

การแก้ปัญหาระบบและวิเคราะห์ค่าพลังงานโซลาร์รูฟท็อป
ขนาด 2 MWp ที่เลคิเซ่กรุป เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
PROBLEM SOLYING SYSTEM AND ANALYZE ENERGY
SOLAR ROOFTOP 2 MWp AT LEKISE GROUP TO
EFFECTIVE THE MOST



สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROBLEM SOLVING SYSTEM AND ANALYZE ENERGY
SOLAR ROOFTOP 2 MW_p AT LEKISE GROUP TO
EFFECTIVE THE MOST



A COOPERATIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS , FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สหกิจศึกษา การแก้ปัญหาระบบและวิเคราะห์ค่าพลังงานโซลาร์ฟลท้อป ขนาด 2 MWp
 ที่เลคเซ่กรุป เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
 Problem Solying System And Analyze Energy Solar Rooftop
 2 MWp At Lekise Group To Effective The Most

ชื่อนักศึกษา นางสาวจิตรา เลิศวิโรจน์ถาวร รหัสนักศึกษา 57050937

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้ สห
 กิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
 ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข ประธานกรรมการ	
รศ.สาทราย เล็กชะอุ่ม กรรมการ	
ดร.พิชานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ กรรมการ	
ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
นายศตพร ปะมา กรรมการและที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สหกิจศึกษา	การแก้ปัญหาระบบและวิเคราะห์ค่าพลังงานโซลาร์ฟาร์มที่อป ขนาด 2 MWp ที่ เลคิเซ่กรู๊ป เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจิตรา เลิศวิโรจน์ถาวร รหัสนักศึกษา 57050937
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส

บทคัดย่อ

ในการแก้ปัญหาระบบและวิเคราะห์ค่าพลังงานโซลาร์ฟาร์มที่อป ขนาด 2 MWp ที่เลคิเซ่กรู๊ป เพื่อให้
มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น ได้ดำเนินการโดยการเริ่มตรวจเช็คจากระบบ Monitoring เช็ค Inverter ได้ใน
ระดับ MPPT จากนั้นทำการวัด IV Curve ด้วยเครื่อง Eurotest PV เช็ค Inverter ได้ในระดับ String
แล้วทำการเช็คจุดเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ด้วยเครื่อง Thermoscan และทำการทดสอบแผงด้วยเครื่อง
Solar Module Tester ก่อนทำการตรวจเช็คค่า PR ที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐานของระบบโซล่า เมื่อทำการ
ตรวจเช็คและแก้ไขพบว่าค่า PR เพิ่มขึ้น 10.12 %

คำสำคัญ : Inverter, MPPT, Monitoring, PR, String

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Problem Solying System and Analyze Energy Solar Rooftop 2 MWp at Lekise Group to Effective The Most
Students	Miss Jitra Loetwirothaworn Student ID 57050937
Degree	Bachelor of Science
Department	Applied Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of TechnologyLadkrabang (KMITL)
Academic Year	2017
Advisor	Asst.Prof.Dr. Nathaporn Promros

Abstract

In problem solying system and analyze energy solar rooftop 2 MWp at Lekise Group to effective the most it has carried out Monitoring system checks the start check Inverter MPPT in a level, then take measurements of the IV Curve with a Eurotest PV Inverter check String level, then check the connection point between the equipment with machines and tests with Panel Thermoscan machine Solar Module Tester before you check the PR value was below the standard of the solar system. When I check and fix the PR increased 10.12%

Keywords : Inverter, MPPT, Monitoring, PR, String

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณคุณบุรินทร์ คณะเจริญ ที่ได้อนุญาตให้มาทำโครงการสหกิจศึกษาที่บริษัทอิเรเดียน โซล่า จำกัด พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการทำงานในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี และขอขอบคุณ นายศตพร ปะมา ที่เป็นพี่ปรึกษาในการทำโปรเจกต์ในครั้งนี้ ขอขอบคุณพี่ๆ ในบริษัทที่คอยให้คำแนะนำ และดูแลขอขอบคุณอาจารย์ณัฐพร พรหมรส ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ขอขอบคุณอาจารย์วิฑูรย์ ยินดีสุข ที่คอยให้คำแนะนำ ขอขอบคุณทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องทำให้โปรเจกต์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จิตรรา เลิศวิโรจน์ถาวร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์ (ถ้ามี)	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความรู้เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์	3
2.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	3
2.3 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า	
2.3.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ	4
2.3.2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย	4
2.3.3 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน	5
2.4 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์	6
2.5 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	
2.5.1 ความเข้มของแสง	6
2.5.2 อุณหภูมิ	7
2.6 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	7
2.7 ข้อดีและข้อจำกัดของพลังงานแสงอาทิตย์	7
2.8 พลังงานแสงอาทิตย์	8
2.9 Solar cell คืออะไร	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การบำรุงรักษาเซลล์แสงอาทิตย์และอายุการใช้งาน	10
2.11 ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	10
2.12 การใช้ประโยชน์เซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย	10
2.13 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อแสงสว่างในครัวเรือน	11
2.14 ระบบผลิตไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับหมู่บ้านชนบท	11
2.15 ระบบผลิตไฟฟ้าแสงสว่างทางสาธารณะด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.16 เครื่องมือวัดที่ใช้ตรวจสอบ	
2.16.1 Metrel MI 3108 Eurotest PV	12
2.16.2 เครื่องเทอร์โมสแกน	21
2.16.3 Solar module tester	34
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้	35
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	
3.2.1 ตรวจสอบภาพรวม Solar rooftop ขนาด 2 MWp	35
3.2.2 ประเมินประสิทธิภาพและค่าความสูญเสีย Solar rooftop	35
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และแก้ปัญหา	
4.1 การทำ IV Check	58
4.2 การทดสอบโดยใช้ Thermoscan	79
4.3 การทดสอบโดยใช้เครื่อง Solar Module Tester	80
4.4 ทำการเปลี่ยนแผงที่เกิด Hot spot	82
4.5 ทำการล้างแผง	84
4.6 PR ของระบบ	84
บทที่ 5 สรุปผลการแก้ปัญหา	85
เอกสารอ้างอิง	86
ภาคผนวก	
รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ทดสอบ (Data Sheet)	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางเปรียบเทียบสเปกของ Metrel MI 3108 และ MI 3109 EurotestPV Series	14
1.2 Parameter of PV module	17
3.1 PR ของระบบ	40
3.2 ค่า V ทิศเหนือ	42
3.3 ค่า V ทิศใต้	42
3.4 PR ของระบบ	44
3.5 ค่าที่วัดได้ของแผงที่เกิด Hot spot	56
3.6 ค่าที่วัดได้ของแผงที่ปกติ	57
4.1 รายงานการตรวจเช็ค	79
4.2 การเปลี่ยนหัว MC4	80
4.3 ค่าที่วัดได้ของแผงที่เกิด Hot spot	80
4.4 ค่าที่วัดได้ของแผงที่ปกติ	81
4.5 PR ของระบบ	84
5.1 สรุปค่า PR ของระบบ	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงปริมาณรังสี	4
1.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	9
1.3 Metrel MI 3108 Eurotest PV	12
1.4 การต่อวงจร	15
1.5 PV string test	16
1.6 PV panel test	16
1.7 ตัวอย่างผลลัพธ์ VI Curve	17
1.8 IV Curve ปกติ	18
1.9 VI Curve แสดงปัญหา Shadow	18
1.10 การวัดค่า VOC และ ISC	19
1.11 ตรวจสอบวัดค่าระดับแสงและอุณหภูมิ	19
1.12 ผลการวัดที่ได้เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณจาก (STC)	20
1.13 วัด DC Output	20
1.14 วัดปริมาณแสงและอุณหภูมิ	21
1.15 แสดงผลลัพธ์ตัวอย่างในการวัดประสิทธิภาพของ DC Power Output เปรียบเทียบกับค่า STC	21
2.1 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุ	23
2.2 เครื่องเทอร์โมสแกน	25
2.3 รายละเอียดเครื่องเทอร์โมสแกน	26
2.4 ภาพเทอร์โมสแกนพิวส์	27
2.5 เทอร์โมสแกนมอเตอร์	27
2.6 เทอร์โมสแกนถังน้ำมัน	28
2.7 เทอร์โมสแกนหม้อแปลงไฟฟ้า	30
2.8 เทอร์โมสแกนบัสบาร์	31
2.9 เทอร์โมสแกนพิวส์บริเวณเอาท์พุท	31
2.10 เทอร์โมสแกนมอเตอร์	31
2.11 เทอร์โมสแกนคลังปลั๊กมอเตอร์	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12	เทอร์โมสแกนมูเลย์	32
2.13	เทอร์โมสแกนตลับลูกปืน	32
2.14	เทอร์โมสแกนหน้าแปลน	33
2.15	เทอร์โมสแกนลูกกลิ้ง	33
2.16	เทอร์โมสแกนเตา	33
2.17	Spect Solar module tester	34
3.1	หน้าเว็บไซต์	37
3.2	หน้าแรกของเว็บไซต์	37
3.3	กดเลือก Insolation	38
3.4	โชว์ค่าแดด	38
3.5	ค่าพลังงานดรอปลง	38
3.6	กราฟค่าพลังงาน	39
3.7	ค่า Power	39
3.8	ค่า Power และค่าแดด	39
3.9	Status Inverter	40
3.10	กราฟ V ทิศเหนือ	41
3.11	กราฟ V ทิศใต้	41
3.12	ส่งเคลม Inverter	42
3.13	set mppt	43
3.14	set ในระบบ	43
3.15	VSN700 ตัวที่ไม่ทำงาน	43
3.16	เชื่อมต่อข้อมูลแต่ไม่โชว์ค่า	44
3.17	Diagram IV check	44
3.18	วัดค่าแดด และอุณหภูมิ	45
3.19	ปิดสวิตซ์ที่ ACS	45
3.20	ปิดสวิตซ์	45
3.21	เมื่อปิดสวิตซ์แล้ว	46
3.22	ไฟแสดงการปิดสวิตซ์	46
3.23	เปิดฝาครอบ DC Box	46
3.24	วัดแต่ละ String	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้










3.25 แสดงค่าที่สามารถตรวจเช็คได้	47
3.26 กราฟที่วัดได้	47
3.27 กราฟปกติ	48
3.28 กราฟที่ผิดปกติ	48
3.29 แผงแตก	48
3.30 แผงเปื้อนสี	49
3.31 แผงที่เกิด Hot spot	49
3.32 แผงที่เกิด Hot spot เช็คว่าด้วยเครื่อง Thermoscan	49
3.33 สาย cable	50
3.34 String inverter	50
3.35 ความร้อนหัว MC4	50
3.36 ความร้อนหัว MC4	51
3.37 การติดตั้งตู้ MDB	51
3.38 ความร้อนสายที่เชื่อมต่อในตู้ MDB	51
3.39 ความร้อนสายที่เชื่อมต่อในตู้ MDB	52
3.40 Solar Module Tester	52
3.41 PLC Control	53
3.42 Turn on your computer	53
3.43 Charging	54
3.44 Ready	54
3.45 แผงคว่ำหน้า	54
3.46 ต่อสายที่ Junction box	55
3.47 จอแสดงผล	55
3.48 แผงที่เกิด Hot spot	55
3.49 กราฟแผงที่เกิด Hot spot	56
3.50 แผงปกติ	56
3.51 กราฟแผงปกติ	57
4.1 IV Curve อุณหภูมิ 38 องศา ค่าแดด 300 – 500 W/m ²	58
4.2 IV Curve อุณหภูมิ 38 องศา ค่าแดด 500 – 700 W/m ²	58
4.3 IV Curve อุณหภูมิ 38 องศา ค่าแดด 700 – 1000 W/m ²	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 IV Curve อุณหภูมิ 43 องศา ค่าแดด 300 – 500 W/m ²	59
4.5 IV Curve อุณหภูมิ 43 องศา ค่าแดด 500 – 700 W/m ²	59
4.6 IV Curve อุณหภูมิ 43 องศา ค่าแดด 700 – 1000 W/m ²	60
4.7 IV Curve อุณหภูมิ 48 องศา ค่าแดด 300 – 500 W/m ²	60
4.8 IV Curve อุณหภูมิ 48 องศา ค่าแดด 500 – 700 W/m ²	60
4.9 IV Curve อุณหภูมิ 48 องศา ค่าแดด 700 – 1000 W/m ²	61
4.10 – 4.60 ผล IV Check	61
4.61 กราฟตก เพราะโดนเงา	78
4.62 โซนสีแดงที่โดนเงา	79
4.63 กราฟแผงที่เกิด Hot spot	81
4.64 กราฟแผงปกติ	81
4.65 กราฟเปรียบเทียบแผง Hot spot กับแผงปกติ	82
4.66 ทำการไขน็อตจับยึดแผง	82
4.67 ทำการถอดหัว MC4	82
4.68 ทำการตัด Cable tie	83
4.69 ทำการยกแผงออก	83
4.70 เมื่อนำแผงใหม่ใส่เข้าที่เดิมก็ขันน็อต	83
4.71 ล้างแผง	84
4.72 ไล่น้ำออกจากหน้าแผง	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
Pmax	Peak Power Watts
Vmpp	Maximum Power Voltage
Impp	Maximum Power Current
Voc	Open Circuit Voltage
Isc	Short Circuit Current
STC	Standard Test Conditions
MPPT	Maximum Power Point Tracking
PR	Performance Ratio
SLD	Single Line Diagram
MDB	Main Distribution Board
ACS	AC Switch Board
INV	Inverter
	Auxiliary Transformer
	Power Quality Meter As Per PEA Required
	Fuse
	Lamp
	Inverter
	PV Module
	Pyrano Meter
	Module Temp.
	Ambient Temp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

Solar Rooftop ก็เป็นโซลาร์ในอีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถผลิตพลังงานได้เหมือนกับโซลาร์ที่ตั้งอยู่บนพื้นดิน แต่จะมีความแตกต่างกันในลักษณะของการติดตั้ง พื้นที่ และรูปแบบในการจัดอุปกรณ์ Rooftop จะใช้การต่อ Inverter ระดับ string มากกว่า เพราะสามารถแยกตามทิศทางของหลังคาได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นจึงมีมาก และจะต้องมีการดูแลมากกว่าโซลาร์บนพื้นดิน

เนื่องจากระบบโซลาร์เซลล์แบบ Solar Rooftop plant Lekise Group 2 MWp มีปัญหาเกิดขึ้น โดยเกิดจากการที่พลังงานมีการผลิตออกมาได้อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าความเป็นจริงและต่ำกว่าความต้องการพลังงานของระบบที่ได้ออกแบบไว้ ทำให้ค่า Performance ratio ที่ได้ออกมาต่ำกว่า Target ที่ตั้งไว้ จากปัญหานี้ทำให้ต้องวิเคราะห์ระบบโซลาร์เซลล์ทั้งระบบ โดยแยกออกเป็น 2 ระบบใหญ่ๆ คือระบบฝั่ง DC และระบบฝั่ง AC โดยมีแนวทางในการใช้เครื่องมือเพื่อเข้ามาตรวจเช็คข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในระบบทั้งหมด เครื่องมือหลักๆ ที่ใช้ได้แก่ MI 3108 EurotestPV, Thermoscan , และ Solar module tester เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาระบบ หัวข้อที่พบจากระบบข้างต้นคือค่าพลังงานที่ผลิตได้ต่ำกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ , เรื่อง monitoring system ทั้งหมด รวมถึง communication , ตัวอุปกรณ์ในการติดตั้งโซลาร์ เช่นแผงโซลาร์เซลล์มีความเสียหายเกิดขึ้น อาจเกิดรอยแตก เกิดคราบสกปรก หรืออินเวอร์เตอร์มีปัญหาต้องส่งเคลม เป็นต้น

ผู้จัดทำจึงมีความสนใจในการศึกษาเรื่องพลังงานทดแทนประเภทพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็น Solar Rooftop เพื่อที่จะสามารถเข้าใจหลักการ วิเคราะห์ และสามารถแก้ปัญหาระบบให้ได้ ประสิทธิภาพสูงสุด จึงเกิดเป็นโครงการที่มีชื่อว่า “การแก้ปัญหาระบบและวิเคราะห์ค่าพลังงานโซลาร์รูฟท็อป ขนาด 2 MWp ที่เลคิเซกรุป เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด”

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาการทำงานของระบบ Solar Rooftop
- 2) เพื่อเรียนรู้การทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้กับระบบในการติดตั้ง Solar Rooftop
- 3) วิเคราะห์ค่าพลังงาน และแก้ปัญหาระบบ Solar Rooftop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขต

- 1) ทำการทดสอบแผงโซลาร์เซลล์โดยใช้เครื่อง Solar Module Tester เพื่อดูค่า Degradation เปรียบเทียบกับสเปคแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้
- 2) วิเคราะห์ในส่วน String โดยการวัดค่าแรงดัน กระแส อุณหภูมิ ค่าพลังงาน ค่าแดด โดยใช้เครื่องมือ MI 3108 EurotestPV ที่ DC Commander Box
- 3) ศึกษาการทำงานของ Inverter ทั้งแบบ Short Circuit และ Open Circuit
- 4) เช็คว่าค่าพลังงานที่ได้จาก String แบบ Short Circuit และ Open Circuit
- 4) เช็จุดเชื่อมต่อของอุปกรณ์แต่ละตัวที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้า โดยใช้เครื่องมือ Thermoscan เพื่อหาจุดบกพร่องของรอยต่อ
- 6) วิเคราะห์ถึงทิศทางในการติดตั้งแผง หรือสิ่งสกปรกที่อาจติดตั้ง และอื่นๆ เพื่อดูว่ามีส่วนที่จะทำให้เกิดความสูญเสียกับระบบอย่างไร
- 7) วิเคราะห์ภาพรวมของ Plant โดยดูจากเว็บ <https://accounts.auroravision.net/> เป็นเว็บของ ABB ที่แสดงผลออกมา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และแก้ปัญหาระบบได้
- 2) สามารถทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
- 3) ได้ใช้เครื่องมือต่างๆที่เกี่ยวกับระบบโซลาร์มากขึ้น
- 4) สามารถนำความรู้ที่ได้มาต่อยอดกับสิ่งต่างๆ ที่มีการพัฒนาอยู่รอบตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

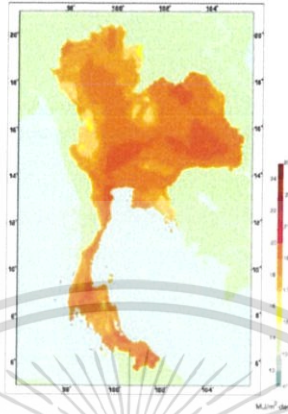
2.1 ความรู้เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียน (Renewable Energy) ที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานสะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง เพื่อสร้างความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ว่ามีหลักการอย่างไร ขอเริ่มต้นด้วยการแนะนำอุปกรณ์ที่รู้จักกันในชื่อ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ซึ่งถือเป็นหัวใจหลักของการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำจำพวกทรานซิลิคอน ซึ่งเป็นสารที่มีราคาถูกที่สุดและมีมากบนพื้นโลก นำมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อน ผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์และทันที่มีแสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่าโปรตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำที่อยู่ส่วนล่างของเซลล์จนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดลอยออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่จะทำให้ระบบไฟฟ้าเกิดการครบวงจรเกิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวันในอุปกรณ์ที่ถูกนำไปใช้งานจริงนั้น จะมีการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลาย ๆ เซลล์มาประกอบกันเป็นชุด เพื่อให้ได้ไฟฟ้าที่พอเพียงต่อการใช้งาน

2.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542)

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้มอบหมายให้ทางมหาวิทยาลัยศิลปากร ดำเนินการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (Solar Energy Potential Map) โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังจากดาวเทียมเป็นเวลา 6 ปีเพื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาใช้เป็นแนวทางพัฒนาการนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ภายในประเทศจากผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 เมกกะจูล/ตารางเมตร - วัน พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี อุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อัญญา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 เมกกะจูล/ ตารางเมตร - วัน สำหรับปริมาณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวัน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 เมกกะจูล/ ตารางเมตร - วัน แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง



รูปที่ 1.1 แสดงปริมาณรังสี

2.3 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

ได้แก่ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

2.3.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone System)

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าจาก National Grid โดยมีหลักการทำงานแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลาก่อตัวคือ ช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อม ๆ กัน ส่วนในช่วงกลางคืน เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงแดดจึงไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ดังนั้น พลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บประจุไว้ในช่วงกลางวันจะถูกจ่ายให้แก่โหลด จึงสามารถกล่าวได้ว่า ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิด Stand Alone เป็นต้น

2.3.2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า National Grid โดยตรง มีหลักการเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เนื้อหาในเอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วง กล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรง โดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินจะถูกจ่ายเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า สังเกตได้เนื่องจากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนกลับทาง ส่วนในช่วงกลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้กระแสไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะจ่ายให้แก่โหลดโดยตรง สังเกตได้จากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนปกติ ดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย จะเป็นการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า Grid Connected เป็นต้น

2.3.3 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล มีหลักการทำงาน กล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าได้จะจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิด Multi Function ทำงานร่วมกับไฟฟ้าจากพลังงานลม จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่โหลดพร้อมทั้งทำงานประจุไฟฟ้าส่วนที่เกินไว้ในแบตเตอรี่ในกรณีพลังงานลมต่ำไม่สามารถผลิตไฟฟ้าหรือเวลากลางคืนไม่มีไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดแบตเตอรี่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่โหลด และกรณีแบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้ามากจนถึงพิกัดที่ออกแบบไว้เครื่องยนต์ดีเซลจะทำงานโดยอัตโนมัติเป็นอุปกรณ์สำรองพลังงาน กล่าวคือจะจ่ายกระแสไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่โดยตรงและแบ่งจ่ายให้แก่โหลดพร้อมกัน และหากโหลดมีมากเกินไประบบจะหยุดทำงานทันทีและจะทำงานใหม่อีกครั้งเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ หรือพลังงานลมสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่ได้ปริมาณตามพิกัดที่ออกแบบไว้พร้อมทั้งขนาดโหลดอยู่ในพิกัดที่ชุดแบตเตอรี่ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียว จะมีค่าต่ำมากการนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลาย ๆ เซลล์มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module หรือ Solar Panel) การทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผง เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงเซลล์ ประกอบด้วยแผ่นกระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กดำซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดี และยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย แผงเซลล์จะต้องมีการป้องกันความชื้นที่ดีมาก เพราะจะต้องอยู่กลางแจ้งเป็นเวลายาวนาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคนและ อีวีเอ (Ethylene Vinyl Acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์ จึง ต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง แต่บางครั้งก็ไม่มีเวลาจำเป็น ถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอซึ่งก็สามารถทดแทนการทำกรอบได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (Laminate) ซึ่งสะดวกในการติดตั้ง

2.5 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่มีดังนี้

2.5.1 ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้ม ของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศา กับพื้นโลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตร.ซม.หรือ 750 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2.5.2 อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า(โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุก ๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศา C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด(Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศา C ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศา C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศา C เช่น อุณหภูมิ 30 องศา C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5$ องศา C) นั่นคือแรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ Voc จะลดลง 0.525 V ($21V \times 2.5\%$) เหลือเพียง 20.475 V ($21V - 0.525V$) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลงซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

2.6 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์

การทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีพื้นฐานจากการเปลี่ยนแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือ Photovoltaic ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Modules) โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดจะถูกนำมาเชื่อมต่อเป็นวงจร ให้มีกำลังในการผลิตและแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้น เรียกว่า PV Array หลังจากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกผลิตขึ้นจาก PV Array ส่งเข้าไปยังเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (String Inverter) เพื่อทำการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้นั้นจะถูกรวบรวมเพื่อจ่ายเข้าระบบของการไฟฟ้าโดยการเพิ่มแรงดันผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า

2.7 ข้อดีและข้อจำกัดของพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อดี

1. แสงอาทิตย์จัดเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูงปราศจากมลพิษ
2. ไม่มีต้นทุนเชื้อเพลิง
3. เป็นแหล่งพลังงานสะอาดตามธรรมชาติที่มีอย่างต่อเนื่อง
4. มีความเหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ในพื้นที่ห่างไกลชนบท
5. มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำมาก เป็นประเด็นที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในสังคมปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัด

1. ต้องใช้พื้นที่จำนวนมากในการวางแผนรับแสงอาทิตย์
2. การให้ความร้อนหรือพลังงานในแต่ละวันมีช่วงเวลาจำกัด
3. ในปัจจุบันเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ยังคงมีราคาค่อนข้างสูง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ
4. ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้ายังไม่สูงมาก

2.8 พลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่สำคัญที่แผ่รังสีสู่อวกาศและมาถึงโลกแสงสว่างและความร้อนที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์นั้นเป็นประโยชน์แก่สิ่งมีชีวิตบนโลกนี้และยังเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานมหาศาลของระบบสุริยะจักรวาลดวงอาทิตย์มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นก๊าซไฮโดรเจนบริเวณใจกลางของดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิและแรงดันสูงมากจนทำให้ก๊าซไฮโดรเจนหลอมรวมกันเป็นก๊าซฮีเลียมและกำเนิดพลังงานออกมาอย่างมหาศาลคือความร้อนและแสงสว่างเรียกปฏิกิริยานี้ว่า “ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน” พลังงานความร้อนและแสงสว่างจากดวงอาทิตย์นี้เองที่ทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตบนโลกนอกจากนี้ยังเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญและเป็นพลังงานสะอาดที่มนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่มีวันหมด

2.9 Solar cell คืออะไร

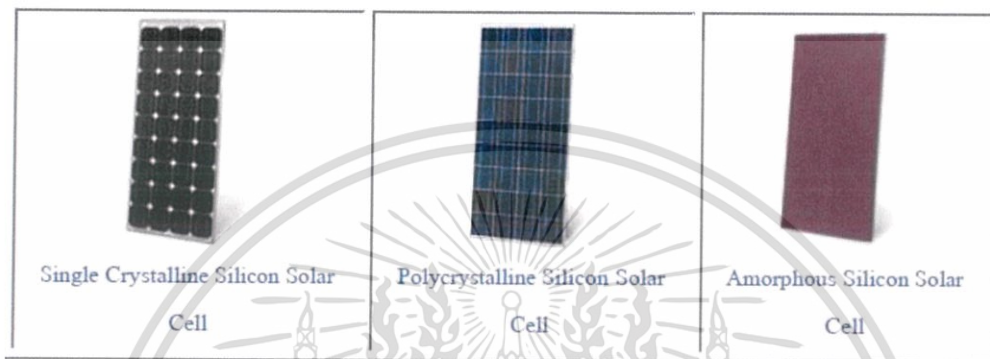
เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงจากหลอดไฟ เซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) ถือว่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์นี้ เป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (Renewable Energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใด ๆ ให้กับสิ่งแวดล้อมในขณะที่ใช้งาน

หลักการทำงาน

หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เริ่มจากแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ (เรียกว่า อิเล็กตรอน) และประจุบวก (เรียกว่า โฮล) ซึ่งอยู่ในภายในโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ โดยโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นนี้จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบ และทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า (เช่น หลอดไฟ มอเตอร์ เป็นต้น) ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเซลล์ แอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนูญาติเห็นาเปไซประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรง ดังนั้น ถ้าต้องการจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ



รูปที่ 1.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

1. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell หรือ c-Si) ซิลิกอนเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีราคาสูงที่สุด เนื่องจากซิลิกอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถถลุงได้จากหินและทราย เรานิยมใช้ธาตุซิลิกอนในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์และไอซี และเซลล์แสงอาทิตย์ เทคโนโลยี c-Si ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นิยมใช้งานในพื้นที่เฉพาะได้แก่ ในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นหลัก

2. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน (Polycrystalline Silicon Solar Cell หรือ pc-Si) จากความพยายามในการที่จะลดต้นทุนการผลิตของ c-Si จึงทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยี pc-Si ขึ้นเป็นผลให้ต้นทุนการผลิตของ pc-Si ต่ำกว่า c-Si ร้อยละ 10 อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยี pc-Si ก็ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลายเช่นกัน

3. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell หรือ a-Si) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิกอนเช่นกัน แต่จะไม่ใช่ผลึก แต่ผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิกอน ซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่าย และข้อดีของ a-Si ไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น นอกจากซิลิกอนแล้ว วัสดุสารกึ่งตัวนำอื่น ๆ ก็ใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้เช่นกัน ได้แก่ แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs : Gallium Arsenide) แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe : Cadmium Telluride) คอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (CIS : Copper

นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีอื่น ๆ อีกมากมายที่กำลังถูกพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งอาจมีข้อดีที่เหนือกว่าเทคโนโลยีปัจจุบันได้บ้าง อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเทคโนโลยีเหล่านี้จำเป็นต้องอาศัยการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ด้วย

Indium Diselenide) โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจาก GaAs จะมีประสิทธิภาพการแปรพลังงานที่สูงที่สุด จึงเหมาะกับการใช้งานด้านอวกาศ ซึ่งราคาจะแพงมากเมื่อเทียบกับที่ผลิตจากซิลิกอน นอกจากนี้ยังมีการคาดหมายกันว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจาก CIS จะมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูง

2.10 การบำรุงรักษาเซลล์แสงอาทิตย์และอายุการใช้งาน

อายุการใช้งาน เซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปยาวนานกว่า 20 ปี และเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ ไม่มีส่วนใดที่เคลื่อนไหว เป็นผลให้ลดการดูแลและบำรุงรักษาระบบดังกล่าว จะมีเพียงในส่วนของการทำความสะอาด แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่เกิดจาก ฝุ่นละอองเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูแลระบบปรับอากาศ ขนาดเล็กตาม บ้านพักอาศัยแล้ว จะพบว่างานนี้ดูง่ายกว่าเทคโนโลยีของ เซลล์แสงอาทิตย์ ในปัจจุบัน มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ประกอบกับ การนำ ระบบควบคุมที่ดี มาใช้ในการผลิต ทำให้ เซลล์แสงอาทิตย์ สามารถที่จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 1,600-1,800 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อกิโลวัตต์ สูงสุดต่อปี พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากบ้าน 1 หลัง ประมาณ 3,750-4,500 หน่วย/ปี สามารถ ลดการใช้ น้ำมัน ในการผลิต ไฟฟ้าลงได้ 1,250-1,500 ลิตร/ปี

2.11 ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ใช่เชื้อเพลิง โครงการนี้จึงมีส่วนช่วยลด CO₂ SOX และ NOX ที่เกิดจากโรงไฟฟ้าที่ผลิตอยู่ในปัจจุบัน และ ช่วยลดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดสารต่างๆ ดังกล่าวนั้นด้วย

จุดเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์

- 1.แหล่งพลังงานได้จากดวงอาทิตย์ เป็นแหล่งพลังงานที่ไม่มีวันหมดและไม่เสียค่าใช้จ่าย
- 2.เป็นแหล่งพลังที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อม
- 3.สร้างไฟฟ้าได้ทุกขนาดตั้งแต่เครื่องคิดเลข ไปจนถึงโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่
- 4.ผลิตที่ไหนใช้ที่นั่น ซึ่งระบบไฟฟ้าปกติแหล่งผลิตไฟฟ้ากับจุดใช้งานอยู่คนละที่ และจะต้องมีระบบนำส่ง แต่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าในบริเวณที่ใช้งานได้

2.12 การใช้ประโยชน์เซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ปัจจุบันมีการติดตั้งการใช้งานระบบไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 5,000 กิโลวัตต์ ส่วนใหญ่จะเป็นการใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง กิจกรรมที่นำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานมากที่สุด ได้แก่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบสื่อสารโทรคมนาคม รองลงมาเป็นระบบประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบสูบน้ำ
หน่วยงานที่นำระบบไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์ยังคงเป็นหน่วยงานของรัฐที่จัดการระบบ
พลังงานสำหรับสาธารณประโยชน์

2.13 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อแสงสว่างในครัวเรือน (Solar Home System)

เป็นระบบแบบอิสระ (PV Stand Alone System) ที่ออกแบบให้มีขนาดกำลังผลิตของระบบ
ประมาณ 120 วัตต์ – 150 วัตต์ต่อระบบ สามารถรองรับการใช้งานเพื่อแสงสว่างจากหลอดฟลูออเรส
เซนต์ ขนาด 10 วัตต์ จำนวน 2 หลอด หรือขนาด 18 วัตต์ จำนวน 1 หลอด และการรับฟังข่าวสารจาก
รายการโทรทัศน์ขนาดไม่เกิน 14 นิ้วของแต่ละครัวเรือนในชนบท ที่อยู่ห่างไกลจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า
ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้วันละประมาณ 3 - 5 ชั่วโมง ตามสถานภาพกำลังไฟฟ้าที่ประจุเก็บไว้ใน
แบตเตอรี่แต่ละวัน

2.14 ระบบผลิตไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับหมู่บ้านชนบท ที่ไม่มีไฟฟ้า (PV Battery Charging Station)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone System) อีกรูปแบบหนึ่ง
โดยการติดตั้งสถานีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบรวมศูนย์ขนาดกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 1,500 วัตต์ –
4,500 วัตต์ตามจำนวนของครัวเรือนในหมู่บ้านนั้น ๆ โดยผู้ใช้งานจะต้องนำแบตเตอรี่มาประจุไฟฟ้าที่
สถานีประจุซึ่งสามารถประจุแบตเตอรี่ได้ วันละ 10 ลูก – 30 ลูก ตามขนาดของระบบ สมาชิกจะได้รับ
มอบแบตเตอรี่ครอบครัวยุคละ 1 ลูก พร้อมชุดไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับการติดตั้งใช้งานในครัวเรือน ขนาด 18
วัตต์ จำนวน 1 ชุด กำหนดให้ใช้งานได้วันละ 3 - 4 ชั่วโมง สามารถใช้งานได้ประมาณ 3-4 วัน สำหรับ
การประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง ผู้ใช้สามารถตรวจระดับพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ได้จากอุปกรณ์แสดง
สถานะภาพแบตเตอรี่ที่ติดตั้งไว้ให้แต่ละครัวเรือน ซึ่งระบบนี้ได้ออกแบบมาให้เหมาะสมกับการใช้งาน
เพื่อให้ราษฎรมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการ การใช้ประโยชน์ และการดูแลบำรุงรักษาระบบ ให้เกิดยั่งยืน
โดยกำหนดให้มีคณะกรรมการบริหารโครงการที่สมาชิกเลือกกันเอง สำหรับทำหน้าที่บริหารจัดการการใช้
ประโยชน์จากระบบ เช่นการดำเนินการ จัดรอบสำหรับการนำแบตเตอรี่มาประจุ จัดเก็บค่าประจุ
แบตเตอรี่ ค่าแบตเตอรี่ลูกใหม่ จัดหาน้ำกลั่นสำหรับการเติมแบตเตอรี่ และค่าตอบแทนผู้ดูแลและอำนวยความสะดวก
ในการประจุแบตเตอรี่ การดูแลรักษาความสะอาด การตัดกิ่งไม้ไม่ให้เกิดร่มเงาบนแผงเซลล์
แสงอาทิตย์ซึ่งลักษณะของระบบมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 ระบบผลิตไฟฟ้าแสงสว่างทางสาธารณะด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

เป็นระบบแบบอิสระ (PV Stand Alone System) อีกรูปแบบหนึ่งที่ออกแบบให้สามารถรองรับการใช้งานด้านแสงสว่างใช้ในเวลากลางคืนสำหรับถนน หรือทางสาธารณะ ในชนบทที่อยู่ห่างไกลจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยมีขนาดกำลังไฟฟ้าของระบบประมาณ 150 วัตต์ ต่อระบบ มีลักษณะรูปแบบระบบดังนี้

2.16 เครื่องมือวัดที่ใช้ตรวจสอบ

2.16.1 Metrel MI 3108Eurotest PV

เครื่องตรวจวัดประสิทธิภาพและการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Multifunction Electrical and Photovoltaic (PV) Installations Tester

ใหม่จาก Metrel เครื่องทดสอบระบบไฟฟ้า PV แบบ Multifunction ซึ่งครอบคลุมการใช้งานเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพและตรวจสอบการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง AC และ DC



รูปที่ 1.3 Metrel MI 3108 Eurotest PV

Metrel MI 3108 และ MI 3109 EurotestPV Series

ใช้ในการตรวจวัด, วิเคราะห์ประสิทธิภาพ และตรวจสอบการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีออสซีฟ

- ตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน
 - o ตรวจวัด VI Curve (1000V, 15A) รองรับระดับ String
 - o ตรวจวัดระดับพลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ
 - o คำนวณประสิทธิภาพของแผง PV




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตรวจสอบความปลอดภัยและความถูกต้องในการติดตั้งตามมาตรฐาน IEC62446
 - o ตรวจสอบวัดความเป็นฉนวนทั้งสาย + และ -
 - o ตรวจสอบวัดความต่อเนื่องของโครงแผงและกราวด์
 - o ตรวจสอบวัดค่า VOC และ ISC ของแผง PV ได้ทั้งในระดับ String หรือระดับแผง (MAX. 1000V 15A)
- ตรวจสอบวัดความสมบูรณ์ในการติดตั้งระบบไฟฟ้าด้าน AC
 - o ตรวจสอบวัดลำดับเฟสก่อนจ่ายไฟจริงจาก Inverter
 - o ตรวจสอบวัดค่า Loop Impedance ของสาย Line, Neutral และสาย PE
 - o ตรวจสอบวัดค่ากระแส Ipsc (Prospective Short Circuit Current)
 - o ตรวจสอบวัดการทำงานของเครื่องป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่ว
 - o ตรวจสอบวัดค่าความต้านทานดิน

สามารถบันทึกผลลงหน่วยความจำภายใน ของเครื่องและนำมาทำรายงานบนคอมพิวเตอร์พีซีได้
สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ wireless จำพวก Android Tablet ผ่าน Application ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ตารางเปรียบเทียบสเปกของ Metrel MI 3108 และ MI 3109 EurotestPV Series

Part No.		MI 3108 EurotestPV	MI 3109 EurotestPV Lite	A 1378 EurotestPV Remote
Features	Description			
ELECTRICAL INSTALLATION SAFETY	Insulation resistance up to 1000 V	✓	✓	-
	Continuity 200 mA	✓	✓	-
	Line / Loop Impedance	✓	-	-
	RCD A, AC, B	✓	-	-
	Earth resistance	✓	-	-
	Rotary field	✓	-	-
PV GENERATOR MEASUREMENTS	Isc, Uoc	1000 V / 15 A	1000 V / 15 A	-
	Automatic test sequence	-	✓	-
	I-V curve	✓	✓	-
	Umpp, Impp, Pmax	✓	✓	-
	Extrapolation to STC	✓	✓*	-
	Rs (calculated in PC SW)	✓	✓	-
ENVIRONMENT MEASUREMENTS	Irradiance	✓	✓*	✓
	Module temperature	✓	✓*	✓
	Logger	✓	-	✓
PV SYSTEM POWER MEASUREMENTS	DC side measurements U, I, P	✓	✓	-
	AC side measurements (single phase) U, I, P	✓	✓	-
	Single phase PV and inverter energy conversion efficiency	✓	-	-
	Three phase PV and inverter energy conversion efficiency	Option**	Option**	-
	P, Q, S, THDU, PF/cos φ	✓	-	-
EXTENDED POWER FUNCTIONALITY	AC/DC current	✓	-	-
	Scope function	✓	-	-
	Energy	✓	-	-
	Harmonics (up to 11*)	✓	-	-
STANDARD/ OPTIONAL ACCESSORIES	Tip Commander	Option	-	-
	Remote unit (logger)	Option	Option	✓
	PV safety probe	✓	Option	-
	MC3 and MC4 adaptors	✓	✓	-
	AC/DC current clamp	✓	✓	-
	PV reference cell	✓	Option	-
PC SW	Temperature probe	✓	Option	-
	PC SW EuroLink PRO Plus	✓	✓	-

* Environment data can be entered manually or measured with optional accessory

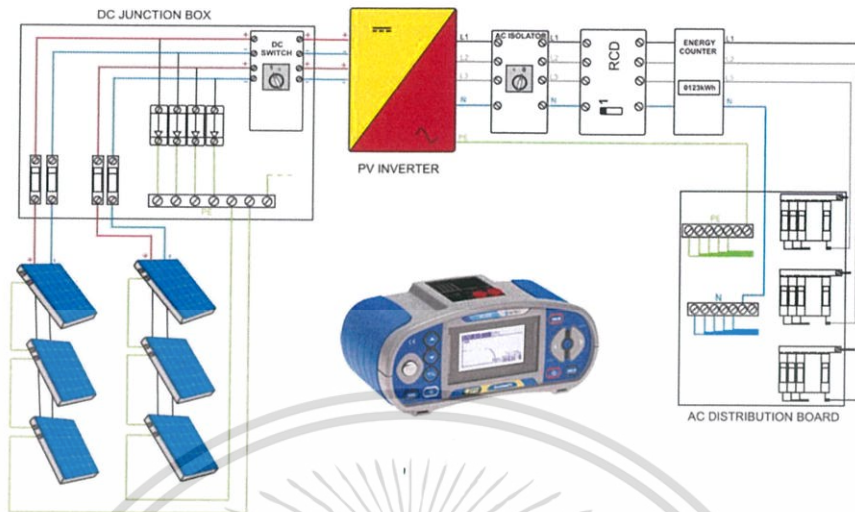
** Three phase PV efficiency can be measured by synchronisation with any Metrel Power Analyser

การตรวจวัดการติดตั้งระบบไฟฟ้า PV เพื่อประสิทธิภาพและความปลอดภัย

หากมองถึงเรื่องผลตอบแทนที่ควรจะได้ในงานติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นก็คงหนีไม่พ้นเรื่องของปริมาณแสง ซึ่งปริมาณแสงมีความสัมพันธ์กับปริมาณไฟฟ้าที่ออกมาด้วยเช่นเดียวกัน เราควรมีความเข้าใจของการเปลี่ยนแปลงของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อพลังงานไฟฟ้าที่ได้ออกมา

อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถควบคุมปัจจัยการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในการกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ได้ แต่เราสามารถตรวจสอบปัญหาของแผงโซลาร์ เช่น ความสกปรก, ขาดเสียหาย, การติดตั้งที่ไม่เหมาะสมหรือไม่ได้มาตรฐานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 การต่อวงจร

เครื่องมือที่จะช่วยให้งานตรวจสอบประสิทธิภาพการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทำได้โดยง่ายและเป็นไปตามมาตรฐาน โดยมีความสามารถ

1. การตรวจวัด Characteristic ของแผง Solar ผ่านกราฟ (VI Curve) แรงดันและกระแส
2. ตรวจวัดระดับแรงดัน VOC และ ISC เปรียบเทียบกับการออกแบบว่าหากการออกแบบมาถูกต้องหรือไม่
3. ตรวจวัดระดับ Power ที่ DC Output ในระดับ String หรือ Array

การตรวจสอบในหัวข้อดังกล่าว มีรายละเอียดดังนี้

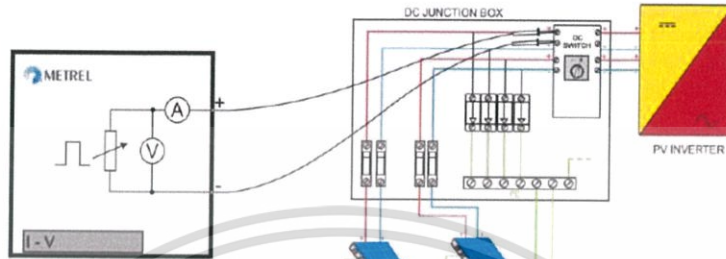
1. การตรวจวัด VI Curve

เป็นการตรวจวัดประสิทธิภาพในการสร้างหรือกำเนิดพลังงานจากแสงอาทิตย์ (PV) ของตัวแผ่น Solar Cell เอง ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่ที่พบและส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำเนิดพลังงาน สามารถตรวจพบปัญหาได้ด้วยการวัด V-I Curve เช่น

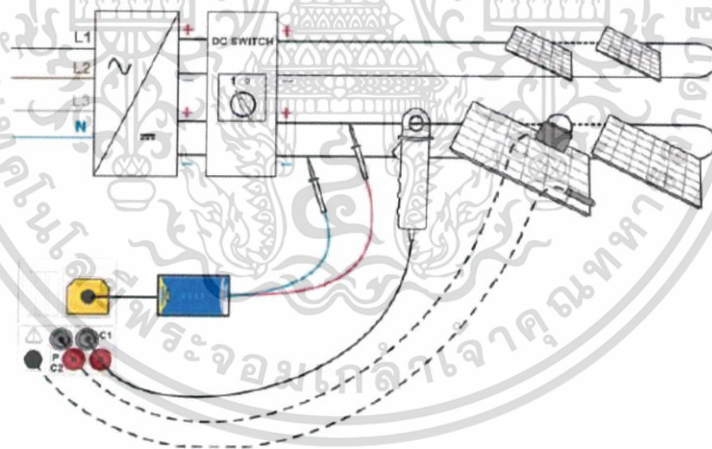
- o ปัญหา Shadow
- o ความสกปรกของแผง
- o มลนก
- o การเชื่อมต่อสายผิดพลาด
- o การแตกร้าวของแผงโซลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งเหล่านี้มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า และความเสียหายที่อาจตามมาในภายหลัง ซึ่งการตรวจวัด VI Curve สามารถทำได้ทั้งในระดับ String และในระดับ Panel



รูปที่ 1.5 PV string test



รูปที่ 1.6 PV panel test

Parameter สำคัญที่ถูกนำมาวิเคราะห์กับ VI Curve คือ

- o ค่า MPP (Maximum Power Point) คือจุดที่ตัว PV สามารถให้พลังงานสูงสุดทั้งแรงดันและกระแส

- o ค่า VOC

- o ค่า ISC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Parameter สำคัญตามตาราง ซึ่งสามารถนำข้อมูลจริงมาใส่ลงในเครื่องมือทดสอบเพื่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ปัญหา

ตารางที่ 1.2 Parameter of PV module

Parameters of PV module:

Module		PV module name
Pmax	1 W .. 2000 W	Nominal power of PV module
Umpp	1.0 V .. 999 V	Voltage on maximum power point
Impp	0.01 A .. 15.0 A	Current on maximum power point
Uoc	1.0 V .. 999 V	Open circuit voltage of module
Isc	0.01 A .. 15.0 A	Short circuit current of module
NOCT	1.0 °C .. 99.0 °C	Nominal working temperature of PV cell
alfa	-5.00 mA/°C .. 300 mA/°C	Temperature coefficient of Isc
beta	-5.00 V/°C .. -0.001 V/°C	Temperature coefficient of Uoc
gamma	-5.00 %/°C .. 0.999 %/°C	Temperature coefficient of Pmax
Rs	0.01 Ω .. 9.99 Ω	Serial resistance of PV module

Selection of PV module type and parameters

โดยเครื่องมือที่สามารถวัดเก็บบันทึก VI Curve แล้วนำมาวิเคราะห์ในรายละเอียดหรือหารายงานผล ภายหลังจากผ่าน Software



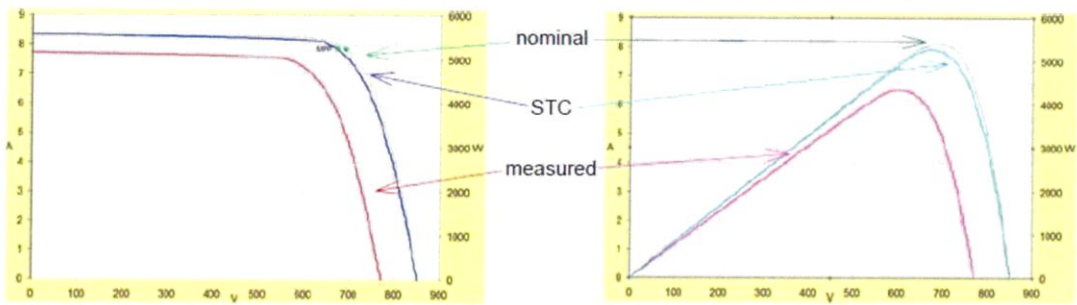
รูปที่ 1.7 ตัวอย่างผลลัพธ์ VI Curve

เมื่อทำการทดสอบ VI Curve จะได้ผลลัพธ์ 2 ส่วนคือ

- 1) ค่าที่วัดออกมาได้จริง
- 2) ค่าที่ควรจะได้เมื่อเทียบกับ STC ตามรูป (ใช้ข้อมูลแสงและอุณหภูมิจริง ณ เวลาทดสอบ)

ลักษณะ VI Curve ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.8 IV Curve ปกติ

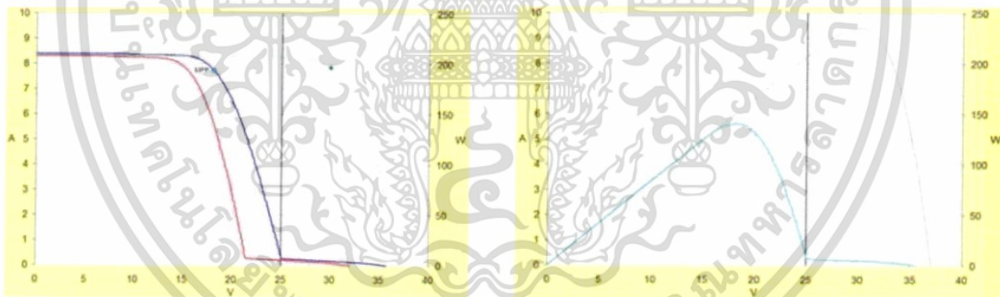
เราสามารถหาความแตกต่างระหว่าง Curve STC กับ Curve ที่วัดจริงในขณะนั้นได้

หมายเหตุ

Standard Test Conditions (STC) คือ ค่าการทดสอบของแผงในสภาวะที่ถูกทดสอบจากโรงงาน

ที่ $I_{rr} = 100 \text{ W/m}^2$ และอุณหภูมิ $= 25^\circ\text{C}$

ดังนั้นในสภาพใช้งานจริงที่แสงและอุณหภูมิแตกต่างจากการทดสอบ เครื่องมือจึงต้องมีการเปรียบเทียบระหว่าง standard กับความเป็นจริง



รูปที่ 1.9 VI Curve แสดงปัญหา Shadow

2. ตรวจวัด VOC ISC

การตรวจวัดค่าแรงดันขณะเปิดวงจร (VOC) Voltage Open Circuit และการตรวจวัดค่ากระแสลัดวงจร (ISC) Short Circuit Current

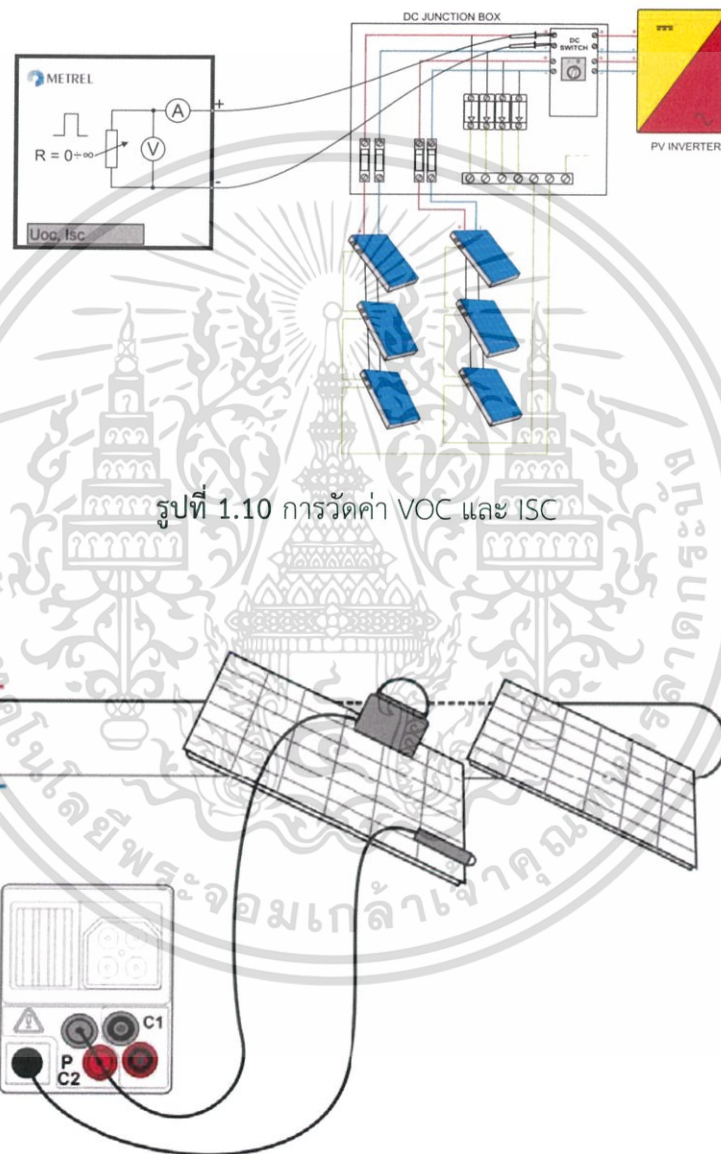
VOC คือแรงดันที่วัดในสภาวะที่ไม่มีกระแส คือ $I = 0\text{A}$

ISC คือกระแสในสภาวะลัดวงจรของแรงดัน ซึ่งคือ $V = 0\text{V}$

ตามมาตรฐาน IEC62446 จะอธิบายค่า VOC และ ISC ในเรื่องของการตรวจสอบความถูกต้องของการติดตั้ง หากวัดในระดับ String ผู้ใช้งานสามารถวัดค่าและเปรียบเทียบกับจำนวนการต่อวงจรขนานและอนุกรมของแผงที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเปรียบเทียบสามารถหาค่าเปรียบเทียบค่า VOC และ ISC ได้ดังนี้

- หากหาการเทียบระหว่าง String หรือ Panel ค่า VOC และ ISC ที่วัดได้ไม่ควรต่างกันเกิน 5%
- วัดค่า VOC และ ISC ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับ VOC และ ISC ที่ควรจะเป็นจากค่า STC ซึ่งจะต้องมี Sensor สำหรับวัดแสงต่อร่วมด้วย



รูปที่ 1.10 การวัดค่า VOC และ ISC

รูปที่ 1.11 ตรวจวัดค่าระดับแสงและอุณหภูมิ

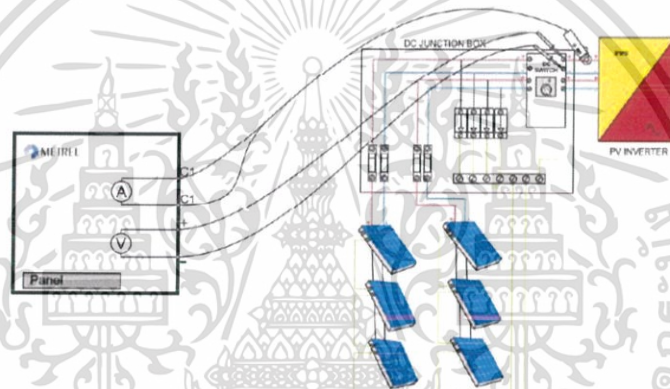
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENV.		MEAS	
Irr	: 850 W/m ²		
Tamb	: 24 °C		

Uo/Isc		
	STC	MEAS
Uo	112V	110V
Isc	5.29A	4.93A
U: 4.5V		

รูปที่ 1.12 ผลการวัดที่ได้เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณจาก (STC)

3. การตรวจวัดกำลังไฟฟ้า ด้าน DC output



รูปที่ 1.13 วัด DC Output

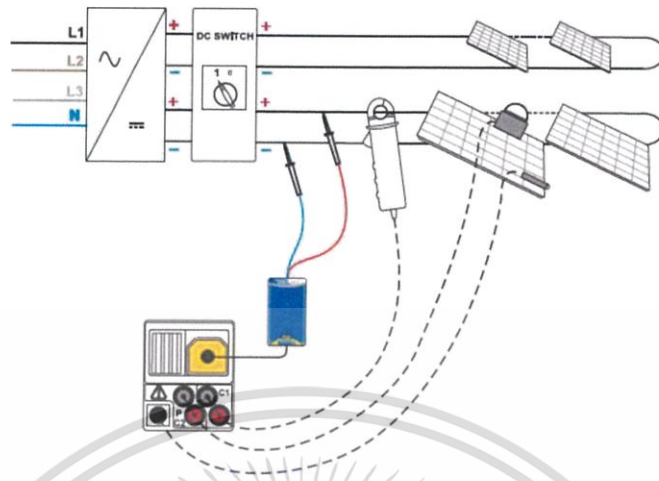
เป็นการตรวจวัดประสิทธิภาพ DC Output ณ จุดวัดก่อนเข้า Inverter

- เป็นการวัดระดับแรงดันและกระแสขณะจ่ายไฟฟ้าจริงของระบบ
- เนื่องจากจะมีกระแสไฟฟ้า DC สูงในระดับ String ซึ่งอาจอยู่ในช่วง 15-20A จึงควรใช้ Clamp-on วัดกระแสดังกล่าว โดยไม่ขัดจังหวะการจ่ายกระแสไฟฟ้าของระบบ
- เมื่อได้แรงดันและกระแสก็สามารถที่จะคำนวณหาค่า Power ได้

- ในกรณีที่วัด DC Output ในแต่ละ Channel เราสามารถหาค่า Power แต่ละช่วงสัญญาณมาเปรียบเทียบกับ ซึ่งโดยปกติแล้วควรมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 5% ตามมาตรฐาน IEC62446 หาก String หรือช่องสัญญาณไหนที่แตกต่างกันเกิน 5% จะต้องพิจารณาหาปัญหาข้อย่อยลงไปในระดับแผงต่อไป

- ในกรณีที่อยากทราบประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแสงที่ได้รับในขณะนั้น เราสามารถหาค่า Power ที่วัดได้นามาเปรียบเทียบกับค่า Power ที่คำนวณจากแสงในสภาวะ STC (Standard Test Condition)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.14 วัดปริมาณแสงและอุณหภูมิ

ในกรณีที่วัดจริง แรงแต้นในช่วงแดดแรง ๆ อาจมีค่าสูง และมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อป้องกันเครื่องมือวัดและความปลอดภัยของผู้ใช้งานจึงควรใช้ Safety Probe

PANEL 1/3				PANEL 2/3				PANEL 3/3				
STC		MEAS		Module: DE				Module: DE				
U	84.5 V	U	85.3 V	P _{stc}	=	248 W	P _{meas}	=	208 W	P _{theo}	=	209 W
I	2.94 A	I	2.44 A	P _{max}	=	240 W	η ₁	=	100.0 %	η ₂	=	99.4 %
P	248 W	P	208 W	U:	85.2V	U:	85.2V	U:	85.2V			

รูปที่ 1.15 แสดงผลลัพธ์ตัวอย่างในการวัดประสิทธิภาพของ DC Power Output เปรียบเทียบกับค่า STC

2.16.2 เครื่องเทอร์โมสแกน

กล้องส่องความร้อนหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเทอร์โมกราฟี (Thermography) หรือกล้องถ่ายภาพด้วยแสงอินฟราเรด กล้องถ่ายภาพนี้สามารถสร้างภาพจากการแผ่รังสีอินฟราเรด ซึ่งเปรียบเทียบกับได้กับกล้องถ่ายภาพธรรมดา แตกต่างกันที่กล้องถ่ายภาพธรรมดาใช้การสร้างภาพจากแสงที่มองเห็นได้ซึ่งมีความยาวคลื่น อยู่ใน ช่วง 450 – 750 นาโนเมตร แต่กล้องถ่ายภาพความร้อนทำงานกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นประมาณ 14000 นาโนเมตร ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่ารังสีอินฟราเรดหรือเรียกว่าคลื่นรังสีความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

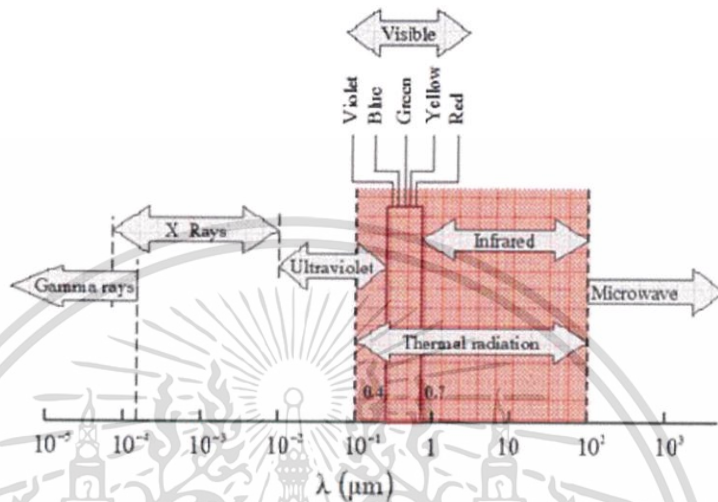
คลื่นรังสีอินฟราเรดหรือคลื่นรังสีความร้อนนั้น ถูกค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ คือ เซอร์วิลเลียม เฮอร์เชล (Sir William Herschel) ซึ่งได้ค้นพบ รังสีอินฟราเรดสเปกตรัม (Infrared Ray) ในปี ค.ศ. 1800 ขณะที่ เฮอร์เชล กำลังติดตามศึกษาดวงอาทิตย์อยู่ในกล้องดูดาว ต้องมีการใช้เลนส์กรองแสง ซึ่งทำเป็นสีต่างๆ เฮอร์เชล ต้องการทราบว่า ในเลนส์แต่ละสี จะเปลี่ยนค่าแสดงความร้อนของดวงอาทิตย์หรือไม่ ท่านจึงประดิษฐ์อุปกรณ์การทดลองอย่างง่าย ๆ เพื่อหาคำตอบ ซึ่งใช้วิธีทดลองโดยใช้ปริซึมแยกแสง แล้วให้แสงต่างๆมาตกที่เทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งทำที่ดำที่กะเปาะ เพื่อให้ดูดความร้อนดียิ่งขึ้น และเฮอร์เชลได้ทำการตั้งเทอร์โมมิเตอร์ตัวหนึ่งนอกเหนือจากแสงสีต่าง ๆ นั้น เพื่อเป็นตัวควบคุมการทดลองปรากฏว่า แสงสีต่างมีอุณหภูมิสูงกว่าแสงสีขาวและอุณหภูมิสูงขึ้นจาก สีม่วง ไปหาสีแดง เฮอร์เชล จึงทำการวัดแถบเหนือแสงสีแดงขึ้นไปที่ไม่ปรากฏสี ซึ่งดูเหมือนแสงอาทิตย์ธรรมดา ปรากฏว่า เทอร์โมมิเตอร์ตัวที่อยู่นอกเหนือจากแสงสีแดงนั้น กลับวัดได้อุณหภูมิสูงกว่าทุกตัว เฮอร์เชล จึงทำการทดลองต่อไป ก็พบว่า ส่วนของแสงที่มองไม่เห็นแต่ร้อนกว่าสีแดงนี้ มีคุณสมบัติทางกายภาพเช่นเดียวกับคลื่นแสงที่มองเห็นได้ทุกประการ เช่น การหักเห การดูดซับ ส่องผ่านหรือไม่ผ่านตัวกลาง ฯลฯ ในตอนแรก เฮอร์เชล เรียกแสงนี้ว่ารังสีความร้อน (Calorific rays) และในภายหลังได้เปลี่ยนชื่อเป็น " รังสีอินฟราเรด "

สายตาของมนุษย์นั้นธรรมชาติได้ออกแบบให้สามารถมองเห็นคลื่นได้ในระดับหนึ่งหรือเรียกว่า "รังสีการมองเห็น" (Visible Light) โดยจะอยู่ในรูปของความสว่าง เราสามารถมองเห็นรังสีในย่านแคบ ๆ เท่านั้น หรือเรียกว่าย่านสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งถ้ามองด้านซ้ายของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) ก็จะติดกับย่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นในย่านนี้ และส่วนด้านขวาของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) ก็จะติดกับย่านรังสีอินฟราเรด (Infrared Ray) ซึ่งเรามองไม่เห็น

รังสีอินฟราเรด (Infrared, IR) มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า รังสีใต้แดง หรือรังสีความร้อน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและแสงมีความถี่ในช่วง 10¹¹ – 10¹⁴ เฮิร์ตซ์ มีความถี่ในช่วงเดียวกับไมโครเวฟ มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างแสงสีแดงกับคลื่นวิทยุ สสารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง -200 องศาเซลเซียสถึง 4,000 องศาเซลเซียส จะปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมา คุณสมบัติเฉพาะตัวของรังสีอินฟราเรด เช่น ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่แตกต่างกันก็คือคุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับความถี่ คือยิ่งความถี่สูงมากขึ้นพลังงานก็สูงขึ้นด้วย ดังนั้น ปัจจุบันมีการนำคลื่นรังสีอินฟราเรดมาใช้ประโยชน์ในการสร้างกล้องอินฟราเรดที่สามารถมองเห็นวัตถุในความมืดได้ เช่น อเมริกาสามารถใช้กล้องอินฟราเรดมองเห็นเวียงกงได้ตั้งแต่สมัยสงครามเวียดนาม และสัตว์หลายชนิดมีนัยน์ตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับรู้รังสีชนิดนี้ได้ ทำให้มองเห็นหรือล่าเหยื่อได้ในเวลากลางคืน หน่วยของความยาวคลื่นโดยปกติจะมีหน่วยเป็นไมโครเมตร (μm)



รูปที่ 2.1 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุ

1.1 การตรวจจับรังสีอินฟราเรด

กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Image camera, TI - camera หรือ Thermography) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ ซึ่งเป็นการวัดแบบไม่สัมผัสและไม่ทำลายวัตถุและเป็นการวัดอุณหภูมิแบบพื้นที่ส่วนประกอบสำคัญของกล้องถ่ายภาพความร้อน ประกอบด้วย เลนส์ (Lens) ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรด (Infrared detector) หรือเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรด (Infrared sensor) วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic circuit) และส่วนแสดงผล (Display) โดยมีหลักการทำงานดังนี้ ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรดทำหน้าที่รับรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากวัตถุเป้าหมาย (Target) ผ่านเลนส์ของเครื่องมือวัด แล้วแปลงรังสีอินฟราเรดเหล่านี้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า โดยรังสีอินฟราเรดที่ตัวตรวจจับรับไปนั้นประกอบด้วยรังสีที่วัตถุเป้าหมายแผ่ออกมารวมกับรังสีที่แผ่ออกจากวัตถุอื่นหรือจากสิ่งแวดล้อมสะท้อนออกจากผิวของวัตถุเป้าหมาย (ตามทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน: Theory of thermal radiation) จากนั้นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่รับมาจากตัวตรวจจับและนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล ซึ่งอาจแสดงผลออกมาในรูปแบบของตัวเลข สี หรือกราฟ หรือทั้ง 3 รูปแบบ

สำหรับกล้องถ่ายภาพความร้อนประกอบด้วยเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรดหลายตัว แต่ละตัวแสดงผลออกมาในรูปแบบของสีที่แตกต่างกันตามอุณหภูมิของจุดนั้น ๆ โดยทั่วไป สีแดงแสดงผลของบริเวณที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อสาธารณะไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิสูงและสีน้ำเงินแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ หรือโทนสีสว่างแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง และโทนสีมืดแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ผลของแต่ละจุดที่ได้จากเซนเซอร์แต่ละตัวเมื่อนำมารวมกันจะประกอบขึ้นเป็นภาพ เรียกว่า "ภาพถ่ายความร้อน (Thermal Image)" ซึ่งการแปลงรังสีอินฟราเรดที่เซนเซอร์ตรวจจับได้ให้อยู่ในหน่วยของอุณหภูมิอาศัยกฎของแพลค์ (Planck's Law) และกฎของสตีเฟน (Stefan-Boltzman's Law) ลักษณะการทำงานของไพโรมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด

1.2 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ

ในทางทฤษฎีกล้องถ่ายภาพความร้อนมีย่านการวัดอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติช่วงการใช้งานของเครื่องมือวัดขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ รวมถึงช่วงความยาวคลื่นที่ผู้ผลิตเลือกใช้ ปัจจุบันกล้องถ่ายภาพความร้อนบางรุ่นสามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำถึง -20°C

ค่าความถูกต้องของอุณหภูมิที่วัดได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะพื้นผิวของวัตถุเป้าหมายหรือวัตถุที่ต้องการวัดอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างเครื่องมือวัดและวัตถุเป้าหมาย และคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องมือวัดนั้น ๆ รายละเอียดของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความถูกต้อง มีดังนี้

1. ค่าความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุ (Emissivity, ϵ) การแปลผลพลังงานความร้อนที่ได้จากการตรวจจับการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุเป็นอุณหภูมิที่ถูกต้อง จำเป็นต้องกำหนดค่า ϵ ของวัตถุที่เหมาะสม เพื่อให้ค่าอุณหภูมิของวัตถุที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง นอกจากนี้เครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดอินฟราเรดที่ดีควรมีฟังก์ชันใช้งานที่สามารถปรับค่า ϵ ให้เหมาะสมกับชนิดและลักษณะพื้นผิวของวัตถุได้

2. ค่าการสะท้อนรังสีของผิววัตถุ (Reflection, ρ) เนื่องจากตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรดที่ติดตั้งภายในเครื่องมือวัดไม่ได้รับเฉพาะรังสีอินฟราเรดที่เกิดจากตัววัตถุเป้าหมายเท่านั้น แต่ยังรับรังสีที่สะท้อนมาจากวัตถุอื่นด้วย ทำให้ค่าอุณหภูมิที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อน ดังนั้น เพื่อให้รังสีอินฟราเรดที่เซ็นเซอร์รับไปเป็นรังสีที่เกิดจากวัตถุจริงเท่านั้น จึงต้องบ่อนค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมหรือวัตถุอื่นที่แผ่รังสีมากระทบกับวัตถุเป้าหมายให้กับเครื่องมือวัดด้วย เพื่อนำอุณหภูมิดังกล่าวไปใช้ในการชดเชยค่าการสะท้อนซึ่งค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดจะมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3. ระยะห่างระหว่างวัตถุกับเครื่องมือวัดค่าความผิดพลาดของไพโรมิเตอร์ชนิดอาศัยการเปลี่ยนแปลงการแผ่รังสีของวัตถุ อาจเกิดจากการเคลื่อนที่ของรังสีผ่านตัวกลาง เช่น อากาศที่มี ไอน้ำ ควัน ก๊าซหรือฝุ่นละอองกระจายอยู่ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนในอุตสาหกรรมอาหาร

1. การตรวจสอบสภาพของฉนวนความร้อน เช่น ฉนวนห้องเย็นหรือห้องแช่แข็ง ฉนวนหุ้มหม้อฆ่าเชื้อ และฉนวนหุ้มท่อไอน้ำ ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ซึ่งสามารถใช้ตรวจหาความผิดปกติได้อย่างรวดเร็ว โดยแสดงผลเป็นภาพถ่ายความร้อน ตัวอย่างการแปลผลการตรวจสอบสภาพฉนวนห้องเย็นด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ได้แก่ การถ่ายภาพความร้อนจากภายนอกห้องเย็นแล้วปรากฏพื้นที่บางบริเวณของผนังมีอุณหภูมิต่ำกว่าผนังส่วนอื่น หรือการถ่ายภาพความร้อนภายในห้องเย็นแล้วปรากฏพื้นที่บางบริเวณมีอุณหภูมิสูง สามารถแปลผลได้ว่าอาจเกิดการเสื่อมสภาพของฉนวนที่บริเวณนั้น

2. การตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์ที่อยู่ในกระบวนการผลิตด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน เป็นการตรวจสอบแบบพื้นที่ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นอาจแสดงในรูปของเฉดสีแดงปรากฏในภาพถ่ายความร้อน อย่างไรก็ตาม การแปลผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเพื่อประเมินความผิดปกติดังกล่าว ควรอาศัยข้อมูลอื่นเพิ่มเติมเพื่อประกอบการตัดสินใจ

3. การวัดอุณหภูมิของผู้ปฏิบัติงานในสายการผลิตอาหารด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ซึ่งเป็นการวัดแบบไม่สัมผัส ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารหากผู้ปฏิบัติงานมีอาการเจ็บป่วยโดยไม่แสดงอาการให้สังเกตเห็น สามารถใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิช่วยตรวจสอบได้ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรคจากคนไปสู่อาหาร โดยนิยมใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน หรือเทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด (Infrared thermometer) เนื่องจากสามารถวัดได้อย่างรวดเร็วโดยที่ผู้ตรวจไม่ต้องสัมผัสกับผู้ป่วย การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการแปรรูปโดยติดตั้งกล้องถ่ายภาพความร้อนที่บริเวณปลายสายพานลำเลียง (Conveyor) เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิของชิ้นอาหารหากพบว่ามีอุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำชิ้นอาหารที่มีปัญหาออกได้ทันที หรือหากพบว่าความผิดปกติอยู่ที่เครื่องจักรที่ใช้แปรรูป ผู้ปฏิบัติงานสามารถหยุดการปฏิบัติงานได้ทันทีเช่นกัน โดยไม่ต้องสูญเสียเวลาและสิ้นเปลืองวัตถุดิบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 2.2 เครื่องเทอร์โมสแกน ภาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fluke Ti10 และ Fluke Ti25 เป็นกล้องถ่ายภาพความร้อนรุ่นพิเศษ ที่มีเทคโนโลยี IR (IR-Fusion Technology) ให้ใช้ได้ทั้งในตัวกล้อง และในซอฟต์แวร์ ช่วยให้ชี้จุดปัญหาและทำรายงานได้อย่างง่ายดาย ด้วยความสามารถในการรวมภาพความร้อนกับภาพที่ตาเห็นพร้อมกัน (Molded) แบบเต็มจอ (Full Screen) หรือวางภาพความร้อนบนบางส่วนของภาพจริง (Picture-in-Picture)

1.4 ความสามารถของ Fluke Ti10 และ Ti25

(IR-Fusion Technology) มีให้ใช้ได้ทั้งในตัวกล้องและในซอฟต์แวร์ สำหรับการรวมภาพความร้อนกับภาพจริง เพื่อช่วยในการวินิจฉัยและชี้จุดปัญหาได้โดยง่าย และจัดทำรายงานได้ทันที โดยการรวมภาพจริงกับภาพความร้อนได้ทั้งแบบเต็มจอ และแบบภาพเล็กบนภาพใหญ่ มีอุปกรณ์ให้ครบทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ปฏิบัติงานได้ทันที

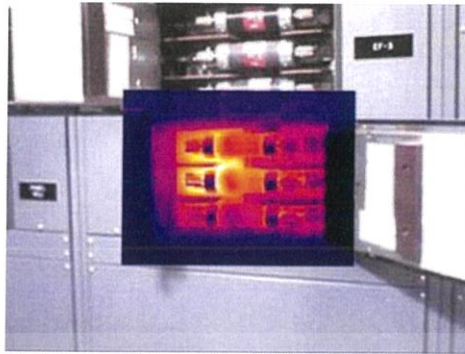


รูปที่ 2.3 รายละเอียดเครื่องเทอร์โมสแกน

1.5 การประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อน

Fluke Ti10/Ti25 เหมาะสำหรับงานบำรุงรักษาในโรงงานและงานติดตั้ง เป็นเครื่องมือของวิศวกรและช่างเทคนิคในการแก้ไขและป้องกันปัญหาที่ข้องเกี่ยวกับ งานไฟฟ้าระบบจ่ายและบริการ, มอเตอร์/ปั๊มและเครื่องกล, อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตและการติดตั้ง, งานระบบถ่ายเทอากาศและทำความเย็น (HVAC/R)

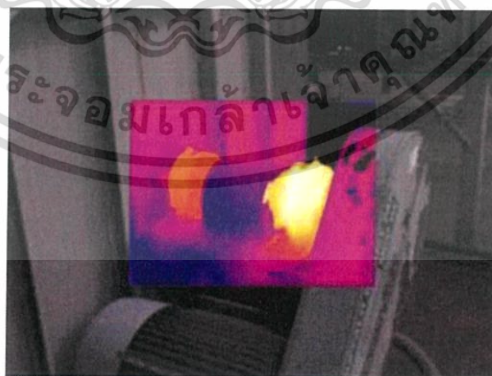
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ภาพเทอร์โมสแกนพิวส์

งานไฟฟ้า เช่น

- การเกิดอันบาลานซ์โหลด
- ผลของฮาร์โมนิกส์ (เกิดกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ในสายนิวตรอน)
- เกิดโอเวอร์โหลดในระบบ หรือกระแสสูงเกินไป
- ขั้วต่อไฟฟ้าหลวม เกิดการกัดกร่อน มีความต้านทานเพิ่มสูงขึ้นในวงจร
- การรั่วหรือหมดสภาพของฉนวนไฟฟ้า
- มีชิ้นส่วนอุปกรณ์ชำรุด ไม่ทำงาน
- การต่อสายผิดพลาด
- ใช้ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ต่ำกว่าพิกัดระบุ

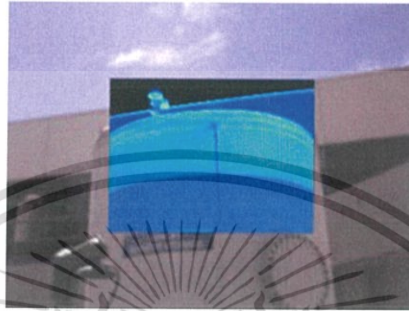


รูปที่ 2.5 เทอร์โมสแกนมอเตอร์

งานเครื่องจักรกลไฟฟ้า เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยไม่ตั้งใจ เนื่องจากอากาศไหลผ่านไม่สะดวกญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปัญหาคุณภาพไฟฟ้า เช่น อันบาลานซ์, โอเวอร์โวลต หรือเกิดแรงดันฮาร์มอนิกส์ที่ 5
- การปรับตั้งแนวแกนไม่ดี
- ปัญหาฉนวนในขดลวดมอเตอร์
- ปัญหาตลับลูกปืน การหล่อลื่น, สึกหรือ, และอื่นๆ



รูปที่ 2.6 เทอร์โมสแกนถึงน้ำมัน

งานกระบวนการผลิต

- ท่อผุกร่อน หรือเหตุอื่นๆ จนเสียโครงสร้าง
- เกิดการไหลของความร้อนหรืออุณหภูมิลดลงอย่างผิดปกติ
- วาล์วหรือจุดต่อใช้งานของท่อชำรุด
- แก๊สหรือไอน้ำรั่วไหล
- ตรวจสอบสอระดับของเหลวหรือวัตถุขีปนในถังปิดทึบ

1.6 เทอร์โมสแกนกับงานซ่อมบำรุง

งานซ่อมบำรุงในโรงงานอุตสาหกรรมเทอร์โมสแกนมักจะหมายถึงการใช้ภาพถ่ายความร้อนของเครื่องจักร เพื่อหาจุดที่มีอุณหภูมิร้อน (Hot spot) กว่าปกติ ซึ่งจะบ่งบอกได้ว่าเครื่องจักรนั้นกำลังมีปัญหา ซึ่งค่านั้นอาจจะไม่ใช่ค่าอุณหภูมิที่แท้จริงก็ได้เพียงแต่เป็นจุดที่ร้อนที่สุดและมีความผิดปกติกว่าจุดอื่น แต่ถ้าภาพความร้อนได้รับการบันทึกมาด้วยปัจจัยที่ถูกต้องเหมาะสม คือ พื้นผิววัดค่า สภาวะบรรยากาศ และคุณลักษณะของกล้องอินฟราเรดจะสามารถใช้ภาพนั้นในการตรวจสอบอุณหภูมิที่แต่ละจุดของภาพได้อย่างแม่นยำและวิเคราะห์ในเชิงลึกได้ การวัดค่าแบบนี้เรียกว่าปริมาณความร้อน (Quantitative Thermography) การวิเคราะห์ (Thermography) เป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งของงานซ่อมบำรุงแบบเผื่อระวัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานที่ทำควบคู่กันไปกับวิธีการเฝ้าระวังอื่น ๆ ประโยชน์ที่สำคัญที่สุดของเทอร์โมสแกน คือการตรวจสอบหาปัญหาหรือความบกพร่องของเครื่องจักรที่อาจจะเกิดขึ้น ในบทความนี้จะให้ความรู้เบื้องต้นของเทอร์โมสแกน และการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม

ปัจจุบันการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบตรวจสอบสภาพ (Condition aced Maintenance) นั้นได้เป็นกลยุทธ์หนึ่งที่อยู่ใแวดวงอุตสาหกรรมนิยมใช้มากขึ้นเนื่องจากจะทำให้ลดค่าใช้จ่ายในด้านการบำรุงรักษาประเภทอื่นๆลง จะปฏิเสธไม่ได้ว่ากล้องอินฟราเรดก็เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ช่วยให้เราสามารถตรวจสอบสิ่งผิดปกติในระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อจะได้ทราบปัญหาก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้น ไม่เพียงแค่นั้นยังทำให้ระบบในโรงงานมีความเชื่อถือได้สูงและสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ถูกจุดอีก สำหรับการใช้กล้องอินฟราเรดนั้นดูโดยภาพรวมแล้วเราก็อาจจะคิดว่าน่าจะใช้งานง่ายเพียงแค่ส่องไปยังพื้นที่หรือวัตถุที่เราต้องการตรวจวัดอุณหภูมิแค่นั้นก็เสร็จแล้วแต่ในความเป็นจริงนั้นก็ยังมีปัจจัยต่างๆอยู่หลายประการที่อาจจะทำให้เราวัดอุณหภูมิด้วยกล้องอินฟราเรดผิดพลาดไป

1.7 สาเหตุของการเกิดความผิดพลาดจากการใช้กล้องเทอร์โมสแกน

• ผลกระทบเนื่องจากลม

บางครั้งในการตรวจสอบระบบไฟฟ้าภายในบริเวณโรงงานเรานั้นจำเป็นต้องตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณกลางแจ้งดังนั้นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากลมก็คงจะหลีกเลี่ยงไม่ได้เช่นกัน เนื่องจากการที่มีลมพัดบริเวณวัตถุหรืออุปกรณ์ที่เราต้องการตรวจสอบด้วยกล้องอินฟราเรดนั้นก็จะทำให้มีการระบายความร้อนที่ตื้นซึ่งก็จะมีผลทำให้วัตถุดังกล่าวมีอุณหภูมิต่ำลงกว่าความเป็นจริง ตัวอย่างเช่นจู่ร้อนขณะที่ถูกวัดอุณหภูมิบริเวณนั้นลมมีความเร็วที่ 5m/sec.(10 knots) อุณหภูมิที่วัดได้จะมีค่าลดลงประมาณ 2 เท่าเมื่อเทียบกับเมื่อมีความเร็วลมที่ 1m/sec. และถ้าวัตถุอุณหภูมิของจู่ร้อนขณะที่มีความเร็วลม 8m/sec. ก็จะทำให้อุณหภูมิที่วัดได้จะมีค่าลดลงประมาณ 2.5 เท่าเมื่อเทียบกับเมื่อมีความเร็วลมที่ 1m/sec. ดังนั้นโดยปกติแล้วการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในบริเวณที่โล่งแจ้งนั้น ไม่ควรดำเนินการตรวจสอบถ้าขณะนั้นบริเวณดังกล่าวมีความเร็วลมมากกว่า 8 m/sec. แต่ถึงอย่างไรก็ตามข้อแนะนำข้างต้นนั้นจะเป็นการใช้กรณีปกติแต่ถ้ามีความจำเป็นก็ยังคงสามารถทำการตรวจสอบได้

• ผลกระทบเนื่องจากฝน

การเกิดฝนตกนั้นก็จะมีผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เราต้องการตรวจสอบนั้นมีอุณหภูมิต่ำลงแต่ถึงอย่างไรการตรวจสอบระบบไฟฟ้าด้วยกล้องอินฟราเรดนั้นก็ยังคงสามารถดำเนินการและพอให้ผลการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบยอมรับได้ในระดับหนึ่ง ถ้าในขณะนั้นเกิดฝนตกไม่หนักมากนักแต่ถ้ามีฝนตกหนักก็จะทำให้คุณภาพของภาพอินฟราเรดที่ทำการตรวจสอบด้อยลงไป แต่ถ้ามีความจำเป็นให้พยายามตรวจสอบให้ใกล้อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบให้มากที่สุดเพื่อลดผลกระทบของสิ่งรบกวนดังกล่าวแต่ถึงอย่างไรการปฏิบัติการตรวจสอบดังกล่าวจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นหลักด้วยผลกระทบเนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า การที่อุปกรณ์ที่มีการใช้กระแสไฟฟ้าที่มีปริมาณมากนั้นก็จะเป็นสาเหตุการความเข้มข้นสนามไฟฟ้าขึ้นสูงในบริเวณนั้น ซึ่งก็จะทำให้เกิดการรบกวน การทำงานภายในของกล้องอินฟราเรดขึ้น ซึ่งก็จะส่งผลให้ภาพที่ได้จากการตรวจสอบนั้นมีความชัดเจนต่ำผลกระทบอันเนื่องจากสาเหตุสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ภาพถ่ายความร้อนที่แสดงนั้นมีขนาดเล็กกว่าขนาดปกติ และในขณะเดียวกันไอโซเทอม (Isotherm) ก็ไม่สามารถมองเห็นได้ ความแตกต่างที่เกิดขึ้น เมื่อมีการเคลื่อนที่ของกล้องอินฟราเรดซึ่งทำให้ไม่สามารถแสดงสเกลและย่านการแสดงค่าของอุณหภูมิได้อย่างชัดเจนจากภาพเราจะเห็นได้ว่าสิ่งที่เราตรวจสอบระบบไฟฟ้าในบริเวณที่มีความสูงๆ มากนั้น ก็จะมีผลต่อการตรวจสอบระบบไฟฟ้า

1.8 กรณีศึกษา การนำกล้องถ่ายภาพความร้อนไปใช้กับงานด้านอุตสาหกรรม

1.8.1 ประเภทไฟฟ้า

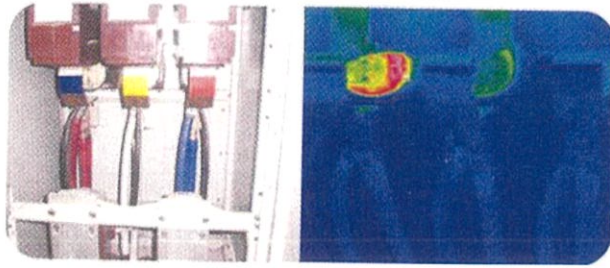
- จากรูปที่ 2.7 เป็นภาพถ่ายความร้อนหม้อแปลงไฟฟ้า ไม่พบว่ามีสภาวะผิดปกติใด ๆ ความร้อนกระจายตัวอย่างเหมาะสมอุณหภูมิยอมรับได้



รูปที่ 2.7 เทอร์โมสแกนหม้อแปลงไฟฟ้า

- จากรูปที่ 2.8 เป็นภาพถ่ายความร้อนจุดต่อไฟฟ้าเทอร์มินอลด้านซ้ายร้อนกว่าจุดอื่น ควรได้รับการซ่อมในระยะเวลาอันใกล้ และควรเผื่อระวังโหลดไฟฟ้าอย่างใกล้ชิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 เทอร์โมสแกนบัสบาร์

- จากรูปที่ 2.9 เป็นภาพถ่ายความร้อนฟิวส์ มีฟิวส์อันหนึ่งร้อนกว่าปกติต้องเปลี่ยนทันที



รูปที่ 2.9 เทอร์โมสแกนฟิวส์บริเวณเอ๊าท์พุท

- จากรูปที่ 2.10 เป็นภาพถ่ายความร้อนมอเตอร์ไฟฟ้า ความร้อนกระจายไปทั่วแกน (Winding) อุณหภูมิสูงสุดมากกว่า 90 °C ควรเฝ้าระวังสังเกตอย่างใกล้ชิด



รูปที่ 2.10 เทอร์โมสแกนมอเตอร์

1.8.2 ประเภทเครื่องกล : งานด้านเครื่องกลมักมีปัญหาจากแรงกระทำสูงเกินไป ทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้น สาเหตุมักจะมาจากการเสียดทาน หรือ ศูนย์เพลลา เป็นต้น เทอร์โมสแกนจึงถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เช่น คลิปปลั๊ก มูเลย์ สายพานได้โดยไม่ต้องหยุดเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 14

รูปที่ 2.11 เทอร์โมสแกนคัลป์ลิ่งมือถือ

- จากรูปที่ 2.12 เป็นภาพถ่ายความร้อนสายพาน มีความร้อนสูงผิดปกติที่มูเลย์ ฝั่งขับ เนื่องจากการเยื้องแนวสายพาน



รูปที่ 2.12 เทอร์โมสแกนมูเลย์

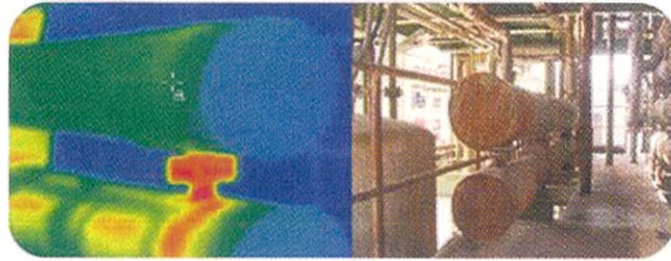
- จากรูปที่ 2.13 เป็นภาพถ่ายความร้อนตลับลูกปืน มีความร้อนสูงผิดปกติที่ตลับลูกปืนฝั่ง NDE ควรตรวจสอบ การหล่อลื่น และความสะอาดเพิ่มเติม เพื่อการวิเคราะห์เชิงลึก



รูปที่ 2.13 เทอร์โมสแกนตลับลูกปืน

1.8.3 ประเภทอนุรักษ์พลังงาน : เป็นงานที่ต้องการไม่ให้เกิดการรั่วไหลของพลังงานออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



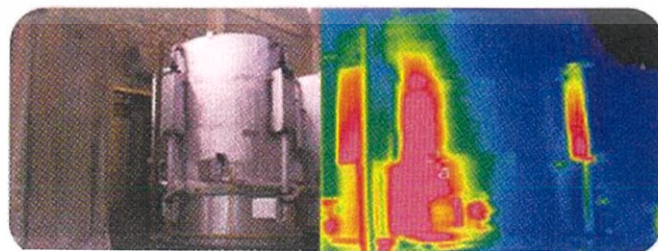
รูปที่ 2.14 เทอร์โมสแกนหน้าแปลน

- จากรูปที่ 2.15 เป็นภาพถ่ายความร้อน (Drying cylinder) ในโรงงานกระดาษ ภาพแสดงว่า อุณหภูมิที่ลูกกลิ้ง สูงกว่า 60 °C ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกระดาษที่ผลิต



รูปที่ 2.15 เทอร์โมสแกนลูกกลิ้ง


- 1.8.4 ประเภทความปลอดภัยในโรงงาน : ภาพถ่ายเทอร์โมกราฟี (Thermography) ของเตาที่แสดงดังรูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นถึงความร้อนกระจายตัวอย่างผิดปกติ ซึ่งอาจจะเกิดจากความเสียหายของอิฐทนไฟภายในเตา



รูปที่ 2.16 เทอร์โมสแกนเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16.3 Solar module tester

Equipment name	Solar module tester	Model	GTM - B
			
Measure	2500mm × 1380mm × 960mm		
The main technical indicators Applied for measurement solar panel with sun simulator. Lamp Spectrum: In line with IEC60904-9 spectral irradiance distribution requirement(AM1.5); Light Intensity: 100mW/cm ² (continuous adjustable range 20-120W/cm ²); Light Intensity non-uniformity: ±2% ; Grade A Light intensity instability degree: ≤ ±2% ; Grade A Test result consistency: ± 1% ; Grade B Test error of electrical properties: ≤ ±2% ; Grade B Single flash time: 10ms; Effective Test range: 2000x1200mm, 5 – 300W; Measuring voltage: 0~100V (resolution 1mV); Measuring current: 0~20A (resolution 1mA); Test Parameters: 1sc, Voc, Fmax, Vm, Im, FF, EFF, Temp, R _s , R _{sh} ; Power Supply : 220V ± 10% 5A; Irradiance automatically compensating; Temperature automatically compensating; measurement parameter displays in tabulation and graphic way; Voice counts off and prompts; Counting prompt of flash times; Gross weight: 350kg. Guarantee and after -sale service. One year guarantee for whole machine except of consumable. 24 hours technical support by E-mail, Skype or QQ. Calling or door-to-door service User-friendly English software, user manual and detailed Video/CD.			
Note: 1, Payment: T/T 50% deposit and balance before shipment by L/C or T/T. 2, The price include the exported standard package. 3, The price do not include the cost of installation, buyer will pay for our engineer's return tickets, accommodation when our engineer go to install, train for machine in buyer's place			
REOO Expert for setting up solar panel factory in all of world			

รูปที่ 2.17 Spect Solar module teste

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

กระบวนการนี้เกิดขึ้นเพื่อการแก้ปัญหาระบบและวิเคราะห์ค่าพลังงาน SOLAR ROOFTOP ขนาด 2 MWp ที่ LEKISE GROUP ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยผู้ทำการตรวจเช็คได้ใช้เครื่องมือ และระบบ Monitoring เข้ามาช่วยในการหาประสิทธิภาพและค่าความสูญเสียที่หายไปเพื่อหาข้อบกพร่องของระบบและสามารถแก้ปัญหาได้

3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

1. Clamp meter
2. Irradiance meter
3. Multimeter
4. สว่าน
5. ไชควง
6. MI 3108 EurotestPV
7. Thermoscan
8. Solar module tester

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 ตรวจสอบภาพรวม Solar rooftop ขนาด 2 MWp at Lekise group มีรายละเอียดดังนี้

- Inverter ABB รุ่น Trio 27.6 KW	จำนวน	62	ตัว
- PV module Trina Solar 320 Wp	จำนวน	6,240	แผง
- monitoring ABB VSN700	จำนวน	2	ชุด
- Transformer รุ่น 1500 KVA และ 1000 KVA	จำนวน	2	ลูก

3.2.2 ประเมินประสิทธิภาพและค่าความสูญเสีย Solar rooftop ขนาด 2 MWp

1. ตรวจสอบจากระบบ monitoring พบว่าค่าพลังงานที่ได้ต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ค่อนข้างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1) โดยเริ่มจากการเข้าเว็บไซต์

<https://www.auroravision.net/dash/assets/summary.jsf#12201100> จะแสดงหน้าต่าง ดังรูปที่ 3.1

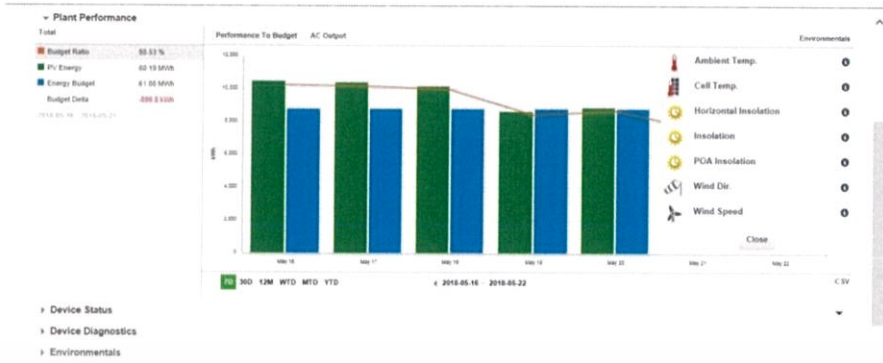
รูปที่ 3.1 หน้าเว็บไซต์

1.2) ใส่ User และ Password เข้าไปจะแสดงหน้าต่างนี้ ดังรูปที่ 3.2

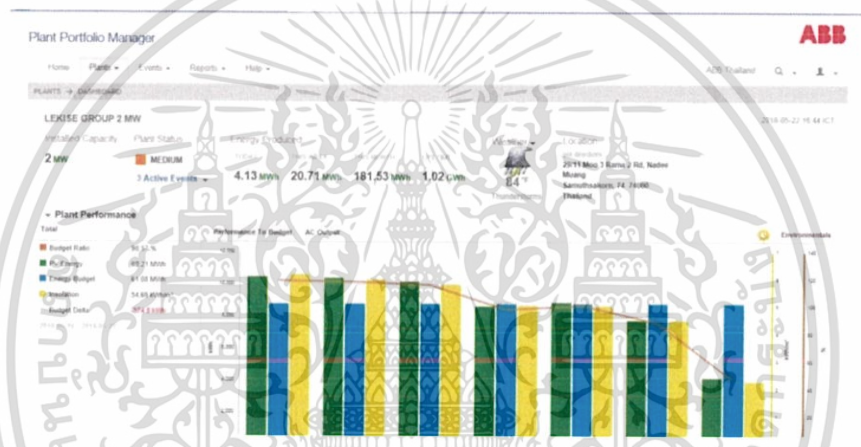
รูปที่ 3.2 หน้าแรกของเว็บไซต์

1.3) กด Environmentals เลือก Insolation จะแสดงหน้าต่าง ดังรูปที่ 3.3 , รูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 กดเลือก Insolation



รูปที่ 3.4 โชว์ค่าแดด

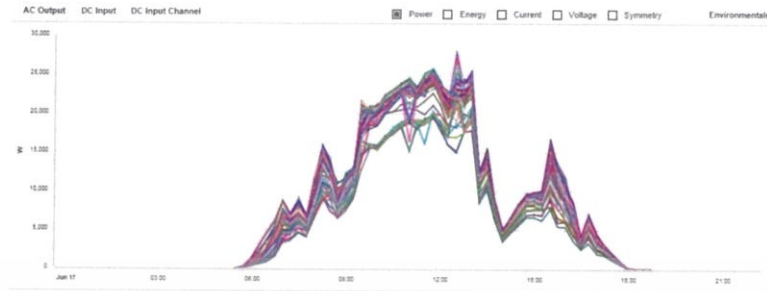
1.4) เลื่อนลงมาเลือกช่วงวันที่ค่าพลังงานต่ำ คือเดือนมีนาคมก่อนจะเริ่มวิเคราะห์ จะเห็นว่าค่าพลังงานที่ได้ต่ำลงไปครึ่งหนึ่ง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ค่าพลังงานดรอปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

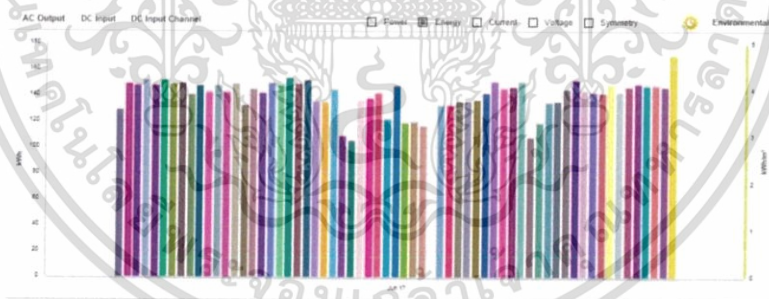
1.5) ตรวจสอบค่าพลังงาน (kWh) , Power (W) , แสงแดด (W/m²)



รูปที่ 3.6 กราฟค่าพลังงาน



รูปที่ 3.7 ค่า Power



รูปที่ 3.8 ค่า Power และค่าแดด

1.6) คัดค่า PR ของ Plant จากสูตร

$$PR \text{ Test} = \frac{\text{Cumulative AC PQ Meter (kWh)}}{\text{Cumulative Insolation in plan (kWh/m}^2\text{) x Install Capacity (kWp)}} = \left(\frac{\text{ค่าพลังงานที่ได้}}{\text{ค่าแดด x กำลังการติดตั้ง}} \right) * 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

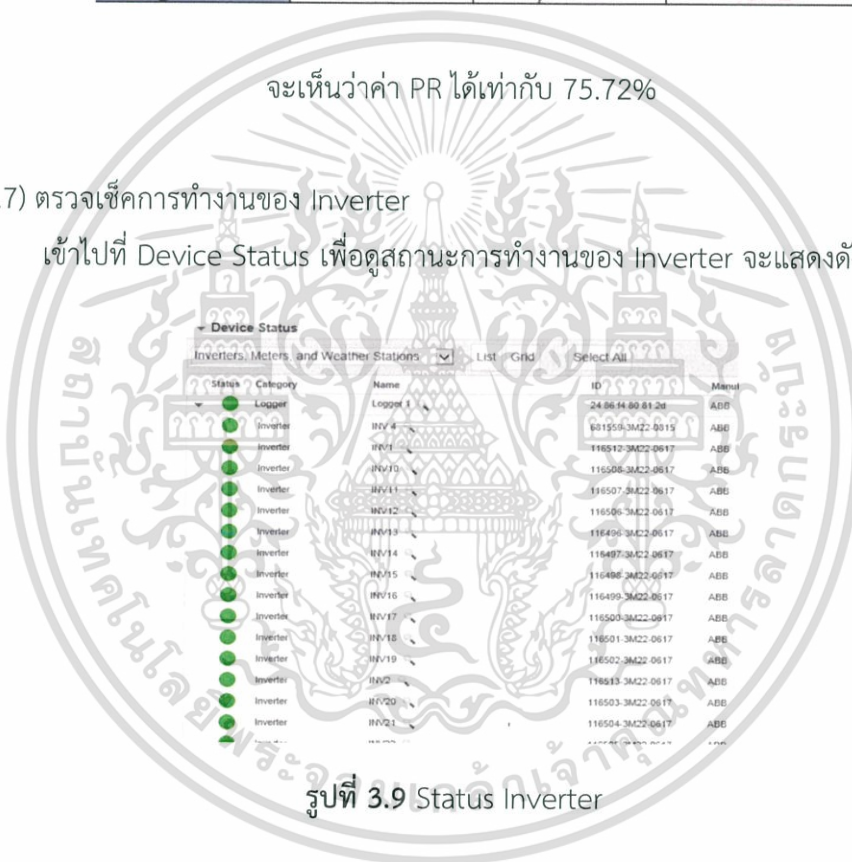
ตารางที่ 3.1 PR ของระบบ

Date	IRR (kWh/m ²)	AC Output (kWh)	PR (%)
12/1/2018	4.66	7,176.77	77.16
13/1/2018	4.71	7,240.96	77.02
14/1/2018	4.72	7,288.51	77.36
15/1/2018	4.30	6,570.94	76.56
16/1/2018	4.45	6,627.84	74.62
17/1/2018	4.22	6,316.42	74.99
18/1/2018	4.38	6,321.54	72.31
Average	4.49	6,791.85	75.72

จะเห็นว่าค่า PR ได้เท่ากับ 75.72%

1.7) ตรวจสอบการทำงานของ Inverter

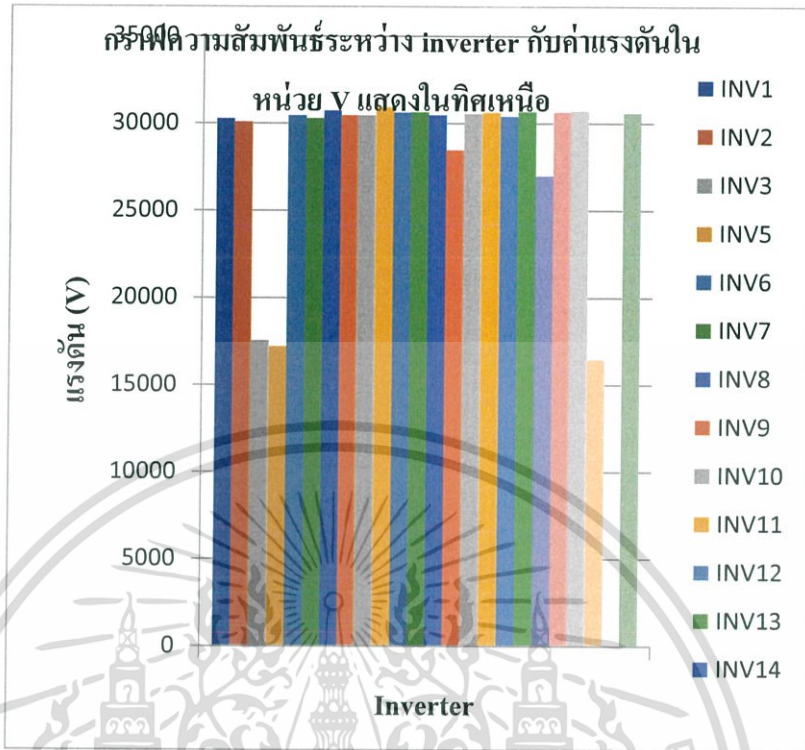
เข้าไปที่ Device Status เพื่อดูสถานะการทำงานของ Inverter จะแสดงดังรูป



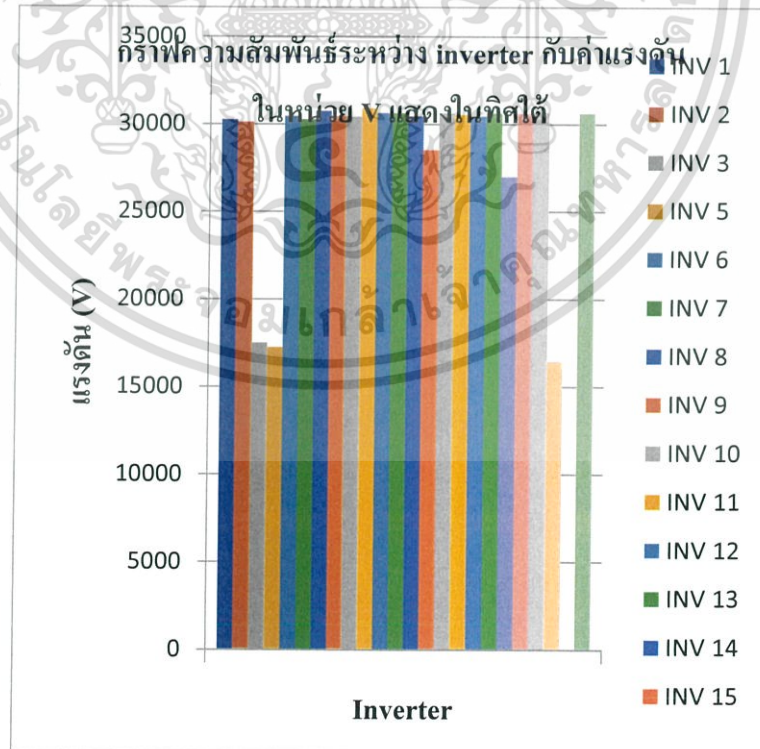
รูปที่ 3.9 Status Inverter

1.8) เข้าเว็บแล้วทำการเก็บค่าพลังงานของแต่ละ Inverter มาวิเคราะห์ ตามทิศทางในการติดตั้ง จะเห็นว่า มี Inverter บางตัวมีค่าพลังงานที่ดรอปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 กราฟ V ทศเหนือ



รูปที่ 3.11 กราฟ V ทศใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 3.11 กราฟ V ทศใต้ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ค่า V ทิศเหนือ

Inverter	แรงดัน (V)
INV1	30246.33
INV2	30082.9
INV3	17515.47
INV5	17185.52
INV6	30421.96
INV7	30283
INV8	30703.17
INV9	30426.5
INV10	30419.55
INV11	30879.36
INV12	30584.97
INV13	30616.9
INV14	30440.42
INV15	28452.82
INV16	30540.57
INV17	30598.78
INV18	30389.78
INV19	30640
INV20	26962.03
INV21	30619.09
INV23	30682.62
INV24	16419.38
INV25	0
INV26	30564.7

ตารางที่ 3.3 ค่า V ทิศใต้

Inverter	แรงดัน (V)
INV 1	30235.97
INV 2	30093.45
INV 3	17474.21
INV 5	17216.14
INV 6	30442.18
INV 7	30256.44
INV 8	30724.75
INV 9	30440.04
INV 10	30394.2
INV 11	30878.12
INV 12	30627
INV 13	30629.44
INV 14	30431.25
INV 15	28492.21
INV 16	30597.14
INV 17	30509.98
INV 18	30430.14
INV 19	30624.48
INV 20	26968.67
INV 21	30582.7
INV 23	30656.32
INV 24	16412.76
INV 25	0
INV 26	30602.21

จะเห็นว่า Inverter ตัวที่มีปัญหา คือตัวที่ 3, 5, 24 ที่ค่า V ต่ำผิดปกติ

1.9) ทำการส่งเคลม Inverter เนื่องจาก Inverter ไม่มีการส่งข้อมูลเข้าระบบ และไม่แสดงสถานะการทำงาน ดังแสดงในรูป



รูปที่ 3.12 ส่งเคลม Inverter

1.10) ตรวจสอบ Inverter พบว่ามีการ Set MPPT ไว้ผิดกับระบบที่ได้ออกแบบไว้ จึงทำการติดต่อ Service ABB เพื่อทำการเปลี่ยน MPPT เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

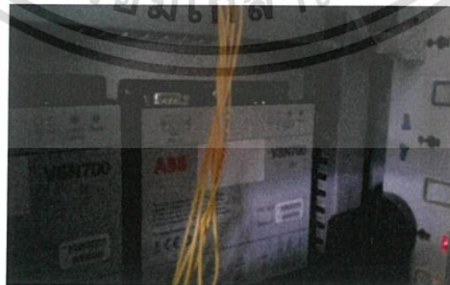


รูปที่ 3.13 set mppt



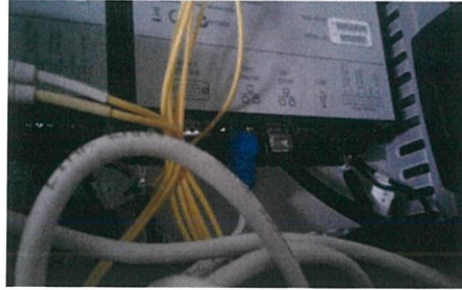
รูปที่ 3.14 set ในระบบ

1.11) จากการที่ตรวจพบปัญหาของแผงมีค่าประสิทธิภาพต่ำกว่าที่กำหนด โดยดูจาก monitoring จึงทำการเปลี่ยน VSN 700 ตัวที่ใช้งานไม่ได้ ดังรูป



รูปที่ 3.15 VSN700 ตัวที่ไม่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 เชื่อมต่อข้อมูลแต่ไม่โชว์ค่า

1.12) PR ของระบบ

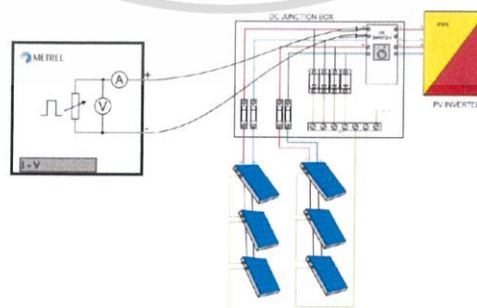
ตารางที่ 3.4 PR ของระบบ

Date	IRR (kWh/m ²)	AC Output (kWh)	PR (%)
12/2/2018	4.65	7,242.88	78.04
13/2/2018	4.90	7,453.57	76.21
14/2/2018	4.51	7,253.57	80.58
15/2/2018	4.75	7,673.28	80.93
16/2/2018	4.84	7,951.23	82.31
17/2/2018	4.56	7,683.20	84.41
18/2/2018	4.14	7,334.46	88.76
Average	4.62	7,513.17	81.60

จะเห็นว่าค่า PR ได้เท่ากับ 81.60%

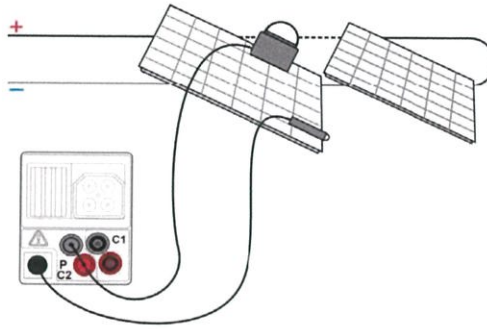
เนื่องจากทำการเปลี่ยน Inverter ที่ไม่ทำงาน 3 ตัว

2. ทำการตรวจเช็คแผงโดยการเช็คระดับ String Inverter ใช้เครื่องมือ MI 3108 EurotestPV ที่ DC Commander Box จำนวนทั้งหมด 306 string ดังรูป



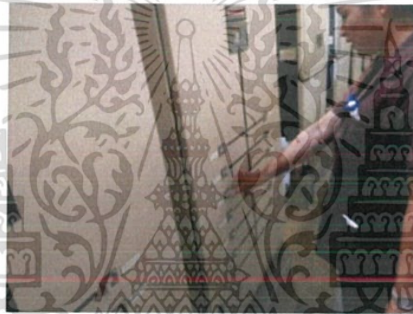
รูปที่ 3.17 Diagram IV check

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 วัดค่าแอมป์ และอุณหภูมิ

2.1) เริ่มจากการปิดสวิตซ์ที่ ACS



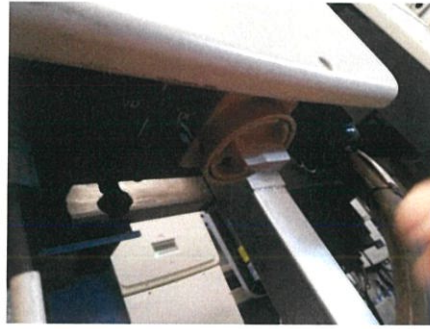
รูปที่ 3.19 ปิดสวิตซ์ที่ ACS

2.2) จากนั้นก็ปิดสวิตซ์ที่ DC Commander Box



รูปที่ 3.20 ปิดสวิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 เมื่อปิดสวิตช์แล้ว

2.3) รอให้ไฟทั้ง 2 ดวงนี้ที่ Inverter ดับลง



รูปที่ 3.22 ไฟแสดงการปิดสวิตช์

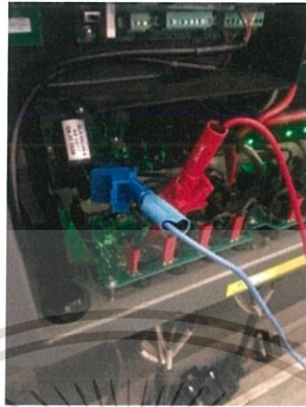
2.4) จากนั้นก็เปิดฝาที่ DC Commander Box



รูปที่ 3.23 เปิดฝาคกรอบ DC Box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5) แล้วทำการถอดฟิวส์ออก และเอาตัวหนีบไปคีบขั้วบวกและลบของ String



รูปที่ 3.24 วัดแต่ละ String

2.6) ทำการวัดค่า I V แต่ละ String จะแสดงค่า Isc, Voc, Vmpp, Impp, Pmpp, IV Curve, ค่าแดด, และอุณหภูมิ



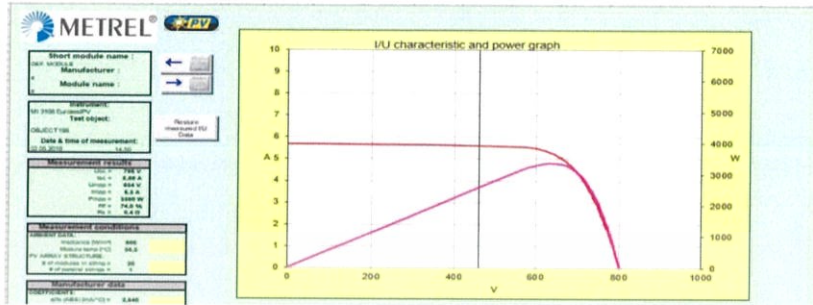
รูปที่ 3.25 แสดงค่าที่สามารถตรวจเช็คได้



รูปที่ 3.26 กราฟที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7) เมื่อดึงข้อมูลมาจะได้กราฟ ดังรูป



รูปที่ 3.27 กราฟปกติ



รูปที่ 3.28 กราฟที่ดรอปลง

2.8) ดำเนินการตรวจเช็คแผง พบแผงแตก, แผงเปื้อนสี, แผงที่มี Hot spot ดังรูป



รูปที่ 3.29 แผงแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



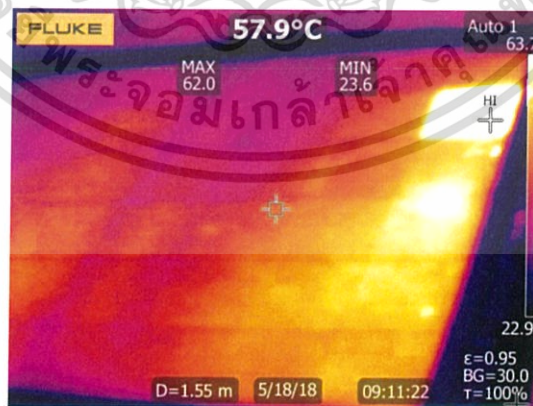
รูปที่ 3.30 แผงเปื้อนสี



รูปที่ 3.31 แผงที่เกิด Hot spot

3. ทำการตรวจเช็คด้วยเครื่อง Thermoscan

3.1) พบว่าแผงที่มี Hot spot จะมีอุณหภูมิสูง ดังรูป

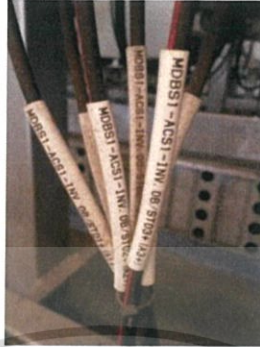


รูปที่ 3.32 แผงที่เกิด Hot spot เช็คด้วยเครื่อง Thermoscan

3.2) ตรวจเช็คสาย Cable และจุดเชื่อมต่อหัว MC4

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเว็บไซต์สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1) ตรวจสอบความเสียหายที่ผิดปกติใหม่ด้วยการสำรวจตาม String



รูปที่ 3.33 สาย cable



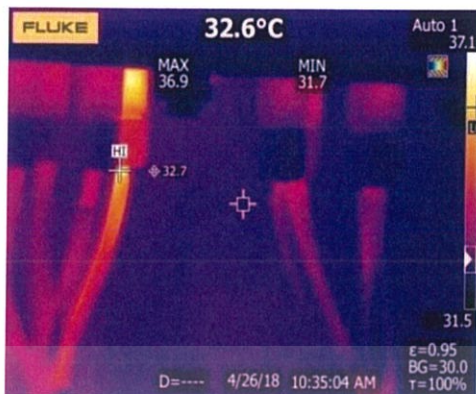
รูปที่ 3.34 String inverter

3.2.2) ตรวจสอบจุดเชื่อมต่อหัว MC4 ด้วยเครื่อง Thermoscan พบว่ามีความร้อนที่หัว MC4 ทั้งหมด 12 หัว ดังรูป



รูปที่ 3.35 ความร้อนหัว MC4

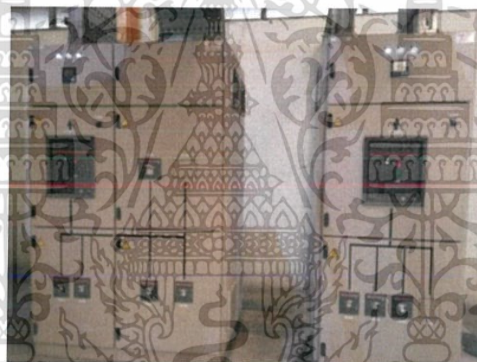
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.36 ความร้อนหัว MC4

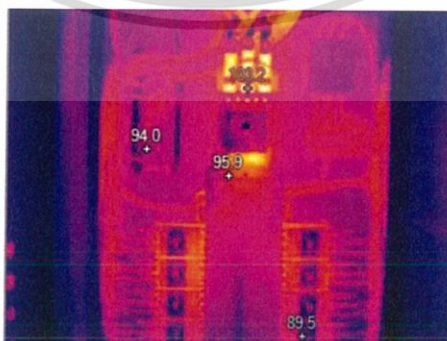
3.3) ตรวจสอบตู้ MDB

3.3.1) ทำการตรวจสอบการติดตั้งของตู้ MDB ว่าอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ดังภาพ



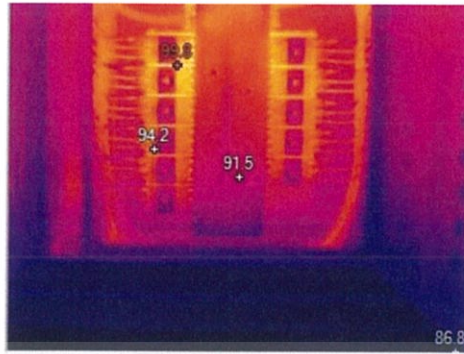
รูปที่ 3.37 การติดตั้งตู้ MDB

3.3.2) ทำการตรวจเช็คโดยใช้เครื่อง Thermoscan



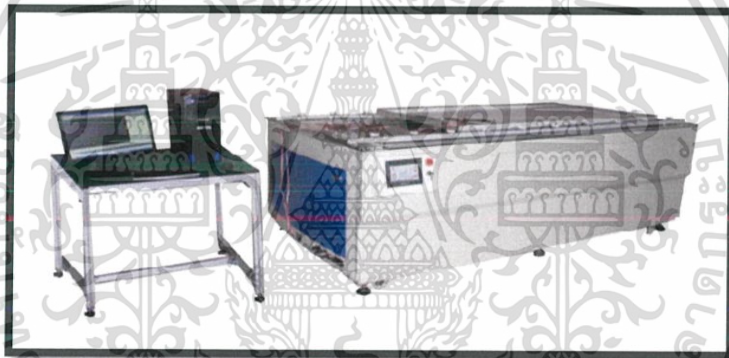
รูปที่ 3.38 ความร้อนสายที่เชื่อมต่อในตู้ MDB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.39 ความร้อนสายที่เชื่อมต่อในตู้ MDB

4. ทำการเช็คด้วยเครื่อง Solar Module Tester



รูปที่ 3.40 Solar Module Tester

4.1) การตั้งค่าเครื่อง Solar Module Tester

เข้าไปตั้งค่าที่ Channel Setting

4.1.1) ค่า Current Channel

- Isc Correction Goal 9.3600
- Ipm Correction Goal 8.6700

4.1.2) Voltage Channel

- Voc Correction Goal 36.0000
- Vpm Correction Goal 30.0000

4.1.3) Temperature Channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Testing Temperature	25 °C
- Current Temperature Correction Factor	2.0000 mA/°C
- Voltage Temperature Correction Factor	-2.0000 mV/°C
- Number of Parallel Batteries	1
- Number of Series Batteries	1
- Series Resistor	1.0000 Ω
- Curve Correction Factor	1 $\Omega/^\circ\text{C}$

4.2) ขั้นตอน Solar Module Test

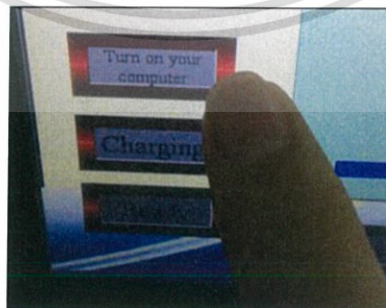
4.2.1) เปิดเครื่อง โดยการเปิดกุญแจหน้าปัด PLC Control



รูปที่ 3.41 PLC Control

4.2.2) ใส่รหัส กด Into the System

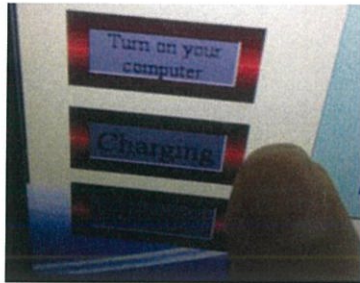
4.2.3) กด Turn on your computer



รูปที่ 3.42 Turn on your computer

4.2.4) กด Charging

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.43 Charging

4.2.5) กต Ready



รูปที่ 3.44 Ready

4.2.6) นำแผงโซลาร์เซลล์มาวางคว่ำหน้าบนเครื่อง Solar Module Test



รูปที่ 3.45 แผงคว่ำหน้า

4.2.7) ต่อสายที่ Junction box และเริ่มทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.46 ต่อสายที่ Junction box

4.2.8) ได้กราฟ และค่าที่ทดสอบ บนจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.47 จอแสดงผล

4.3) ทำการเช็คแผง Hot spot

4.3.1) นำแผงที่เป็น Hot spot ลงมาตรวจเช็คด้วยเครื่อง Solar module tester พบว่าได้
ค่าพลังงานต่ำ ดังภาพ



รูปที่ 3.48 แผงที่เกิด Hot spot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ค่าที่วัดได้ของแผงที่เกิด Hot spot

Isc(A):	7.8275
Voc(V):	45.7828
Pmp(W):	177.6070
Imp(A):	5.5375
Vmp(V):	32.0735



รูปที่ 3.49 กราฟแผงที่เกิด Hot spot

4.3.2) เมื่อนำแผงปกติลงมาตรวจเช็คด้วยเครื่อง Solar module tester พบว่าได้ค่าพลังงานปกติ เมื่อเทียบกับแผงที่เป็น Hot spot ดังภาพ



รูปที่ 3.50 แผงปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ค่าที่วัดได้ของแผงที่ปกติ

Isc(A):	8.1539
Voc(V):	46.4565
Pmp(W):	309.0762
Imp(A):	7.4935
Vmp(V):	41.2459



รูปที่ 3.51 กราฟแผงปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

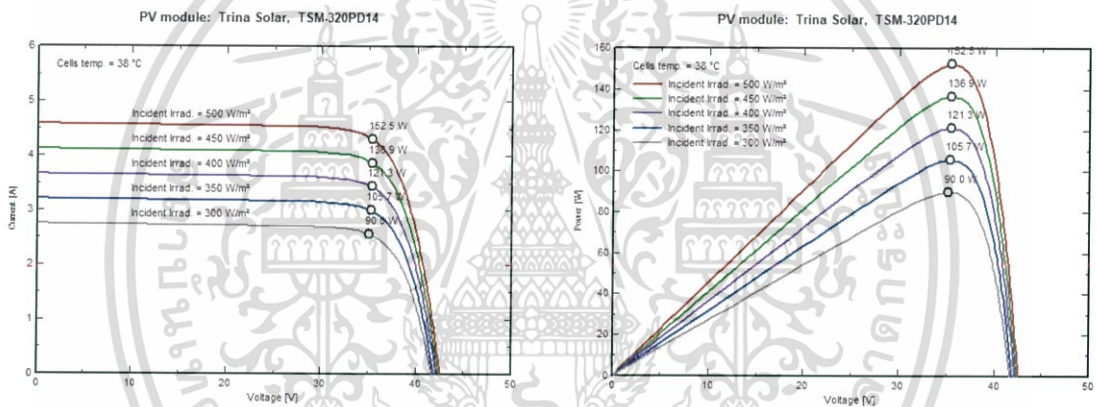
ผลการวิเคราะห์และแก้ปัญหา

จากการที่ได้ทำการดำเนินการวิเคราะห์ และทำการแก้ไขปัญหาที่พบของอุปกรณ์ต่างๆ ในการใช้งานของโซลาร์ฟาร์มที่อบได้ผลเป็นดังนี้

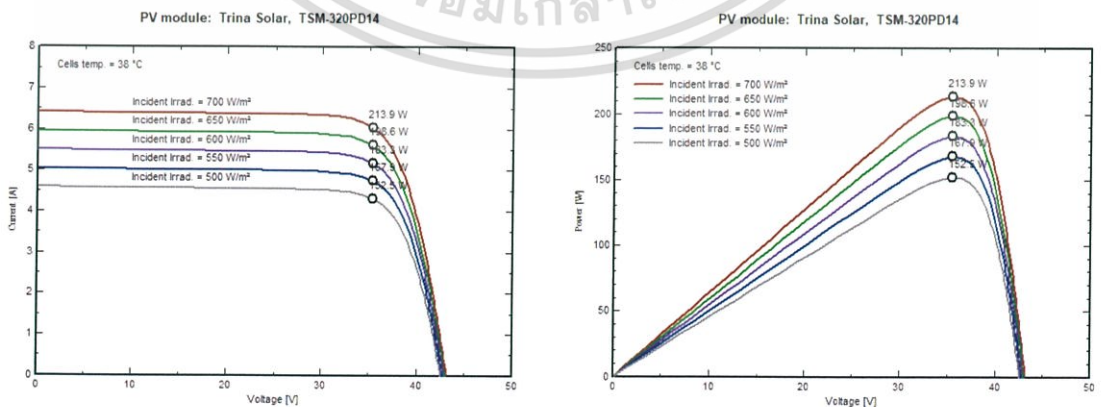
4.1 การทำ IV Check

4.1.1) เปรียบเทียบ IV Curve STC จาก PVsyst

4.1.1.1) เริ่มจากอุณหภูมิ 38 องศา

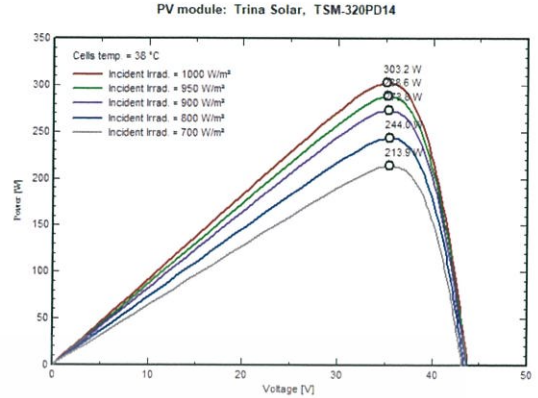
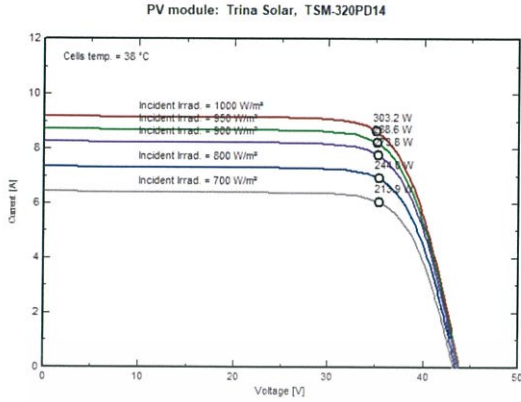


รูปที่ 4.1 IV Curve อุณหภูมิ 38 องศา ค่าแดด 300 – 500 W/m²



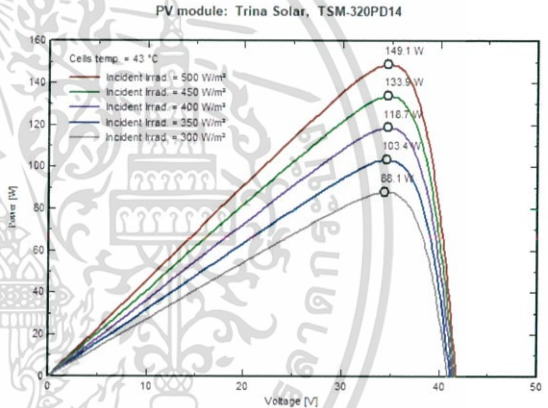
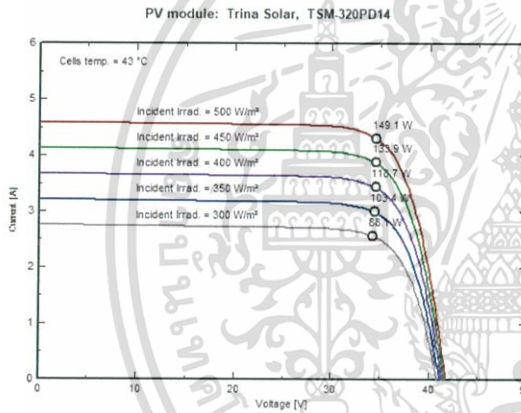
รูปที่ 4.2 IV Curve อุณหภูมิ 38 องศา ค่าแดด 500 – 700 W/m²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

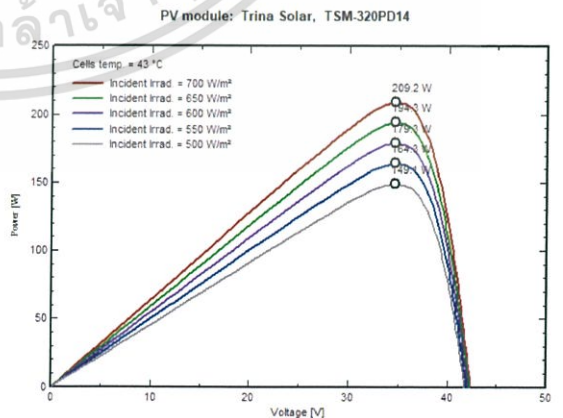
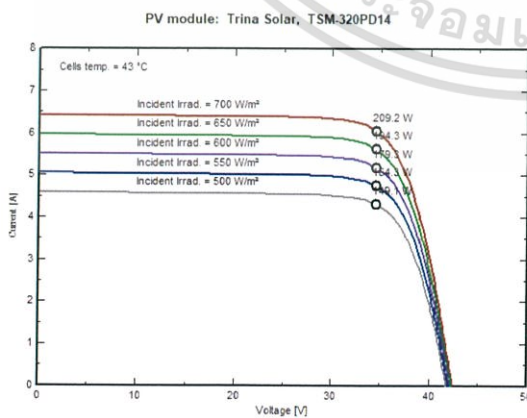


รูปที่ 4.3 IV Curve อุณหภูมิ 38 องศา ค่าแดด 700 – 1000 W/m2

4.1.1.2) อุณหภูมิ 43 องศา

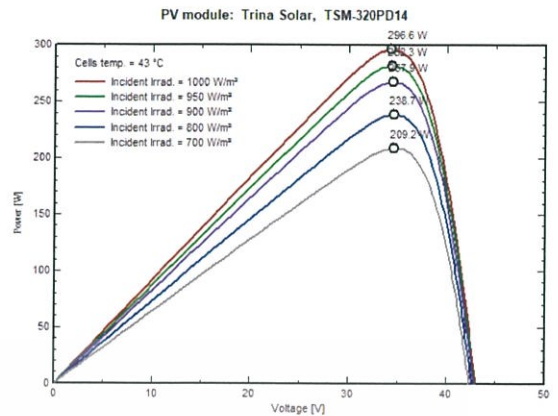
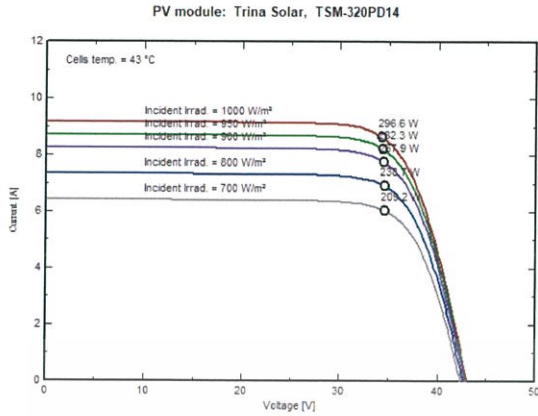


รูปที่ 4.4 IV Curve อุณหภูมิ 43 องศา ค่าแดด 300 – 500 W/m2



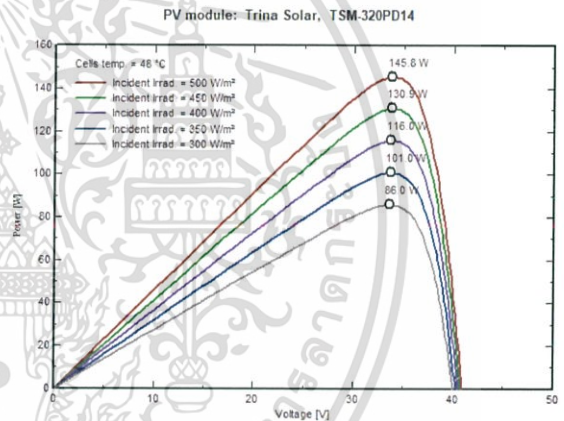
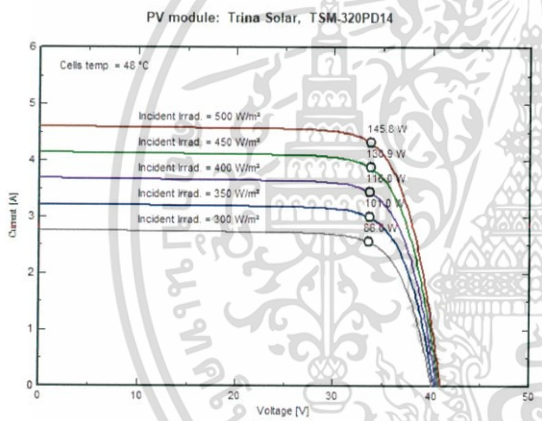
รูปที่ 4.5 IV Curve อุณหภูมิ 43 องศา ค่าแดด 500 – 700 W/m2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

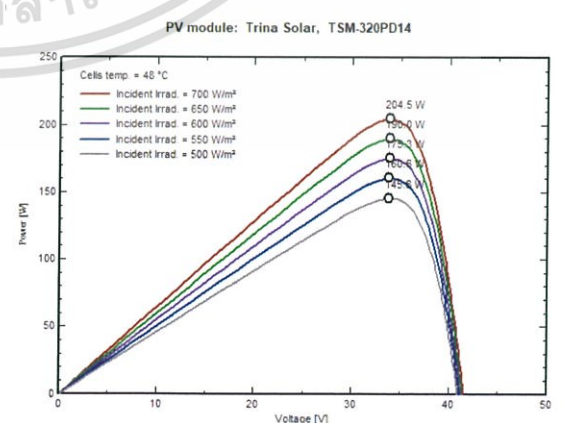
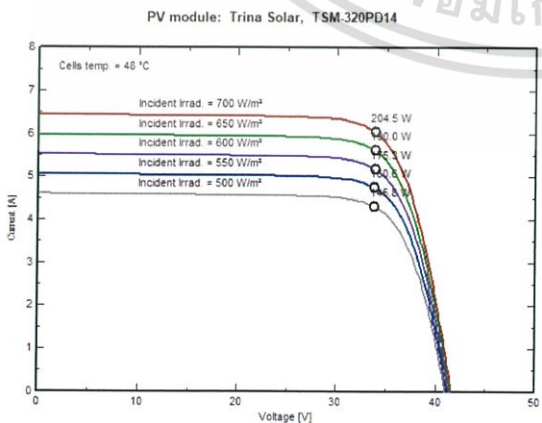


รูปที่ 4.6 IV Curve อุณหภูมิ 43 องศา ค่าแดด 700 – 1000 W/m^2

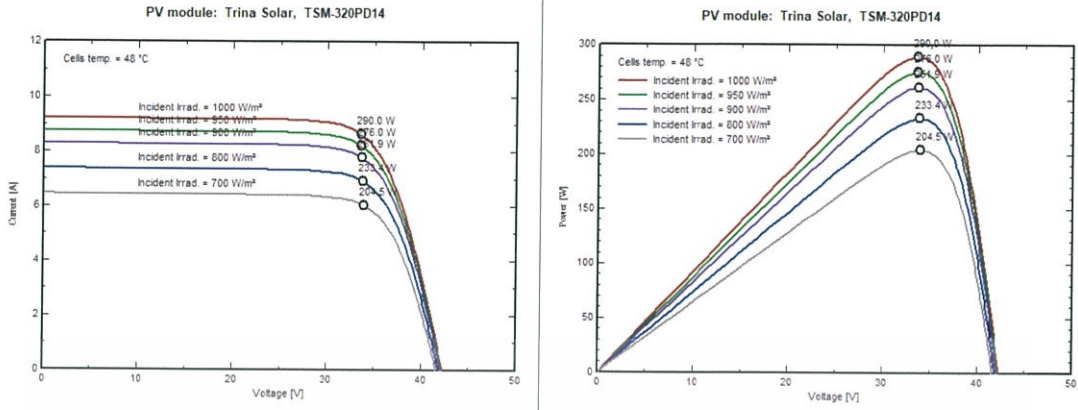
4.1.1.2) อุณหภูมิ 48 องศา



รูปที่ 4.7 IV Curve อุณหภูมิ 48 องศา ค่าแดด 300 – 500 W/m^2



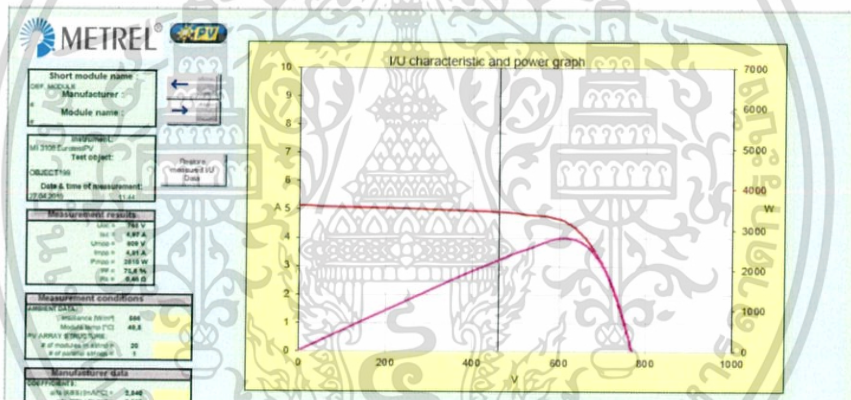
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.8 IV Curve อุณหภูมิ 48 องศา ค่าแดด 500 – 700 W/m^2 ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 IV Curve อุณหภูมิ 48 องศา ค่าแดด 700 – 1000 W/m²

4.1.2) ผลที่ได้จาก IV Check ทั้งหมด 306 String

ทิศเหนือ

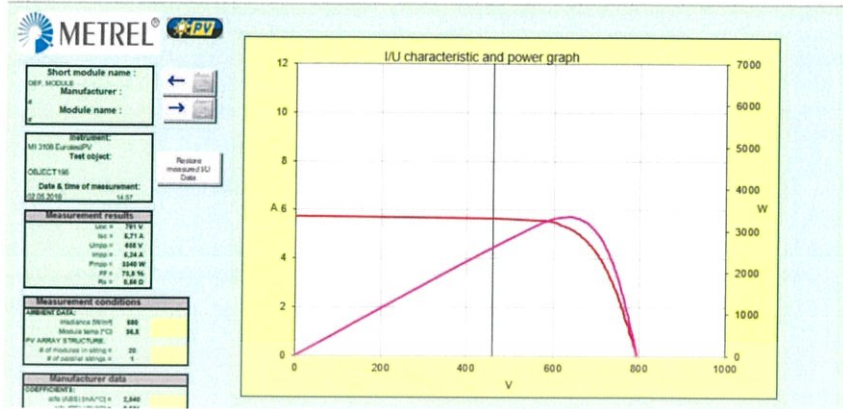


รูปที่ 4.10 ทิศเหนือ Inverter 2 String 1

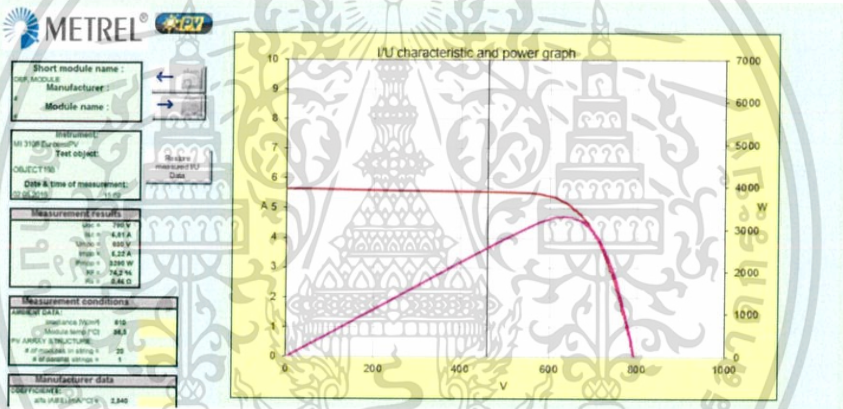


รูปที่ 4.11 ทิศเหนือ Inverter 4 String 2

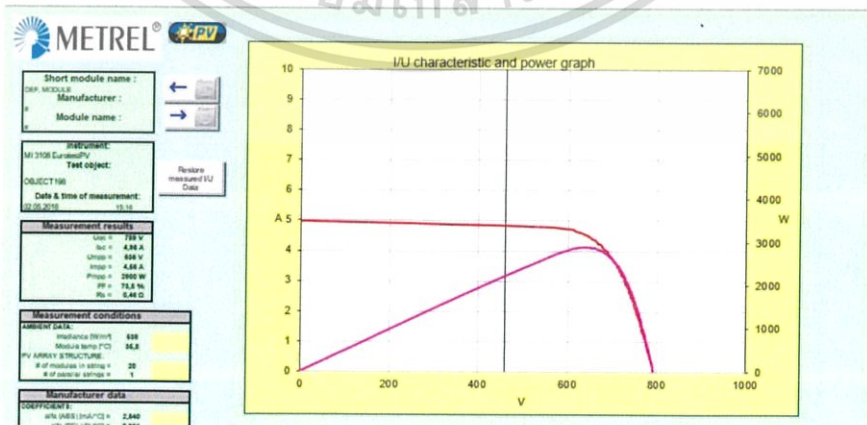
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



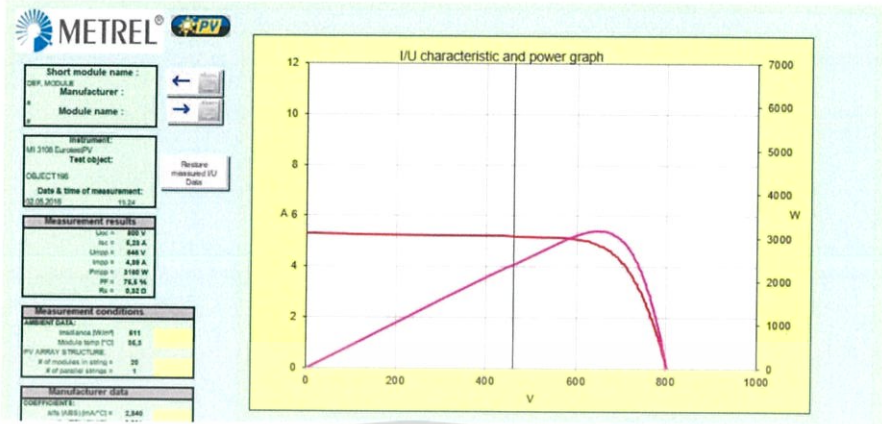
รูปที่ 4.12 ทิศเหนือ Inverter 5 String 4



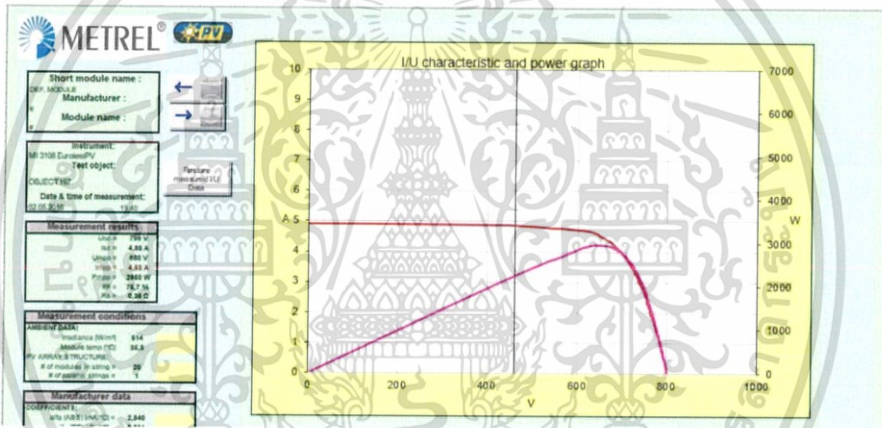
รูปที่ 4.13 ทิศเหนือ Inverter 6 String 1



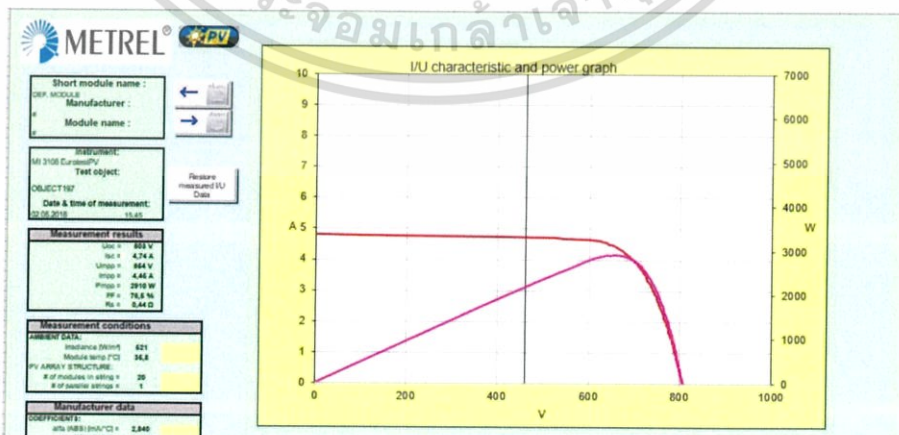
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.14 ทิศเหนือ Inverter 7 String 4 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ทิศเหนือ Inverter 8 String 1

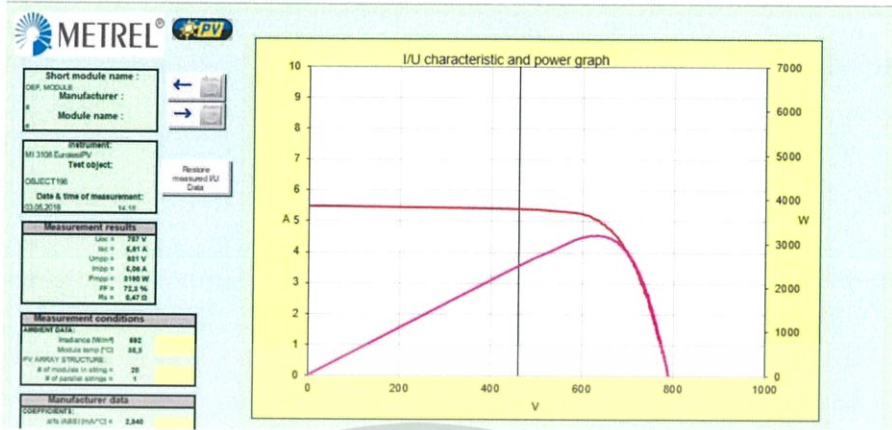


รูปที่ 4.16 ทิศเหนือ Inverter 9 String 5

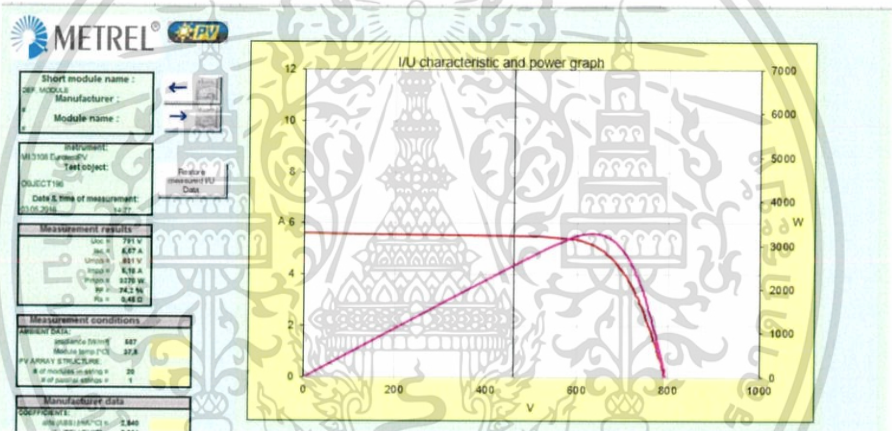


รูปที่ 4.17 ทิศเหนือ Inverter 10 String 1

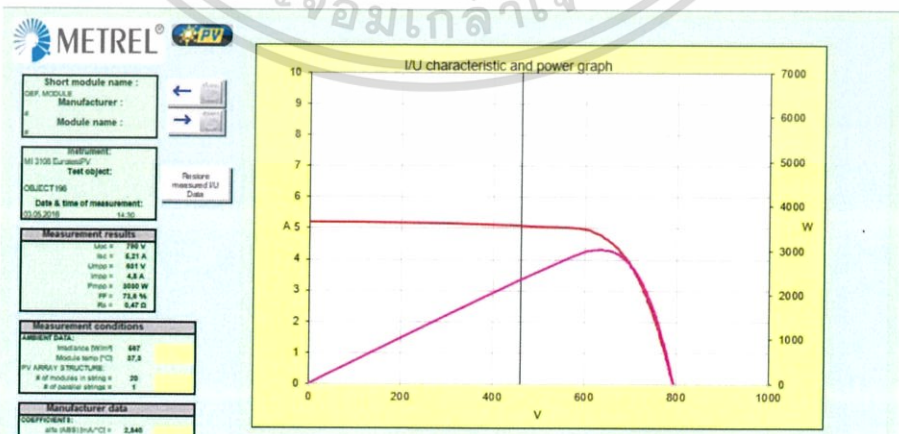
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ทิศเหนือ Inverter 12 String 1

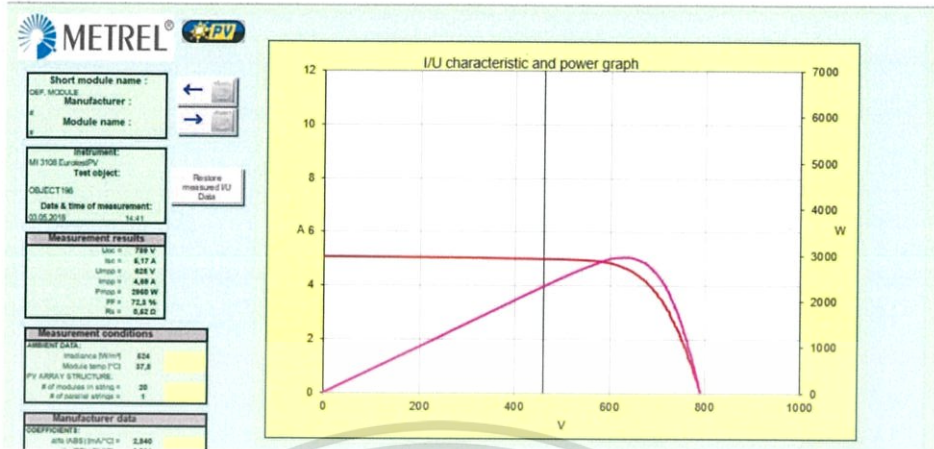


รูปที่ 4.19 ทิศเหนือ Inverter 13 String 4



รูปที่ 4.20 ทิศเหนือ Inverter 14 String 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในที่ปรึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

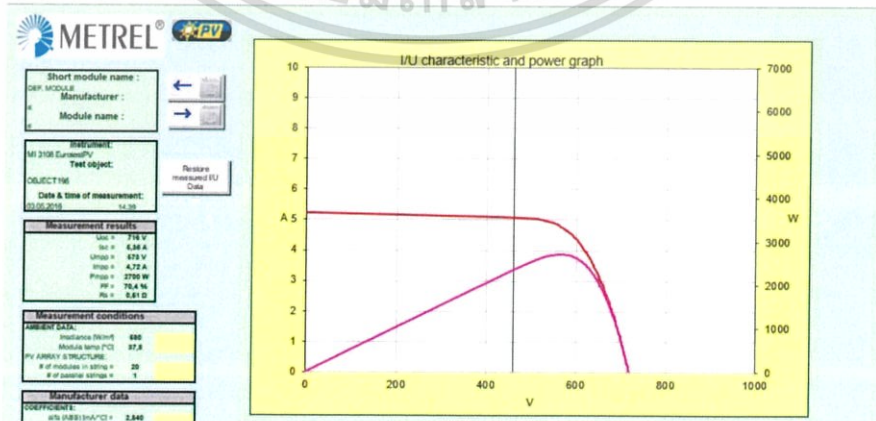


รูปที่ 4.21 ทิศเหนือ Inverter 15 String 4

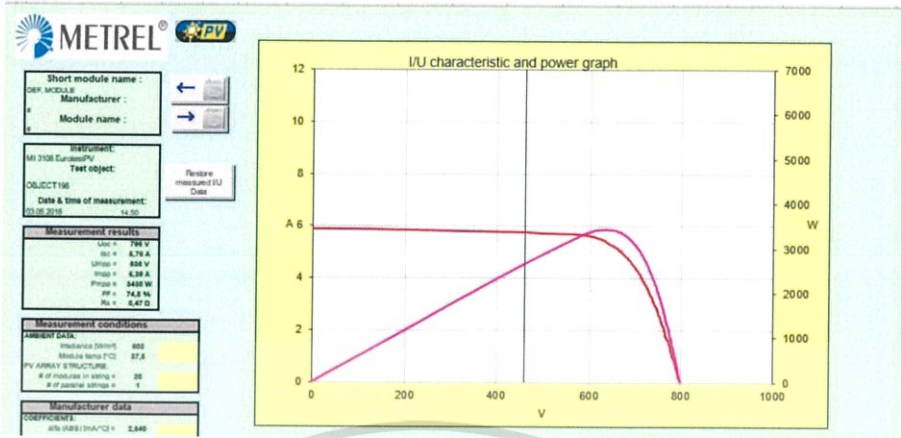


รูปที่ 4.22 ทิศเหนือ Inverter 16 String 1

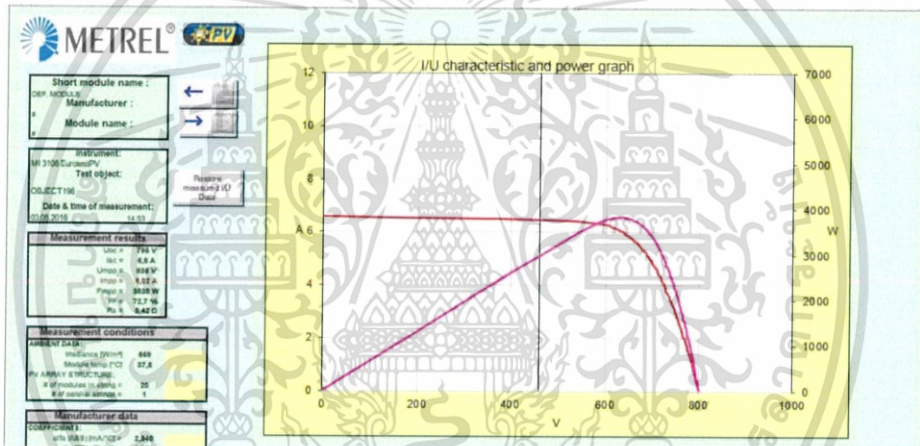
ทิศใต้



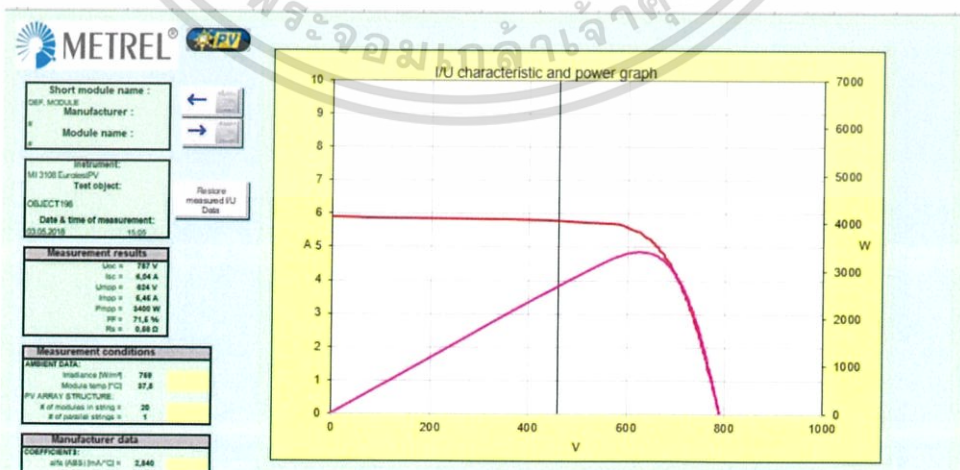
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.23 ทิศใต้ Inverter 15 String 2 ชาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



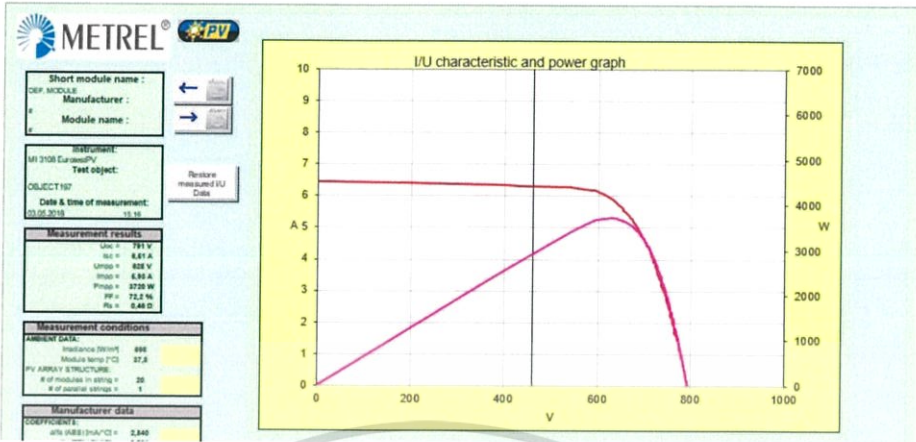
รูปที่ 4.24 ทิศใต้ Inverter 16 String 4



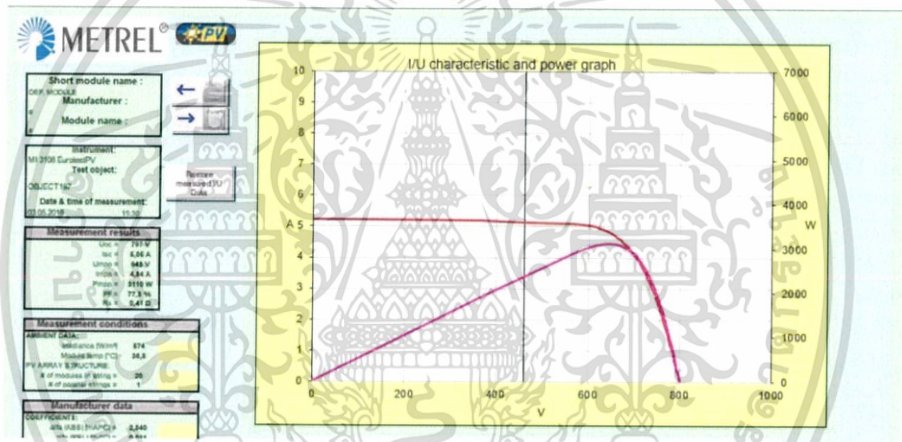
รูปที่ 4.25 ทิศใต้ Inverter 17 String 1



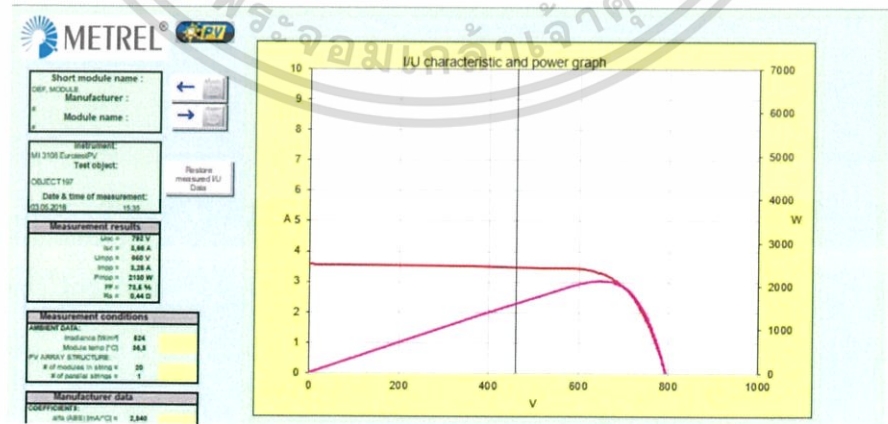
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.26 ทิศใต้ Inverter 18 String 4
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ทิศใต้ Inverter 19 String 2



รูปที่ 4.28 ทิศใต้ Inverter 20 String 4

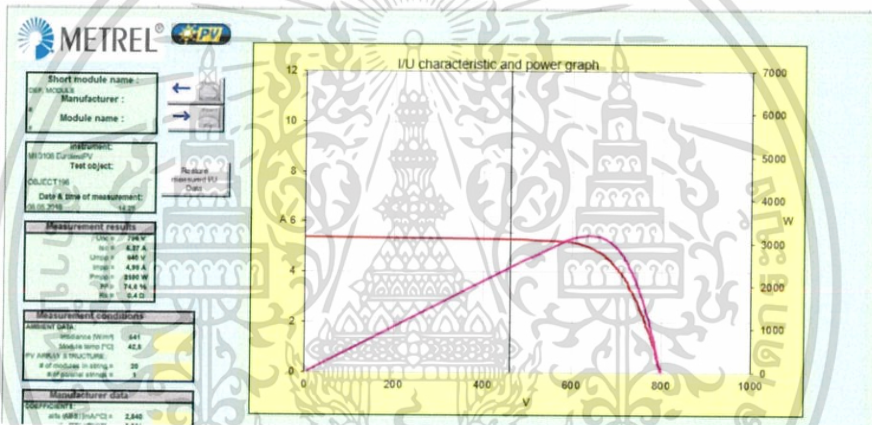


รูปที่ 4.29 ทิศใต้ Inverter 21 String 1

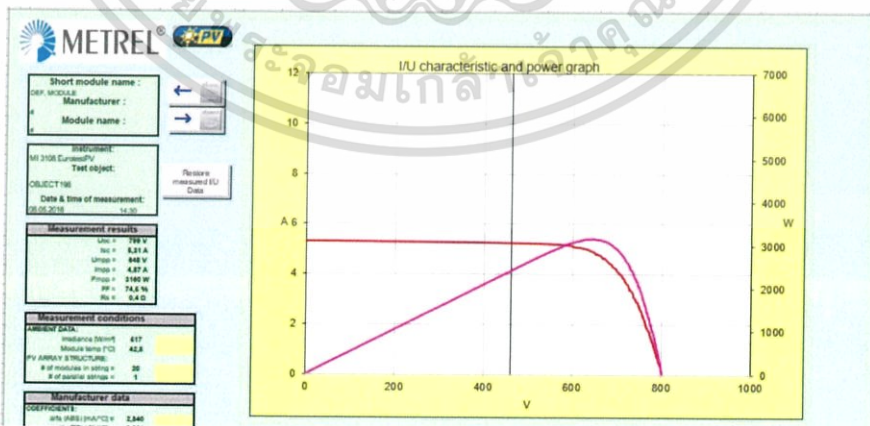
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 ทิศใต้ Inverter 23 String 1

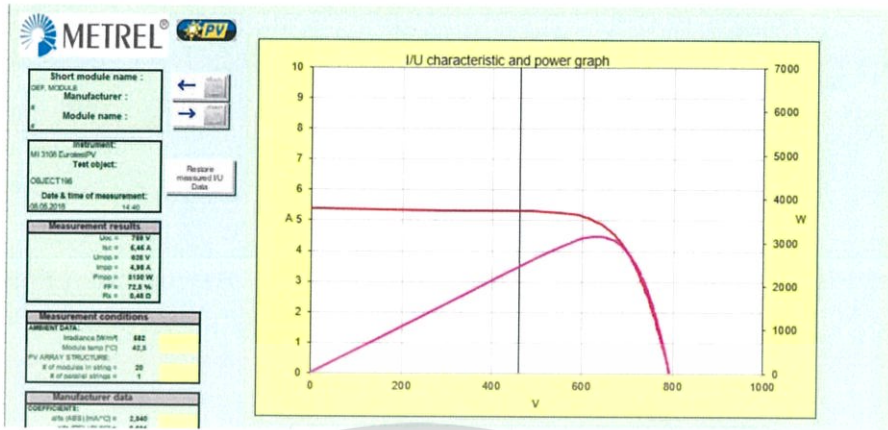


รูปที่ 4.31 ทิศใต้ Inverter 24 String 4

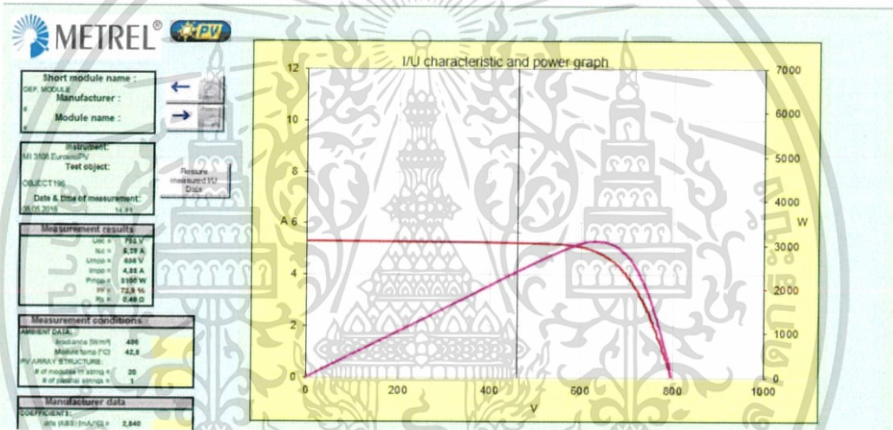


รูปที่ 4.32 ทิศใต้ Inverter 25 String 1

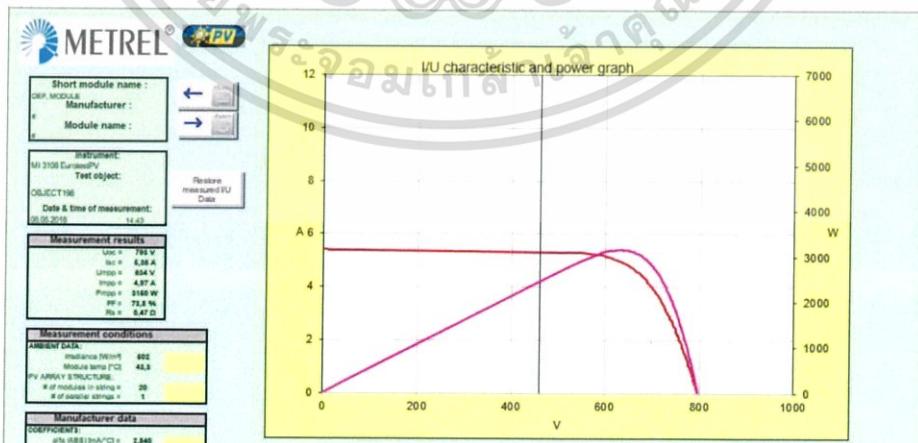
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 ทิศใต้ Inverter 26 String 4



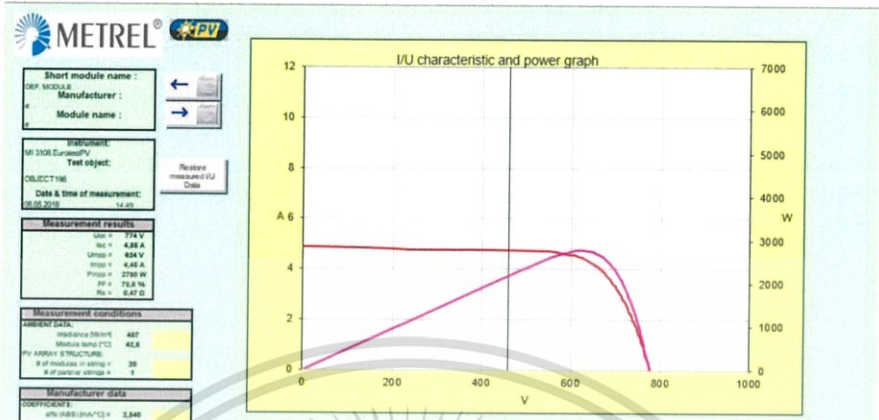
รูปที่ 4.34 ทิศใต้ Inverter 27 String 1



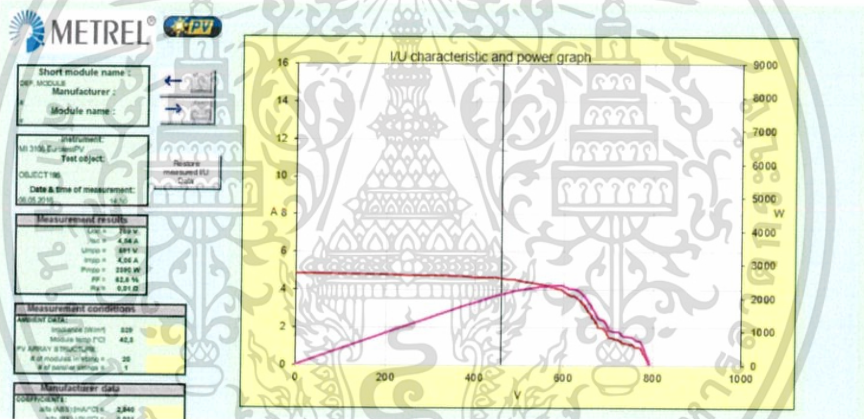
รูปที่ 4.35 ทิศใต้ Inverter 27 String 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

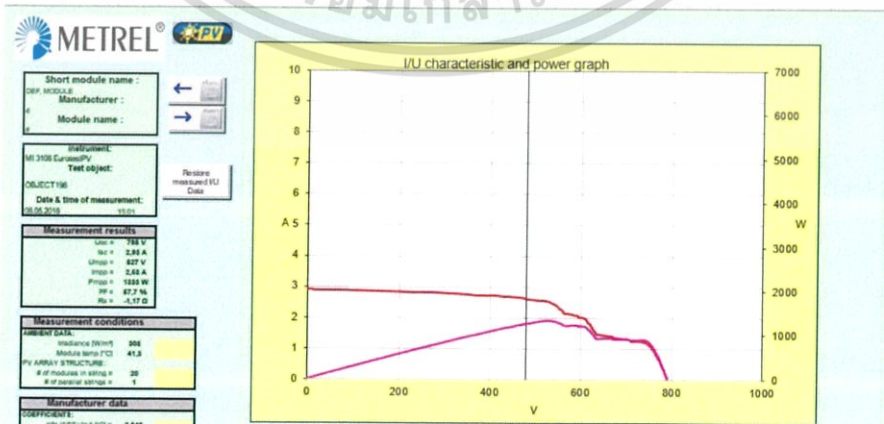
ทิศตะวันออก



รูปที่ 4.36 ทิศตะวันออก Inverter 28 String 1



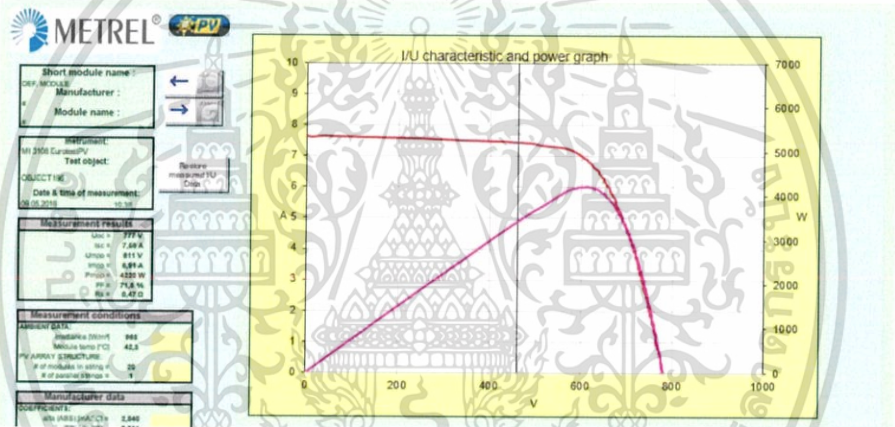
รูปที่ 4.37 ทิศตะวันออก Inverter 28 String 3



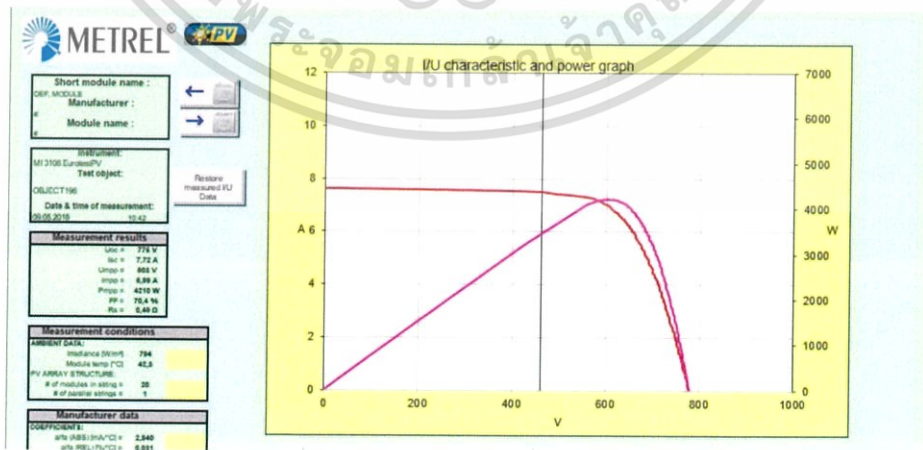
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.38 ทิศตะวันออก Inverter 30 String 1 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 ทิศตะวันออก Inverter 31 String 2

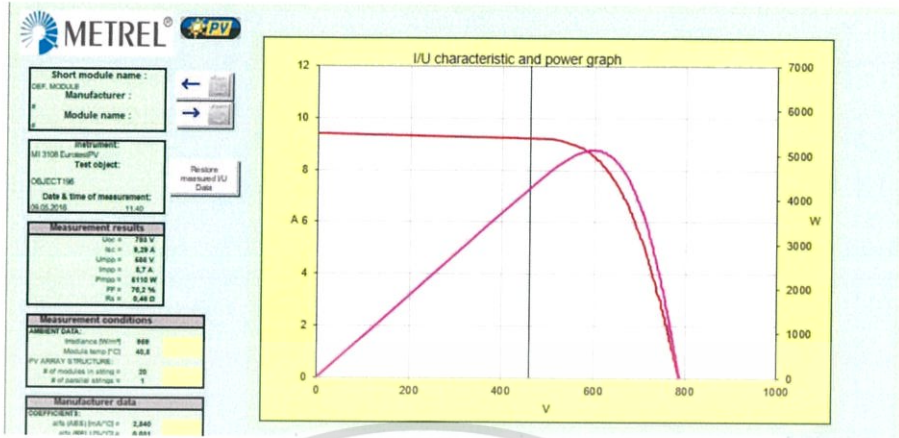


รูปที่ 4.40 ทิศตะวันออก Inverter 33 String 1

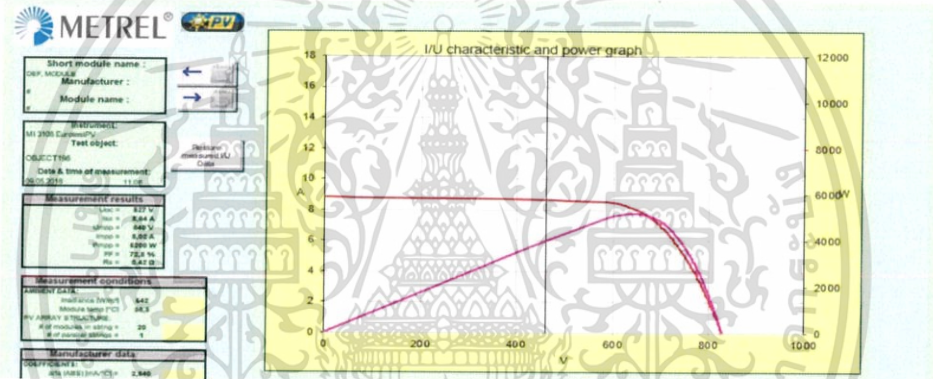


รูปที่ 4.41 ทิศตะวันออก Inverter 34 String 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 ทิศตะวันออก Inverter 35 String 2

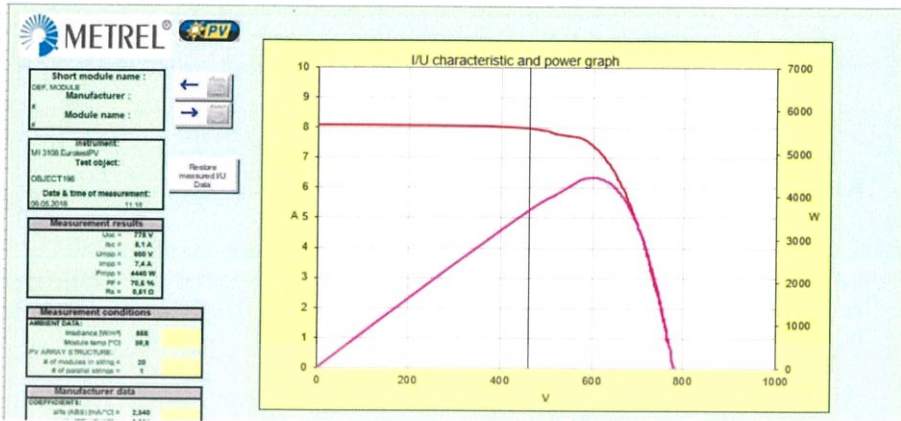


รูปที่ 4.43 ทิศตะวันออก Inverter 36 String 2

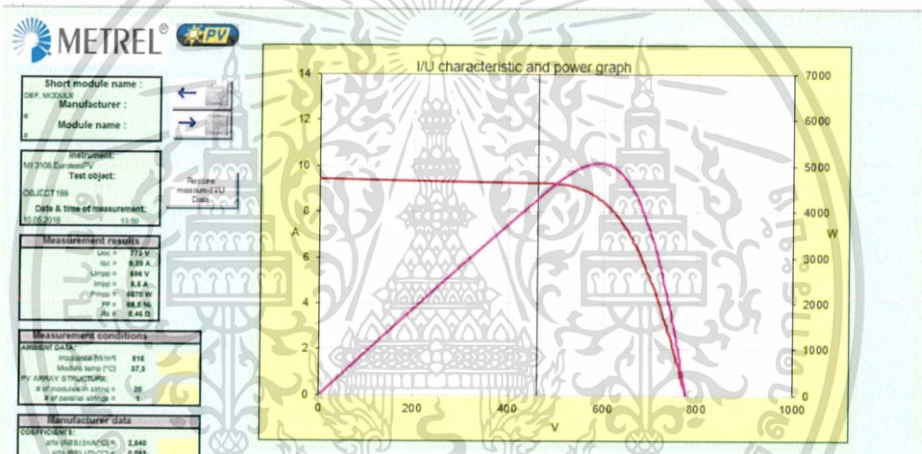


รูปที่ 4.44 ทิศตะวันออก Inverter 37 String 1

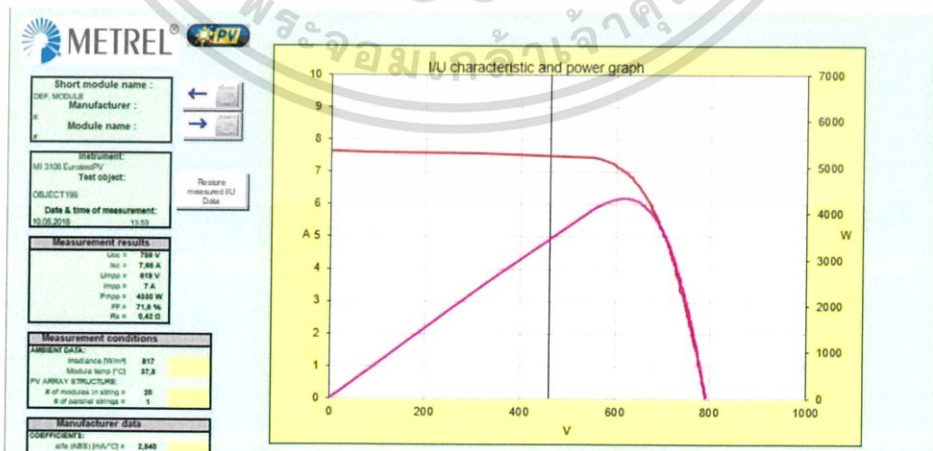
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 ทิศตะวันออก Inverter 38 String 2



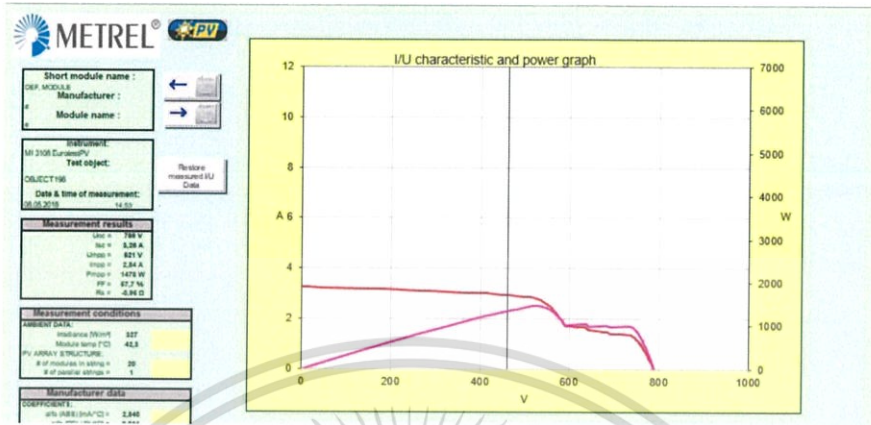
รูปที่ 4.46 ทิศตะวันออก Inverter 39 String 3



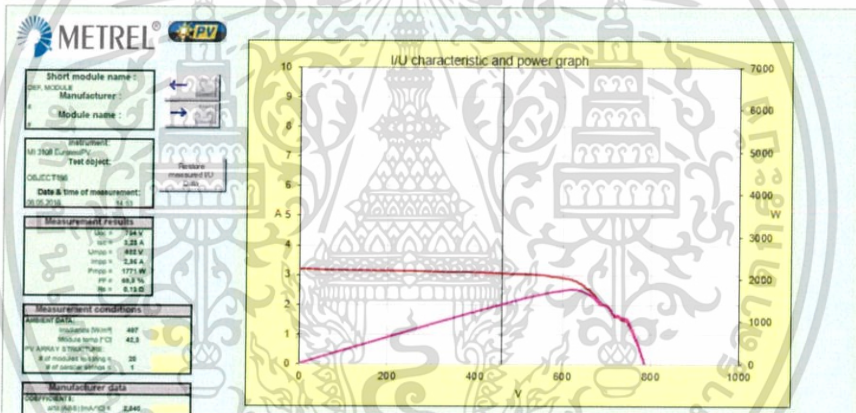
รูปที่ 4.47 ทิศตะวันออก Inverter 40 String 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศตะวันตก



รูปที่ 4.48 ทิศตะวันตก Inverter 28 String 4

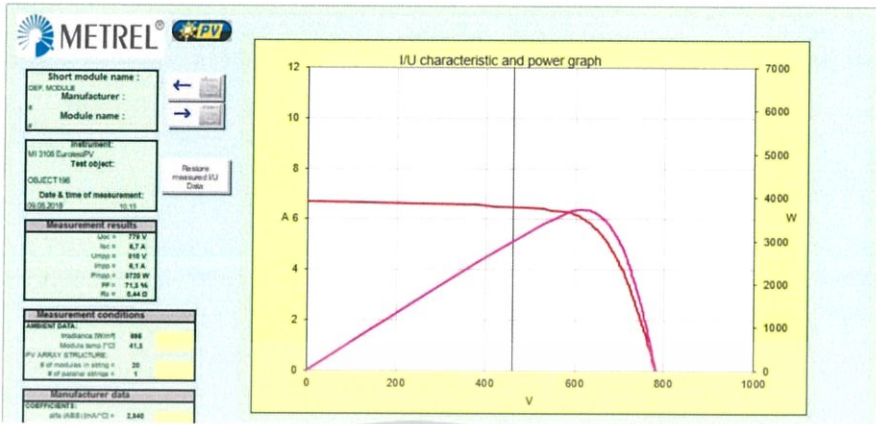


รูปที่ 4.49 ทิศตะวันตก Inverter 28 String 5

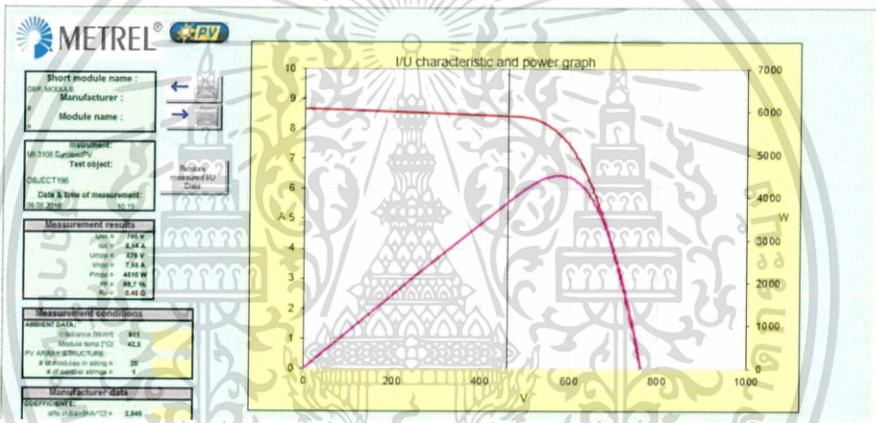


รูปที่ 4.50 ทิศตะวันตก Inverter 29 String 1

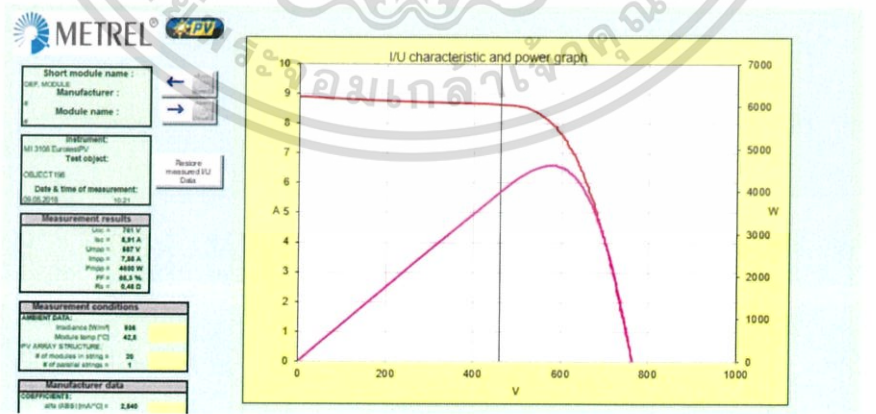
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.51 ทิศตะวันตก Inverter 30 String 3

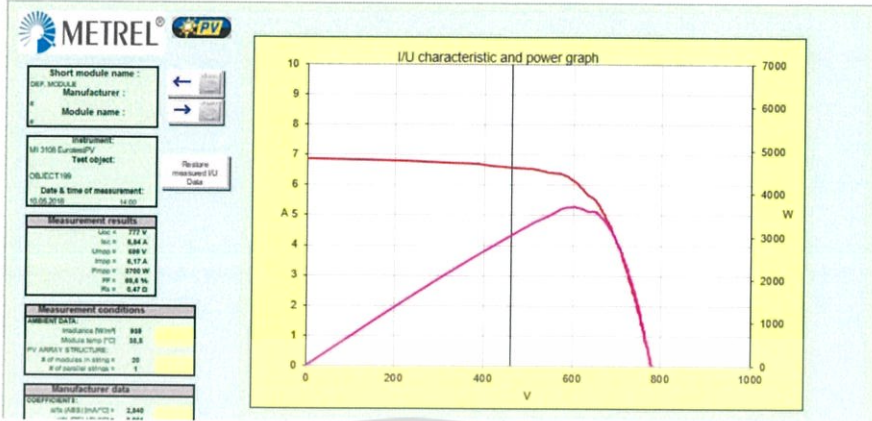


รูปที่ 4.52 ทิศตะวันตก Inverter 31 String 3

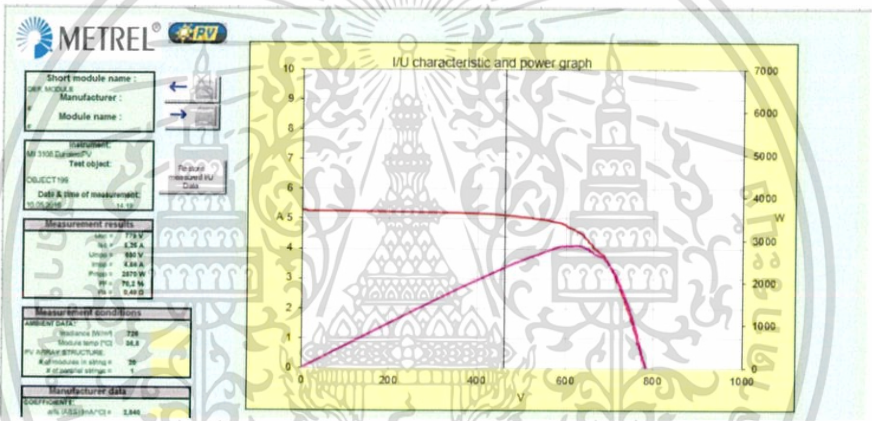


รูปที่ 4.53 ทิศตะวันตก Inverter 32 String 4

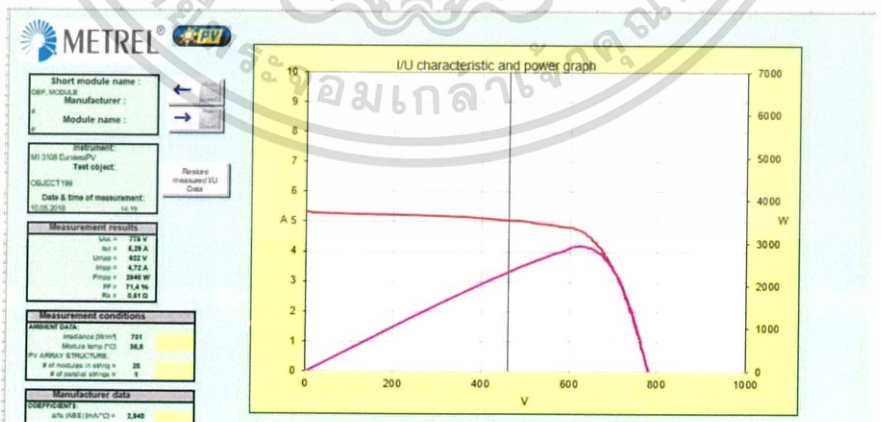
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.54 ทิศตะวันตก Inverter 42 String 1

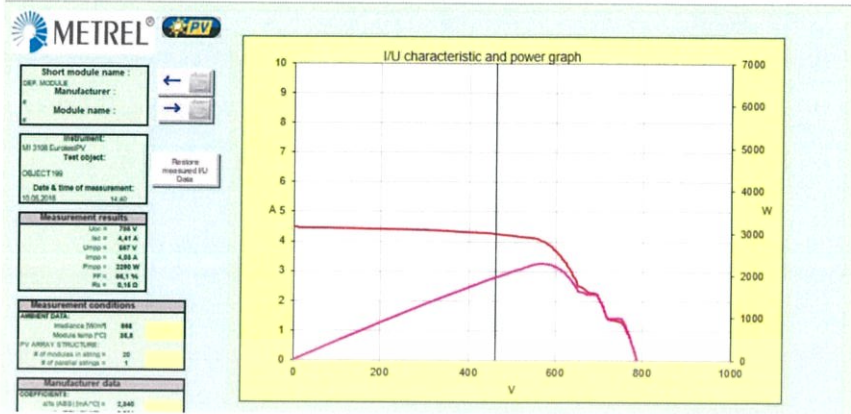


รูปที่ 4.55 ทิศตะวันตก Inverter 43 String 4

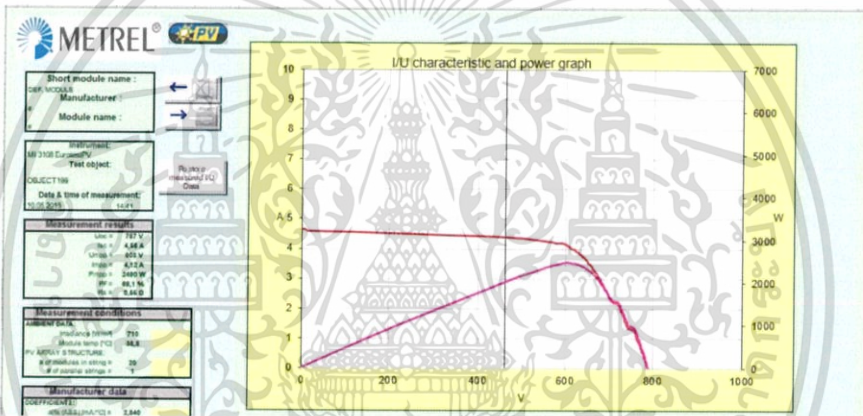


รูปที่ 4.56 ทิศตะวันตก Inverter 44 String 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.57 ทิศตะวันตก Inverter 45 String 4

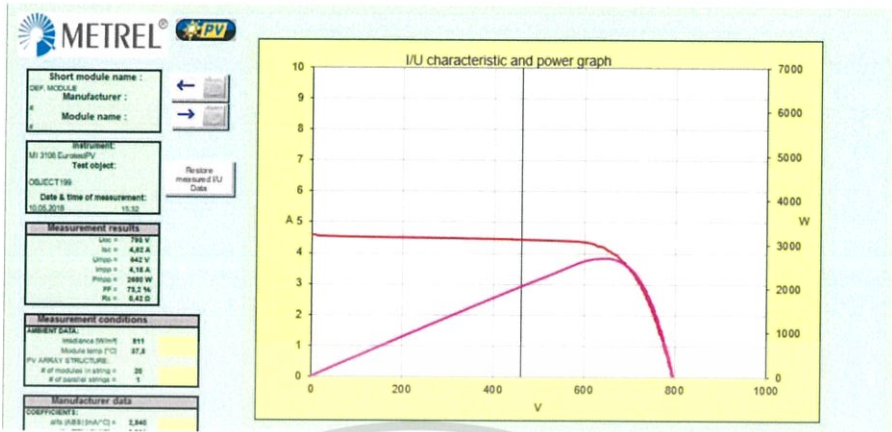


รูปที่ 4.58 ทิศตะวันตก Inverter 46 String 1



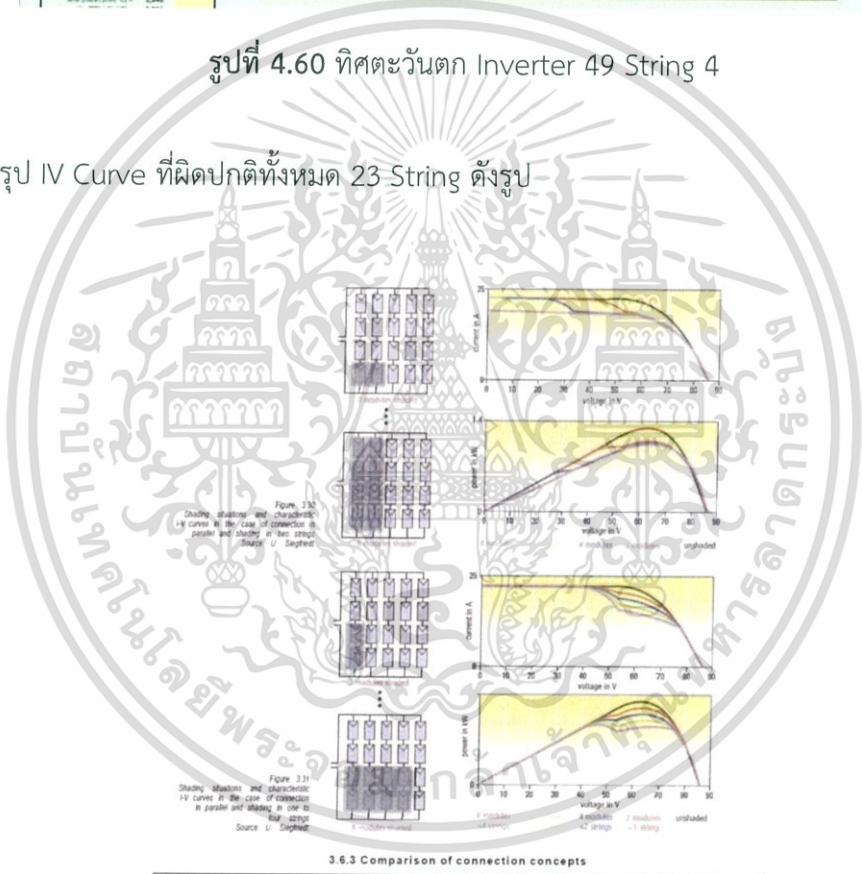
รูปที่ 4.59 ทิศตะวันตก Inverter 47 String 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.60 ทิศตะวันตก Inverter 49 String 4

สรุป IV Curve ที่ผิดปกติทั้งหมด 23 String ดังรูป



รูปที่ 4.61 กราฟตก เพราะโดนเงา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.62 โซนสีแดงที่โดนเงา

4.2 การทดสอบโดยใช้ Thermoscan

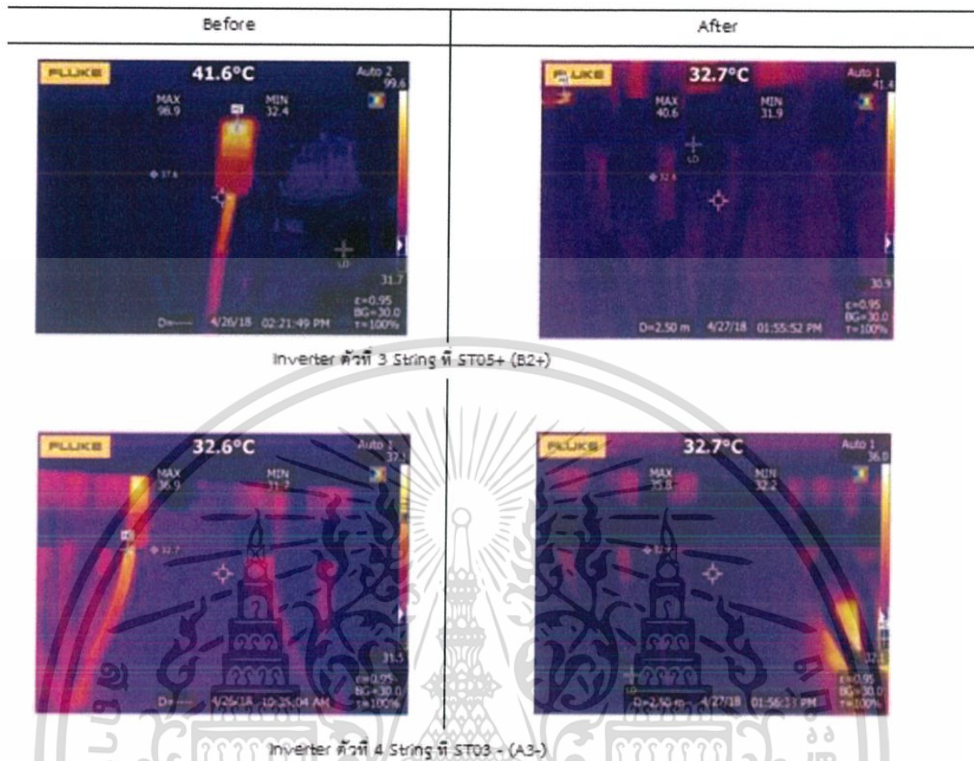
ได้ทำการตรวจเช็คหัว MC4 แต่ละ Inverter พบตัวที่มีปัญหา จึงได้ทำการตัดต่อหัว MC4 ใหม่ทั้งหมด 12 หัว ดังรายงาน

ตารางที่ 4.1 รายงานการตรวจเช็คสาย

รายงานการตรวจเช็คความร้อนสาย String บริเวณ DC Combiner Box	
ตำแหน่งที่พบ	ตรวจเช็คความร้อนโดย Thermal Imaging Camera บริเวณ DC Combiner Box พบปัญหาความร้อนที่หัว MC4 จาก Strings ดังต่อไปนี้
	- Inverter ตัวที่ 3 String ที่ ST05+ (B2+)
	- Inverter ตัวที่ 4 String ที่ ST03- (A3-)
	- Inverter ตัวที่ 5 String ที่ ST04+ (B1+)
	- Inverter ตัวที่ 8 String ที่ ST02+ (A2+)
	- Inverter ตัวที่ 14 String ที่ ST03+ (A3+)
	- Inverter ตัวที่ 18 String ที่ ST03- (A3-)
	- Inverter ตัวที่ 19 String ที่ ST02- (A2-), ST03- (A3-), ST05+ (B2+)
	- Inverter ตัวที่ 22 String ที่ ST02+ (A2+)
	- Inverter ตัวที่ 28 String ที่ ST03+ (A3+)
	- Inverter ตัวที่ 30 String ที่ ST02- (A2-)
หมายเหตุ รวมหัว MC4 ที่มีปัญหาทั้งหมด จำนวน 12 หัว	
ปัญหา	เกิดจากการย้ายสาย MC4 ไม่แน่น
แนวทางการแก้ปัญหา	- ทำการตัดต่อและเปลี่ยนหัว MC4 ตัวที่มีปัญหาใหม่ทั้งหมด (เปลี่ยนหัวตัวผู้และตัวเมียของสายหัวบวกรวมที่มีปัญหา) - ทำการตัดต่อและเปลี่ยนหัว MC4 ตัวที่มีปัญหาเฉพาะหัวตัวเมีย (สายหัวบวกรวมที่มีปัญหา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนหัว MC4



4.3 การทดสอบโดยใช้เครื่อง Solar Module Tester

4.3.1) จากการตรวจเช็คแผงที่มี Hot spot

ตารางที่ 4.3 ค่าที่วัดได้ของแผงที่เกิด Hot spot

Isc(A):	7.8275
Voc(V):	45.7828
Pmp(W):	177.6070
Imp(A):	5.5375
Vmp(V):	32.0735

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

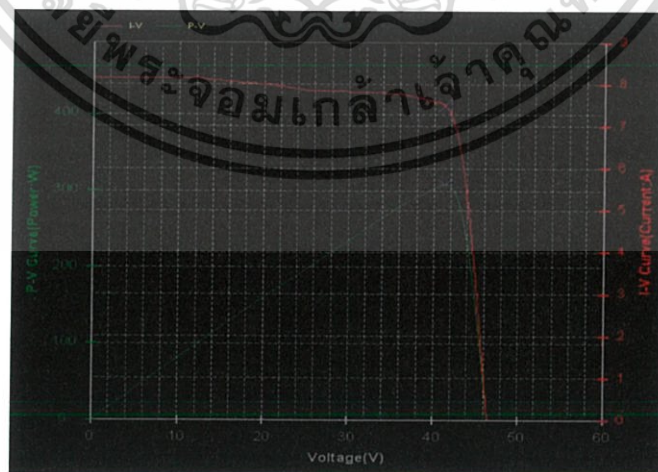


รูปที่ 4.63 กราฟแผงที่เกิด Hot spot

4.3.2) จากการตรวจเช็คแผงที่ปกติ

ตารางที่ 4.4 ค่าที่วัดได้ของแผงปกติ

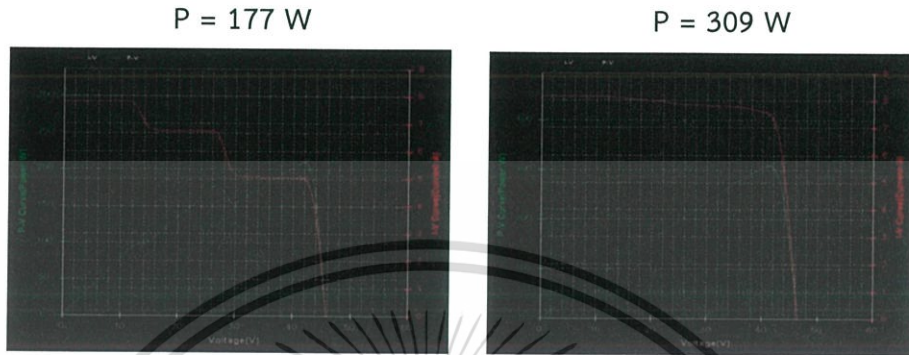
Isc(A):	8.1539
Voc(V):	46.4565
Pmp(W):	309.0762
Imp(A):	7.4935
Vmp(V):	41.2459



รูปที่ 4.64 กราฟแผงปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3) กราฟเปรียบเทียบจากการตรวจเช็คแผงที่มี Hot spot และแผงปกติด้วยเครื่อง Solar module tester



รูปที่ 4.65 กราฟเปรียบเทียบแผง Hot spot กับแผงปกติ

4.4 ทำการเปลี่ยนแผงที่เกิด Hot spot

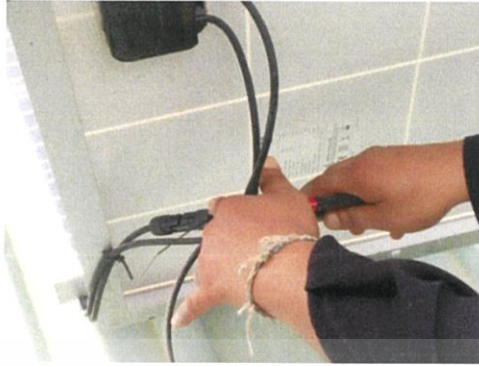


รูปที่ 4.66 ทำการไขน็อตจับยึดแผง

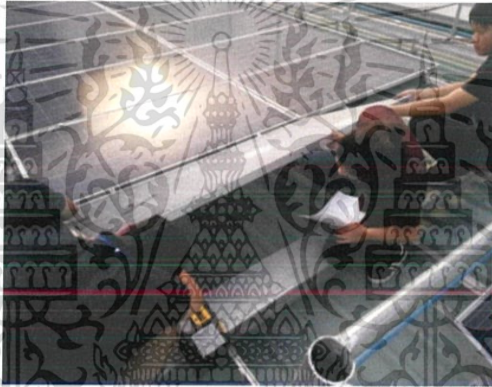


รูปที่ 4.67 ทำการถอดหัว MC4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.68 ทำการตัด Cable tie



รูปที่ 4.69 ทำการยกแผงออก



รูปที่ 4.70 เมื่อนำแผงใหม่ใส่เข้าที่เดิมก็ขันน็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ทำการล้างแผง



รูปที่ 4.71 ล้างแผง



รูปที่ 4.72 ไล่น้ำออกจากหน้าแผง

4.6 PR ของระบบ

ตารางที่ 4.5 PR ของระบบ

Date	IRR (kWh/m ²)	AC Output (kWh)	PR (%)
12/5/2018	5.90	10,101.38	85.78
13/5/2018	6.11	10,418.82	85.43
14/5/2018	6.18	10,410.75	84.40
15/5/2018	4.82	8,408.83	87.40
16/5/2018	6.16	10,370.05	84.34
17/5/2018	5.96	10,279.42	86.41
18/5/2018	5.79	10,067.97	87.12
Average	5.85	10,008.17	85.84

จะเห็นว่าค่า PR ได้เท่ากับ 85.84%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สื่อนี้เนื่องจากได้ทำการตรวจเช็ค และแก้ไขข้อบกพร่องในระบบ Solar Rooftop ด้านการคำนวณค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการแก้ปัญหา

จากการทำสหกิจศึกษาในหัวข้อเรื่อง การแก้ปัญหาระบบและวิเคราะห์ค่าพลังงานโซลาร์ฟาร์มที่ออกแบบขนาด 2 MWp ที่เลิกเซกรุป เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดนั้น ได้ดำเนินการโดยการเริ่มตรวจเช็คจากระบบ Monitoring พบว่ามีค่า PR อยู่ที่ 75.73% ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน โดยปกติค่า PR จะอยู่ที่ 80% ขึ้นไป จึงทำการเช็ค Inverter ในระดับ MPPT จากนั้นทำการวัด IV Curve ด้วยเครื่อง Eurotest PV เพื่อเช็ค Inverter ในระดับ String แล้วทำการเช็คจุดเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ด้วยเครื่อง Thermoscan และทำการทดสอบแผงด้วยเครื่อง Solar Module Tester เมื่อทำการตรวจเช็คและแก้ไขพบว่าค่า PR อยู่ที่ 85.84% เพิ่มขึ้นจากเดิม 10.12 % ดังตาราง

ตารางที่ 5.1 สรุปค่า PR ของระบบ

Detail	ค่า PR	PR ที่เพิ่มขึ้น
ก่อนการวิเคราะห์	75.72 %	
- เปลี่ยน Inverter		
- Set MPPT	81.60 %	5.88 %
- เปลี่ยน VSN700		
- วิเคราะห์ IV		
- ตรวจสอบความร้อน		
- PV Module	85.84 %	4.24 %
- เปลี่ยนแผง		
- ล้างแผง		
Total		10.12 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายแผนงานพัฒนาโรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.ไม่ระบุปีที่บันทึก.เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์.[Online] Available :
<http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>
- [2] Admin.2013.ประวัติโซลาร์เซลล์และหลักการทำงาน.[Online] Available :
<http://www.inventor.in.th>
- [3] Admin.2017.พลังงานแสงอาทิตย์กับการนำมาใช้ประโยชน์.[Online] Available :
<http://solarcellthailand96.com/energy/solar-energy>
- [4] Admin.ไม่ระบุปีที่บันทึก.โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.[Online] Available :
<https://powerplant2.wordpress.com>
- [5] Pongpiphat Tachapan.2016.พลังงานแสงอาทิตย์.[Online] Available :
<https://medium.com/@Horizoniiz>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ทดสอบ (Data Sheet)

The TALLMAX FRAMED 72-CELL MODULE

72 CELL
MULTICRYSTALLINE MODULE

320-335W
POWER OUTPUT RANGE

17.3%
MAXIMUM EFFICIENCY

0~+5Wp
POSITIVE POWER TOLERANCE

Ident for large scale installations
Highly powerful, compact, reliable, easy to install, sleek and cool, weather, noise resistant

One of the industry's most trusted modules
• Field-proven performance
• Strong, reliable support

Highly reliable, due to stringent quality control
• 2000+ hours of EL, PID, HT, and more tests
• In-depth testing goes well beyond standard requirements
• PID resistant
• 100% EL double-inspection

Certified to withstand the most challenging environmental conditions
• 2000 Pa wind load
• 5400 Pa snow load
• 24 hrs hail impact at 47 km/h

Comprehensive Products And System Certificates
ISO 9001:2015 Quality Management System
ISO 14001:2015 Environmental Management System
ISO 45001:2018 Occupational Health and Safety Management System
DNV GL Solar PV Module Performance

Linear Performance Warranty
12 Year Product Warranty - 30 Year Linear Power Warranty

Year	Total Power (Wp)	Linear Power (Wp)
0	335	335
1	335	335
2	335	335
3	335	335
4	335	335
5	335	335
6	335	335
7	335	335
8	335	335
9	335	335
10	335	335
11	335	335
12	335	335
13	335	335
14	335	335
15	335	335
16	335	335
17	335	335
18	335	335
19	335	335
20	335	335
21	335	335
22	335	335
23	335	335
24	335	335
25	335	335
26	335	335
27	335	335
28	335	335
29	335	335
30	335	335

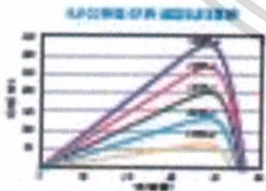
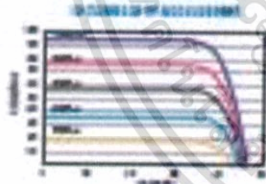
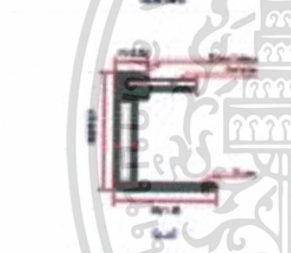
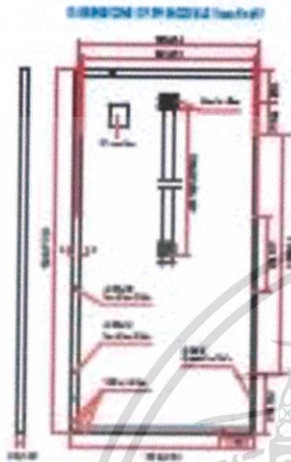
Tinasolar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TALLMAX

FRAMED 72-CELL MODULE

PRODUCT TYPE | FRAME COLOR



SIZE OF THE DATA SET

Module Width (mm)	220	320	380	420
Module Height (mm)	320	320	320	320
Module Frame Thickness (mm)	100	100	100	100
Open Circuit Voltage (V)	48.0	48.0	48.0	48.0
Short Circuit Current (A)	1.20	1.20	1.20	1.20
Module Efficiency (%)	18.0	18.0	18.0	18.0

SIZE OF THE DATA SET

Module Width (mm)	220	320	380	420
Module Height (mm)	320	320	320	320
Module Frame Thickness (mm)	100	100	100	100
Open Circuit Voltage (V)	48.0	48.0	48.0	48.0
Short Circuit Current (A)	1.20	1.20	1.20	1.20

SIZE OF THE DATA SET

Temperature	25°C	30°C	35°C	40°C
Humidity	50%	50%	50%	50%
Light Intensity	1000 W/m²	1000 W/m²	1000 W/m²	1000 W/m²
Module Efficiency (%)	18.0	18.0	18.0	18.0
Open Circuit Voltage (V)	48.0	48.0	48.0	48.0
Short Circuit Current (A)	1.20	1.20	1.20	1.20

SIZE OF THE DATA SET

Temperature	25°C	30°C	35°C	40°C
Humidity	50%	50%	50%	50%
Light Intensity	1000 W/m²	1000 W/m²	1000 W/m²	1000 W/m²
Module Efficiency (%)	18.0	18.0	18.0	18.0
Open Circuit Voltage (V)	48.0	48.0	48.0	48.0
Short Circuit Current (A)	1.20	1.20	1.20	1.20

SIZE OF THE DATA SET

Temperature	25°C	30°C	35°C	40°C
Humidity	50%	50%	50%	50%
Light Intensity	1000 W/m²	1000 W/m²	1000 W/m²	1000 W/m²
Module Efficiency (%)	18.0	18.0	18.0	18.0
Open Circuit Voltage (V)	48.0	48.0	48.0	48.0
Short Circuit Current (A)	1.20	1.20	1.20	1.20



CAUTION: READ CAREFULLY THE TECHNICAL DATA SHEET BEFORE USING THE PRODUCT.
 © 2023 Tinasolar. All rights reserved. Specifications are subject to change without notice.
 Revision: TALLMAX_01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLUKE.

Ti400, Ti300 and Ti200 Advanced Performance Infrared Cameras

Technical Data

A new generation of tools with next generation performance.

This trio of new Fluke infrared cameras is equipped with LaserSharp™ Auto Focus. Yes, there are other auto focus systems on the market but Fluke took it one step further so you get in-focus images. Every. Single. Time. Every infrared camera user knows that focus is the single most important thing to ensure when conducting an infrared inspection. Without an in-focus image temperature measurements may not be accurate and it's much easier to miss a problem. LaserSharp auto focus tells you exactly where you are focusing. It uses a laser to calculate the distance to your target before it focuses. Place the red laser dot on the object you are inspecting, then pull and release the trigger for a perfect in-focus image.

- Capture up to five additional measurements with CMV Wireless System for each complete analysis and reporting*
- Detect and communicate issues faster with patented Fluke Bi-Fusion™ technology with AutoFused™ scale
- Faster communication with wireless image transfer directly to your PC, Apple® iPhone® or iPad®
- One-handed, zero-to-clip user interface
- Ruggedized high resolution 640x480 capacitive touch screen for quick menu navigation
- Capture additional digital images to show location or additional site details with Bi-PhotoView™ Annotation System
- Standard and red-eye-free video recording†
- Streaming video (USB and Wi-Fi)
- Text and voice recording and annotation, plus additional details saved with the image
- Optional interchangeable lenses for greater flexibility in additional applications
- High-temperature measurement (up to 1300 °C on the Ti400)
- Included SmartView™ and SmartView Mobile App Analysis and Reporting Software

* Using our patented quick connect device for wireless transfer of an image



Announcing the new SmartView™ Mobile App

Bring your office to your inspection site with the SmartView Mobile App. Create an inspection report on site and communicate directly to your client or manager via your Apple iPhone® or iPad®.

Optimize: Adjust the image to present problems in the field in less time.

Analyze: Use markers and other tools to quantify the severity of problems.

Communicate: Share inspection results by sending images or reports to:

- Email your site or gain approval for work done before you even leave the job site
- If needed, get assistance analyzing the problem

Fluke SmartView Mobile will increase the return on your infrared camera investment.

It's not just about working faster – it's about working smarter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REOO**NANTONG REOO TECHNOLOGY CO.,LTD.**

Chennan Industrial Park, Rudong, Juegang, Rudong, Jiangsu, China

Tel: +86 513 8410 5366

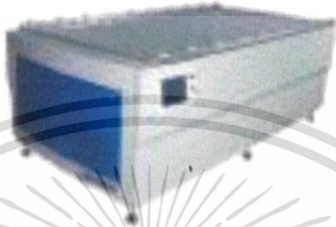

Fax: +86 513 8410 5565

Email: reoo@163.com

mike@reoo.net

www.reoo.net

Video show: http://v.youku.com/v_show/id_XMzI1NjA3NTQ.html http://v.youku.com/v_show/id_XMzI1NjU0eQ.html

Equipment name	Solar module tester	Model	QTM - B
			
Measure	2500mm * 1360mm * 980mm	Price	USD11300.00/unit
The main technical indicators			
<p>Applied for measurement solar panel with sun simulator Lamp Spectrum: In line with IEC60904-9 spectral irradiance distribution requirements(AM1.5); Light intensity: 100mW/cm² (continuous adjustable range 30-120mW/cm²); Light intensity non-uniformity: ±2%; Grade A Light intensity instability degree: <math>\leq 0.5\%</math>; Grade A Test result constancy: ±1%; Grade B Test error of electrical properties: <math>\leq 1\%</math>; Grade B Single flash time: 10ms; Effective Test range: 2000x1000mm, 5-300W; Measuring voltage: 0-100V (resolution 1mV); Measuring current: 0-20A (resolution 1mA); Test Parameters: Isc, Voc, Pmax, Vm, Im, FF, EFF, Temp, Ri, Ra, R7 - Power Supply: 220V±10% 5A; Incidence automatically compensating; Temperature automatically compensating; measurement parameter displays in tabulation and graphic way; Voice counts off and prompts; Counting prompt of flash times; Gross weight: 350kg; Guarantee and after-sale service One year guarantee for whole machine except of consumable; 24 hours technical support by E-mail, Skype or QQ; Calling or door-to-door service User-friendly English software, user manual and detailed Video/CD.</p>			
<p>Note: 1, Payment: T/T 50% deposit and balance before shipment by L/C or T/T. 2, The price include the exported standard packages 3, The price do not include the cost of installation, buyer will pay for our engineer's return tickets, accommodation when our engineer go to install, train for machine in buyer's place</p>			
 Expert for setting up solar panel factory in all of world.			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้