุดในปีที่ 25 มากกว่า 200 % ซึ่งในการคำนวณครั้งนี้ได้คิดคาดการณ์รวมถึงอัตราเงินเฟ้อในแต่ละปี ดังนั้นหากในอนาคตค่าเงินเฟ้อมีอัตราที่ลดลง จะทำให้มีระยะเวลาคืนทุนที่รวดเร็วขึ้น และมีอัตราผลตอบแทนที่มากขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับแนวทางการพัฒนาต่อยอดงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ทั้งในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์ ซึ่งเป็นการทำให้สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของระบบได้อย่างละเอียด มีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น โดยมีหัวข้อที่ควรทำการศึกษาต่อยอดดังนี้

- 1) ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นอกเหนืออื่นจากความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ เช่น ความชื้น ตำแหน่งติดตั้ง หรือมุมเอียงที่เหมาะสมต่อติดตั้งแผงเซลล์ ซึ่งอาจทำการทดลองโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง และทำการวัดเก็บผลจากสภาพแวดล้อมจริง
- 2) ศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบด้วยวิธี Levelized cost of energy หรือ LCOE ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ถึงด้านต้นทุน ค่าใช้จ่ายด้านต่างๆ และรายได้ของระบบ ทำให้สามารถคำนวณความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านได้อย่างถูกต้อง และน่าเชื่อถือมากขึ้น
- 3) พัฒนาโปรแกรมคำนวณสำหรับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านในประเทศไทย โดยป้อนข้อมูลด้านแผงเซลล์ และตำแหน่งที่ทำการติดตั้ง ซึ่งสามารถคำนวณให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบ ประเมินต้นทุนและรายได้จากระบบได้ เป็นการช่วยให้ผู้สนใจลงทุนมีความสะดวกรวดเร็วในการตัดสินใจ
- 4) ศึกษาถึงผลกระทบและประโยชน์ที่ได้จากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านในระดับประเทศ วิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของระบบว่าสามารถช่วยเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าให้กับประเทศทั้งในปัจจุบัน และอนาคตอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. R. Jha, *Solar Cell Technology and Applications*, Boca Raton, Taylor & Francis Group, 2010
- [2] Martin A. Green, et al, "Very High Efficiency Silicon Solar Cell-Science and Technology," *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol.46, No.10, October 1999
- [3] Christiana B. Honsberg, et al, "Design Strategies for Commercial Solar Cells Using The Buried Contact Technology," *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol.46, No.10, October 1999
- [4] Mitsuhiro Matsumoto, et al, "The Development of High-Rate Deposition Technology for Microcrystalline Silicon for High-Efficiency α -Si/uc-Si Tandem Solar Module," *IEEE Journal of Photovoltaics*, Vol.3, No.1, January 2013
- [5] Carlos del Canizo, et al, "Analysis of a Technology for CZ Bifacial Solar Cells," *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol.48, No.10, October 2001
- [6] Richard J. Stirn, Y. C. M. Yeh, "Technology of GaAs Metal-Oxide-Semiconductor Solar Cells," *IEEE Transactions on Electron Device*, Vol.ED-24, No.4, April 1977
- [7] Joachim Luther, "Photovoltaics the Basis for Sustainable Energy Systems and Industrial Innovations," 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2005
- [8] กองสารสนเทศ ฝ่ายสื่อสารองค์กร กฟผ., "สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2557," 2557 [Online], Available: www.egat.co.th
- [9] สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, "โครงการติดตามและประเมินผลเพื่อการพัฒนาการใช้ระบบประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์," 2545 [Online], Available: www.dede.go.th
- [10] คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, "มาตรการบรรเทาผลกระทบด้านพลังงาน," **มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, ครั้งที่ 2, 2553**
- [11] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, "การรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา," 2556 [Online], Available: www.erc.or.th
- [12] กฤษณพงศ์ กีรติกร และคณะ, "รายงานสถานภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย," 2556[Online], Available: www.dede.go.th/
- [13] Somchai Hiranvarodom, "PV SYSTEMS INSTALLED AT A THAI UNIVERSITY FOR PV DEVELOPMENT : REAL LESSONS LEARNT," Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand, 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Pimonmart Wankanapon, Anake Suwanchaiskul, Parinee Srisuwan and Chalermwat Tantasavasdi, *"Benefits of Roof-Mounted Solar Cells for Low-Cost Residential Buildings," Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Thailand, 2012*
- [15] Imtiaz Ashraf, A. Chandra, *"TECHNO ECONOMIC VIABILITY OF A ROOFTOP SYSTEM FOR PEAK LOAD MANAGEMENT HYBRIDIZED SOLAR PV-AC GRID ASSISTED POWER," Centre for Energy Studies Indian Institute of Technology Delhi Hauz Khas, New Delhi, India*
- [16] Md. Rifat Alam Siddique, Shahriar Jalal Nibir and Aminul Hoque, *"Rooftop Hybrid System for Minimizing Peak Demand with an Effective Feed-In Tariff Structure," IEEE Conference on Clean Energy and Technology, 2013*
- [17] Zulkiflee Abd Latif, Nurul Ain Mohd Zaki and Siti Aekbal Salleh, *"GIS-based Estimation of Rooftop Solar Photovoltaic Potential using LiDAR," Centre of Studies Surveying Science and Geomatics Faculty of Architecture, Planning and Surveying, UiTM Shah Alam, Malaysia, 2012*
- [18] Boudewijn Elsinga and Wilfried G.J.H.M. van Sark, *"Power Output Variability in Randomly Spaced Dutch Urban Rooftop Solar Photovoltaic Systems," Copernicus Institute of Sustainable Development, Utrecht University, 3508 TC Utrecht, The Netherlands, 2013*
- [19] A. Zahedi, *"Economic Evaluation of Grid-connected Solar PV Production Cost in New Zealand," Senior Member, IEEE, Jun Lu, Student Member, 2011*
- [20] Farhana Afrin, Twisha Titirsha, Syeda Sanjidah, A. R. M. Siddique and Asif Rabbani, *"Installing Dual Axis Solar Tracker on Rooftop to Meet the Soaring Demand of Energy for Developing Countries," Dept. of Electrical, Electronic and Communication Engineering Military Institute of Science and Technology Dhaka, Bangladesh, 2013*
- [21] Jesse Morris (RMI), Koben Calhoun (RMI), Joseph Goodman (GTRI) and Daniel Seif (RMI), *"Reducing Solar PV Soft Costs: A Focus on Installation Labor," Rocky Mountain Institute (RMI), Boulder, CO 80302, United States of America; Georgia Tech Research Institute (GTRI), Atlanta, GA 30318, United States of America, 2013*
- [22] Max Shulaker, et al, *"How Rooftop Solar Can Stabilize The Grid," Spectrum. IEEE.ORG, North America, February 2015*
- [23] Aimie-Nazmin Azmi, Mohan Lal Kohle, Anne Gerd Imenes, *"On-Grid Residential Development with PhotoVoltaic System in Southern Norway," IEEE Conference on Clean Energy and Technology, 2013*
- [24] Linda Hardesty, *"What's A Nanogrid?," March 2014 [Online]: Available <http://www.energymanagertoday.com>*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [25] M. Rezwan Khan, Edward D. Brown, "DC Nanogrid: Low Cost PV Based Solution for Livelihood Enhancement for Rural Bangladesh," **Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET)**, 2014
- [26] Majid Biabani, Ali Johar, Mehdi Johar, "Propose a Home Demand-Side-Management Algorithm for Smart Nano-Grid," **4th Power Electronics, Drive Systems & Technologies Conference (PEDSTC2013)**, February 2013
- [39] Taif Hossain Rocky, Rafiul Islam, Uttam Kumar Saha, "Nano Solar Grid (NSG): A Solution for Rural Market Power Crisis," **2th International Conference on Green Energy and Technology**, September 2014
- [28] S.Hema latha and S.Chandra Mohan "Centralized Power Control Strategy for 25 kW Nano Grid for Rustic Electrification," **International Conference on Emerging Trends in Science, Engineering and Technology, India, 2012**
- [29] M.H. Shwehdi and S.RajaMohamed "Proposed Smart DC Nano-Grid for Green Buildings—A Reflective View," **3rd International Conference on Renewable Energy Research and Applications Milwaukee, USA, Oct 2014**
- [30] Samir Kouro, et al, "Grid-connected Photovoltaic Systems," **IEEE Industrial Electronics Magazine**, March 2015
- [31] E. Koutoulis, F. Blaabjerg, "Methodology for The Optimal Design of Transformerless Grid-Connected PV Inverters," **IET Power Electron**, Vol.5, Iss.8, 2012
- [32] Paul Denholm, et al, "Break-Even Cost for Residential Photovoltaics in the United States: Key Drivers and Sensitivities," **National Renewable Energy Laboratory** , Technical Report , December 2009
- [33] Ahmad Zahedi, "Developing A Method to Accurately Estimate The Grid-Connected Solar PV Electricity Cost in Hobart-Australia," **Australasian University Power Engineering Conference**, 2013
- [34] Kosuke Kurokawa, et al, "A Cost Analysis of Very Large Scale PV (VLS-PV) System on The World Deserts," **IEEE Conference**, 2012
- [35] Nofri Yenita Dahlan, et al, "Economic Feasibility Study of a 16 kWp Grid Connected PV System at Green Energy Research Centre (GERC), UiTM Shah Alam," **IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC)**, 2013
- [36] D. T. Ho, J. Frunt, J.M.A. Myrzik, "Photovoltaic Energy in Power Market," **6th International Conference on the European**, Eindhoven, 2009
- [37] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, "การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์," มิถุนายน 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาความคุ้มค่าในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน เพื่อพัฒนาเป็นระบบนาโนกริด

Break Even Point Analysis of Solar Rooftop System for Apply in Nano-Grid System

กฤษณ์ ขูหาค¹ กิรติ จูประเสริฐพร¹ และ เกริก โจนมมงคล¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 เลขที่ ๑๑๐๑๖๖ ๑๑๐๑๖๖ กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 Email: Ice_electrical@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอถึงการจำลองและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านเพื่อจ่ายคืนสู่ระบบจำหน่าย ซึ่งเป็นกรช่วยเหลือให้ความรู้และตัดสินใจให้กับผู้มีความสนใจที่จะทำการติดตั้งระบบ โดยทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าที่ปัจจัยหลัก 2 ประการคือ ต้นทุนในการติดตั้งและรายได้จากพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ ซึ่งปัจจัยด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นได้ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการจำลองระบบ โดยการจำลองระบบด้วยโปรแกรม PSIM 9.0.3 ในคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงให้เห็นภาพรวมของระบบ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่าย และแสดงการคำนวณให้เห็นถึงระยะเวลาในการคืนทุนและอัตราผลตอบแทนของการติดตั้งระบบตามอายุการใช้งานสูงสุด

คำสำคัญ: ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน.

จุดคุ้มทุน

Abstract

This project presents the simulation and value analysis of power transmission to grid by PV solar rooftop system. It will help people's decision who interested to invest in solar rooftop system. Analysis the value of system by the two main factors. Installation cost and system revenue from energy generation. Energy generation factor was analyzed by means of simulations with system schematic simulation by PSIM 9.0.3 program on computer. These simulation will show the system overall, the factors that affect power generation of

solar panels and system performance comparison. Performing calculation of the discount payback period and return on investment of system by a lifetime maximum.

Keyword: Solar rooftop system, Discount payback period

1. บทนำ

การใช้น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นก่อให้เกิดผลเสียคือ ก่อให้เกิดมลพิษในอากาศมากจากการเผาไหม้ นอกจากนี้เชื้อเพลิงเหล่านี้ยังเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป ทั่วโลกจึงได้ค้นหาที่มาของพลังงานในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์[1] เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันนี้ในหลายประเทศได้คิดค้นและพัฒนาการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทางเลือกเหล่านี้ทั้งสิ้น โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาให้มีประสิทธิภาพให้สูงขึ้นและลดต้นทุนการผลิตลง โดยในอนาคตได้คาดการณ์ไว้ว่าจะมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นปริมาณมากที่สุด[2] ในหลายๆ ประเทศได้มีการสนับสนุนให้มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้ากันอย่างกว้าง โดยเรียกระบบนี้ว่า ระบบนาโนกริด (Nano-grid)[3] ซึ่งระบบนาโนกริด คือระบบที่มีขนาดไม่เกิน 100 กิโลวัตต์ สำหรับระบบที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (On Grid) และระบบที่มีขนาดไม่เกิน 5 กิโลวัตต์ สำหรับระบบแบบอิสระ (Stand-alone)

ประเทศไทยก็ได้มีการสนับสนุนให้ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้า โดยในปัจจุบันมีการรับซื้อไฟฟ้าจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน (Rooftop PV System) ด้วยอัตรารับซื้อไฟฟ้าคงที่ (Feed-in Tariff: FIT)[4] โดยโครงการงานชิ้นนี้ทำการศึกษาถึงความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน ซึ่งจะวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้ง เซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาค

3. ความคุ้มค่าในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน

ความคุ้มค่าในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านจะมี ปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยกัน 2 ปัจจัยหลัก คือ ต้นทุนในการติดตั้งระบบ และ รายได้จากการผลิตไฟฟ้า[6] ซึ่งแต่ละปัจจัยจะมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ต้นทุนในการติดตั้งระบบ

ต้นทุนในการติดตั้งระบบจะประกอบด้วยค่าใช้จ่ายต่างๆ 5 องค์ประกอบจะมีราคาที่แตกต่างกันไป[5]-[8] ดังนี้

- 1.) ราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อยู่ที่ 27 บาท/วัตต์ สำหรับชนิดซิลิกอน ผลึกเดี่ยว อยู่ที่ 25 บาท/วัตต์ สำหรับซิลิกอนหลายผลึก และ 21 บาท/วัตต์ สำหรับซิลิกอนไร้รูปร่าง
- 2.) ราคาเครื่องแปลงไฟฟ้า อยู่ที่ 10.8 บาท/วัตต์
- 3.) ราคาอุปกรณ์ประกอบ อยู่ที่ 2.17 บาท/วัตต์
- 4.) ราคาค่าบริการ อยู่ที่ 20.75 บาท/วัตต์
- 5.) ราคาค่าห้วงโซ่อุปทาน อยู่ที่ 12 บาท/วัตต์

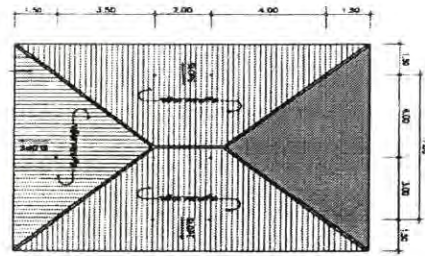
2.2 รายได้จากการผลิตไฟฟ้า

ตัวแปรที่มีผลกับรายได้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ก็คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยประสิทธิภาพของแผงเซลล์ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราความ เสื่อมสภาพของแผงเซลล์ และสภาพภูมิอากาศ ซึ่ง ได้แก่ ความเข้ม แสงอาทิตย์ ระยะเวลาผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อวัน (PSH) อุณหภูมิของ แผงเซลล์ นอกจากนี้ยังทำการคิดอัตราเงินเฟ้อในประเทศไทยอีกด้วย ซึ่ง ปัจจุบันมีค่าประมาณ 2.4% ต่อปี

ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อรายได้จากการผลิต ไฟฟ้าด้วยเซลล์ แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านนั้น จะทำการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM 9.0.3 และนำผลที่ได้ไปคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทน ของ การติดตั้งระบบต่อไป

4. การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน

ทำการจำลองโดยใช้โปรแกรม PSIM 9.0.3 เลือกหลังคาบ้าน สำหรับติดตั้งระบบดังรูปที่ 4 มาเป็นพื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งเซลล์ แสงอาทิตย์ ซึ่งมีพื้นที่ติดตั้งเป็นพื้นที่ที่แรงเท่ากับ 33.57 ตารางเมตร สามารถติดตั้งได้จริงเพียง 28.53 ตารางเมตร [8] โดยแสดงดังรูปที่ 4



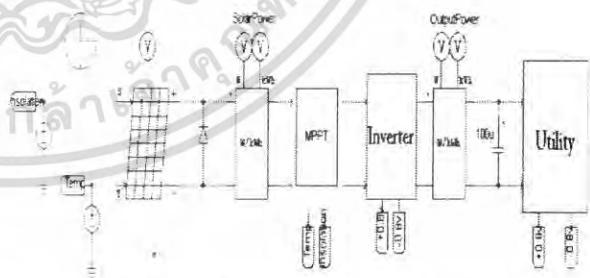
รูปที่ 1 หลังคาบ้านตัวอย่างในการจำลองติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์

จำลองโดยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิด ได้แก่ เซลล์ แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว (ยี่ห้อ Schutten Solar ขนาด 300 W) ชนิดซิลิกอนหลายผลึก (ยี่ห้อ Schutten Solar ขนาด 300 W) และชนิด ซิลิกอนไร้รูปร่าง (ยี่ห้อ Sharp Solar ขนาด 135 W) ซึ่งสามารถแสดง ข้อมูลได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ชนิดของแผงเซลล์	พื้นที่แผงเซลล์ (ตารางเมตร)	ปริมาณการติดตั้ง (กิโลวัตต์)
ซิลิกอนผลึกเดี่ยว	1.956 x 0.992	4.2
ซิลิกอนหลายผลึก	1.956 x 0.992	4.2
ซิลิกอนไร้รูปร่าง	1.001 x 1.402	3.6

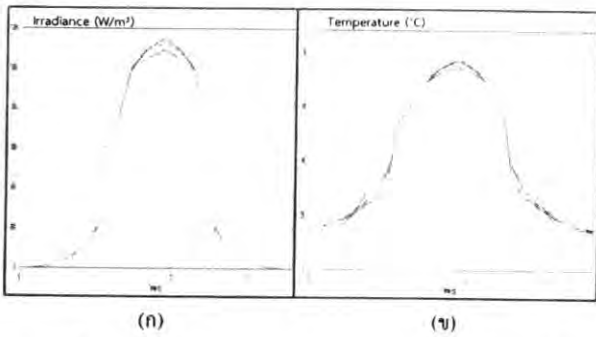
การจำลองนี้จะใช้วงจรดังรูปที่ 2 ในการจำลองติดตั้งระบบ โดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงไปตามปริมาณการติดตั้ง และจำลองใช้ สภาพอากาศทั้งความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิตามภูมิภาคต่างๆ ของ ประเทศไทย



รูปที่ 2 วงจรจำลองการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน

ทำการจำลองติดตั้งระบบตามภูมิภาคทั้ง 6 คือ ภาคเหนือ ภาค กลาง ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ฝั่งตะวันตก และ ภาคใต้ฝั่งตะวันออก โดยทำการป้อนข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²) และอุณหภูมิเฉลี่ยบนแผงเซลล์ (°C) รายวันของทั้ง 6 ภูมิภาค ดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m²) (ก) อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย (°C) รายวัน 6 กุมภาพันธ์

จากการจำลองติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ ในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด (W) และพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่วัดได้จากการจำลอง

ภูมิภาค	ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์					
	ซิลิกอนผลึกเดี่ยว		ซิลิกอนหลายผลึก		ซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง)	
	Pmax (W)	Unit (kWh)	Pmax (W)	Unit (kWh)	Pmax (W)	Unit (kWh)
เหนือ	3530	15.62	3494	15.28	2603	10.69
กลาง	3752	16.84	3709	16.52	2765	11.58
ตะวันออก	3560	16.32	3521	15.97	2627	11.22
ตะวันออกเฉียงเหนือ	3731	16.73	3725	16.52	2715	11.45
ใต้ฝั่งตะวันตก	3476	15.96	3432	15.61	2521	10.85
ใต้ฝั่งตะวันออก	3583	16.41	3533	16.08	2613	11.23

ซึ่งจากการจำลองพบว่าในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิดนั้น การติดตั้งที่ภาคกลางของประเทศไทยสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด รองลงมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคที่ผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุดคือภาคเหนือ นอกจากนี้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุดใน 3 ชนิด และเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุดคือ ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) ทั้งนี้เพราะกำลังติดตั้งที่น้อยกว่า และด้วยขนาดของแผงเซลล์ทำให้เกิดติดตั้งได้จำนวนแผงที่น้อยกว่า ทำให้มีกำลังติดตั้งบนหลังคาบ้านตัวอย่างเพียงแค่ 3.6 กิโลวัตต์เท่านั้น ซึ่งไม่คุ้มค่ากับการลงทุนใช้ร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบเมื่อ

ติดตั้งบนพื้นที่ที่มีข้อจำกัด จึงไม่นำแผงเซลล์ชนิดนี้ไปพิจารณาระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทน

5. ระยะเวลาคืนทุนการติดตั้งระบบในแต่ละภูมิภาค

ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวและชนิดซิลิกอนหลายผลึกมีต้นทุนในการติดตั้งดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

รายการ	ซิลิกอนผลึกเดี่ยว	ซิลิกอนหลายผลึก
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	27	25
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	10.8	10.8
อุปกรณ์ประกอบระบบ	2.17	2.17
ค่าบริการติดตั้ง	20.75	20.75
ค่าห่วงโซ่อุปทาน	12	12
รวม	72.72 บาท/วัตต์	70.72 บาท/วัตต์

5.1 ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว

ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวในแต่ละภูมิภาคที่มีขนาดติดตั้ง 4.2 กิโลวัตต์ มีต้นทุนการติดตั้งอยู่ที่ 72.72 บาท/วัตต์ และระยะเวลาคืนทุนที่ได้ในแต่ละภูมิภาคแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว

ภูมิภาค	พลังงานไฟฟ้าวันในปีแรก (kWh)	ต้นทุน (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
เหนือ	15.62	305,424	10.36	263,762	186.36
กลาง	16.84	305,424	9.34	327,834	207.34
ตะวันออก	16.32	305,424	9.66	300,438	198.37
ตะวันออกเฉียงเหนือ	16.73	305,424	9.41	322,090	205.46
ใต้ฝั่งตะวันออก	15.96	305,424	10.12	281,879	192.29
ใต้ฝั่งตะวันตก	16.41	305,424	9.60	305,298	199.96

5.2 ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก

ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวในแต่ละภูมิภาคที่มีขนาดติดตั้ง 4.2 กิโลวัตต์ มีต้นทุนการติดตั้งอยู่ที่ 70.72 บาท/วัตต์ และจุดคุ้มทุนที่ได้ในแต่ละภูมิภาคแสดงดังตารางที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งเซลล์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก

ภูมิภาค	พลังงานไฟฟ้า/วันในปีแรก (kWh)	ต้นทุน (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
เหนือ	15.28	297,024	10.30	261,285	187.97
กลาง	16.52	297,024	9.26	326,240	209.84
ตะวันออก	15.97	297,024	9.59	297,519	200.17
ตะวันออกเฉียงเหนือ	16.52	297,024	9.26	326,240	209.84
ใต้ฝั่งตะวันออก	15.61	297,024	10.07	278,518	193.77
ใต้ฝั่งตะวันตก	16.08	297,024	9.52	303,263	202.10

6. วิเคราะห์ และสรุปผล

ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิด พบว่า ณ ภาคกลาง เป็นภูมิภาคที่มีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นที่สุด เพราะว่ามีความเข้มแสงที่ดีที่สุด รองลงมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนภาคที่ถึงระยะเวลาคืนทุนนานที่สุดคือภาคเหนือ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิด พบว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกนั้น คืนทุนก่อน เพราะว่ามีต้นทุนที่ถูกกว่าอยู่ 2 บาท/วัตต์ แต่เมื่อดูที่กำไรที่ได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวมีผลกำไรที่มากกว่า เพราะประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าที่เหนือกว่า

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ที่สนใจติดตั้งเอง ถ้าต้องการระยะเวลาคืนทุนที่รวดเร็วก็ต้องติดตั้งเซลล์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก แต่ถ้าต้องการกำไรตอบแทนที่สูงก็ต้องยอมลงทุนเพิ่มและระยะเวลาคืนทุนนานกว่าโดยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว

เอกสารอ้างอิง

1. A. R. Jha, Solar Cell Technology and Applications, Boca Raton, Taylor & Francis Group, 2010
2. Joachim Luther, "Photovoltaics the Basis for Sustainable Energy Systems and Industrial Innovations." 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2005
3. Taif Hossain Rocky, Rafiul Islam, Uttam Kumar Saha, "Nano Solar Grid (NSG): A Solution for Rural Market Power Crisis," 2th International Conference on Green Energy and Technology, 2014

4. คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, "การรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา." 2556 [Online]. Available: www.erc.or.th
5. Kosuke Kurokawa, et al. "A Cost Analysis of Very Large Scale PV (VLS-PV) System on the World Deserts." IEEE Conference, 2012
6. ENF Solar Ltd., "Solar Panel Manufacturers," 2005-2015[Online]. Available: <http://www.enfsolar.com/directory/panel>
7. บริษัท สยาม โซลาร์ เซลล์ จำกัด, "Mono-crystalline and Poly-crystalline Product," 2013 [Online], Available: <http://schuttensolar.co.th/>
8. บริษัท พลังงานทดแทนเพื่อคนไทย จำกัด, "RET ROOF," 2015[Online]. Available: <http://renewableenergythai.com/>



นาย กฤษณ์ ชูหา

เกิดวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2535

ภูมิลำเนาอยู่ จ.นครราชสีมา

ศึกษาในระดับปริญญาตรี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นาย กริต จูประเสริฐพร

เกิดวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2535

ภูมิลำเนาอยู่ จ.นครราชสีมา

ศึกษาในระดับปริญญาตรี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นาย เกริก โรจนมงคล

เกิดวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2536

ภูมิลำเนาอยู่ จ.นครราชสีมา

ศึกษาในระดับปริญญาตรี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schutten
solar

STM6-XXX/72

STM6-280/72 STM6-285/72 STM6-290/72
STM6-295/72 STM6-300/72

Monocrystalline Photovoltaic Module

TUV NORD CE IEC

Features

- High module efficiency
- Stable power output due to leading process technologies
- Outstanding electrical performance in high temperatures and low irradiance conditions
- Easy to install based on innovative engineering design
Resilient to all weather applications

Applications

- On-grid utility systems
- On-grid commercial systems
- Off-grid residential systems

Quality and Warranty

- Positive power tolerance up to 5w
- Broad power range from 5w to 320w
- High power output in harsh environment
- Low power degradation in practical application for at least 25 years
- Easy installation thanks to excellent physical design and light weight
- Variety of options available including poly, mono, BIPV, black and customized products

www.schutten-solar.com



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schutten solar

STM6-XXX/72

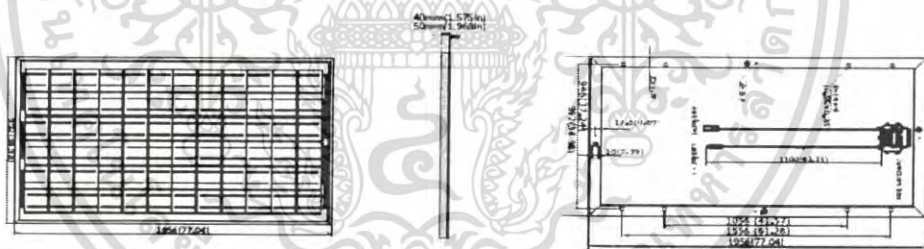
SPECIFICATIONS

Note: the specifications are obtained under the Standard Test Conditions (STCs): 1000 W/m² solar irradiance, 1.5 Air Mass, and cell temperature of 25 C.

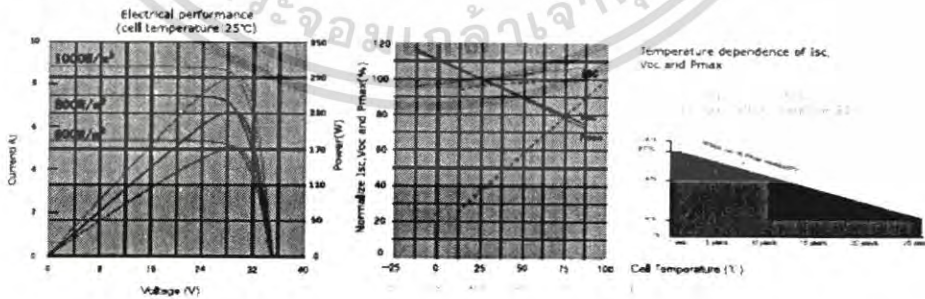
Model type			STM6-295/72	STM6-290/72	STM6-285/72
Cell Efficiency	18.42%	18.13%	17.84%	17.62%	17.31%
Module Efficiency			15.20%	14.95%	14.69%
Peak power (Pmax)	305W	300W	295W	290W	285W
Maximum power voltage (Vmp)			35.78V	35.72V	35.68V
Maximum power current (Imp)	8.30A	8.28A	8.25A	8.12A	7.99A
Open circuit voltage (Voc)			44.80V	44.50V	44.35V
Short circuit current (Isc)	8.88A	8.81A	8.72A	8.61A	8.52A
Power Tolerance			0 to +5W	0 to +5W	0 to +5W

Maximum system voltage	DC 1000V	Cell type	MonoCrystalline Silicon, 156mm x 156mm
Temp. Coeff. of Isc (TK Isc)	0.04 %/C	Number of cells	72 cells in series
Temp. Coeff. of Voc (TK Voc)	-0.32 %/C	Weight	24.07 kg(42.61 lbs) OR 23.05 kg(42.61 lbs)
Temp. Coeff. of Pmax (TK Pmax)	-0.44 %/C	Dimensions	1956 x 992 x 40 mm OR 1956 x 992 x 50 mm
Normal Operating Cell Temperature	45.3 ±2C		

PHYSICAL CHARACTERISTICS Unit: mm (inch)



ELECTRICAL CHARACTERISTICS



© June 2011 Neoh Energy Limited. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

www.schutten-solar.com



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schutten^{Solar}
blue sky · green life

STP6-XXX/72 Series

STP6-300W, STP6-295W, STP6-290W, STP6-285W
STP6-280W



GLASS
EVA
CELL
BACKSHEET
FRAME
JUNCTION BOX

Polycrystalline
photovoltaic
Module



Three-Busbar Cell

I GLASS

- High light transmission giving more electricity
- Excellent mechanical loading performance (5400Pascal)
- SPF-UL certified

II IV EVA

- High light transmission assuring better power performance
- High GEL and peeling strength guarantying strong encapsulation
- Good ultraviolet aging resistance
- TUV/UL certified

III CELL

- Excellent efficiency and long term reliability
- Good performance under high temperature and low irradiance conditions
- 100% In-Line Electroluminescence(EL) tested
- Positive tolerance for each panel
- TUV/UL

V BACKSHEET

- TEDLAR based encapsulation and protection
- Good aging resistance guarantying strong durability performance
- Excellent adhesion and ultraviolet stability
- TUV/UL certified

VI FRAME

- Anodized/Electrophoretic aluminum means durable protection from environment
- Unique designed profile ensuring strong mechanical loading performance
- Silver/Black color available

VII JUNCTION BOX

- Reliable by-pass diodes assuring good product protection
- Locking connector working compatible worldwide
- Excellent heat emission performance
- IP65 or IP67 protection
- TUV/UL certified



TEL: +86 25 86816810 FAX: +86 25 86816811
E-MAIL: info@schutten-solar.com WEB: www.schutten-solar.com
ADR: B1-1, 14F, International Business Center, No. 18, Zhongshan East Road,
Baixia District, 210005, Nanjing, Jiangsu, China

Temperature dependence of Isc, Voc and Pmax
Irradiance dependence of Isc, Voc and Pmax
(cell temperature: 25°C)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



STP6-XXX/72 Series

STP6-300W, STP6-295W, STP6-290W, STP6-285W, STP6-280W

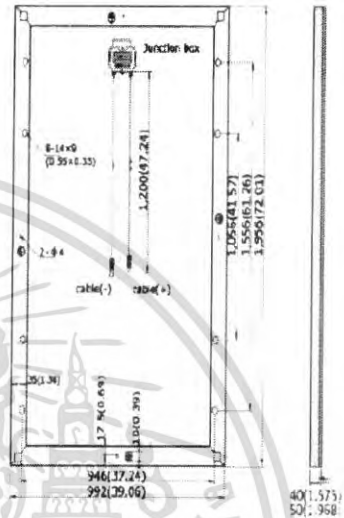
Electrical Characteristics

Module Type	Unit	STP6-300/72	STP6-295/72	STP6-290/72	STP6-285/72	STP6-280/72
Rated Power at STC (Pmp)	W	300	295	290	285	280
Power Tolerance	W	±3%	(0, +3)	(0, +3)	(0, +3)	(0, +3)
Power Maximum at STC	W	303	298	293	288	283
Cell Efficiency (ηc)	%	17.7-17.9	17.4-17.7	17.1-17.4	16.8-17.1	16.5-16.8
Minimum Module Efficiency (ηm)	%	15.5-15.7	15.2-15.5	14.9-15.2	14.7-14.9	14.5-14.7
Open Circuit Voltage (Voc)	V	44.5	44.1	44.3	44.2	44.1
Short Circuit Current (Isc)	A	8.92	8.78	8.65	8.53	8.41
Maximum Power Voltage (Vmp)	V	35.9	35.8	35.8	35.7	35.6
Maximum Power Current (Imp)	A	8.35	8.22	8.10	7.99	7.89
Maximum System Voltage	V	1000 (TUV), 600 (UL)				
Maximum Series Fuse Rating	A	15				

STC: Irradiance 1000W/m², module temperature 25°C, AM=1.5.

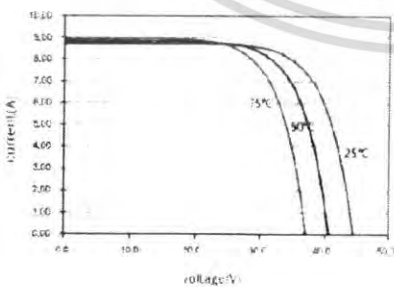
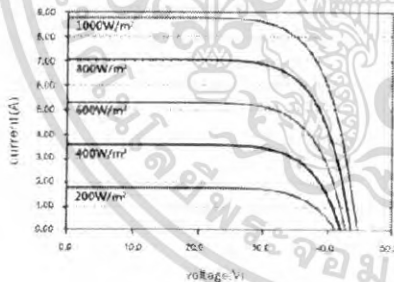
Temperature Characteristics

Pmax Temperature Coefficient	%/°C	-0.47
Voc Temperature Coefficient	%/°C	-0.32
Isc Temperature Coefficient	%/°C	+0.04
Operating Temperature	°C	-40 ~ +85
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	°C	45±2



■ All Dimensions in mm (inch)
 ■ The above drawing is a graphical representation of the product.
 For engineering quality drawings please contact SCHUTTEN

Current-Voltage & Power-Voltage Curve (STP6-295/72)



Mechanical Specifications

External Dimensions	1856 × 992 × 50 mm
Weight	24kg
Solar Cells	Polycrystalline 156 × 156mm (72pcs)
Front glass	3.2 mm tempered glass, low iron
Frame	Anodized/ Electrochromic aluminum alloy
Junction Box	IP65 /IP67
Output Cables	4.0 mm ² , symmetrical lengths 900mm
Connector	MCA Compatible
Maximum Snow Load	550kg/m ²
Maximum Wind Load	200km/h
Hailstone Impact Test	80km/h for 25mm ice ball

blue sky · green life



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHARP

NA Series (1.42 m², 60 V)
135 W | 128 W | 121 W

Microamorphous silicon thin-film photovoltaic modules



Say yes to solar power!
Because it protects the climate.

Innovations from a photovoltaic pioneer

As a solar specialist with 50 years' experience in photovoltaics (PV), Sharp makes significant contributions to groundbreaking progress in solar technology.

The NA series of thin-film photovoltaic modules consists of an amorphous and a microcrystalline silicon layer. This microamorphous tandem structure not only absorbs visible light but also the invisible portion of the solar spectrum. This makes especially efficient use of solar energy.

All module types of the Sharp NA Series offer optimum system integration, in terms of both technology and economy, and are suitable for installations in grid-connected PV systems.

Brief details for the installer

- Tandem structure consisting of an amorphous and a microcrystalline silicon layer
- 180 cells
- 2,400 N/m² mechanical load-bearing capacity (245 kg/m²)
- 1,000 V DC maximum system voltage
- IEC/EN 61646, IEC/EN 61730, Class II (VDE: 40023069)

Product features

- Tandem structure with an amorphous and a microcrystalline silicon layer offering a stabilised module efficiency of up to 9.5%.
- Optimised for grid-connected roof mounting PV systems.
- Use of white glass, encapsulation material, weather protection film and a newly designed silver anodised aluminium frame for long-term use. This guarantees simple and safe installation.
- Module can be operated and installed by one person (1.42 m², frame width 1 m, weight 18 kg).
- Higher energy yields per watt at high temperatures.
- Output: connection cable with waterproof plug connector.

Quality from Sharp

Benchmarks are set by the quality standards of Sharp Solar. Continual checks guarantee a consistently high level of quality. Every module undergoes visual, mechanical, and electrical inspection. This is recognisable by means of the original Sharp label, the serial number, and the Sharp guarantee:

- 5 year product guarantee
- 10 year performance guarantee for a power output of 90%
- 25 year performance guarantee for a power output of 80%

The detailed guarantee conditions and additional information can be found at www.sharp.eu.

- End users are required to register the modules with Sharp in order for the product and service warranty to be effective. The registration documents will be handed out by the installation staff or supplied directly by Sharp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical data

Cell	Tandem cell of amorphous (a-Si) and microcrystalline (μc-Si) silicon
Connection	180 cells (4 × 45 parallel)
Dimensions	1,409 × 1,009 × 46 mm (1.42 m ²)
Weight	18 kg
Connection type	Cable with plug connector (MG-3)
Bypass diodes	1

Limit values

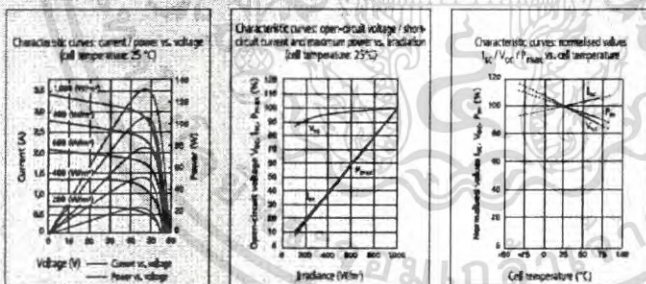
Storage air humidity (relative)	up to 90	%
Operating temperature (cell)	- 40 to + 90	°C
Storage temperature	- 40 to + 90	°C
Maximum system voltage	1,000	V DC
Maximum mechanical load	2,400	N/m ²
Over-current protection	5	A

Electrical data

	Initial values			Nominal values			
	NA-F135 (GJ)	NA-F128 (GJ)	NA-F121 (GJ)	NA-F135 (GJ)	NA-F128 (GJ)	NA-F121 (GJ)	
Maximum power	158.9 W _p	150.6 W _p	142.4 W _p	135 W _p	128 W _p	121 W _p	
Open-circuit voltage	V _{oc} 62.5	60.8	60.2	61.3	59.8	59.2	V
Short-circuit current	I _{sc} 3.49	3.54	3.43	3.41	3.45	3.34	A
Voltage at point of maximum power	V _{pm} 49.7	48.6	48.2	47.0	45.4	45.0	V
Current at point of maximum power	I _{pm} 3.20	3.10	2.96	2.88	2.82	2.69	A
Module efficiency	η _m			9.5	9.0	8.5	%
NOCT				44	44	44	°C
Temperature coefficient - open-circuit voltage	αV _{oc}	- 0.30	- 0.30	- 0.30	- 0.30	- 0.30	% / °C
Temperature coefficient - short-circuit current	αI _{sc}	+ 0.07	+ 0.07	+ 0.07	+ 0.07	+ 0.07	% / °C
Temperature coefficient - power	αP _m	- 0.24	- 0.24	- 0.24	- 0.24	- 0.24	% / °C

The electrical data applies under standard test conditions (STC): irradiation 1,000 W/m² with light spectrum AM 1.5 and a cell temperature of 25 °C. The rated electrical characteristics are subject to a manufacturing tolerance of + 10% / - 5% (121, 128 W_p) and + 5% / - 5% (135 W_p). NOCT conditions: irradiation of 800 W/m², ambient temperature of 20 °C and wind speed of 1 m/sec.

Characteristic curves NA-F135 (GJ)

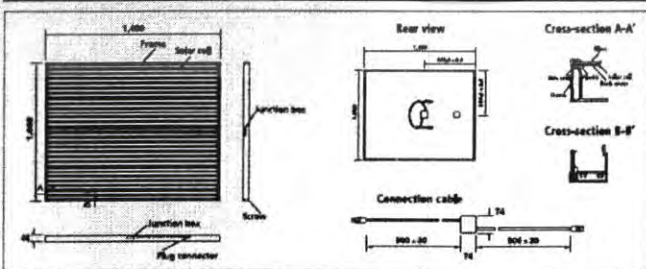


Applications

- On-grid PV systems
- On-roof PV systems
- Ground-mounted PV systems

Please read our detailed installation manual carefully before installing the photovoltaic modules. The instructions in the installation manual must always be observed (e.g. minus pole must be grounded, protection with blocking diodes/fuses).
A generator box with approved blocking diodes is available from your Sharp dealer.

Exterior dimensions



Note

Technical data is subject to change without prior notice. Before using Sharp products, please request the latest data sheets from Sharp. Sharp accepts no responsibility for damage to devices which have been equipped with Sharp products on the basis of unverified information.
The specifications may deviate slightly and are not guaranteed. Installation and operating instructions are to be found in the corresponding handbooks, or can be downloaded from www.sharp.eu.
This module should not be directly connected to a load.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

ปัจจัยด้านสภาพอากาศมีความสำคัญต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเนื่องจากแต่ละสถานที่ที่ทำการติดตั้งระบบนั้นมีสภาพอากาศที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นในการจำลองนี้จะวิเคราะห์ให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาพอากาศรูปแบบต่างๆ โดยจำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าตามคุณสมบัติแผงเซลล์ด้วยเครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Simulator) ซึ่งทำการกำหนดค่าด้วยโปรแกรม TerraSAS

ชุดอุปกรณ์ระบบจำลอง

ในการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ ครั้งนี้ได้ใช้เครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Simulator) ยี่ห้อ AMETEK รุ่น ELGAR ETS600X ดังรูปที่ ค.1 โดยสามารถจำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าตามคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และกำลังติดตั้งที่กำหนดได้ และสามารถปรับเปลี่ยนข้อมูลสภาพอากาศ ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิได้ตามต้องการ ซึ่งทำการกำหนดค่าการทำงานได้จากคอมพิวเตอร์โดยผ่านโปรแกรม TerraSAS และนอกจากนี้ยังมีชุดแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยได้เลือกใช้ String Inverter 6 kW ยี่ห้อ ABB รุ่น PVS300 ดังรูปที่ ค.2



รูปที่ ค.1 เครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Simulator) ยี่ห้อ AMETEK รุ่น ELGAR ETS600X



รูปที่ ค.2 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ABB Solar Inverter PVS300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

การดำเนินการทดลองครั้งนี้ทำการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย โดยใช้เครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Simulator) จำลองการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน 1 วัน โดยกำหนดค่าคุณสมบัติไฟฟ้าและขนาดกำลังติดตั้งของแผงเซลล์ทั้ง 3 ชนิด และจำลองระบบที่สภาพอากาศทั้ง 3 รูปแบบตามที่กำหนด ซึ่งทำการกำหนดค่าการทำงานได้จากคอมพิวเตอร์โดยผ่านโปรแกรม TerraSAS ซึ่งในการดำเนินการจำลองครั้งนี้มีขั้นตอนดังนี้

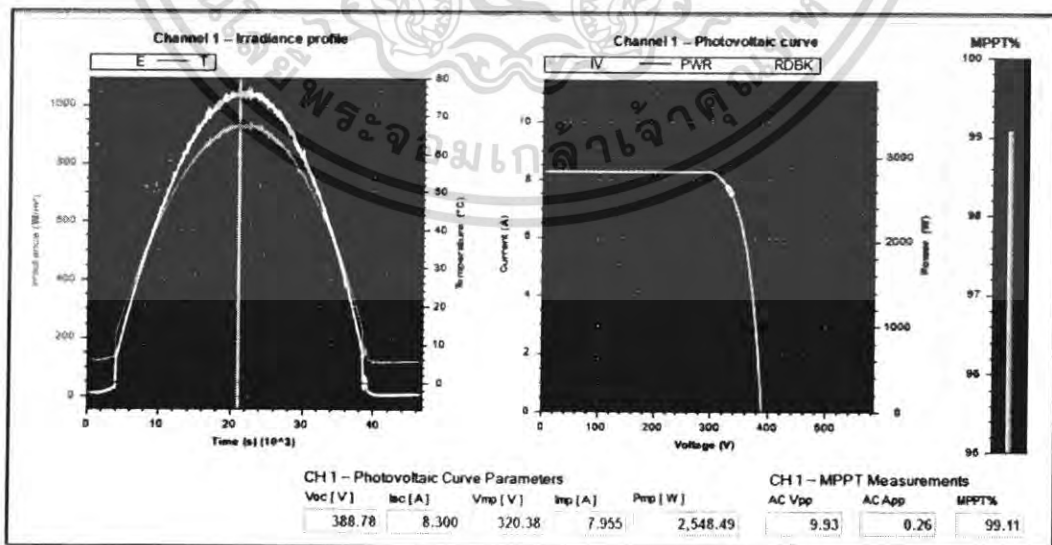
1. ติดตั้งเครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ โดยตัวเครื่องจำลองรับไฟ 3 เฟสจากระบบมาแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงตามลักษณะคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งใช้โปรแกรม TerraSAS กำหนดลักษณะสภาพอากาศและคุณสมบัติแผงเซลล์ดังรูปที่ ค.3

2. ติดตั้งอินเวอร์เตอร์ ABB Solar Inverter PVS300 รับไฟฟ้ากระแสตรงมาแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบจำหน่าย โดยตัวเครื่องจะมีระบบ MPPT วัดค่าและเก็บข้อมูล(Data Logging) พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบ

3. ติดตั้งชุดวงจรวัดไฟฟ้ากระแสสลับด้านหลังอินเวอร์เตอร์ด้วยเครื่อง FLUKE 190-204/UN/S ที่จุดเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวัดดังนี้

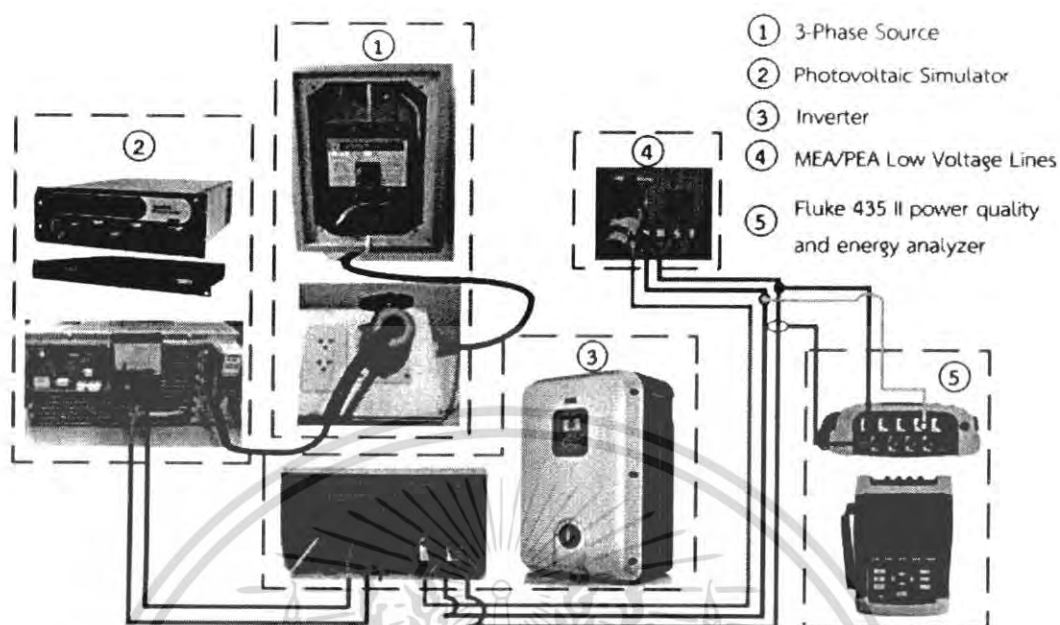
- กำลังไฟฟ้าจริง (W)
- พลังงานไฟฟ้า (kWh)

ในการเก็บข้อมูลที่วัดได้จากระบบนั้น จะทำโดยการนำ SDcard จากเครื่อง Fluke meter มาอ่านและเรียบเรียงข้อมูลโดยผ่านโปรแกรม PowerLog เพื่อนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ในคอมพิวเตอร์ต่อไป ดังรูปที่ ค.4



รูปที่ ค.3 โปรแกรม TerraSAS จำลองสภาพอากาศ และคุณสมบัติแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V curve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.4 การจำลอง และเก็บข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบนระบบจำหน่าย

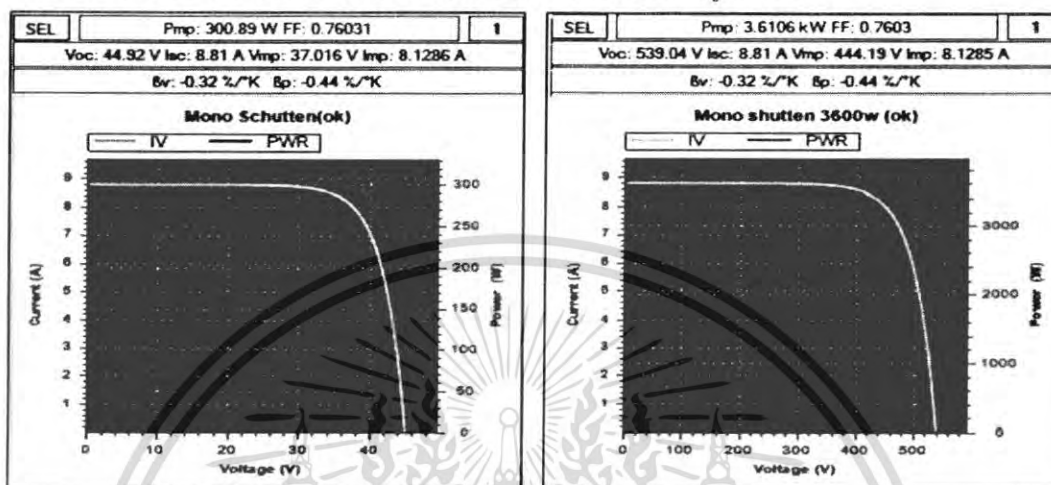
แผงเซลล์เซลล์แสงอาทิตย์

ในการจำลองได้เลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิดดังที่ได้กล่าวในบทที่ผ่านมา โดยนำข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์มาป้อนลงโปรแกรม TerraSAS เพื่อทำการจำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์ และทำการเพิ่มกำลังไฟฟ้าด้วยการต่อขนานและอนุกรมแผงเซลล์ ซึ่งการจำลองครั้งนี้มีข้อจำกัดด้านพิกัดในการจ่ายแรงดันไฟฟ้า และกระแสสูงสุดของเครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Simulator) โดยมีพิกัดที่ 600 V และ 8 A ดังนั้นในการจำลองจึงทำการจำลองกำลังติดตั้งแผงเซลล์ที่พิกัดสูงสุดของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว

จากการคำนวณพบว่า สามารถจำลองติดตั้งแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวได้สูงสุด 12 แผง (ต่ออนุกรมทั้งหมด) ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 3.6 kW โดยค่าพารามิเตอร์ และกราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้า (I-V curve) ของแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวแสดงดังรูปที่ ค.5



(ก)

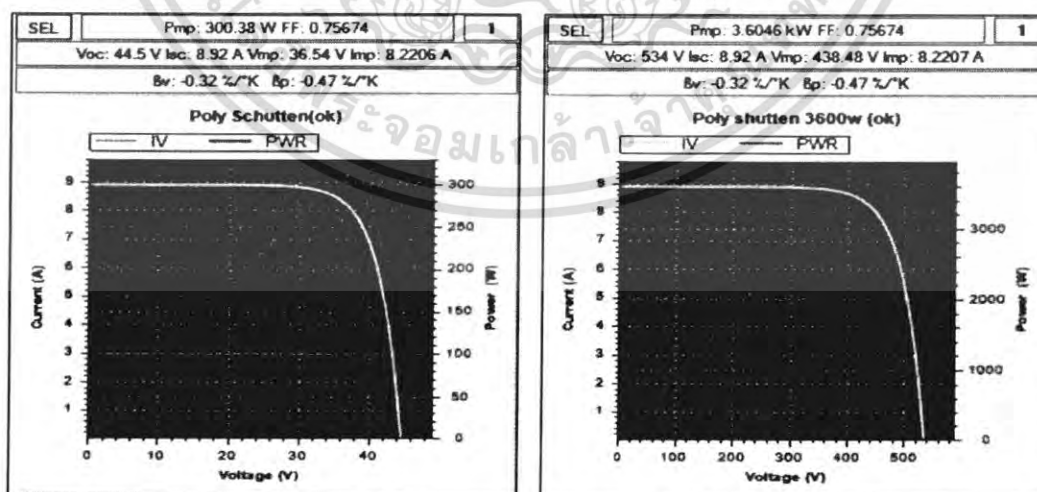
(ข)

รูปที่ ค.5 กราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้า (I-V curve) ของแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวแบบแผงเดี่ยว

(ก) และ รูปที่ ค. 6 แบบทำการต่อแผงเซลล์เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า (ข)

การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก

จากการคำนวณพบว่า สามารถจำลองติดตั้งแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกได้สูงสุด 12 แผง (ต่ออนุกรมทั้งหมด) ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 3.6 kW โดยค่าพารามิเตอร์ และกราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้า (I-V curve) ของแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวแสดงดังรูปที่ ค.6



(ก)

(ข)

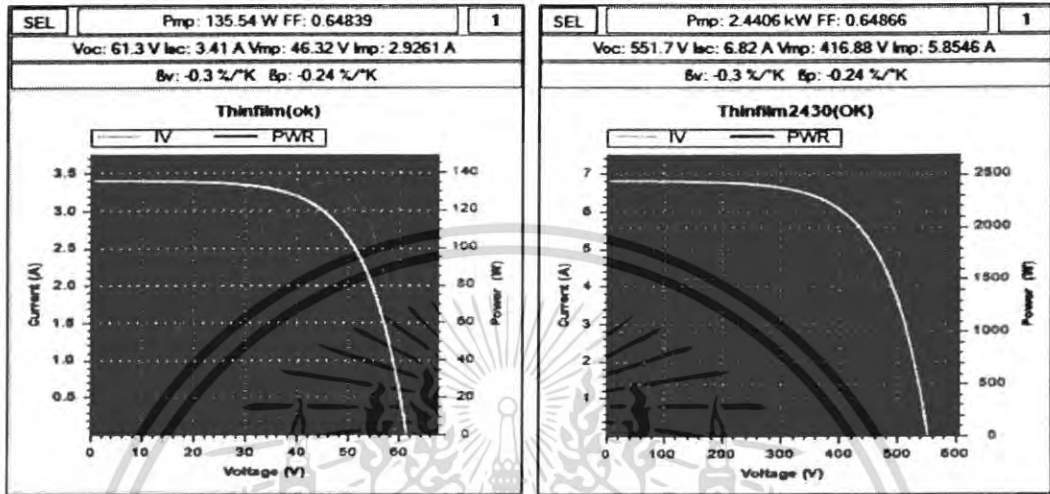
รูปที่ ค.6 กราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้า (I-V curve) ของแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกแบบแผงเดี่ยว

(ก) และแบบทำการต่อแผงเซลล์เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง)

จากการคำนวณพบว่า สามารถจำลองติดตั้งแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่างได้สูงสุด 18 แผง (ต่อขนาน 2 ชุด แต่ละชุดอนุกรม 9 แผง) ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 2.43 kW โดยค่าพารามิเตอร์ และกราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้า (I-V curve) ของแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่างแสดงดังรูปที่ ค.7



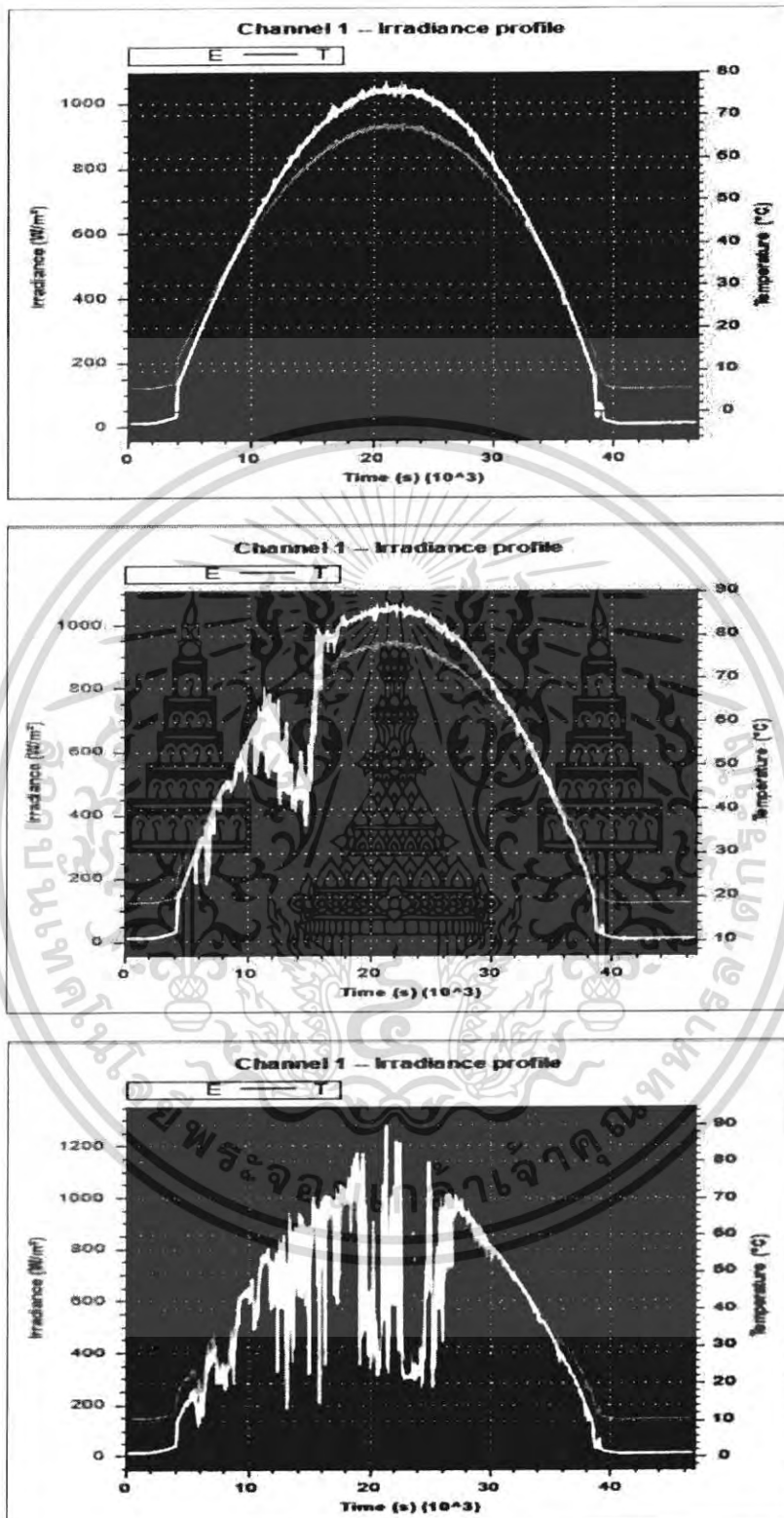
(ก)

(ข)

รูปที่ ค.7 กราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้า (I-V curve) ของแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) แบบแผงเดี่ยว (ก) และแบบทำการต่อแผงเซลล์เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า (ข)

ความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของสภาพอากาศรูปแบบต่างๆ

ในการจำลองครั้งนี้เลือกใช้สภาพอากาศ 3 รูปแบบคือ สภาพอากาศแดดจ้า(Sunny) สภาพอากาศฟ้าครึ้ม (Cloudy) และสภาพอากาศฝนตก (Rainy) แสดงดังรูปที่ ค.8 ซึ่งสภาพอากาศทั้ง 3 รูปแบบนี้มีความแตกต่างกันในด้านความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ โดยกราฟสี่เหลี่ยมเป็นค่าของความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²) และกราฟสี่วงเป็นกราฟของอุณหภูมิ (°C)



รูปที่ ค.8 ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²) และอุณหภูมิ (°C) เฉลี่ยต่อวันของสภาพอากาศ 3 รูปแบบ คือแดดจ้า (Sunny) ฟ้าครึ้ม (Cloudy) และฝนตก (Rainy) เรียงตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

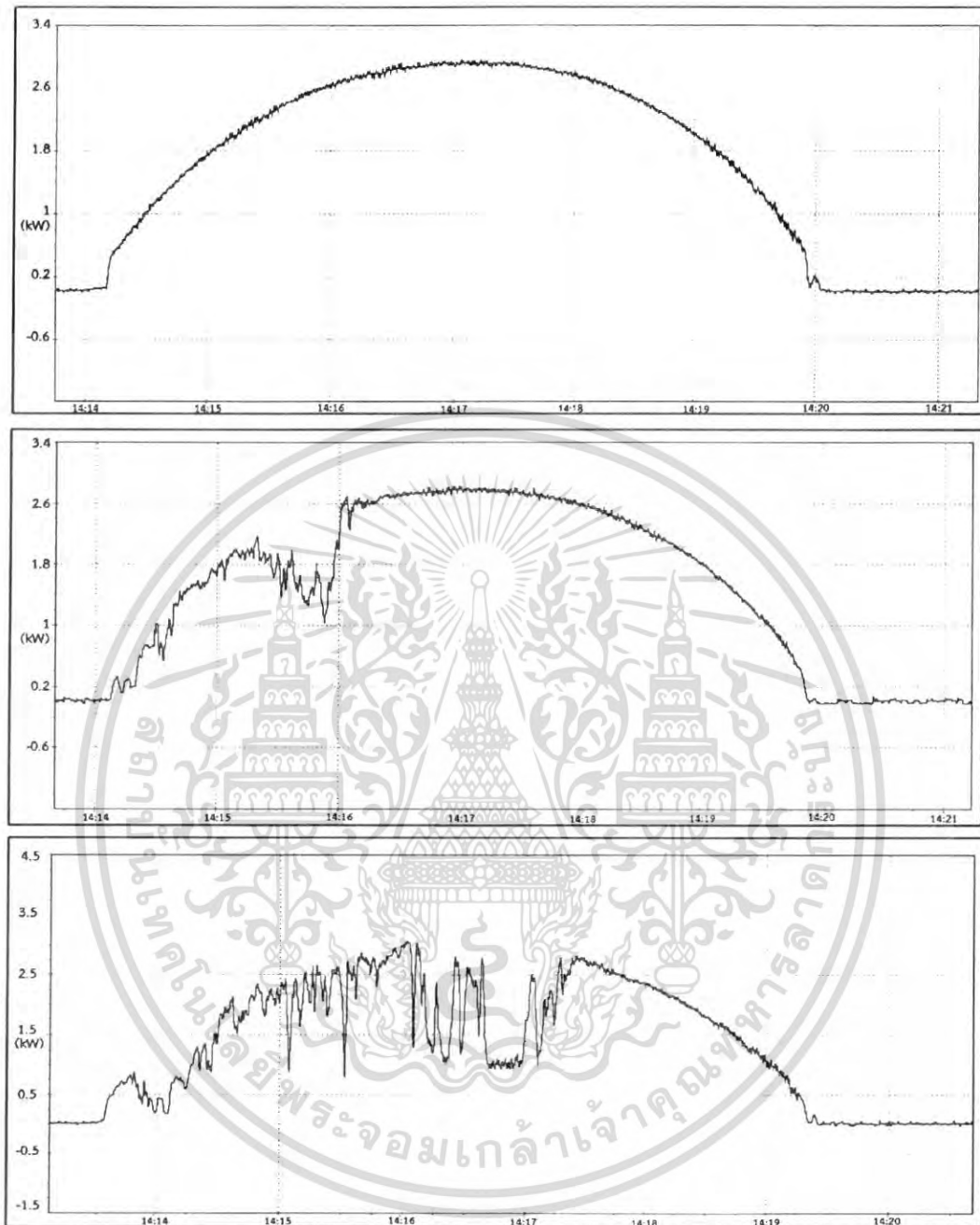
ผลการเก็บข้อมูลระบบจำลอง

ทำการเก็บข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) และพลังงานไฟฟ้า (Wh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด ซึ่งแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวและซิลิกอนหลายผลึกจำลองที่กำลังติดตั้งเท่ากันคือ 3.6 kW และชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) จำลองที่กำลังติดตั้ง 2.43 kW โดยจำลองสภาวะการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์ที่สภาพอากาศทั้ง 3 รูปแบบดังรูปที่ ค.9 ถึง ค.14

จากรูปที่ ค.9 ค.10 และ ค.11 แสดงผลการวัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) ของแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว ชนิดซิลิกอนหลายผลึก และชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) โดยจะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยนั้นจะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปแต่ละช่วงเวลา ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มแสงและอุณหภูมิของสภาพอากาศ 3 รูปแบบ คือแดดจ้า (Sunny) ฟ้าครึ้ม (Cloudy) และฝนตก (Rainy) ดังรูปที่ ค.8 โดยจะเห็นได้ว่าความเข้มแสงและอุณหภูมิมิมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น อุณหภูมิก็จะเพิ่มขึ้น โดยมีความเข้มแสงและอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเที่ยงวัน ซึ่งจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์พบว่า กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่แผงเซลล์ผลิตได้ (kW) จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแสง และแปรผกผันกับอุณหภูมิ โดยจากการวัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่สภาพอากาศแดดจ้า พบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดมีค่า 2.96 kW , 2.93 kW และ 2.24 kW เรียงตามลำดับ ซึ่งจะคำนวณได้ว่าแผงเซลล์มีประสิทธิภาพลดลงจากกำลังไฟฟ้าติดตั้งเหลือที่ 82.22 % , 81.39 % , 92.18 % เรียงตามลำดับ ดังนั้นกล่าวได้ว่าผลจากปัจจัยด้านอุณหภูมิทำให้กำลังผลิตไฟฟ้าน้อยลงกว่า 10 % โดยที่แผงเซลล์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) มีประสิทธิภาพที่ทนต่อปัจจัยด้านอุณหภูมิได้ดีที่สุด

จากรูปที่ ค.12 ค.13 และ ค.14 แสดงผลการวัดพลังงานไฟฟ้า (Wh) ของแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว ชนิดซิลิกอนหลายผลึก และชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) โดยจะเห็นได้ว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์ทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะที่คล้ายกันคือ พลังงานไฟฟ้าจะมีอัตราเพิ่มขึ้นเปลี่ยนแปลงไปตามกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) ที่ผลิตได้ โดยจะเห็นได้ว่าในช่วงเที่ยงวัน พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงตามกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย และมีค่าคงที่ในช่วงเช้าและเย็นที่ กำลังไฟฟ้าน้อยและคงที่ โดยจากการวัดพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่สภาพอากาศแดดจ้า พบว่าแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดคือ 210 Wh ซึ่งใกล้เคียงกับแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนหลายผลึกคือ 206 Wh และแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) ผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาได้น้อยที่สุดคือ 151 Wh เป็นผลเนื่องมาจากขนาดกำลังติดตั้งที่แตกต่างกัน ดังนั้นกล่าวได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่ติดตั้งสูงสุด

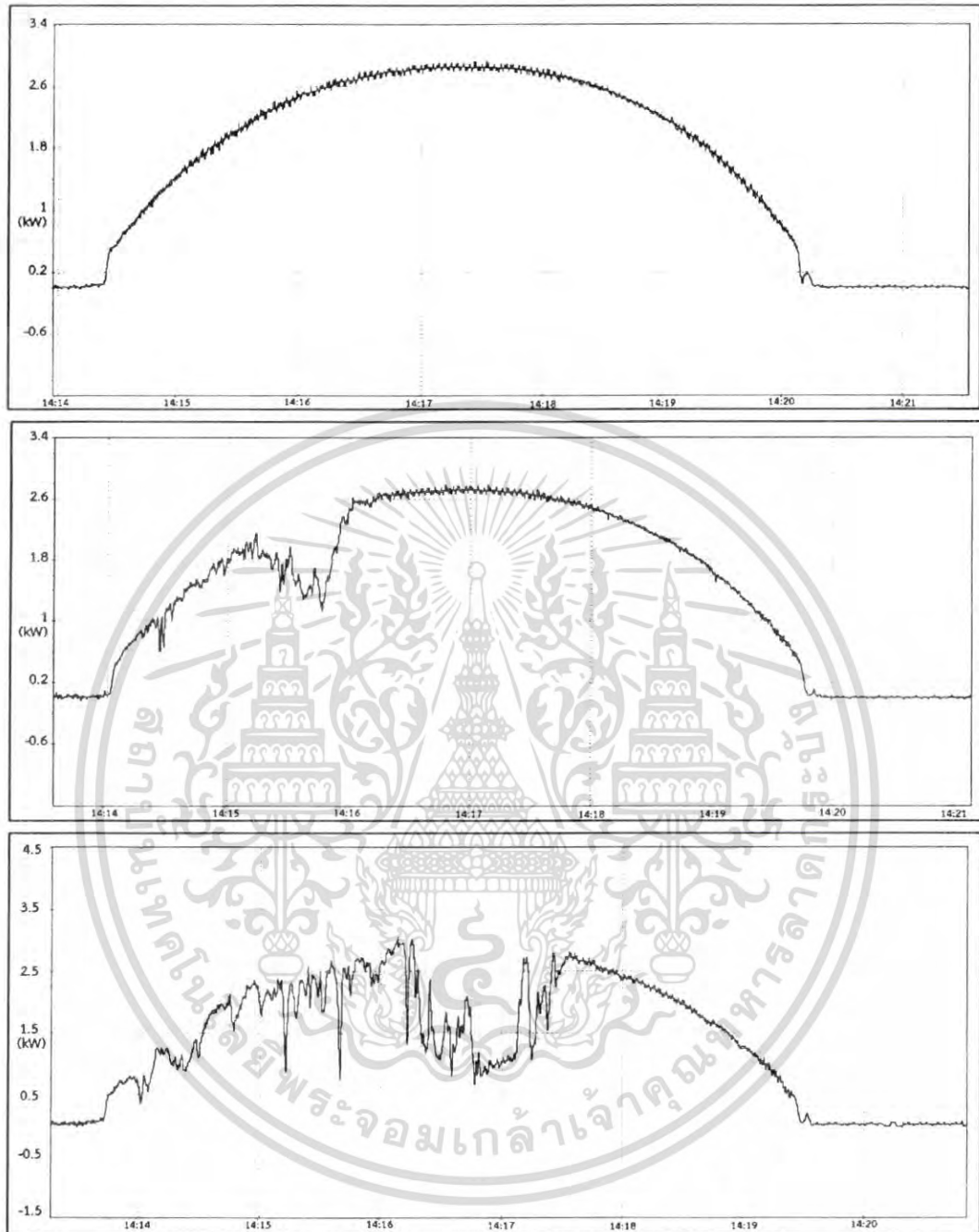
โดยในการจำลองที่แต่ละสภาวะจะทำการเร่งระยะเวลาในการดำเนินระบบที่ระดับ 100 เท่า เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการจำลอง ดังนั้นค่าพลังงานไฟฟ้า (Wh) ที่วัดได้จากระบบต้องนำมาคูณกลับด้วยอัตราเร่งที่เท่ากัน เพื่อให้เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าตามความเป็นจริง



รูปที่ ค.9 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายของแผงเซลล์ซิลิกอนผลึกเดี่ยว ที่สภาพอากาศ 3 รูปแบบ คือแดดจ้า (Sunny) ฟ้าครึ้ม (Cloudy) และฝนตก (Rainy) เรียงตามลำดับ

จากรูปที่ ค.9 จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปแต่ละช่วงเวลา เป็นผลมาจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่แผงเซลล์ผลิตได้ (kW) จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแสง และแปรผกผันกับอุณหภูมิ โดยจะเห็นได้ว่าที่สภาพแดดจ้า แผงเซลล์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ดีที่สุด แตกต่างจากสภาพอากาศฟ้าครึ้ม และฝนตกซึ่งมีบางช่วงเวลาที่ความเข้มแสงอาทิตย์ลดลงมาก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเกิดมีเมฆบังแสงอาทิตย์

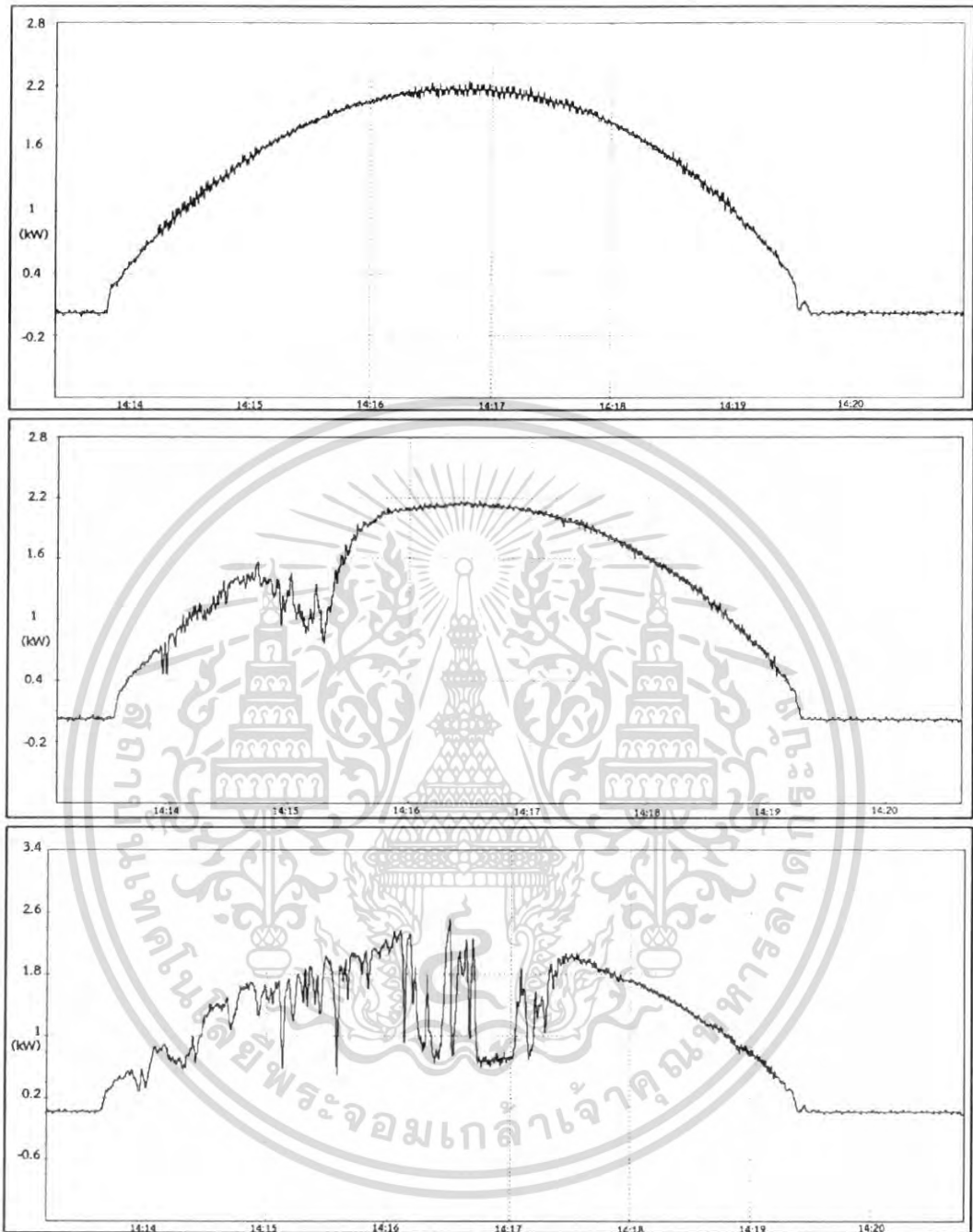
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.10 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายของแผงเซลล์ซิลิกอนหลายผลึก ที่สภาพอากาศ 3 รูปแบบ คือแดดจ้า (Sunny) ฟ้าครึ้ม (Cloudy) และฝนตก (Rainy) เรียงตามลำดับ

จากรูปที่ ค.10 จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปแต่ละช่วงเวลา ซึ่งมีปริมาณและลักษณะที่ใกล้เคียงกับรูปที่ ค.9 ดังนั้นกล่าวได้ว่าแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว และชนิดซิลิกอนหลายผลึกมีลักษณะและประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่คล้ายกัน

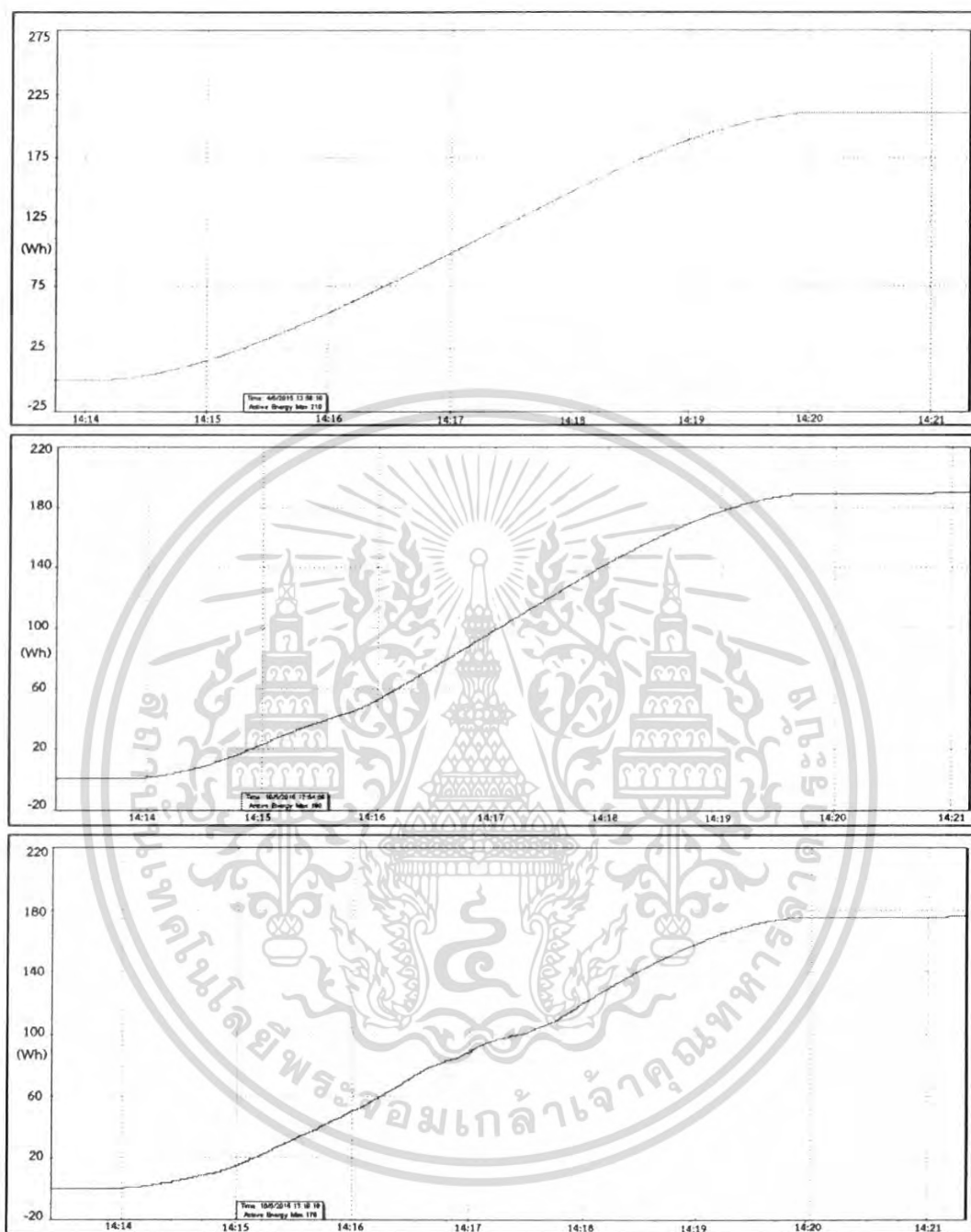
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.11 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายของแผงเซลล์ซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) ที่สภาพอากาศ 3 รูปแบบ คือแดดจ้า (Sunny) ฟ้าครึ้ม (Cloudy) และฝนตก (Rainy) เรียงตามลำดับ

จากรูปที่ ค.11 จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปแต่ละช่วงเวลา ซึ่งลักษณะที่ใกล้เคียงกับรูปที่ ค.9 และ ค.10 ดังนั้นกล่าวได้ว่าแผงเซลล์ทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะและประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่คล้ายกัน แต่ปริมาณการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์ซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) มีน้อยกว่า เนื่องจากมาจากกำลังติดตั้งที่ใช้ในการจำลองมีค่าน้อยกว่า

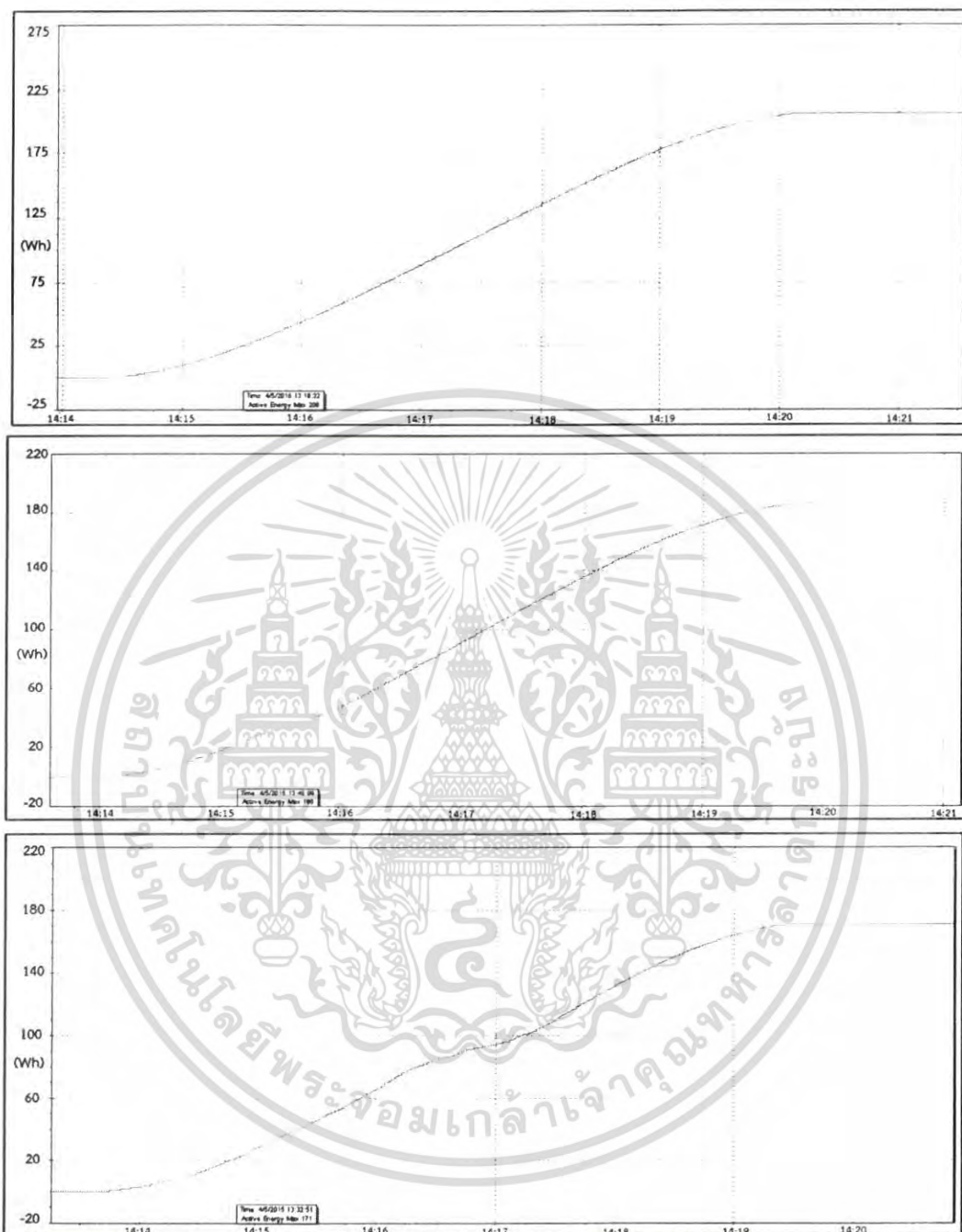
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.12 พลังงานไฟฟ้า (Wh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายของแผงเซลล์ซิลิกอนผลึกเดี่ยว ที่สภาพอากาศ 3 รูปแบบ คือแดดจ้า (Sunny) ฟ้าครึ้ม (Cloudy) และฝนตก (Rainy) เรียงตามลำดับ

จากรูปที่ ค.12 จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้า (Wh) จะมีอัตราเพิ่มขึ้นเปลี่ยนแปลงไปตามกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) ที่ผลิตได้ โดยจะเห็นได้ว่าในช่วงเที่ยงวัน พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงตามกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย และมีค่าคงที่ในช่วงเช้าและเย็นที่กำลังไฟฟ้ามีย่าน้อยและคงที่ ซึ่งสภาพอากาศที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุดคือ แดดจ้า รองลงมาคือ ฟ้าครึ้ม และฝนตกตามลำดับ

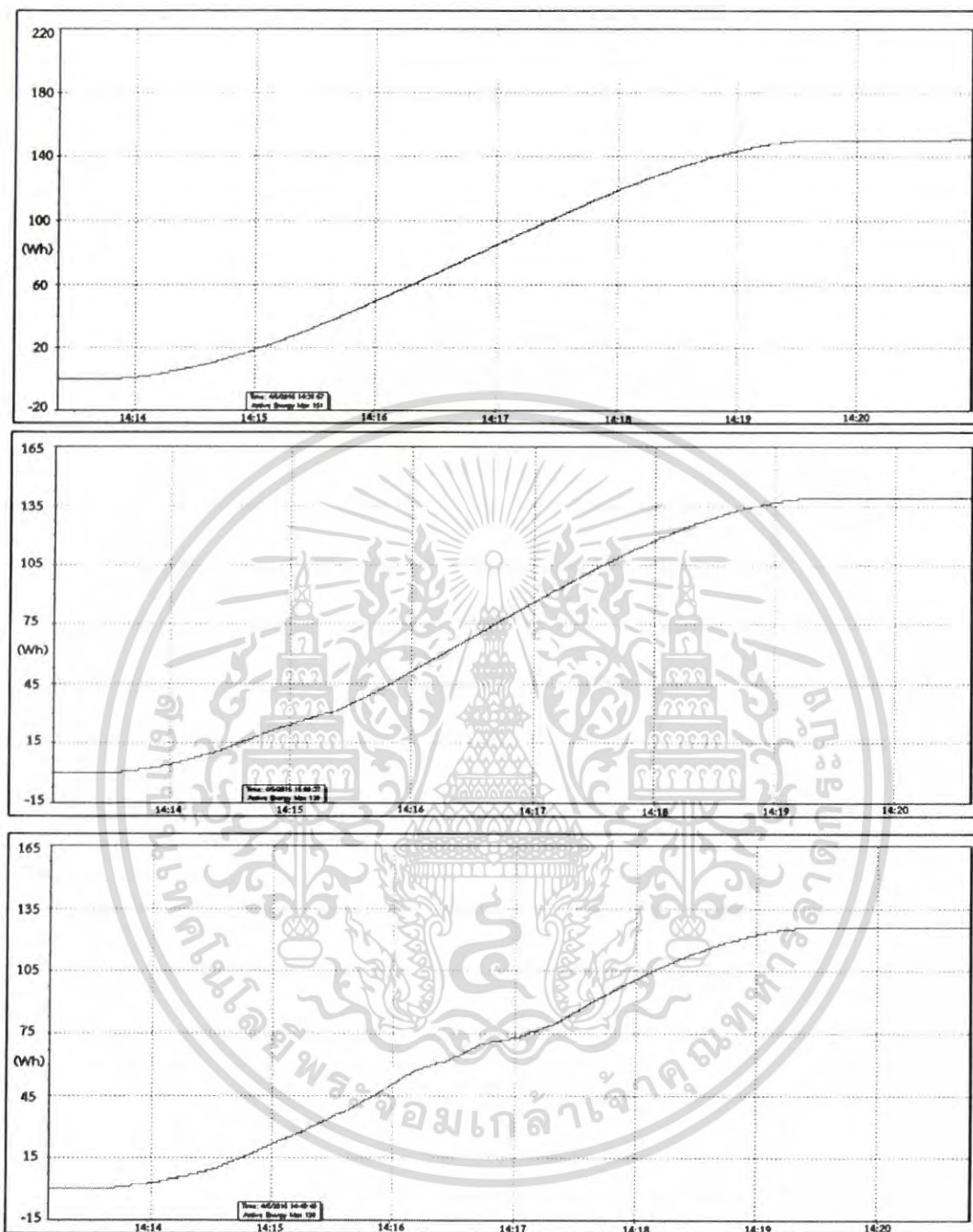
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.13 พลังงานไฟฟ้า (Wh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายของแผงเซลล์ซิลิกอนหลายผลึก ที่สภาพอากาศ 3 รูปแบบ คือแดดจ้า (Sunny) ฟ้าครึ้ม (Cloudy) และฝนตก (Rainy) เรียงตามลำดับ

จากรูปที่ ค.13 จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้า (Wh) จะมีอัตราเพิ่มขึ้นเปลี่ยนแปลงไปตามกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) ที่ผลิตได้ ซึ่งมีปริมาณและลักษณะเช่นเดียวกับรูปที่ ค.12 ดังนั้นกล่าวได้ว่าแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว และชนิดซิลิกอนหลายผลึกมีลักษณะและประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.14 พลังงานไฟฟ้า (Wh) ที่จ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายของแผงเซลล์ซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) ที่สภาพอากาศ 3 รูปแบบ คือแดดจ้า (Sunny) ฟ้าครึ้ม (Cloudy) และฝนตก (Rainy) เรียงตามลำดับ

จากรูปที่ ค.14 จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้า (Wh) จะมีอัตราเพิ่มขึ้นเปลี่ยนแปลงไปตามกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) ที่ผลิตได้ ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับรูปที่ ค.12 และ ค.14 ดังนั้นกล่าวได้ว่าแผงเซลล์ทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะการผลิตไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์ซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง) มีน้อยกว่า เพราะเนื่องมาจากมีกำลังติดตั้งที่น้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการจำลอง

จากรูปกราฟกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW) และพลังงานไฟฟ้า (Wh) ที่แต่ละสภาพอากาศของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด ที่วัดได้จากระบบข้างต้น สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ ค.1 ดังนี้

ตารางที่ ค.1 สรุปผลค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด (Pmax: kW) และพลังงานไฟฟ้า (Unit: kWh)

สภาพอากาศ	แผงเซลล์แสงอาทิตย์					
	ซิลิกอนผลึกเดี่ยว		ซิลิกอนหลายผลึก		ซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง)	
	Pmax	Unit	Pmax	Unit	Pmax	Unit
แดดจ้า (Sunny)	2.96	21.0	2.93	20.6	2.24	15.1
ฟ้าครึ้ม (Cloudy)	2.83	19.0	2.78	18.6	2.17	13.9
ฝนตก (Rainy)	3.05	17.6	3.02	17.1	2.47	12.6

จากตารางข้างต้นสามารถนำมาคำนวณเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่แต่ละสภาพอากาศได้ดังตารางที่ ค.2 ซึ่งกำหนดให้ที่สภาพอากาศแดดจ้า นั้นเป็นสภาพอากาศที่ระบบมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ดีที่สุด (100%)

ตารางที่ ค.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่แต่ละสภาพอากาศ

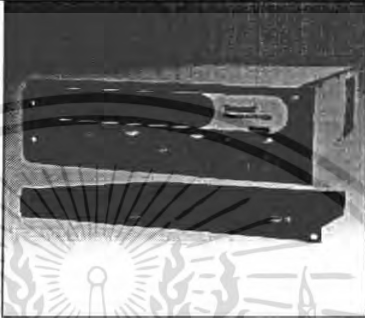

สภาพอากาศ	แผงเซลล์แสงอาทิตย์					
	ซิลิกอนผลึกเดี่ยว		ซิลิกอนหลายผลึก		ซิลิกอนไร้รูปร่าง (ฟิล์มบาง)	
	Unit	Eff. (%)	Unit	Eff. (%)	Unit	Eff. (%)
แดดจ้า (Sunny)	21.0	100	20.6	100	15.1	100
ฟ้าครึ้ม (Cloudy)	19.0	90.48	18.6	90.29	13.9	92.05
ฝนตก (Rainy)	17.6	83.81	17.1	83.01	12.6	83.44

จากตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่แต่ละสภาพอากาศพบว่า ที่สภาพอากาศฟ้าครึ้ม แผงเซลล์ชนิดซิลิกอนไร้รูปร่างนั้นมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ดีที่สุดคือ 92.05 % และที่สภาพอากาศฝนตก แผงเซลล์ทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน โดยแผงเซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ดีที่สุดคือ 83.81 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elgar ETS TerraSAS		1kW-1MW			
Standalone TerraSAS Photovoltaic Simulator		60-1000 V			
<ul style="list-style-type: none"> • Low output capacitance • High bandwidth up to 30kHz • High resolution I-V curve simulates static and dynamic conditions • Designed for high speed Maximum Power Point Tracking (MPPT) • Can be integrated into a multi-channel system for higher power testing • Energy Harvest built in. * • Low voltage, high bandwidth version for DC Power Optimizers • ENS0530 support 		2	208	400	480
		2	115		
<p>For microgrids, energy storage, and inverter test applications, the TerraSAS™ series photovoltaic (PV) simulators are specifically designed to emulate the dynamic electrical behavior of a terrestrial PV solar array. They offer low output capacitance and high closed loop bandwidth to keep up with the advanced Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms used in today's grid-tied inverters.</p> <p>The Embedded TerraSAS (ETS) is a high performance solution in a small form factor that combines an agile power supply with an innovative I-V curve generator in a single standalone unit.</p> <ul style="list-style-type: none"> • ETS 600 / 1000: For isolated and non-isolated string inverters up to 1000Vdc Voc. • ETS 60 / 80 / 150: For use with micro-inverters or DC optimizers up to 150Vdc Voc <p>Application</p> <p>Many solar inverters generate AC ripple on their DC input, which is connected to the photovoltaic array. For single phase inverters, the frequency of this ripple is twice the line frequency (120 Hz for US models). The simulator's power supplies must not suppress this ripple as a function of their regulation loop. An increasing number of inverters (and virtually all micro-inverters) accurately measure amplitude and phase of the ripple voltage and current to quickly track the MPP of the array. This approach allows tracking the MPP at a much higher speed when compared to conventional dithering techniques (also called perturbate-and-observe). Faster tracking of the MPP results in a much higher overall efficiency in cloudy conditions, where the irradiance is constantly changing. It is likely that all solar</p>		<p>inverters will use this approach in the near future, since end users are very sensitive to the overall efficiency of their solar energy installations. To satisfy this requirement, the PV simulator must be capable of reproducing the voltage / current behavior of a solar array at the ripple frequency. Most standard switching power supplies employ very large output capacitors and inductors in their output circuits and are unable to deliver the required performance - regardless of the response speed of the I-V curve controller. Elgar's TerraSAS line of PV simulators are based on high speed versions of our standard products, where output capacitors and other speed-limiting components have been adjusted. This results in a speed improvement of 10 times or better.</p> <p>Proprietary features built into the PV controller hardware and firmware, combined with our high speed power supplies, deliver the required performance. This technology was extensively tested on micro-inverters and is ready to test the next generation of inverters. The required performance is delivered by high speed switching power supplies and advanced Digital Signal Processing techniques. In some conditions traditional DC power sources using IGBT technology do not meet MPPT response speed requirements, depending on the MPPT principles. Our power supplies use Power MOSFETs, which typically switch ten times as fast as the most recent IGBTs. Higher switching frequency translates to smaller output capacitors and inductors - which is the key to a successful high speed power supply design.</p>			
		ETHERNET			
		<p>AMETEK Programmable Power 9250 Brown Deer Road San Diego, CA 92121-2267 USA</p>			
					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elgar ETS TerraSAS				1kW-1MW			
Specifications							
Model Number ¹	ETS60X14C	ETS80X10.5C	ETS150X5.6C	ETS80X15C	ETS600X	ETS1000 X10	
Output voltage, Voc (V)	60	80	150	80	600	1000	
Maximum output voltage (V)	66	88	165	88	660	1100	
Output current, Isc (A)	14	10.5	5.6	15	8.3, 16.7, 25	10	
Output power @ 0.85FF (W)	714	714	714	1020	4250, 8500, 12750	8500	
MPP tracking speed (Hz ²)	250	250	250	120	200	200	
I-V curve resolution (# of pts)	1024	1024	1024	1024	1024	1024	
Output capacitance	< 10nF	< 10nF	< 10nF	< 70uF	< 70uF	< 3uF	
Output Isolation (Vpk)	±1000	±1000	±1000	± 600	± 600	± 1400	
Available I/O	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	
Remote sense	2V	2V	2V	2V	10V	10V	
AC Input Voltage, V (max operational range)	85-264VAC	85-264VAC	85-264VAC	100-130VAC low 170-230VAC high	C: 187-242VAC D: 342-440 VAC E: 396-528 VAC	C: 187-242VAC D: 342-440 VAC E: 396-528 VAC	
Input frequency, Hz	47-63	47-63	47-63	47-63	47-63	47-63	
Power factor	> 0.99 typical	> 0.99 typical	> 0.99 typical	> 0.7 typical	> 0.9 typical	> 0.9 typical	
Output voltage noise Measured across a 1µF capacitor at the end of a 1.8m(6ft) line at full load, 20kHz	< 0.35 Vpp	< 0.35 Vpp	< 0.6 Vpp	< 1 Vpp	< 0.6 Vpp	< 0.6 Vpp	
Output current noise Measured with half effect sensor, BW = 0.05kHz	< 60 mApp	< 60 mApp	< 60 mApp	< 100 mApp	< 200 mApp	< 200 mApp	
Operating temperature	0-40 degs C	0-40 degs C	0-40 degs C	0-50 degs C	0-50 degs C	0-50 degs C	
Physical dimensions	22.6 x 1.7 x 19.0 in 574 x 43.6 x 483 mm 21 lbs (9.5 kg)	22.6 x 1.7 x 19.0 in 574 x 43.6 x 483 mm 21 lbs (9.5 kg)	22.6 x 1.7 x 19.0 in 574 x 43.6 x 483 mm 21 lbs (9.5 kg)	20.4 x 1.7 x 19.0 in 518 x 43.6 x 483 mm 23 lbs (10.5 kg)	25.5 x 5.3 x 19.0 in 64.7 x 13.3 x 48.3 cm 55kW 40 lbs (18 kg) 10kW 60lbs (27kg) 15kW 80lbs (36kg)	28.3 x 5.3 x 19.0 in 71.8 x 13.3 x 48.3 cm 10kW 60lbs (27kg)	
Regulatory	Certified to UL/CSA 61010 and IEC/EN 61010-1						
Notes 1. See next page for full listing of model numbers and configurations. 2. Maximum MPP rate of the inverter under test. Closed loop analog output bandwidth is much greater.							
ETS Model Numbers							
Model Number	Output isolation (V)	Output leakage capacitance (nF)	Voc (V)	Isc (A)	Power rating	Input Voltage (AC)	MPP Update Rate
ETS60X14C-PVF	±1000	45	60	14	840W	100-240VAC	250Hz (*)
ETS80X10.5C-PVF	±1000	45	80	10.5	840W	100-240VAC	250Hz (*)
ETS150X5.6C-PVF	±1000	45	150	5.6	840W	100-240VAC	250Hz (*)
ETS80X15C-PVE	±600	300	80	15	1200W	110/220VAC	120Hz
ETS600X8C-PVF	±600	200	600	8.3	5kW	208VAC	200Hz
ETS600X8D-PVF	±600	200	600	8.3	5kW	400VAC	200Hz
ETS600X8E-PVF	±600	200	600	8.3	5kW	480VAC	200Hz
ETS600X17C-PVF	±600	320	600	16.7	10kW	208VAC	200Hz
ETS600X17D-PVF	±600	320	600	16.7	10kW	400VAC	200Hz
ETS600X17E-PVF	±600	320	600	16.7	10kW	480VAC	200Hz
ETS600X25C-PVF	±600	440	600	25	15kW	208VAC	200Hz
ETS600X25D-PVF	±600	440	600	25	15kW	400VAC	200Hz
ETS600X25E-PVF	±600	440	600	25	15kW	480VAC	200Hz
ETS1000X10C-PVF	±1400	4.5	1000	10	10kW	208VAC	200Hz
ETS1000X10D-PVF	±1400	4.5	1000	10	10kW	400VAC	200Hz
ETS1000X10E-PVF	±1400	4.5	1000	10	10kW	480VAC	200Hz
(*) these models also support power optimizers. Not intended for spacecraft or high frequency shunt switching regulators. Consult factory for this or any other special application.							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solar inverters

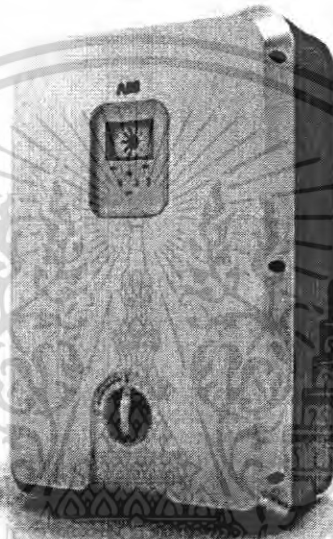
ABB string inverters
PVS300
3.3 to 8.0 kW


ABB string inverters cost-effectively convert the direct current generated by solar panels into high-quality alternating current that can be fed into the power network. Designed to meet the needs of the entire supply chain – from system integrators and installers to end users – these transformerless, single-phase inverters are suitable for small and medium-size photovoltaic systems connected to the public electricity network.

New inverter from the market leader in frequency converters

ABB is the global market leader in frequency converters and brings over 40 years experience, technology leadership and application know-how to all solar inverter projects. Such experience and technology for renewable energies ensures high quality, reliable and safe solar inverters are delivered every time.

String inverters packed with powerful features

ABB string inverters are designed for photovoltaic (PV) systems installed on residential, commercial and industrial buildings.

The ABB string inverter comes with a series of user-focused features including a high total efficiency that feeds more electricity to the grid thereby generating higher revenues; built-in protection, which reduces the need for costly external devices; a compact design that frees-up space for other equipment; and an intuitive and easy to read control unit that can be mounted within the inverter enclosure or remotely.

Highlights

- High total efficiency
- Built-in and monitored system protection devices
- High maximum input voltage
- Wide DC input voltage range
- Detachable control unit with graphical display
- Integrated performance data monitoring
- Outdoor IP55 enclosure with additional safety features

Power and productivity
for a better world™

ABB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABB string inverters

High total efficiency

The ABB string inverter offers a high conversion and MPP tracking efficiency in all conditions. This means that more electricity can be fed to the public grid compared to that from similar available inverters. The result is higher revenues for the end-user, thereby ensuring a faster return on investment for the entire photovoltaic system.

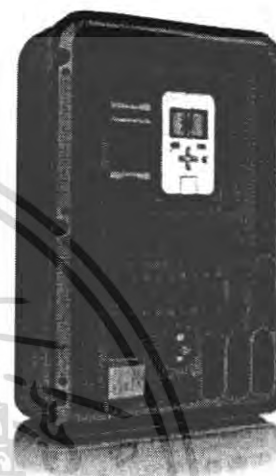
Built-In protection

The ABB string inverter is designed with monitored protection devices built within its enclosure. This avoids the cost of external protection devices, enclosures, monitoring and safety devices. All of this enables easy installation of the inverter as there are fewer components within the system. Fewer components also

means more efficient use of space in installations that use multiple inverters. If needed these protection devices are easy and safe to replace by the user.

High maximum input voltage

The high maximum DC voltage allows more photovoltaic modules to be connected in series which results in higher string power for the same current. This helps to reduce cabling power losses and also cabling size and cost.

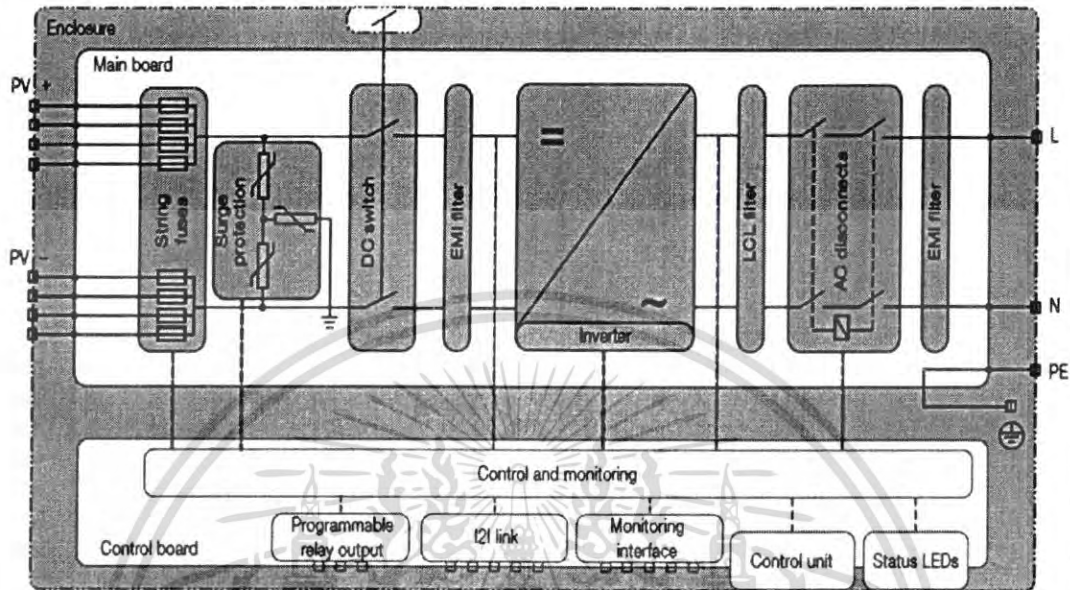


Technical data and types

Type code	PVS300-TL-3300W-2	PVS300-TL-4000W-2	PVS300-TL-4600W-2	PVS300-TL-6000W-2	PVS300-TL-8000W-2
	3.3 kW	4.0 kW	4.6 kW	6.0 kW	8.0 kW
Input (DC)					
Nominal PV-power (P_{PV})	3400 W	4100 W	4700 W	6100 W	8100 W
Maximum PV-power ($P_{PV,max}$)	3700 W	4500 W	5200 W	6700 W	8900 W
DC voltage range, mpp (U_{DC})	335 to 800 V				
Max DC voltage ($U_{DC,max}$)	900 V				
Nominal DC voltage, (U_N)	480 V				
Max DC current ($I_{DC,max}$)	10.5 A	12.7 A	14.6 A	19.0 A	25.4 A
Number of DC inputs (parallel)	4, with MC4 quick connectors				
Output (AC)					
Nominal AC output power (P_{AC})	3300 W	4000 W	4600 W	6000 W	8000 W
Nominal AC current ($I_{AC,max}$)	14.3 A	17.4 A	20.0 A	26.1 A	34.8 A
Nominal voltage ($V_{AC,max}$)	230 V				
Operating range, grid voltage ¹⁾	180 to 276 V				
Operating range, grid frequency	47 to 63 Hz				
Harmonic distortion of grid current (K_{HD})	< 3%				
Power factor (cos ϕ)	1				
Grid connection	Single phase: L, N and PE				
Transformer	No				
Efficiency					
Max efficiency ($P_{AC,max}$)	97.1%				
Euro-eta	96.0%	96.3%	96.3%	96.6%	96.6%
Power consumption					
In standby operation ($P_{standby}$)	< 12 W				
Night consumption (P_{night})	< 1 W				
Environmental limits					
Degree of protection	IP55				
Permissible ambient temperature range	-25 C° to +60 C°				
Nominal power up to	+50 C°				
Relative humidity, not condensing	0 to 100%				
Max. altitude (above sea level) ²⁾	2000 m				
Acoustic noise level	<45dBA				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABB string inverter design and grid connection



Technical data and types

Type code	PVS300-TL-3300W-2	PVS300-TL-4000W-2	PVS300-TL-4600W-2	PVS300-TL-6000W-2	PVS300-TL-8000W-2
	3.3 kW	4.0 kW	4.6 kW	6.0 kW	8.0 kW
Dimensions and weight					
Width / Height / Depth, mm	W 302 / H 581 / D 242				
Weight appr.	27		20		
Protection					
Ground fault monitoring				Yes	
Grid monitoring with anti-islanding				Yes	
Residual current detection (RCD)				Yes	
DC power switch				Yes	
DC string fuses ¹⁾				Yes	
DC reverse polarity				Yes	
AC short circuit				Yes	
Overload				Yes	
Over temperature ²⁾				Yes	
Replaceable surge protection device				Yes	
Protection class ³⁾				Class I	
Overvoltage category ³⁾				Category III	
User interface and communications					
Control unit type	Detachable with graphical display and keypad				
Control unit interface	EIA-485				
Inverter to inverter (I2I) communication	Yes				
Inverter to inverter interface	EIA-485				
Three phase configuration and monitoring	Yes, with I2I link				
Status LEDs	Yes				
Electrically isolated relay output	Yes, user programmable function				
Remote monitoring	Yes, with accessories				
Monitoring interface	EIA-485				
Monitoring protocols	Modbus RTU / Ethernet, with accessories				
Product compliance					
Safety	According to EN50178:1997 and EN62109-1:2010				
Grid compliance	According to VDE V 0126-1-1:2006-2, UTE C15-712-1				
CE	CE conformity according to LVD 2006/95/EC and EMC 2004/108/EC				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่การณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายชื่อผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่มีผลทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่าย
ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

No.	ชื่อผู้ผลิต	ชื่อรุ่น (Model)	Rated Power	AC Voltage Rated	กาผลิตตั้งใช้งาน		
1.	Schneider	XC 680	680 kW	3Ph, 380 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
		XC 630	630 kW	3Ph, 350 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
		XC 540	540 kW	3Ph, 300 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
		Conext TL 20000 E	20 kW	3Ph, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		Conext TL 15000 E	15 kW	3Ph, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		Conext RL 3000 E, Conext RL 3000 E-S	3 kVA	1Ph, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		Conext RL 4000 E, Conext RL 4000 E-S	4 kVA	1Ph, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		Conext RL 5000 E, Conext RL 5000 E-S	5 kVA	1Ph, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
2.	ABB	PVS800-57-1000KW-C	1,000 kW	3Ph, 400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
		PVS800-57-0630KW-B	630 kW	3Ph, 350 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
		PVS800-57-0500KW-A	500 kW	3Ph, 300 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
		PVS800-57-0250W-A	250 kW	3Ph, 300 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
		PVS300-TL-3300W-2	3.3 kW	1Ph, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		PVS300-TL-4000W-2	4.0 kW	1Ph, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		PVS300-TL-4600W-2	4.6 kW	1Ph, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		PVS300-TL-6000W-2	6.0 kW	1Ph, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		PVS300-TL-8000W-2	8.0 kW	1Ph, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		GROWATT 3600MTL-10	3.6 kW	1Ph, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
3.	GROWATT	GROWATT 4200MTL-10	4.2 kW	1Ph, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		GROWATT 5000MTL-10	4.6 kW	1Ph, 230 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		GROWATT 10000 UE	10 kW	3Ph, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
		GROWATT12000 UE	12 kW	3Ph, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
		GROWATT18000 UE	18 kW	3Ph, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
		GROWATT20000 UE	20 kW	3Ph, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
		4.	Leonic	Apollo G-4500 TL(P)	5.0 kW	1Ph, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
				Apollo G-4300 TL(P)	3.0 kW	1Ph, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
Apollo GTP-512 HE TL(P)	250 kW			3Ph, 300 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
Apollo GTP-507 HE TL(P)	125 kW			3Ph, 300 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
Apollo GTP-4015 TL(P)	15 kW			3Ph, 220/380 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
Apollo GTP-4010 TL(P)	10 kW			3Ph, 220/380 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
5.	Frecon			F010K4PV	10 kW	3Ph, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW
6.	SMA	SB 3600TL-21	3.68 kW	1P, 180-280 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		STP 20000TL EE-10	20 kW	3Ph, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
		STP 17000TL-10	17 kW	3Ph, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
		SB 5000TL-21	4.6 kW	1Ph, 180-280 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		SB 3000TLST-21	3.0 kW	1Ph, 180-280 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		STP 9000TL-20	9.0 kW	3Ph, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		SB 2500TLST-21	2.5 kW	1Ph, 180-280 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
7.	Ablerex	ES 3300P	3.0 kW	1Ph, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		ES 4200P	4.0 kW	1Ph, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		ES 5000P	5.0 kW	1Ph, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
8.	CEHE	EHE-NIKSTL-TP	1.5 kW	1Ph, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		EHE-NKTL-TP	2.0 kW	1Ph, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		EHE-NBKT-TP	3.0 kW	1Ph, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		EHE-N4KTL-TP	4.0 kW	1Ph, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		EHE-N4K6TL-TP	4.6 kW	1Ph, 220 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
9.	Fronius	IG Plus 150V-3	12 kW	3Ph, 230/400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
10.	EMERSON	SSL0250B	250 kW	3Ph, 400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		SSL0500B	500 kW	3Ph, 400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
11.	DASS TECH	DSP-33250K	250 kW	3Ph, 380 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		
12.	JFY	Suntree-10000TL	10 kW	3Ph, 400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
		Suntree-20000TL	20 kW	3Ph, 400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 kW		
13.	HUIWEI	SUN2000-20KTL	20 kW	3Ph, 400 V	สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้งทุกขนาด		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

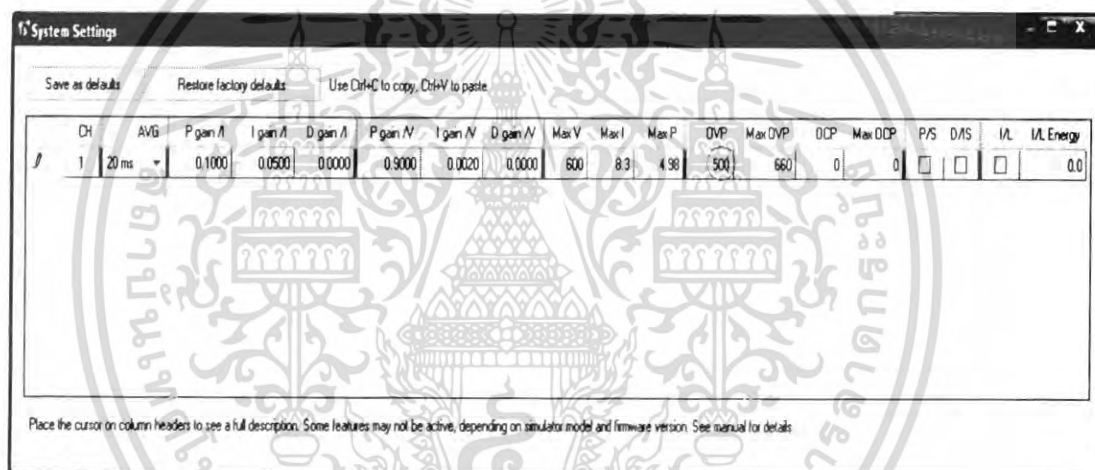
การใช้โปรแกรม TerraSAS

การใช้โปรแกรม TerraSAS ในการกำหนดค่าเครื่องจำลอง Photovoltaic Simulator

TerrestrialSolar Array Simulator (TerraSAS) เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการกำหนดค่าการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องจำลอง Photovoltaic Simulator ตามคุณสมบัติแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่กำหนด โดยนำข้อมูลแผงเซลล์จากผู้ผลิตมาป้อนลงในโปรแกรม ซึ่งเครื่องจำลอง Photovoltaic Simulator มีขีดในการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 5 kW (600 V 8.3 A)

ตั้งค่าโปรแกรม TerraSAS

เนื่องจากเครื่องจำลอง Photovoltaic Simulator จ่ายแรงดันสูงสุดได้ไม่เกิน 600 V จึงต้องมีการกำหนดขอบเขตของค่า OVP โดยตั้งค่าไว้ที่ 500 V ซึ่งเป็นค่าแรงดันที่ตั้งค่าไว้เพื่อความปลอดภัย ถ้าแรงดันเกินกว่าแรงดัน OVP เครื่องจำลอง Photovoltaic Simulator ก็จะหยุดทำงานทันที



รูปที่ ค.1 การตั้งค่า OVP ในโปรแกรม TerraSAS

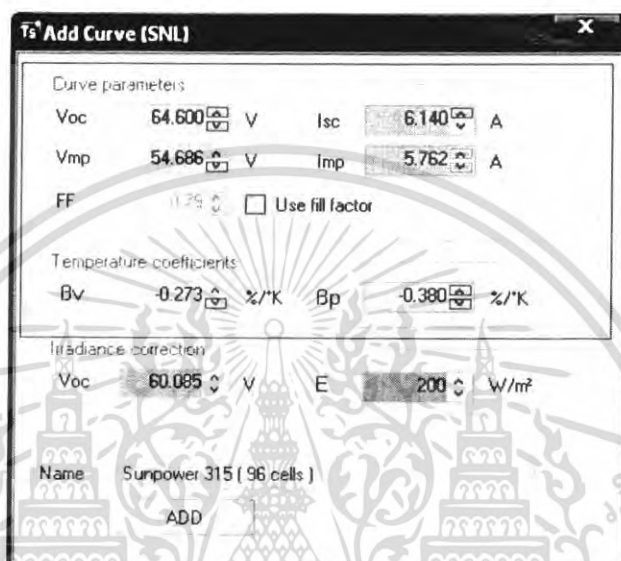


รูปที่ ค.2 หน้าจอแสดงผลเมื่อจ่ายแรงดันเกิน OVP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

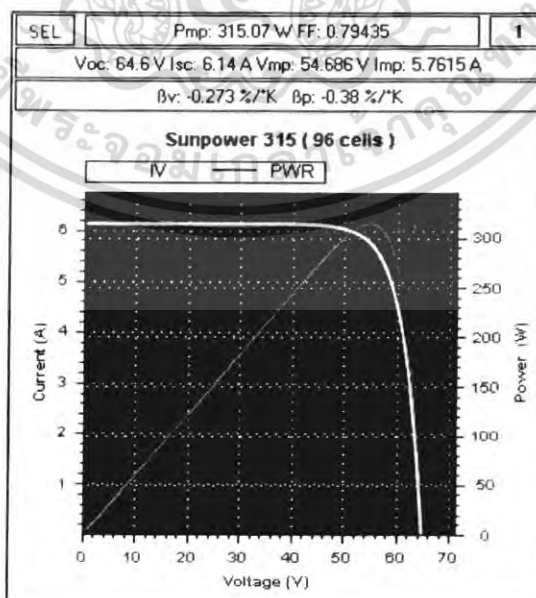
การตั้งค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ทำการป้อนข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าแผงเซลล์ฯ (ตามข้อมูลจากผู้ผลิต) โดยมีค่าที่สำคัญคือ แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V_{oc}) , แรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (V_{mp}) , กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) , กระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (I_{mp}) , สัมประสิทธิ์แรงดันไฟฟ้าสูงสุดต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (B_v) และ สัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (B_p)



รูปที่ ค.3 การตั้งค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หลังจากตั้งค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าแผงเซลล์ฯทั้งหมด ทำการกด ADD เพื่อสร้างกราฟ IV-Curve และ PV-Curve ของแผงเซลล์ (1 แผง)

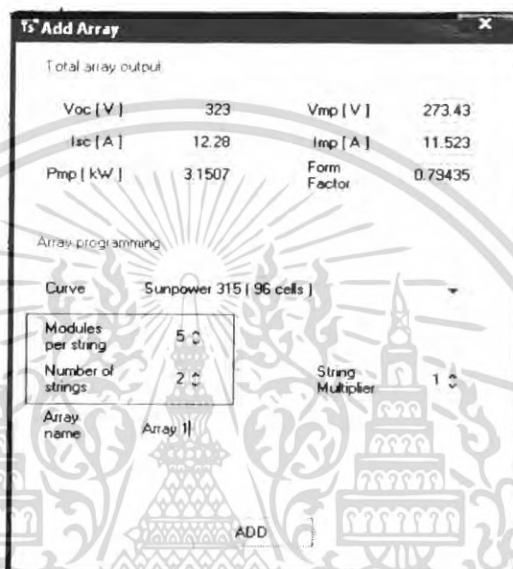


รูปที่ ค.4 กราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์ฯ (IV-Curve และ PV-Curve) 1 แผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

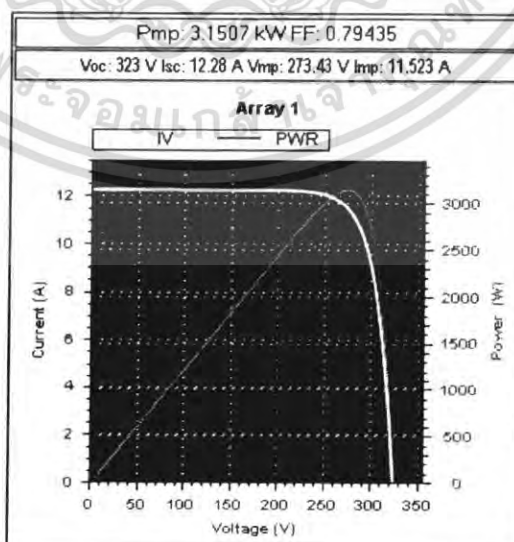
การสร้าง Array

ในการจำลองสามารถเพิ่มกำลังวัตต์ติดตั้งแผงเซลล์ฯได้ โดยทำการการสร้าง Array ซึ่งเกิดจากการนำแผงเซลล์ฯที่กำหนดมาต่ออนุกรมหรือขนานกัน โดยทำการปรับค่า Modules Per String เป็นจำนวนการต่ออนุกรมของแผงเซลล์ในหนึ่งชุด (String) และค่า Numbers Per String เป็นจำนวนการต่อขนานชุดแผงเซลล์ โดยถ้าต้องการให้กำลังวัตต์สูงขึ้น 10 เท่า อาจจะทำการต่ออนุกรม 5 แผง และต่อขนาน 2 ชุด (รวม 10 แผง) ดังนั้นจึงทำการกำหนดค่า Modules Per String เท่ากับ 5 และ กำหนดค่า Numbers Per String เท่ากับ 2



รูปที่ ค.5 การสร้าง Array

หลังจากตั้งค่าต่างๆตามข้อมูลของโซลาเซลล์จากผู้ผลิตจากนั้นกด ADD เพื่อสร้าง IV-Curve และ PV-Curve (10 แผง)

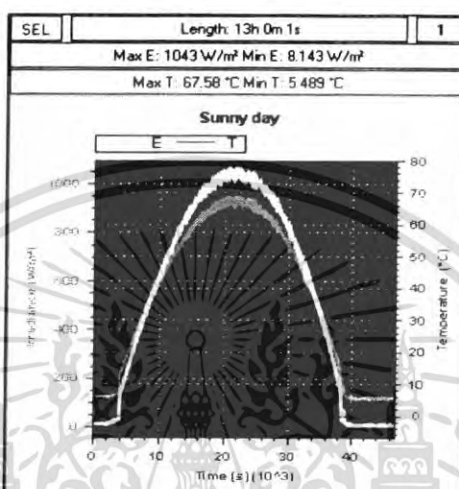


รูปที่ ค.6 กราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์ฯ (IV-Curve และ PV-Curve) 1 array

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดค่าสภาวะการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

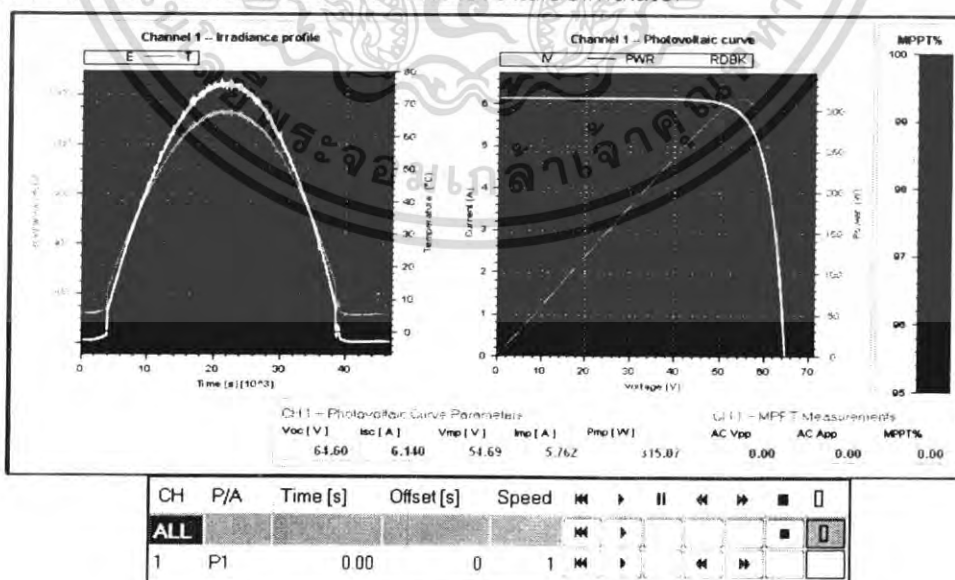
การกำหนดสภาวะการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ การกำหนดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ซึ่งโปรแกรม TerraSAS สามารถเลือกใช้สภาพอากาศที่มีอยู่ได้แก่ ความเข้มแสงแบบ Sunny Day , Cloudy Day และ Heavy Clouds Day ซึ่งสภาพอากาศทั้ง 3 รูปแบบจะมีลักษณะความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์แตกต่างกันไป



รูปที่ ค.7 ความเข้มแสงแบบ Sunny Day

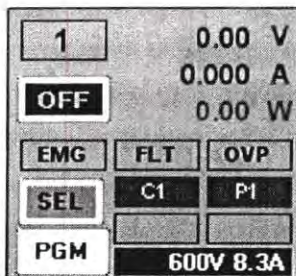
การจ่ายกำลังไฟฟ้า

ทำการนำกราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์ฯ (IV-Curve , PV-Curve) และสภาวะการทำงานที่ได้เลือกไว้ ลากขึ้นหน้าจอแสดงผล จากนั้นกดปุ่ม OFF เป็น ON และกดปุ่ม Play เพื่อเริ่มต้นจำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าของ Photovoltaic Simulator

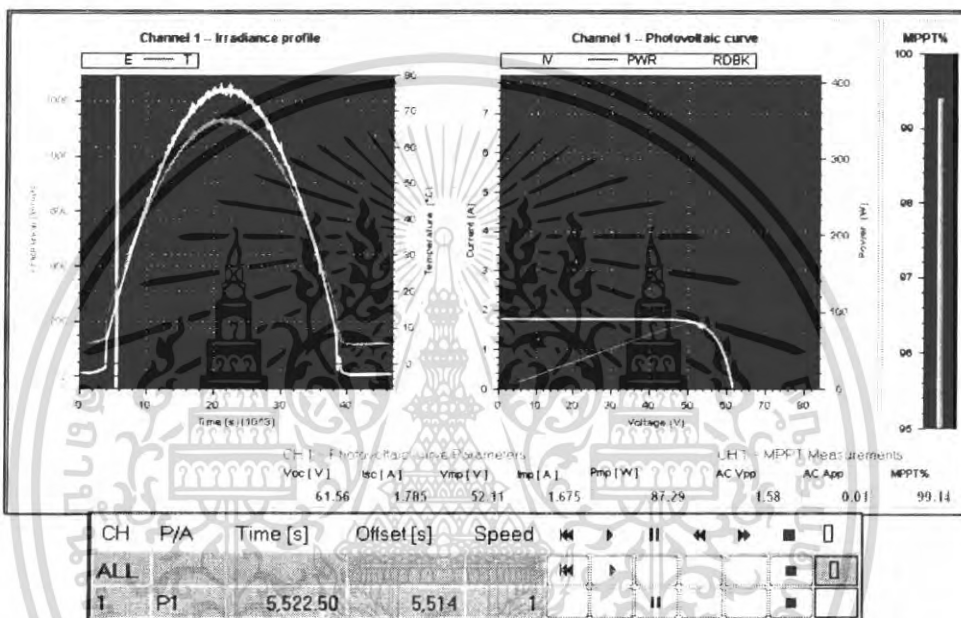


รูปที่ ค.8 สภาวะปกติเมื่อยังไม่ทำการจ่ายกำลังไฟฟ้า

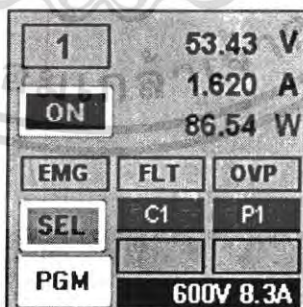
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.9 หน้าจอแสดงผลสถานะปกติเมื่อยังไม่ทำการจ่ายกำลังไฟฟ้า



รูปที่ ค.10 สภาวะเมื่อเริ่มจำลองการจ่ายกำลังวัตต์ของ Photovoltaic Simulator



รูปที่ ค.11 หน้าจอแสดงผลเมื่อเริ่มจำลองการจ่ายกำลังวัตต์ของ Photovoltaic Simulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง การคำนวณอัตราผลตอบแทนของระบบขนาด 4.2 kW เป็นระยะเวลา 25 ปี (ซิลิกอนผลึกเดี่ยว)

ปี	ต้นทุนการติดตั้ง (บาท)	อัตราความเสื่อมจากอายุใช้งาน (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (หน่วย)	รายได้ (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
1	305,424	0.8	17.74	44,361	2,000	-263,063	13.87
2	-	1.6	17.60	44,003	2,000	-220,091	27.94
3	-	2.4	17.46	43,645	2,000	-178,468	41.57
4	-	3.2	17.31	43,288	2,000	-138,388	54.69
5	-	4	17.17	42,930	2,000	-99,647	67.37
6	-	4.8	17.03	42,572	2,000	-62,202	79.63
7	-	5.6	16.88	42,214	2,000	-26,434	91.35
8	-	6.4	16.74	41,857	2,000	8,066	102.64
9	-	7.2	16.60	41,499	2,000	41,339	113.53
10	-	8	16.45	41,141	2,000	72,870	123.86
11	-	8.8	16.31	40,783	2,000	103,217	133.79
12	-	9.6	16.17	40,426	2,000	132,421	143.36
13	-	10.4	16.03	40,068	2,000	160,524	152.56

ตาราง การคำนวณอัตราผลตอบแทนของระบบขนาด 2.4 kW เป็นระยะเวลา 25 ปี (ซิลิกอนผลึกเดี่ยว) (ต่อ)

ปี	ต้นทุนการติดตั้ง (บาท)	อัตราความเสื่อมจากอายุใช้งาน (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (หน่วย)	รายได้ (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	กำไร (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)
14	-	11.2	15.88	39,710	2,000	187,565	161.41
15	-	12	15.74	39,352	2,000	213,582	169.93
16	-	12.8	15.60	38,995	2,000	238,611	178.12
17	-	13.6	15.45	38,637	2,000	262,688	186.01
18	-	14.4	15.31	38,279	2,000	285,848	193.59
19	-	15.2	15.17	37,921	2,000	308,123	200.88
20	-	16	15.02	37,564	2,000	329,545	207.90
21	-	16.8	14.88	37,206	2,000	350,145	214.64
22	-	17.6	14.74	36,848	2,000	369,952	221.13
23	-	18.4	14.59	36,490	2,000	388,996	227.36
24	-	19.2	14.45	36,133	2,000	407,305	233.36
25	-	20	14.31	35,775	2,000	424,904	239.12

จากตารางข้างต้น นำมาเป็นตัวอย่งการคำนวณค่าต่างๆ ในการติดตั้งระบบเป็นระยะเวลา 25 ปี โดยจะนำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน ขนาด 4.2 กิโลวัตต์ โดยติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวที่ภาคกลางของประเทศไทยได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนในการติดตั้งระบบ} &= 4.2 \times 72,720 \\ &= 305,424 \text{ บาท} \\ \text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้} &= 4.2 \times 0.85 \times 0.992 \times 5.01 \\ &= 17.74 \text{ kWh} \end{aligned}$$

ซึ่ง 0.85 เป็นค่าความเสื่อมสภาพจากอุณหภูมิ, 0.992 คือค่าความเสื่อมสภาพจากอายุการใช้งาน และ 5.01 คือค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของภาคกลาง

$$\begin{aligned} \text{รายได้ใน 1 ปี} &= 17.74 \times 365 \times 6.85 \\ &= 44,361 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ซึ่ง 6.85 เป็นค่าอัตราซื้อไฟฟ้าคงที่ และการจะหาค่าไรออกมานั้น ในการคำนวณนี้จะคิดอัตราเงินเฟ้อด้วย เพื่อผลตอบแทนของระบบในกรณีที่แย่ที่สุด โดยเงินเฟ้ออยู่ที่ 2.4% ของต้นทุน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{รายได้เมื่อสิ้นปี} &= 44,361 \times (1+0.024)^{1-1} \\ &= 44,361 \text{ บาท} \\ \text{กำไรจากการผลิตไฟฟ้า} &= 44,361 - 305,424 - 2,000 \\ &= -263,063 \text{ บาท} \\ \text{อัตราผลตอบแทน} &= \frac{-263,063 + 305,424}{305,424} \times 100 \\ &= 13.87\% \end{aligned}$$

ในปีที่ 2 มีอัตราความเสื่อมสภาพจากอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น 0.8 % และมีเงินเฟ้อมากยิ่งขึ้นอีก 2.4 %

$$\begin{aligned} \text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้} &= 4.2 \times 0.85 \times 0.984 \times 5.01 \\ &= 17.60 \text{ kWh} \\ \text{รายได้ในปีที่ 2} &= 17.60 \times 365 \times 6.85 \\ &= 44,004 \text{ บาท} \\ \text{รายได้ในปีที่ 2} &= 44,003 \times (1+0.024)^{2-1} \\ &= 42,972 \text{ บาท} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ผลรวมรายได้จากการผลิต} = 44,361 + 42,972$$

$$= 87,333 \text{ บาท}$$

$$\text{กำไรจากการผลิตไฟฟ้า} = 87,333 - 305,424 - 2,000$$

$$= -220,091 \text{ บาท}$$

$$\text{อัตราผลตอบแทนปีที่ 2} = \frac{-220,091 + 305,424}{305,424} \times 100$$

$$= 27.94\%$$

ในปีที่ 3 มีอัตราความเสื่อมสภาพจากอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น 0.8 % และมีเงินเฟ้อ
มากยิ่งขึ้นอีก 2.4 %

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้} = 4.2 \times 0.85 \times 0.976 \times 5.01$$

$$= 17.46 \text{ kWh}$$

$$\text{รายได้ในปีที่ 3} = 17.46 \times 365 \times 6.85$$

$$= 43,645 \text{ บาท}$$

$$\text{รายได้ในปีที่ 3} = 43,645 \times (1 + 0.024)^{3-1}$$

$$= 41,624 \text{ บาท}$$

$$\text{ผลรวมรายได้จากการผลิต} = 87,333 + 41,624$$

$$= 128,956 \text{ บาท}$$

$$\text{กำไรจากการผลิตไฟฟ้า} = 128,956 - 305,424 - 2,000$$

$$= -178,468 \text{ บาท}$$

$$\text{อัตราผลตอบแทนปีที่ 3} = \frac{-178,468 + 305,424}{305,424} \times 100$$

$$= 41.57\%$$

ในปีที่ 4 มีอัตราความเสื่อมสภาพจากอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น 0.8 % และมีเงินเฟ้อ
มากยิ่งขึ้นอีก 2.4 %

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้} = 4.2 \times 0.85 \times 0.968 \times 5.01$$

$$= 17.31 \text{ kWh}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{รายได้ในปีที่ 4} = 17.31 \times 365 \times 6.85$$

$$= 43,288 \text{ บาท}$$

$$\text{ต้นทุนที่ลงไปเมื่อสิ้นปีที่ 4} = 43,288 \times (1+0.026)^{4-1}$$

$$= 40,080 \text{ บาท}$$

$$\text{ผลรวมรายได้จากการผลิต} = 128,956 + 40,080$$

$$= 169,036 \text{ บาท}$$

$$\text{กำไรจากการผลิตไฟฟ้า} = 169,036 - 305,424 - 2,000$$

$$= -138,388 \text{ บาท}$$

$$\text{อัตราผลตอบแทนปีที่ 4} = \frac{-138,388 + 305,424}{305,424} \times 100$$

$$= 54.69\%$$

ในปีที่ 5 มีอัตราความเสื่อมสภาพจากอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น 0.8 % และมีเงินเฟ้อมากยิ่งขึ้นอีก 2.4 %

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้} = 4.2 \times 0.85 \times 0.96 \times 5.01$$

$$= 17.17 \text{ kWh}$$

$$\text{รายได้ในปีที่ 5} = 17.17 \times 365 \times 6.85$$

$$= 42,930 \text{ บาท}$$

$$\text{ต้นทุนที่ลงไปเมื่อสิ้นปีที่ 5} = 42,930 \times (1+0.026)^{5-1}$$

$$= 38,741 \text{ บาท}$$

$$\text{ผลรวมรายได้จากการผลิต} = 169,036 + 38,741$$

$$= 207,777 \text{ บาท}$$

$$\text{กำไรจากการผลิตไฟฟ้า} = 207,777 - 305,424 - 2,000$$

$$= -99,647 \text{ บาท}$$

$$\text{อัตราผลตอบแทนปีที่ 5} = \frac{-99,647 + 305,424}{305,424} \times 100$$

$$= 67.37\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปีที่ 6 มีอัตราความเสื่อมสภาพจากอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น 0.8 % และมีเงินเพื่อ
มากยิ่งขึ้นอีก 2.4 %

$$\begin{aligned}
 \text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้} &= 4.2 \times 0.85 \times 0.952 \times 5.01 \\
 &= 17.03 \text{ kWh} \\
 \text{รายได้ในปีที่ 6} &= 17.03 \times 365 \times 6.85 \\
 &= 42,572 \text{ บาท} \\
 \text{ต้นทุนที่ลงไปเมื่อสิ้นปีที่ 6} &= 42,572 \times (1+0.026)^{6-1} \\
 &= 37,445 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ผลรวมรายได้จากการผลิต} &= 207,777 + 37,445 \\
 &= 245,222 \text{ บาท} \\
 \text{กำไรจากการผลิตไฟฟ้า} &= 245,222 - 305,424 - 2,000 \\
 &= -62,202 \text{ บาท} \\
 \text{อัตราผลตอบแทนปีที่ 6} &= \frac{-62,202 + 305,424}{305,424} \times 100 \\
 &= 79.63\%
 \end{aligned}$$

ในปีที่ 7 มีอัตราความเสื่อมสภาพจากอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น 0.8 % และมีเงินเพื่อ
มากยิ่งขึ้นอีก 2.4 %

$$\begin{aligned}
 \text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้} &= 4.2 \times 0.85 \times 0.944 \times 5.01 \\
 &= 16.88 \text{ kWh} \\
 \text{รายได้ในปีที่ 7} &= 16.88 \times 365 \times 6.85 \\
 &= 42,214 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ต้นทุนที่ลงไปเมื่อสิ้นปีที่ 7} &= 42,214 \times (1+0.028)^{7-1} \\
 &= 35,769 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ผลรวมรายได้จากการผลิต} &= 245,222 + 35,769 \\
 &= 280,990 \text{ บาท} \\
 \text{กำไรจากการผลิตไฟฟ้า} &= 280,990 - 305,424 - 2,000 \\
 &= -26,434 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{อัตราผลตอบแทนปีที่ 7} &= \frac{-26,434 + 305,424}{305,424} \times 100 \\ &= 91.35\% \end{aligned}$$

ในปีที่ 8 มีอัตราความเสื่อมสภาพจากอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น 0.8 % และมีเงินเฟ้อมากยิ่งขึ้นอีก 2.4 %

$$\begin{aligned} \text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้} &= 4.2 \times 0.85 \times 0.936 \times 5.01 \\ &= 16.74 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รายได้ในปีที่ 8} &= 16.74 \times 365 \times 6.85 \\ &= 41,857 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนที่ลงไปเมื่อสิ้นปีที่ 8} &= 41,857 \times (1+0.028)^{8-1} \\ &= 34,500 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลรวมรายได้จากการผลิต} &= 280,990 + 34,500 \\ &= 315,490 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{กำไรจากการผลิตไฟฟ้า} &= 315,490 - 305,424 - 2,000 \\ &= 8,066 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราผลตอบแทนปีที่ 8} &= \frac{8,066 + 305,424}{305,424} \times 100 \\ &= 102.64\% \end{aligned}$$

ระบบที่ทำการติดตั้งได้ถึงระยะเวลาคืนทุนแล้วสังเกตได้ 2 จุด คือ กำไรเป็นค่าบวก และอัตราผลตอบแทนมีค่า 100 % ซึ่งสามารถคำนวณปีที่คุ้มทุนได้ดังนี้

$$\text{กำไรเมื่อสิ้นปีที่ 7} = -26,434 \text{ บาท}$$

$$\text{รายได้ที่ผลิตได้ในปีที่ 8} = 41,499 \text{ บาท}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= 7 + \frac{26,434}{34,500} \\ &= 7.77 \text{ ปี} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นาย กฤษณ์ ชูหาด

เกิดวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2535 ภูมิลำเนาอยู่ จ.นครราชสีมา

ศึกษาในระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย

ศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 08-5493-0977

Email : 66Roger.ee@gmail.com



นาย กิรติ จูประเสริฐพร

เกิดวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2535 ภูมิลำเนาอยู่ จ.กรุงเทพมหานคร

ศึกษาในระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนมัธยมวัดสิงห์

ศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 09-4547-2707

Email : turk_2499@hotmail.com



นาย เกริก โรจนมังกูล

เกิดวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2536 ภูมิลำเนาอยู่ จ.ตรัง

ศึกษาในระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนบูรณะรำลึกตรัง

ศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 08-8823-2991

Email : ice_electrical55@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้