

การศึกษาค่าประสิทธิภาพสำหรับโซลาร์อินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมกับประเทศไทย

STUDY ON THAILAND EFFICIENCY FOR SOLAR INVERTER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาค่าประสิทธิภาพสำหรับโซล่าอินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมกับประเทศไทย
STUDY ON THAILAND EFFICIENCY FOR SOLAR INVERTER



T144387

โดย

กิตติ

คำจิต

วงศธร

จันทร์วงทรัพย์

ศุภวีร์

วงศ์ประสิทธิ์

ศุภกร

จักรแก้ว

สาขา.....
ลงทะเบียน 144387
รับเดือนนี้ 24 พ.ย. 2559

b. ๒๕๕๙๒๒๙
f.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON THAILAND EFFICIENCY FOR SOLAR INVERTER



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

2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2558

การศึกษาค่าประสิทธิภาพสำหรับโซล่าอินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมกับประเทศไทย

STUDY ON THAILAND EFFICIENCY FOR SOLAR INVERTER



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สมภพ ผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาค่าประสิทธิภาพสำหรับโซลาร์อินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมกับประเทศไทย

ผู้จัดทำ

1. นาย กิตติ คำจิต
2. นาย วงศธร จันทรวงศ์ทรัพย์
3. นาย ศุภทวีร์ วงษ์ประสิทธิ์
4. นาย ศุภกร จักรแก้ว



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สมภพ ผลไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON THAILAND EFFICIENCY FOR SOLAR INVERTER



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

2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาค่าประสิทธิภาพสำหรับโซลาร์อินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมกับประเทศไทย

นายกิตติ คำจิต

นายวงศธร จันทร์วงษ์ทรัพย์

นายศุภวิวีร์ วงษ์ประสิทธิ์

นายศุภกร จักรแก้ว

ดร. สมภพ ผลไม้

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

โซลาร์อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงกระแสไฟฟ้าจาก DC เป็น AC อินเวอร์เตอร์จะมีมาตรฐานที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละเครื่อง ซึ่งในปัจจุบันถูกกำหนดโดย CEC efficiency และ Euro efficiency โดยมาตรฐานดังกล่าวทั้ง 2 แบบนั้น หากเรานำอินเวอร์เตอร์ตัวหนึ่งไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานโดยใช้มาตรฐานทั้ง 2 แบบ จะพบว่าได้ค่าประสิทธิภาพที่ไม่เท่ากัน โดย CEC efficiency นั้นถูกกำหนดขึ้นที่รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วน Euro efficiency นั้นถูกกำหนดขึ้นที่ประเทศเยอรมนี เมื่อสังเกตจะพบว่าพื้นที่ตั้งของประเทศที่คิดค้นมาตรฐานทั้ง 2 แบบนั้นมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงทั้งสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ ปริมาณน้ำฝน สภาพแสง ดังนั้นหากนำมาใช้กับประเทศไทย อาจส่งผลให้ได้ค่าประสิทธิภาพจริงไม่ตรงตามค่าที่วัดได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างตัววัดประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับประเทศไทยขึ้นมา เพื่อเป็นตัวกำหนดมาตรฐานขึ้นตรงกับสถานที่ตั้งของประเทศไทย

Study on Thailand efficiency for solar inverter

Kitti Khamjeed

Wongsathorn Chanwongsap

Suttawee Wongprasit

Suppakorn Jakkaew

Dr. Sompob Polmai Supervisor

2015

Abstract

Solar inverter is the instrument that used for convert current from DC to AC. Inverter have a standard used for determine an efficiency on work in each instrument. Now, the standard was defined by CEC efficiency and Euro efficiency. If we have a one of inverter and bring it to test with both efficiency. We'll get a different value of efficiency from the same inverter. CEC efficiency was founded in California, USA and Euro efficiency was founded in Germany. From the countries was founded the both efficiency, they have a different in terrain, climate, the value of rain and irradiation. So if we have used both efficiency to determine we'll get a value of efficiency doesn't match with on work. That's the reason why we must found the Thailand efficiency for use only in Thailand to be a standard of determination inverter efficiency that will be used in Thailand.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ในนามของผู้จัดทำนั้น ขอกราบขอบพระคุณบุคคล
หลายๆ ท่านดังต่อไปนี้

- ขอขอบพระคุณ ดร.สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษา รวมทั้งแนะนำ
โครงการ ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำ แนะนำการสืบค้นข้อมูล การติดต่อขอข้อมูล ตลอดจนประสิทธิ
ประสาทความรู้
- ขอขอบพระคุณกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ความ
อนุเคราะห์ข้อมูลความเข้มของแสงแดดในประเทศไทย
- ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ร่วมห้องปฏิบัติการ PEARL ที่คอยช่วยเหลือและในคำแนะนำตลอด
การทำงาน
- ขอขอบพระคุณ คุณปณยวีร์ คุณนครศักดิ์ ที่คอยให้คำปรึกษาในการจัดทำเล่มปริญญานิพนธ์
- ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยส่งเสริมและ
สนับสนุนในการดำเนินวิจัยจนเกิดเป็นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ความรู้เกี่ยวกับรังสีจากดวงอาทิตย์.....	4
2.2 ปริมาณรังสีอาทิตย์ในไทย.....	7
2.3 สมบัติทางไฟฟ้าของระบบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์.....	12
2.4 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์.....	14
2.5 การปรับค่าความโค้ง (curve fitting).....	17
2.6 การพิจารณาค่าที่เหมาะสมในการปรับเส้นโค้ง (Evaluating Goodness of Fit).....	18
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	20
3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์หา solar irradiation.....	21
3.2 ขั้นตอนการแปลง solar irradiation เป็น energy yield.....	21
3.3 ขั้นการแปลง energy yield เป็นสมการทางคณิตศาสตร์โดยเขียนอยู่ในรูป sum of sines.....	22
3.4 ขั้นการวิเคราะห์สมการ energy yield เพื่อหาสมการประสิทธิภาพ.....	22
3.5 ขั้นการเปรียบเทียบสมการประสิทธิภาพกับมาตรฐาน CEC efficiency และ Euro efficiency.....	23

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	24
4.1 ผลการวิเคราะห์ solar irradiation.....	24
4.2 ผลการแปลง solar irradiation เป็น energy yield.....	26
4.3 ผลการแปลง energy yield เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ โดยเขียนอยู่ในรูป sum of sines.....	29
4.4 ผลการวิเคราะห์สมการ energy yield เพื่อหาสมการประสิทธิภาพ.....	30
4.5 ผลการเปรียบเทียบสมการประสิทธิภาพกับมาตรฐาน CEC efficiency และ Euro efficiency.....	31
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน.....	36
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	36
5.2 อุปสรรค.....	37
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	37
บรรณานุกรม.....	37
ภาคผนวก ก กราฟประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดสอบสมการประสิทธิภาพ.....	39
บทความทางวิชาการ.....	53
ประวัติผู้เขียน.....	57

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภูมิศาสตร์โลก.....	4
2.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย.....	7
2.3 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 2557.....	8
2.4 กราฟกระแสกับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve).....	12
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.6 แผนที่ทวีปยุโรป.....	15
2.7 ความถี่และพลังงานที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ตลอดหนึ่งในปีในประเทศเยอรมัน.....	15
2.8 ที่ตั้งทวีปอเมริกาเหนือ.....	16
4.1 แสดง Solar irradiation ของภาคกลาง.....	24
4.2 แสดง Solar irradiation ของภาคเหนือ.....	24
4.3 แสดง Solar irradiation ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	25
4.4 แสดง Solar irradiation ของภาคตะวันออก.....	25
4.5 แสดง Solar irradiation ของภาคตะวันตก.....	25
4.6 แสดง Solar irradiation ของภาคใต้.....	26
4.7 แสดง Solar irradiation ของประเทศไทย.....	26
4.8 แสดง Energy yield ของภาคกลาง.....	26
4.9 แสดง Energy yield ของภาคเหนือ.....	27
4.10 แสดง Energy yield ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	27
4.11 แสดง Energy yield ของภาคตะวันออก.....	27
4.12 แสดง Energy yield ของภาคตะวันตก.....	28
4.13 แสดง Energy yield ของภาคใต้.....	28
4.14 แสดง Energy yield ของประเทศไทย.....	28
4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 3 – 5 kW.....	31
4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 5 – 10 kW.....	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 20 – 30 kW.....	33
4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 500 kW.....	34
ก.1 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น Connext 3000ES.....	40
ก.2 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น Replus-4000TL.....	40
รูปที่ ก.3 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น IG plus 50 v-1.....	41
รูปที่ ก.4 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น StecaGrid 4200.....	41
รูปที่ ก.5 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น TRB 5000TL.....	42
รูปที่ ก.6 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น TL5000-10.....	42
รูปที่ ก.7 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น JSI-5000TL.....	43
รูปที่ ก.8 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น PVI-5000TL.....	43
รูปที่ ก.9 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น Sunny boy 5000TL.....	44
รูปที่ ก.10 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น 5000MTL-10.....	44
รูปที่ ก.11 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น RPI-M6A.....	45
รูปที่ ก.12 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น RPI-M8A.....	45
รูปที่ ก.13 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น PVI-10.0TL.....	46
รูปที่ ก.14 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น PIKO-20.....	47
รูปที่ ก.15 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น Powador 20TL-3.....	47
รูปที่ ก.16 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น 20000UE.....	48
รูปที่ ก.17 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น RPI M30.....	48
รูปที่ ก.18 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น TRIO-20.0TL-OUTD.....	49
รูปที่ ก.19 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น SUN2000 23KTL.....	49
รูปที่ ก.20 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น SunnyTriPower25000TL.....	50
รูปที่ ก.21 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น DSP-3330K.....	50
รูปที่ ก.22 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น CP 500TL.....	51
รูปที่ ก.23 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น CPS SCA500KTL-H.....	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ ก.24 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น PVS800-57-0500kW-A.....	52
รูปที่ ก.25 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น NP201i.....	52



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน.....	3
2.1 แสดงความเข้มแสงและศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์ปี 2556.....	9
3.1 แสดงสถานที่ตั้งของสถานีตรวจวัดความเข้มแสง.....	20
3.2 แสดงขนาดและรุ่นของ solar inverter ที่ใช้ในการทดสอบสมการประสิทธิภาพ.....	23
4.1 แสดงการเปรียบเทียบ coefficient ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของแต่ละภาค.....	30
4.2 แสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 3 – 5 kW.....	31
4.3 แสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 5 – 10 kW.....	32
4.4 แสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 20 – 30 kW.....	33
4.5 แสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 500 kW.....	34

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้า เป็นพลังงานชนิดหนึ่งซึ่งถือว่ามีสำคัญกับโลกในยุคปัจจุบันเป็นอย่างยิ่ง เพราะเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาโลกในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นในด้านเศรษฐกิจ สังคม เทคโนโลยี การเรียนรู้ และอื่นๆ ในปัจจุบันส่วนที่สำคัญที่สุดในการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น คือการหาแหล่งเชื้อเพลิงต่างๆ เพื่อมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็น น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน นิวเคลียร์ รวมไปถึงจนถึงพลังงานทดแทนเช่น พลังงานชีวมวล พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งแหล่งพลังงานทดแทนพวกนี้ มีความยั่งยืนในเรื่องของปริมาณมากกว่าแหล่งพลังงานในรูปแบบอื่น เพราะใช้แล้วไม่หมดไป สามารถสร้าง ผลิตทดแทนได้ หรือมีปริมาณมากเกินพอ

สำหรับประเทศไทยนั้น แหล่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 70 มาจากการใช้แก๊สธรรมชาติและถ่านหิน ซึ่งถือว่าเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป มีความสิ้นเปลือง และบางครั้งจำเป็นต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ เพราะกำลังการผลิตภายในประเทศไม่เพียงพอ หรือมีคุณภาพไม่ดีพอที่จะใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นประเทศไทยจึงจำเป็นต้องหาพลังงานทดแทนในรูปแบบอื่นๆ มาใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นพลังงานชีวมวล พลังงานลม พลังงานคลื่นทะเล และพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับประเทศไทยมากที่สุด พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้น มีศักยภาพมากเพียงพอที่จะใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในระดับค่อนข้างดี แต่จะมีข้อจำกัดในเรื่องของสภาพพื้นที่ สภาพอากาศ อุณหภูมิ ทำให้มีเพียงบางพื้นที่เท่านั้นที่จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่การผลิตกระแสไฟฟ้าให้มีศักยภาพสูงสุดนั้นจะถูกจำกัดด้วยตัวบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าที่มีหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟฟ้าตรงจากแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เรียกว่า inverter โดยภายในอินเวอร์เตอร์ จะมีการแบ่งค่ามาตรฐานประสิทธิภาพตามน้ำหนักของประสิทธิภาพที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ กล่าวคือ ในช่วงของพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ ที่ประสิทธิภาพต่างๆ เช่น 5% 10% 20% 50% เป็นต้น จะมีค่าตัวคูณมาตรฐานที่ไม่เท่ากัน เพื่อให้สามารถสร้างประสิทธิภาพของพลังงานที่ได้สูงที่สุด

บนโลกนี้ มีค่ามาตรฐานที่ถือว่าเป็นค่าสากล และถูกใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ CEC Efficiency และ European Efficiency โดย CEC Efficiency นั้น ถูกกำหนดขึ้นโดย California Energy Commission ตั้งแต่ปี 2549 เพื่อใช้ภายในเมือง Sacramento ในรัฐ California^[1] และ European Efficiency ถูกกำหนดขึ้นโดย Rolf Hotopp ตั้งแต่ในปี 2533 เพื่อใช้ในเมือง Trier ประเทศเยอรมัน^[1] โดย European Efficiency จะมีรูปแบบดังสมการที่ 1.1

$$\eta_{euro} = 0.03\eta_{5\%} + 0.06\eta_{10\%} + 0.13\eta_{20\%} + 0.1\eta_{30\%} + 0.48\eta_{50\%} + 0.2\eta_{100\%} \quad 1.1$$

และ CEC Efficiency จะมีรูปแบบดังสมการที่ 1.2

$$\eta_{cec} = 0.04\eta_{10\%} + 0.05\eta_{20\%} + 0.12\eta_{30\%} + 0.21\eta_{50\%} + 0.53\eta_{75\%} + 0.05\eta_{100\%} \quad 1.2$$

ซึ่งเมื่อสังเกตจากสมการ CEC และ Euro Efficiency แล้ว จะพบว่า มีค่าการตัวคูณประสิทธิภาพแตกต่างกัน ซึ่งเนื่องมาจากพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา เพื่อใช้ในการคำนวณค่าแตกต่างกัน

ดังนั้นประสิทธิภาพดังกล่าว ถ้าหากนำมาใช้ในประเทศไทย อาจจะทำให้เกิดประสิทธิภาพไม่สูงที่สุดตามที่ควรจะเป็น เพราะเนื่องด้วยสภาพพื้นที่ อากาศ และสภาพแสงของประเทศไทยนั้น มีความแตกต่างจากทั้งยุโรปและแคลิฟอร์เนีย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อหาค่ามาตรฐานประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับประเทศไทย
2. เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. รวบรวมข้อมูลเชิงสถิติของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และค่าพลังงานแสงอาทิตย์ จากภูมิภาคต่างๆ ในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดเกณฑ์ เพื่อใช้คำนวณประสิทธิภาพของ Solar inverter ที่เหมาะสมกับประเทศไทย

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติจากแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรม matlab และ excel
2. คำนวณพื้นที่ได้กราฟของพลังงานที่สามารถผลิตได้ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการออกแบบสมการประสิทธิภาพ

1.5 แผนการดำเนินงานโครงการ

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานโครงการ

รายการ	ปี 2558					ปี 2559			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. พบอาจารย์ที่ปรึกษา	←	→							
2. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		←	→	→	→				
3. สืบค้นและรวบรวมข้อมูล			←	→	→	→			
4. วิเคราะห์ข้อมูล					←	→	→		
5. สรุปข้อมูล							←	→	
6. ตรวจสอบสมการ ประสิทธิภาพ								←	→
7. จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับ สมบูรณ์								←	→

← → แผนการดำเนินงาน ← - - - - - → การดำเนินงานตามจริง

1.6 ประโยชน์ที่รับจากการวิจัย

1. สามารถกำหนดมาตรฐานประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์สำหรับประเทศไทยได้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับรังสีจากดวงอาทิตย์^[2]

รังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ถูกนำมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทราบค่าในรูปความเข้มรังสีอาทิตย์หน่วยเป็นวัตต์/ตารางเมตร และพลังงานแสงอาทิตย์หน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตาราง เมตร/วัน ซึ่งขึ้นกับวันที่และเวลา รวมถึงตำแหน่งบนพื้นโลกรังสีอาทิตย์ประกอบด้วยสเปกตรัมในช่วงความ ยาวคลื่น 0.3 ถึง 3 ไมโครเมตร

2.1.1 ภูมิศาสตร์ของโลก โลกมีลักษณะเป็นททรงกลมรี วิธีเพื่อบอกตำแหน่งบนพื้นโลกจะบ่งชี้โดยเส้นแนวตั้งและเส้นแนวนอนเรียกว่า เส้นเมริเดียน (Meridian) และเส้นศูนย์สูตร (Equator) ทางภูมิศาสตร์กำหนดเส้นศูนย์สูตร คือ เส้นสามมติรอบดาวเคราะห์ที่ตั้งฉากกับแกนหมุนของดาวเคราะห์ และมีระยะห่างจากขั้วเหนือและขั้วใต้เท่ากัน ตำแหน่งเส้นละติจูดต่างกันจะมีสภาพอากาศ (Climate) และกาลอากาศ (Weather) แตกต่างกัน ความเข้มของแสงแดด แปรผันตามละติจูด แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวบริเวณศูนย์สูตรเป็นมุมชันกว่าบริเวณขั้วโลก ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่บริเวณศูนย์สูตรจึงมากกว่า ประกอบกับแสงอาทิตย์เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศบริเวณศูนย์สูตรเป็นระยะทางสั้นกว่าผ่านชั้นบรรยากาศบริเวณขั้วโลก เพราะฉะนั้นละติจูดที่สูง ความเข้มของแสงอาทิตย์ยิ่งน้อย อุณหภูมิยิ่งต่ำ



รูปที่ 2.1 ภูมิศาสตร์โลก

2.1.2 รังสีอาทิตย์บนพื้นโลก โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์โดยที่วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ไม่เป็นวงกลม ดังนั้นระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จึงมีค่าไม่เท่ากันที่เวลาใดๆ โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงประมาณ 1.7% ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกและดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 8×10^6 เมตร ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นหนึ่งหน่วยเนื้อบรรยากาศโลกที่เวลาต่างกันจึงมีค่าไม่เท่ากัน ค่าที่แสงอาทิตย์ (Solar Constant) คือค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ซึ่งมีค่าประมาณ 1,367 วัตต์/ตารางเมตร

2.1.2.1 ทิศทางของรังสีดวงอาทิตย์ ความสัมพันธ์ของรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ตกลงกระทบบนพื้นโลก สามารถอธิบายได้จากสมการตัวแปลทางเรขาคณิตเหล่านี้

ละติจูดมุมที่อยู่ทางทิศเหนือหรือทางทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร เมื่อวัดไปทางทิศเหนือกำหนดให้มีค่าเป็นบวกและเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ ละติจูดมีค่าอยู่ระหว่าง -90° ถึง 90°

มุมเอียง (Slope, β) คือ มุมระหว่างพื้นผิวของระนาบรับแสงกับแนวระดับ มีค่าอยู่ระหว่าง 0° ถึง 180°

มุมชั่วโมง (Hour Angle, ω) คือ มุมที่แทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากเมอริเดียนท้องถิ่นไปทางตะวันออกหรือทางตะวันตก มีค่าเป็นลบในช่วงเวลาก่อนเที่ยงสุริยะ และเป็นบวกหลังเที่ยงสุริยะ โดยมีค่า 15° ต่อหนึ่งชั่วโมง

มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle, δ) คือมุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์เมื่อเที่ยงสุริยะกับระนาบศูนย์สูตร กำหนดให้มีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ และมีค่าเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ มุมเดคลิเนชันมีค่าเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง -23.45° ถึง 23.45° สามารถคำนวณได้จาก

$$\delta = 23.45 \left[360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right] \quad 2.1$$

มุมอะซิมุมพื้นดิน (Surface Azimuth Angle, γ) คือ มุมระหว่างทิศใต้กับทิศทางการหันหน้าของแผงรับ แสงมีค่าอยู่ในช่วง -180° ถึง 180° โดยเป็นศูนย์เมื่อหันไปทางทิศใต้ เป็นบวกเมื่อหันไปทางทิศตะวันตก และเป็นลบเมื่อหันไปทางตะวันออก

มุมตกกระทบ (Incidence Angle, θ) คือมุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์บนพื้นผิว กับแนวตั้งฉากของพื้นผิว ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมอื่นๆสามารถคำนวณได้จาก

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \beta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \quad 2.2$$

2.1.2.2 การแปรเปลี่ยนของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศ สาเหตุที่ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลกมีค่าไม่คงที่ คือการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่าง

โลกกับดวงอาทิตย์ การเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์เป็นสาเหตุที่ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลกมีค่าไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีอาทิตย์เหนือบรรยากาศจะอยู่ในช่วง 3% สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งหน่วยเหนือบรรยากาศโลก G_{on} ที่วันลำดับที่ n ของปีและค่าคงที่แสงอาทิตย์ได้ดังสมการที่ 2.3

$$G_{on} = G_{sc} \left[1 + 0.33 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \quad 2.3$$

2.1.1.3 ประเภทของรังสีที่ผิวโลกและมวลอากาศรังสีตรง Beam or Direction) คือ รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกลงบนผิวรับแสง มีทิศทางแน่นอนที่เวลาหนึ่งเวลาใด ทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์ รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) คือ รังสีอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนจากบรรยากาศของโลกและวัตถุต่างๆที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบพื้นผิวรับแสง รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทุกทางของท้องฟ้า รังสีรวม (Total or Global Radiation) คือ ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายที่ตกกระทบผิวรับแสง ในกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นเอียงรังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและผิวโลก เรียกรังสีรวมนี้ว่า Total Radiation สำหรับกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นราบ รังสีรวมจะมาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้าไม่มีส่วนมาจากผิวโลก เรียกรังสีรวมในกรณีนี้ว่า Global Radiation

2.1.1.4 รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบเหนือบรรยากาศ ที่เวลาใดๆ สามารถหาค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบเหนือบรรยากาศได้จากความสัมพันธ์

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0.33 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \cos\theta_z \quad 2.4$$

เมื่อ G_{sc} คือค่าคงที่แสงอาทิตย์ มุมซินิก (Zenith Angle, θ_z) คือ มุมระหว่างแนวตั้งฉากกับระนาบระดับและแนวลำแสงดวงอาทิตย์ และ n คือ วันลำดับที่ n ของปี เมื่อแทนสมการ จะได้

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0.33 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] (\cos\phi \cos\delta \cos\omega + \sin\phi \sin\delta) \quad 2.5$$

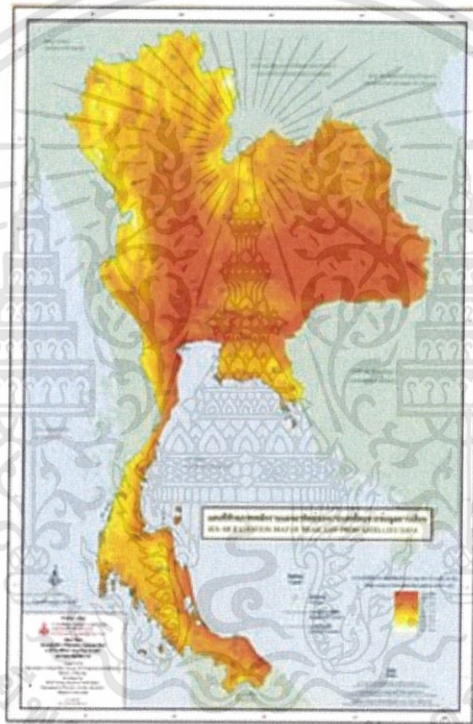
ดังนั้นสามารถหาค่ารังสีตกกระทบในแนวราบเหนือบรรยากาศ ณ วันที่ใดๆโดยการอินทิเกรตสมการ ตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นถึงดวงอาทิตย์ตก เมื่อ H_o คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์รายวันในแนวราบเหนือบรรยากาศ ($J.m^{-2}$), G_{sc} คือ ค่าคงที่แสงอาทิตย์ ($1,367 W.m^{-2}$) และ ω_s คือมุมชั่วโมงพระอาทิตย์ตก (องศา) หาได้จากสมการ^[3]

$$H_o = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.33 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \times \left[\cos\phi \cos\delta \cos\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180} \sin\phi \sin\delta \right] \quad 2.6$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ปริมาณรังสีอาทิตย์ในไทย

ประเทศไทยนั้นมีที่ตั้งอยู่ในคาบสมุทรอินโดจีนซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย มีตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ละติจูด 5 องศา 37 ลิปดาเหนือถึง 20 องศา 28 ลิปดาเหนือ จึงอยู่ในเขตร้อน ทำให้มีอุณหภูมิสูงตลอดปี และมีตำแหน่งลองจิจูดที่ 97 องศา 21 ลิปดาตะวันออกถึง 105 องศา 37 ลิปดาตะวันออก โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในพื้นที่นั้น การศึกษาเพื่อทราบปริมาณรังสีอาทิตย์บนพื้นโลกซึ่งจะใช้เป็นแนวทางการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งนำเสนอในรูปแบบที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับประเทศไทยมีแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน(กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน)จัดทำขึ้นในปีพุทธศักราช 2556



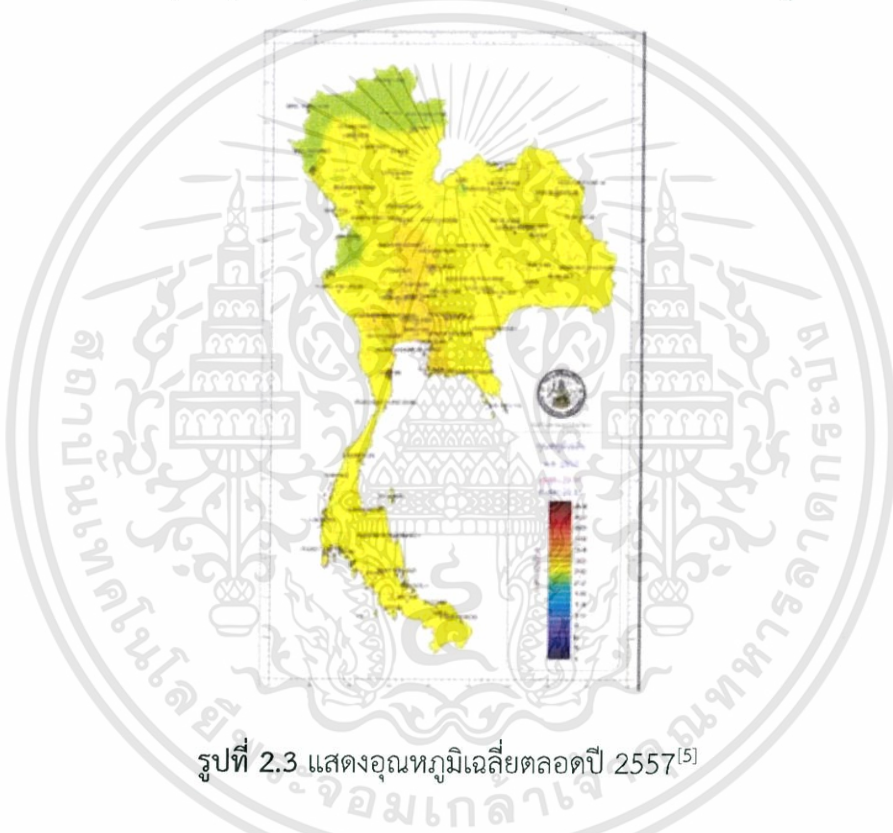
รูปที่ 2.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย^[4]

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากจะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานสูง จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย พบว่าการกระจายของความเข้ม รังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศ ได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของ จังหวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อัญญา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์ เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ในช่วง 18-19 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่า มีค่าเท่ากับ 18.2 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

2.2.1 อุณหภูมิเฉลี่ยในไทย นอกปริมาณความเข้มแสงแล้วสิ่งที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์คืออุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยภายในปี 2557 แสดงให้เห็นดังรูป



รูปที่ 2.3 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 2557^[5]

2.2.2 อุปกรณ์วัดรังสีดวง กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้ดำเนินโครงการพัฒนาเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ.2543 เพื่อให้ได้รับข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความละเอียดถูกต้องและสามารถตอบสนองต่อความต้องการในด้านการวิจัย พัฒนาและประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจตรวจวัดได้แก่ เครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ เป็นการวัดรังสีรวมของความเข้มแสงอาทิตย์ เครื่องมือที่ใช้เรียกว่าไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) ซึ่งปัจจุบันที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานใช้วัดมี 2 ชนิด คือ

2.2.2.1 ไพราโนมิเตอร์ ที่ใช้ Thermomechanical Sensor หรือแบบ Bimetallic ซึ่งมี sensor เป็นแถบโลหะ 2 แถบ โดยแถบหนึ่งเป็นสีขาว และอีกแถบหนึ่งเป็นสีดำ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตกกระทบแถบสีดำจะดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ และขยายตัวได้มากกว่าแถบสีขาว แสงที่เกิดจากการขยายตัวดังกล่าวจะไปขับเคลื่อนหัวปากกาให้บันทึกข้อมูลเป็นลายเส้นลงบนกระดาษกราฟ ซึ่งพันติดรอบกระบอกกลมที่มีการขับเคลื่อนด้วยระบบโซลารน หรือระบบนาฬิกาใช้แบตเตอรี่

2.2.2.2 ไพราโนมิเตอร์ ที่ใช้ Thermoelectric Sensor หรือแบบ Thermopile ซึ่งมี sensor ทำด้วยโลหะ 2 ชนิด ซึ่งเชื่อมปลายทั้งสองติดกันโดยปลายข้างหนึ่งทำหน้าที่เป็น hot junction และอีกข้างหนึ่งเป็น cold junction เมื่อ hot junction ถูกรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของ junction ทั้งสอง และก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (electromotive force) ขึ้นในวงจรที่ประกอบด้วยโลหะทั้งสองจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำไปคำนวณหาความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบได้^[6]

2.2.3 ความเข้มแสงและ ศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์^[7]

ตารางที่ 2.1 แสดงความเข้มแสงและศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์ปี 2556

จังหวัด	ความเข้มแสง และศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์ SOLAR RADIATION AND ENERGY POTENTIAL	
	ความเข้มแสงเฉลี่ยรายปี ANNUAL RADIATION	ศักยภาพเชิงพลังงาน ENERGY POTENTIAL
รวมทั้งประเทศ	17.4	505,867.15
ภาคเหนือ	17.2	110,071.46
เชียงราย	16.0	8,866.00
พะเยา	16.8	4,363.58
ลำปาง	17.3	4,382.04
ลำพูน	17.2	2,828.10
เชียงใหม่	16.6	4,953.67
แม่ฮ่องสอน	15.7	1,895.36
ตาก	16.7	5,271.92
กำแพงเพชร	17.8	9,981.91
สุโขทัย	18.0	6,654.61
แพร่	17.4	3,594.89
น่าน	17.0	4,802.17
อุตรดิตถ์	17.7	4,400.98
พิษณุโลก	17.2	10,040.56
พิจิตร	18.1	6,969.22
นครสวรรค์	17.6	13,043.18
อุทัยธานี	18.3	5079.70
เพชรบูรณ์	17.7	12942.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	ความเข้มแสง และศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์ SOLAR RADIATION AND ENERGY POTENTIAL	
	ความเข้มแสงเฉลี่ยรายปี ANNUAL RADIATION	ศักยภาพเชิงพลังงาน ENERGY POTENTIAL
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	17.2	207,262.49
เลย	16.6	10,637.18
หนองบัวลำภู	17.3	4,813.65
อุดรธานี	17.4	15,334.09
หนองคาย	17.3	9,976.01
สกลนคร	17.4	11,410.06
นครพนม	16.7	6,622.90
มุกดาหาร	17.7	4,383.08
ยโสธร	18.2	5,777.90
อำนาจเจริญ	18.-	3,967.03
อุบลราชธานี	17.3	18,750.87
ศรีสะเกษ	18.3	12,118.28
สุรินทร์	10.5	6,410.43
บุรีรัมย์	18.4	14,674.50
มหาสารคาม	18.1	7,469.85
ร้อยเอ็ด	17.5	11,619.61
กาฬสินธุ์	18.1	9,554.63
ขอนแก่น	17.5	14,335.23
ชัยภูมิ	18.2	13,817.80
นครราชสีมา	17.2	25,409.39
ภาคกลาง	17.9	111725.53
สระบุรี	17.7	4177.93
ลพบุรี	17.9	7789.66
สิงห์บุรี	18.4	1289.68
ชัยนาท	18.4	3752.49
สุพรรณบุรี	18.5	7478.07
อ่างทอง	18.3	1510.18
พระนครศรีอยุธยา	18.1	3943.63
นนทบุรี	17.7	938.66
กรุงเทพ	17.1	2280.29
ปทุมธานี	17.8	2314.58
นครนายก	17.6	2222.86
ฉะเชิงเทรา	18.1	7059.12

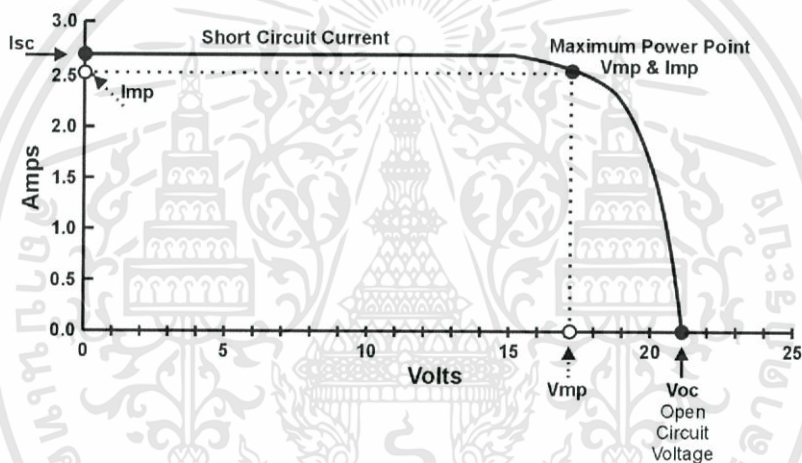
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด	ความเข้มแสง และศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์ SOLAR RADIATION AND ENERGY POTENTIAL	
	ความเข้มแสงเฉลี่ยรายปี ANNUAL RADIATION	ศักยภาพเชิงพลังงาน ENERGY POTENTIAL
สระแก้ว	16.9	8059.87
จันทบุรี	17.0	6084.06
ตราด	17.2	3049.61
ระยอง	18.1	5020.16
ชลบุรี	17.4	5732.36
สมุทรปราการ	18.4	1556.90
สมุทรสาคร	18.5	1315.23
นครปฐม	18.2	3363.06
กาญจนบุรี	17.9	11000.36
ราชบุรี	18.0	5277.80
สมุทรสงคราม	18.6	628.44
เพชรบุรี	18.4	4454.67
ประจวบคีรีขันธ์	17.8	6423.04
ภาคใต้	17.4	76807.61
ชุมพร	16.7	6678.24
ระนอง	15.8	2025.91
สุราษฎร์ธานี	17.3	13319.95
พังงา	17.1	3264.12
ภูเก็ต	18.2	602.88
กระบี่	17.2	5458.34
ตรัง	17.4	5690.82
นครศรีธรรมราช	17.7	11809.32
พัทลุง	17.8	4241.10
สงขลา	16.9	9067.78
สตูล	17.1	2185.59
ปัตตานี	18.6	2931.43
ยะลา	17.5	4478.69
นราธิวาส	17.9	5080.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สมบัติทางไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

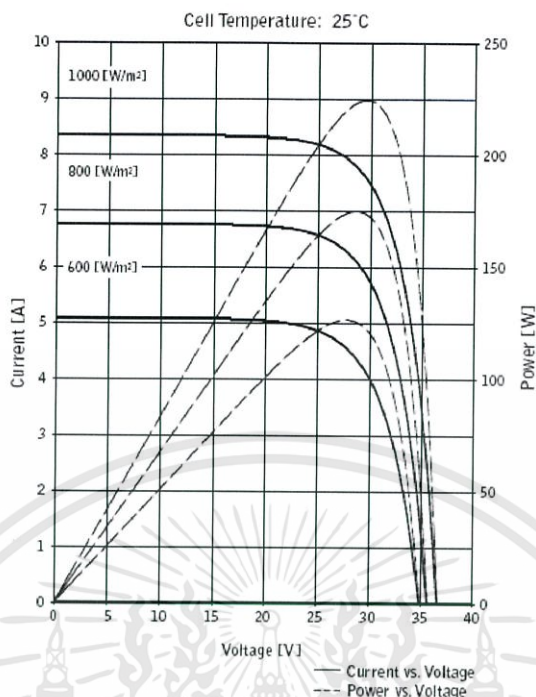
2.3.1 สมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าเป็นกระแสตรง โดยที่แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแผงเซลล์ รูปที่ 2.4 แสดงกราฟกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเทียบกับโหลดที่แปรค่าตั้งแต่สภาวะวงจรถัด (Short circuit) ถึงสภาวะวงจรถัดเปิด (Open circuit) โดยตัดแกนตั้งที่แรงดันเป็นศูนย์จะได้ค่ากระแสที่สภาวะลัดวงจร (Short circuit current) ส่วนจุดตัดแกนนอนที่กระแสเท่ากับศูนย์จะได้ค่าแรงดันขณะวงจรถัดเปิด (Open circuit voltage) เมื่อนำค่ากระแสคูณกับแรงดันก็จะได้กำลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งต้องมีจุดเดียวเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเรียกว่ากำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด (Power at maximum point) ส่วนกระแสกับแรงดันที่จุดนี้เรียกว่า กระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Current at maximum power point) กับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Voltage at maximum power point) ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 กราฟกระแสกับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)^[8]

2.3.2 ลักษณะสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

2.3.2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะให้กระแสที่คงที่ ทั้งกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กัน จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีจุดให้พลังงานสูงสุด ณ ตำแหน่งที่วงกลมดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์^[9]

2.2.3.2 ความเข้มของแสงกระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง คือเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก

2.2.3.3 อุณหภูมิกระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

2.3.3 เครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด ระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าได้ขึ้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิ ซึ่งการต่อเครื่องควบคุมการประจุและแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลัง 10-40 % ทั้งนี้การหลีกเลี่ยงทำได้โดยการใช้ตัวติดตามจุดกำลังสูงสุด (Maximum Power Point, MPP) หรือเรียกว่า Maximum Power Point Tracker (MPPT) MPPT ประกอบด้วยตัวควบคุมการแปลงกระแสไฟตรงเป็นไฟตรง และจะทำงานทุกๆ 5 นาทีเพื่อวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นำมาคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากนั้นจะมีวงจรที่ควบคุม เพื่อปรับให้เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ โดยทั่วไปเครื่องแปลงไฟฟ้าแบบนี้มีประสิทธิภาพ 90-96 % ส่วนระบบที่เหมาะสมกับการใช้ MPPT ควรจะมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดตั้งแต่ 200 วัตต์ขึ้นไป หากระบบมีขนาดเล็กกว่านี้จะเกิดการสูญเสียในระหว่างการแปลงมากกว่าจะได้รับมาเนื่องจากวงจรมีความซับซ้อน ปัจจุบันพบว่าเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบนี้จะใช้ในระบบขนาดตั้งแต่ 500 วัตต์ขึ้นไปนอกจากนี้เครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุดมีราคาค่อนข้างสูง

2.4 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

2.4.1 ความหมายของประสิทธิภาพในโซล่าอินเวอร์เตอร์ ประสิทธิภาพของโซล่าอินเวอร์เตอร์หรือประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (Conversion Efficiency) เป็นพารามิเตอร์บอถึงการสูญเสียซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วย การสูญเสียเนื่องจากหม้อแปลง อุปกรณ์สวิตซ์ซิ่งและการจัดการด้านการใช้กำลังงานของอินเวอร์เตอร์และอื่น ๆ ความสัมพันธ์ดังสมการที่ $\text{Input real power (of fundamental component) / Input real power}$ ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานขึ้นอยู่กับกำลังอินพุตและแรงดันอินพุตของอินเวอร์เตอร์ (ซึ่งมีค่าน้อย อาจไม่ต้องนำมาคิดผลก็ได้) การคิดผลจากแรงดันอินพุตต่อประสิทธิภาพอยู่บนฐานของการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในสภาวะจริงซึ่งสภาพอากาศ (อุณหภูมิและความเข้มแสงอาทิตย์) มีผลต่อการทำงานของแผงเซลล์

2.4.2 ประสิทธิภาพของโซล่าอินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสม เนื่องจากความเข้มรังสีอาทิตย์บนแผงเซลล์จะขึ้นลงบ่อยครั้งในระหว่างวันโดยพิจารณาว่าอินเวอร์เตอร์ทำงานภายใต้ภาระค่าต่างๆ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าเข้าช่วงขณะ ถ้าภาระมีค่าน้อยมากเนื่องจากความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง การรวมผลของสภาวะเมื่อภาระค่าต่างๆจึงควรใช้ค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพ การบอกค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์โดยวิธีใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก (weighted' efficiencies) มีความน่าเชื่อถือมากกว่าการบอกค่าประสิทธิภาพสูงสุดเสียอีก (Peak Efficiency) ในปัจจุบันมาตรฐานการที่เป็นที่ยอมรับคือ European Efficiency และ CEC Efficiency ซึ่งทั้งสองมาตรฐานนี้อาจจะเหมาะสมหรือไม่เหมาะสมกับประเทศไทย เป็นผลมาจากสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน จึงเป็นเหตุผลให้จะต้องมี Thailand Efficiency เพื่อที่จะหาค่าประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับประเทศไทย

2.4.2.1 ประสิทธิภาพโดยวิธีใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight Efficiency) การวัดค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์แบบการถ่วงน้ำหนักมีประโยชน์มากกว่าการบอกเป็นค่าประสิทธิภาพสูงสุด (Peak Efficiency) ซึ่งประสิทธิภาพแบบการถ่วงน้ำหนักนี้แก้ไขจุดด้อยของประสิทธิภาพสูงสุดคือในระหว่างวันสภาวะอากาศที่แตกต่างกันตลอดวันทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานได้ต่างกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพต่างกัน ซึ่งวิธีการนี้เป็นการรวมผลของสภาวะเมื่อภาระค่าต่างๆจึงใช้ค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งในปัจจุบันมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับคือมาตรฐานยุโรป (European Efficiency) และมาตรฐานแคลิฟอร์เนีย (CEC Efficiency) แม้ว่ามาตรฐานที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นที่ยอมรับ แต่ก็มีข้อเสียคือแม้เราจะมีอินเวอร์เตอร์เครื่องเดียวกันแต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

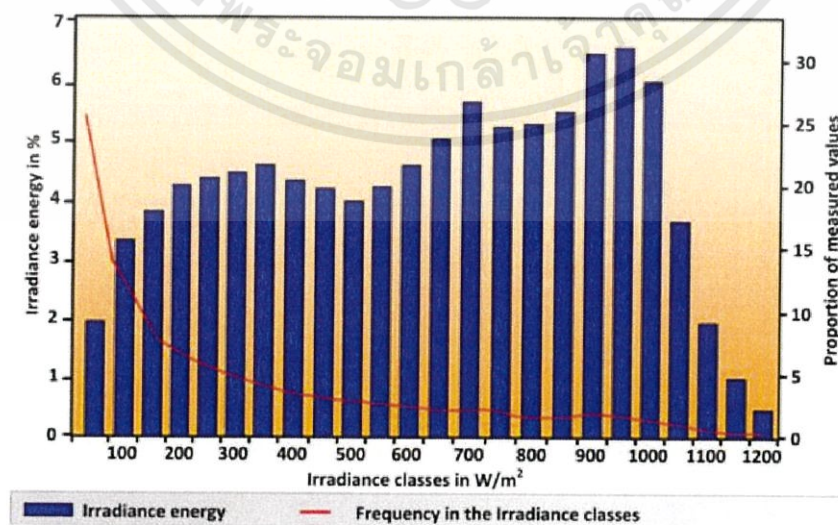
หากว่าใช้มาตรฐานที่ต่างกันเพื่อหาค่าประสิทธิภาพ อินเวอร์เตอร์เครื่องเดียวกันอาจจะได้ค่าประสิทธิภาพที่ต่างกันก็ได้ ซึ่งการเลือกใช้มาตรฐานอันไหนนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ที่ใช้อินเวอร์เตอร์นั้นๆ คือถ้าหากผู้ใช้งานอยู่ในยุโรปก็จะใช้ประสิทธิภาพยุโรปก็จะเหมาะสมกว่า

มาตรฐานภาพยุโรป หรือ European Efficiency ทวีปยุโรปประกอบด้วย 25 ประเทศ คือ ออสเตรีย เบลเยียม เดนมาร์ก ฟินแลนด์ ฝรั่งเศส เยอรมนี กรีซ ไอร์แลนด์ อิตาลี ลักเซมเบิร์ก เนเธอร์แลนด์ โปรตุเกส สเปน สวีเดน สหราชอาณาจักร ไชปรัส เช็ก เอสโตเนีย ฮังการี ลัตเวีย ลิทัวเนีย มอลตา โปแลนด์ โปแลนด์ โปแลนด์ โปแลนด์ และสโลวาเกีย)



รูปที่ 2.6 แผนที่ทวีปยุโรป^[10]

จากรูปจะเห็นได้ว่ายุโรปมีความแตกต่างอย่างมากกับประเทศไทยทางด้านภูมิศาสตร์และภูมิอากาศมาตรฐานยุโรปถูกกำหนดขึ้นโดย Rolf Hotopp ตั้งแต่ในปี 2533 เพื่อใช้ในเมือง Trier ของประเทศเยอรมนี โดยการคำนวณใช้ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงในหนึ่งปี ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความถี่และพลังงานที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ตลอดหนึ่งในปีในประเทศเยอรมัน^[11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะพิจารณาว่า การทำงานของอินเวอร์เตอร์ออกเป็น 6 ช่วง อินเวอร์เตอร์ทำงานที่พิกัด 20 เปอร์เซ็นต์ของเวลาการทำงานตลอดปีทำงานที่ครึ่งหนึ่งของพิกัดเป็น 48 เปอร์เซ็นต์ของเวลาการทำงาน ส่วนอีก 4 ช่วงจะอธิบายได้ในลักษณะเดียวกัน การคำนวณประสิทธิภาพตามมาตรฐานยุโรป ทำให้เราสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่แตกต่างกันได้แต่ให้สังเกตว่าค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้อ้างอิง สภาพภูมิอากาศ ซึ่งจะทำให้มาตรฐานแตกต่างกัน และประสิทธิภาพจะมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อมและแรงดันอินพุตด้วย ซึ่งสมการของมาตรฐานยุโรปคือ

$$\eta_{euro} = 0.03\eta_{5\%} + 0.06\eta_{10\%} + 0.13\eta_{20\%} + 0.1\eta_{30\%} + 0.48\eta_{50\%} + 0.2\eta_{100\%} \quad 2.5$$

มาตรฐานแคลิฟอร์เนีย หรือ CEC Efficiency รัฐแคลิฟอร์เนีย เป็นรัฐที่ตั้งอยู่ทางตะวันตกของสหรัฐอเมริกา ติดมหาสมุทรแปซิฟิก



รูปที่ 2.8 ที่ตั้งทวีปอเมริกาเหนือ^[42]

สภาพอากาศของรัฐแคลิฟอร์เนีย ที่แคลิฟอร์เนียส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน อากาศจะร้อนค่อนข้างเย็นสบาย กล่าวคือถ้าเป็นช่วงหน้าร้อน เฉลี่ยแล้วก็จะอยู่ที่ประมาณ 25-40 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเป็นช่วงหน้าหนาว อุณหภูมิก็จะอยู่ที่ประมาณ 16-24 องศาเซลเซียส ต่างจากในเวลากลางคืนที่อากาศจะค่อนข้างเย็นไปจนถึงหนาวและหนาวจัด แม้จะอยู่ในช่วงหน้าร้อนก็ตาม โดยอุณหภูมิในช่วงกลางวันกับกลางคืนจะต่างกันค่อนข้างมากไม่เหมือนกับที่เมืองไทย ที่ฤดูจะแบ่งกันค่อนข้างจะชัดเจนกว่า กล่าวคือถ้าเป็นหน้าร้อนอากาศก็จะร้อนทั้งกลางวันกลางคืน และถ้าเป็นหน้าหนาวส่วนใหญ่ก็จะไม่มีฝนตก โดยอากาศทั้งกลางวันกลางคืนส่วนใหญ่จะร้อน เนื่องจากอยู่ในแถบศูนย์สูตร

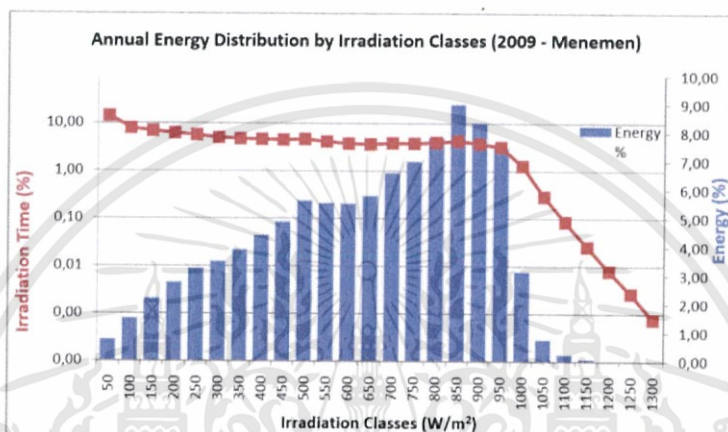
มาตรฐานแคลิฟอร์เนีย หรือ CEC Efficiency นั้น ถูกกำหนดขึ้นโดย California Energy Commission ตั้งแต่ปี 2549 เพื่อใช้ภายในเมือง Sacramento ในรัฐ California โดยจะพิจารณาว่า การทำงานของอินเวอร์เตอร์ออกเป็น 6 ช่วง อินเวอร์เตอร์ทำงานที่พิกัด 5 เปอร์เซ็นต์ของเวลาการทำงานตลอดปีทำงานที่ครึ่งหนึ่งของพิกัดเป็น 21 เปอร์เซ็นต์ของเวลาการทำงาน ส่วนอีก 4 ช่วงจะอธิบายได้ในลักษณะเดียวกัน การคำนวณประสิทธิภาพตามมาตรฐานแคลิฟอร์เนียทำให้เราสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่แตกต่างกันได้แต่ให้สังเกตว่าค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้อ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพภูมิอากาศ ซึ่งจะทำให้มาตรฐานแตกต่างกัน และประสิทธิภาพจะมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แวดล้อมและแรงดันอินพุตด้วย ซึ่งสมการของมาตรฐานแคลิฟอร์เนียคือ

$$\eta_{cec} = 0.04\eta_{10\%} + 0.05\eta_{20\%} + 0.12\eta_{30\%} + 0.21\eta_{50\%} + 0.53\eta_{75\%} + 0.05\eta_{100\%} \quad 2.6$$

มาตรฐานตุรกี เป็นงานวิจัยของมหาวิทยาลัย a Kocaeli University เพื่อเปรียบเทียบ มาตรฐานของประเทศตัวเองกับมาตรฐานยุโรป และมาตรฐานแคลิฟอร์เนีย



รูปที่ 2.9 ความถี่และพลังงานที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ตลอดหนึ่งปีในประเทศตุรกี^[13]

2.5 การปรับค่าความโค้ง (Curve Fitting)^[14]

ข้อมูลโดยทั่วไปเมื่อนำมาวิเคราะห์ วิธีหนึ่งที่เราเห็นได้ชัดจนถึงแนวโน้มและความสัมพันธ์ โดยรวมคือการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการนำข้อมูลมาสร้างกราฟ เมื่อพิจารณาข้อมูลโดยเบื้องต้นจะ เห็นได้ถึงความแปรปรวนของข้อมูลอย่างมาก กราฟไม่มีความต่อเนื่อง ไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน ไม่ สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างแม่นยำ จึงต้องอาศัยหลักการการปรับค่าความโค้ง(Curve Fitting) มา มาช่วยในวิเคราะห์ข้อมูล การปรับค่าความโค้งที่เหมาะสมที่สุดคือการสร้างเส้นโค้งหรือเส้นตรง หรือ ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์(Model) ที่แสดงถึงแนวโน้มของกลุ่มข้อมูลนั้นเป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลนั้น ทั้งหมด สาเหตุที่ต้องมีการปรับค่าความโค้ง (Curve fitting)

- เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นจากข้อมูล และเพื่อที่จะพยากรณ์ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
- เพื่อหาแบบจำลอง(Model)หรือสมการฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่เป็นตัวแทนของข้อมูล ทั้งหมด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป
- เพื่อจัดการกับกราฟข้อมูลที่ไม่สมมาตรมีความชันสูงสุดหลายจุด และจัดการกับความ ผิดเพี้ยน(Noise) ต่างๆของกราฟข้อมูล

ภายในโปรแกรม MATLAB มีฟังก์ชันที่ใช้ในการปรับค่าความโค้งที่หลากหลาย อาทิเช่น Interpolant, Linear Fitting, Polynomial, Sum of Sine ซึ่งจะเลือกใช้ฟังก์ชันไหนก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของข้อมูล ซึ่งจะพิจารณาได้จากตัวแปรที่บอกถึงค่าความเหมาะสม ซึ่งจะพิจารณาได้จากหัวข้อถัดไป

2.5.1 ทฤษฎีการปรับค่าความโค้ง (Curve fitting)

ถ้าเราต้องการปรับค่าความโค้งของกราฟข้อมูล เราต้องเลือกฟังก์ชันที่จะมาใช้ให้เหมาะสมกับข้อมูล โดยทั่วไปแต่ละฟังก์ชันที่จะนำมาปรับค่าความโค้ง(Fit) จะมีหลักการพื้นฐานที่คล้ายคลึงกันดังนี้

- ในส่วนของข้อมูลดิบ ประกอบด้วยค่า x (x -values) และค่า f (f -values) อยู่ในรูปของ คู่อันดับข้อมูล $\{x_0, x_1, \dots, x_N\}$, $\{f_0, f_1, \dots, f_N\}$
- ในส่วนของการปรับค่าความชันกราฟข้อมูล ประกอบด้วยส่วนค่าฟังก์ชัน $f(x_i)$ ซึ่ง $i = 0, 1, \dots, N$ ซึ่งมีความหมายว่า $f(x)$ ต้องผ่านจุด $(x_i, f_i), i = 0, 1, \dots, N$ ภายในระบบพิกัดฉาก xy ซึ่งเมื่อค่า N สูงขึ้นความเหมาะสมในการปรับค่าความโค้ง (Curve fitting) ก็จะมีค่าที่เหมาะสมมากขึ้นเช่นกัน

ซึ่งสมการหรือฟังก์ชันที่จะนำมาปรับค่าความโค้งก็จะมีค่าความเหมาะสมแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้สมการ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ซึ่งใน MATLAB จะมีความสะดวกสบายในส่วนนี้ที่สามารถเลือกใช้ฟังก์ชันต่างๆและนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกันได้

2.6 การพิจารณาค่าที่เหมาะสมในการปรับเส้นโค้ง (Evaluating Goodness of Fit)^[15]

ค่าที่เหมาะสมในการปรับเส้นโค้งในทางสถิติหลังจากการพิจารณารูปของข้อมูลเบื้องต้นแล้ว จะทำการปรับปรุงกราฟข้อมูลให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น โดยวิธีการปรับค่าความโค้ง ตัวแปรในการตัดสินใจในการปรับปรุงค่าความโค้งที่เหมาะสมคือ พิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Squared)

2.6.1 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Squared) คือตัวสถิติที่ใช้วัดว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้ี้ มีความสมรูปกับข้อมูลมากน้อยอย่างไร หรือรู้จักกัน ในอีกความหมายหนึ่งว่าเป็น ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์แสดง การตัดสินใจเชิงซ้อน (Coefficient of Multiple Determination) สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression)

นิยามของค่า R-Squared คือ ค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนองที่สามารถอธิบายได้มีอยู่ในตัวแบบเชิงเส้นนี้ ก็เปอร์เซ็นต์ ค่า R-Squared จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0% - 100%

0% แสดงให้เห็นว่า ตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นไม่สามารถอธิบายความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนองต่างๆที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เลย

100% แสดงให้เห็นว่า ตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นสามารถอธิบายความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนอง ต่างๆที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี

โดยทั่วไปแล้ว ค่า R-Squared สูงๆ หมายความว่าตัวแบบคณิตศาสตร์นั้นดี (เหมาะสมกับข้อมูล) แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีเงื่อนไขบางอย่างที่ต้องมีพร้อมกับค่า R-Squared สูงๆ นี้ด้วย ค่า R-Squared ถือเป็นค่าที่นำมาใช้วัดว่าตัวแบบสมการที่ได้มานั้นมีความเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ แต่อย่างไรก็ตาม การมองเฉพาะค่า R-Squared อย่างเดียวอาจไม่สามารถตอบได้ว่าตัวแบบสมการนั้นเหมาะสมหรือไม่ แต่ต้องมีการพิจารณาค่า R-Squared ร่วมกับการวิเคราะห์แผนภาพเศษเหลือ และตัวสถิติอื่นๆ

R-square คือค่าอัตราส่วนระหว่าง ผลรวมกำลังสองถดถอย (SSR) กับผลรวมกำลังสองทั้งหมด (SST)

SSR หาได้จาก

$$SSR = \sum_{i=1}^n W_i (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad 2.10$$

SST หาได้จาก

$$SST = \sum_{i=1}^n W_i (y_i - \bar{y})^2 \quad 2.11$$

SSE หาได้จาก

$$SSE = \sum_{i=1}^n W_i (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad 2.12$$

เมื่อ $SST = SSR + SSE$ จากสิ่งนี้ R-square เท่ากับ

$$Rsquare = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad 2.13$$

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

การศึกษาวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

เนื่องจากการพัฒนามาตรฐานที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของโซลาร์อินเวอร์เตอร์นั้น มีมาตรฐานใหญ่ๆ ที่ได้รับการยอมรับจากสากลเพียง 2 แห่ง ได้แก่ CEC efficiency และ Euro efficiency แต่ยังมีงานวิจัยในรูปแบบดังกล่าวจากหลายสถานที่ อาทิเช่น อินเดีย^[1] ตุรกี^[13] และบราซิล^[16] ที่ได้มีการตีพิมพ์เป็นวารสารทางวิชาการออกมาเผยแพร่ หลังจากการศึกษางานวิจัยในแต่ละที่แล้ว พบว่ามีรูปแบบขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่คล้ายกัน และสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนหลักๆ ได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ Probability Density Function ของ Solar irradiation
2. ขั้นตอนการแปลง solar irradiation เป็น energy yield
3. ขั้นตอนการแปลง energy yield เป็นสมการทางคณิตศาสตร์และการปรับเส้นโค้ง (curve fitting) โดยเขียนอยู่ในรูปของ sum of sines
4. ขั้นตอนการวิเคราะห์สมการ energy yield เพื่อหาสมการประสิทธิภาพ
5. ขั้นตอนการเปรียบเทียบสมการประสิทธิภาพกับมาตรฐาน CEC efficiency และ Euro efficiency

3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ Probability Density Function ของ Solar irradiation

Solar irradiation คือ กราฟที่แสดงถึงปริมาณของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่ขนาดหนึ่ง ในหน่วยของจูลต่อตารางเมตร โดยงานวิจัยนี้ จะใช้ข้อมูลการเก็บสถิติจากสถานีตรวจวัดอากาศทั้ง 38 สถานี จากกระทรวงพลังงาน ที่มีการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ปี 2005 ถึง 2014 รวมปริมาณข้อมูลมากกว่า 1 ล้านชุด โดยทั้ง 38 สถานีตั้งอยู่ในสถานที่ต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงสถานที่ตั้งของสถานีตรวจวัดความเข้มแสง

ภาคเหนือ	ภาคกลาง	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคตะวันออก	ภาคตะวันตก	ภาคใต้
แพร่	กรุงเทพ	นครราชสีมา	ปราจีนบุรี	ตาก	ชุมพร
น่าน	กาญจนบุรี (ทองผาภูมิ)	สุรินทร์	ตราด	ประจวบคีรีขันธ์	ระนอง
แม่ฮ่องสอน	กาญจนบุรี	อุบลราชธานี	จันทบุรี	-	สุราษฎร์ธานี (พุนพิน)

ภาคเหนือ	ภาคกลาง	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคตะวันออก	ภาคตะวันตก	ภาคใต้
ดอยอินทนนท์	ลพบุรี	ร้อยเอ็ด	ชลบุรี	-	สุราษฎร์ธานี (สมุย)
เชียงใหม่ (เรดาร์)	นครสวรรค์	ขอนแก่น	-	-	ภูเก็ต
เชียงใหม่	เพชรบูรณ์	นครพนม	-	-	ตรัง
แม่ฮ่องสอน	พิษณุโลก	หนองคาย	-	-	สงขลา
แม่สะเรียง	-	เลย	-	-	นราธิวาส
เชียงราย	-	-	-	-	-

3.1.1 นำข้อมูลทั้งหมดมาแปลงหน่วยจาก เมกกะจูลต่อตารางเมตร เป็น วัตต์ต่อตารางเมตร เพื่อใช้ในการแปลงเป็น solar irradiation โดยการแปลงหน่วยจาก MJ/m² เป็น W/m² จะใช้สมการดังนี้

$$W/m^2 = \frac{(MJ/m^2) \times 1,000}{3.6} \quad 3.1$$

3.1.2 นำข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในหน่วยของ วัตต์ต่อตารางเมตร มาจำแนกแบ่งเป็นช่วง โดยกำหนดไว้ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และแบ่งเป็น 5% ต่อช่วง ตั้งแต่ 0 ถึง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร

3.1.3 นำข้อมูลที่ได้อามาวาดกราฟ โดยกำหนดให้แกน x เป็นช่วงของกำลัง และแกน y เป็นจำนวนของชุดข้อมูลในแต่ละค่ากำลัง จะได้เป็น Solar irradiation ของประเทศไทย

3.2 ขั้นตอนการแปลง Solar irradiation เป็น energy yield

เมื่อได้กราฟ Solar irradiation จะนำแต่ละช่วงของกำลัง (วัตต์ต่อตารางเมตร) มาเข้าสมการ เพื่อหาค่าของ energy yield ในแต่ละช่วงของกำลัง

$$energy\ yield = \frac{P_n \times N_n}{N} \quad 3.2$$

กำหนดให้ P_n คือ กำลังที่กำลังใดๆ มีหน่วยเป็น W/m²

N_n คือ จำนวนข้อมูลที่กำลังใดๆ

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

จากนั้น นำค่าที่ได้จากการคำนวณ มาวาดกราฟ โดย แกน x เป็นค่าของช่วงกำลัง และแกน y เป็นค่าของ energy yield

3.3 ขั้นตอนการแปลง energy yield เป็นสมการทางคณิตศาสตร์และการปรับเส้นโค้ง (curve fitting) โดยเขียนอยู่ในรูปของ sum of sines

3.3.1 นำกราฟ energy yield มา fit curve โดยใช้ฟังก์ชัน cftool ใน matlab

3.3.2 จากนั้นจะใช้ cftool ในการคำนวณหาสมการคณิตศาสตร์ของ energy yield ในรูปแบบของ sum of sines เพราะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเมื่อพิจารณาจากค่า R-square^[15]

3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์สมการ energy yield เพื่อหาสมการประสิทธิภาพ

เมื่อได้สมการของ energy yield ในรูปแบบของ sum of sines แล้ว พื้นที่ใต้กราฟของ energy yield นั้นจะเป็นค่าที่ใช้ในการบ่งบอกสัมประสิทธิ์ของสมการประสิทธิภาพ ส่วนช่วงที่ใช้ในการแบ่งนั้น จะใช้ช่วงเดียวกันกับ CEC efficiency เพื่อให้มีการกระจายน้ำหนักของสัมประสิทธิ์ที่สม่ำเสมอ โดยแบ่งช่วงของการหาประสิทธิภาพเป็น 10% 20% 30% 50% 75% และ 100% การหาสัมประสิทธิ์ในแต่ละช่วงนั้น จะได้จากการอินทิเกรตสมการ sum of sines ตามช่วงต่างๆ โดยจะกำหนดให้พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด มีค่าเป็น 1 หน่วย หรือ 100% และทำการอินทิเกรตแบบจำกัดเขตในแต่ละช่วงของประสิทธิภาพตามขั้นตอนต่อไปนี้

3.4.1 สัมประสิทธิ์ที่ 10% จะทำการอินทิเกรตแบบจำกัดเขตสมการของ energy yield จากขั้นตอนที่ 3.3.2 ตั้งแต่ 0 ถึง 100 วัตต์ต่อตารางเมตร (a_1)

3.4.2 สัมประสิทธิ์ที่ 20% จะทำการอินทิเกรตแบบจำกัดเขตสมการของ energy yield จากขั้นตอนที่ 3.3.2 ตั้งแต่ 100 ถึง 200 วัตต์ต่อตารางเมตร (a_2)

3.4.3 สัมประสิทธิ์ที่ 30% จะทำการอินทิเกรตแบบจำกัดเขตสมการของ energy yield จากขั้นตอนที่ 3.3.2 ตั้งแต่ 200 ถึง 300 วัตต์ต่อตารางเมตร (a_3)

3.4.1 สัมประสิทธิ์ที่ 50% จะทำการอินทิเกรตแบบจำกัดเขตสมการของ energy yield จากขั้นตอนที่ 3.3.2 ตั้งแต่ 300 ถึง 500 วัตต์ต่อตารางเมตร (a_4)

3.4.1 สัมประสิทธิ์ที่ 75% จะทำการอินทิเกรตแบบจำกัดเขตสมการของ energy yield จากขั้นตอนที่ 3.3.2 ตั้งแต่ 500 ถึง 750 วัตต์ต่อตารางเมตร (a_5)

3.4.1 สัมประสิทธิ์ที่ 100% จะทำการอินทิเกรตแบบจำกัดเขตสมการของ energy yield จากขั้นตอนที่ 3.3.2 ตั้งแต่ 750 ถึง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร (a_6)

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์แต่ละช่วงแล้ว จะนำมาใส่ในสมการประสิทธิภาพมาตรฐาน

$$\text{Thailand weight Efficiency} = a_1\eta_{10\%} + a_2\eta_{20\%} + a_3\eta_{30\%} + a_4\eta_{50\%} + a_5\eta_{75\%} + a_6\eta_{100\%} \quad 3.3$$

3.5 ขั้นตอนการเปรียบเทียบสมการประสิทธิภาพกับมาตรฐาน CEC efficiency และ Euro efficiency

ในขั้นตอนนี้ จะทำการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพกับมาตรฐาน CEC efficiency และ Euro efficiency เพื่อหาความแตกต่างในด้านประสิทธิภาพในการใช้งานจริง โดยใช้อินเวอร์เตอร์ทั้ง 25 รุ่น แยกตามขนาดดังนี้

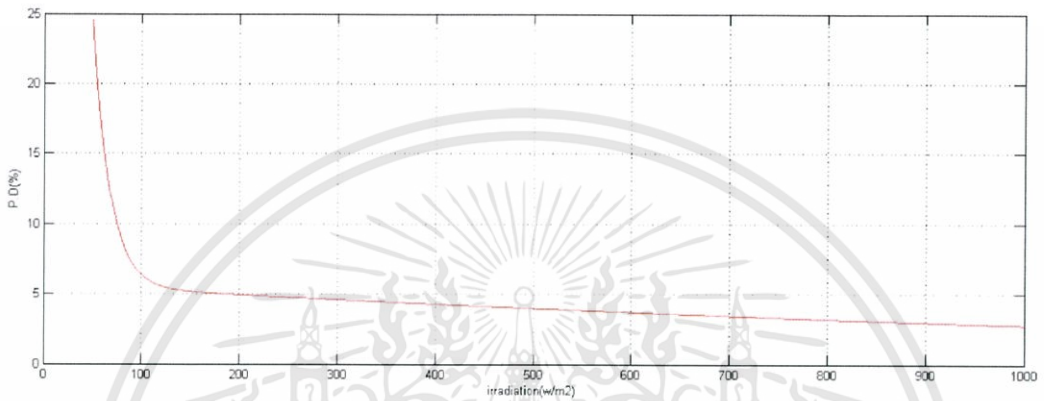
ตารางที่ 3.2 แสดงขนาดและรุ่นของ solar inverter ที่ใช้ในการทดสอบสมการประสิทธิภาพ

ขนาด	3 – 5 kW	5 – 10 kW	20 – 30 kW	500 kW
รุ่น	1. connext 3000ES	1. RPI-M6A	1. Piko20	CP500TL
	2. Replus-4000TL	2. RPI-M8A	2. Powadar 20tl3	CPS SCA500KTL-H
	3. IG plus 50 v-1	3. PVI10TL	3. 20000UE	PVS800-57-0500kW-A
	4. stecagrid4200		4. RPI-M30	NP201i
	5. TRB5000TL		5. TRIO-20.0-TL- OUTD	
	6. TL5000-10		6. sun2000 23ktl	
	7. JSI5000TL		7. Sunny Tripower 25000TL	
	8. PVI5000TL		8. DSP-3330K	
	9. sunny boy 5000TL			
	10. 5000MTL-10			

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

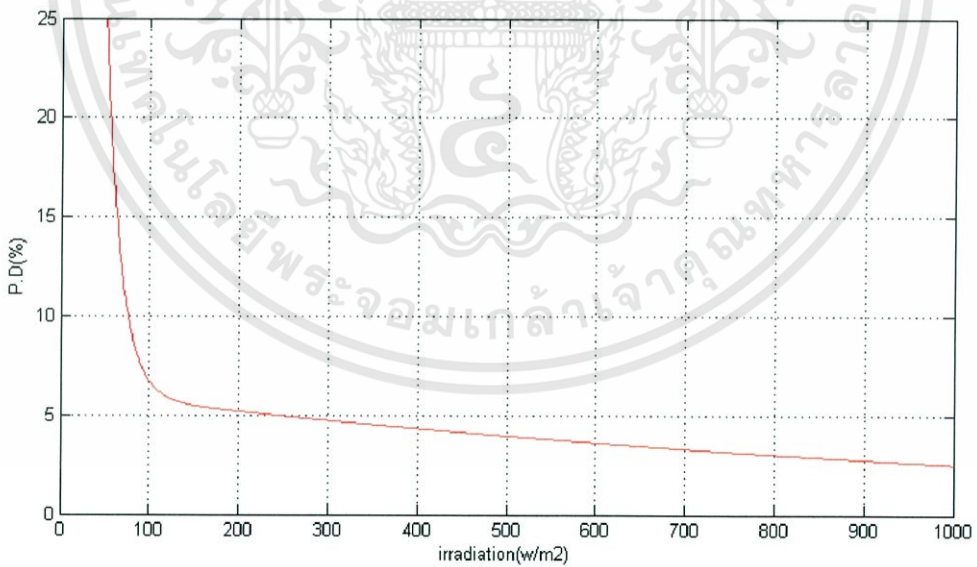
4.1 ผลการวิเคราะห์ Probability Density Function ของ Solar irradiation

4.1.1 ภาคกลาง



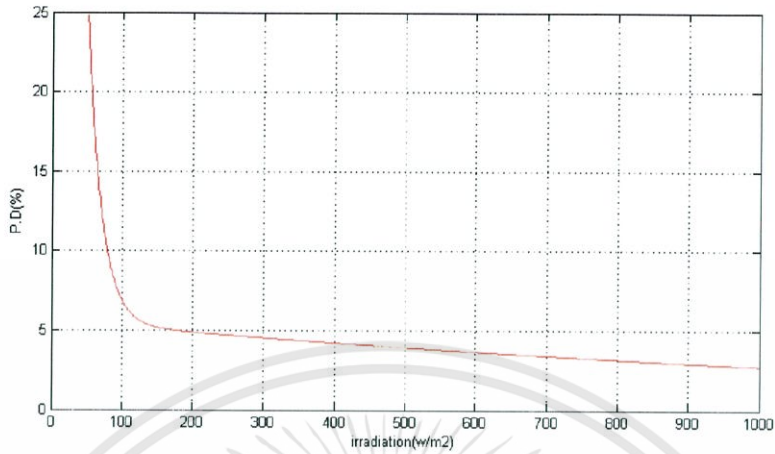
รูปที่ 4.1 แสดง Solar irradiation ของภาคกลาง

4.1.2 ภาคเหนือ



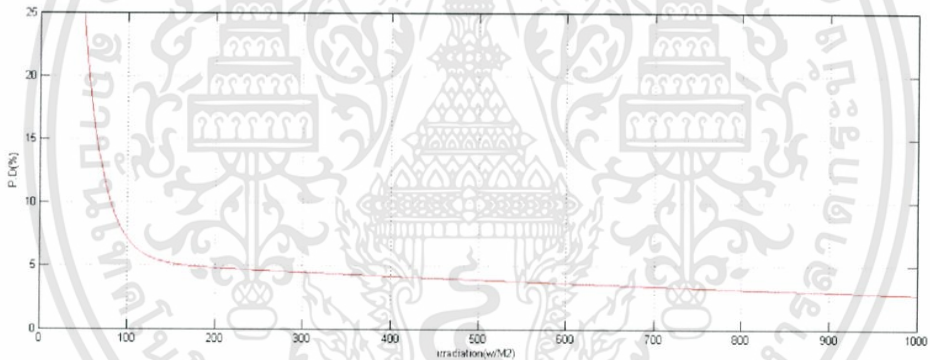
รูปที่ 4.2 แสดง Solar irradiation ของภาคเหนือ

4.1.3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



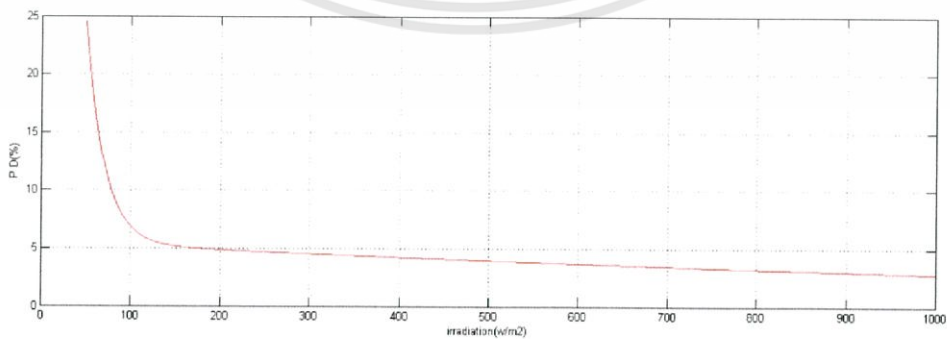
รูปที่ 4.3 แสดง Solar irradiation ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

4.1.4 ภาคตะวันออก



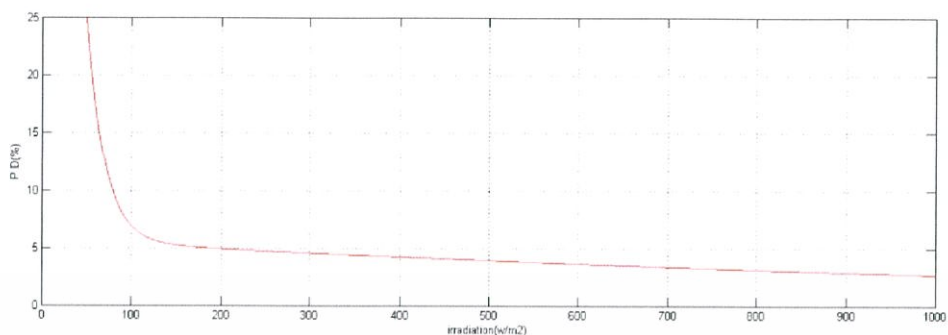
รูปที่ 4.4 แสดง Solar irradiation ของภาคตะวันออก

4.1.5 ภาคตะวันตก



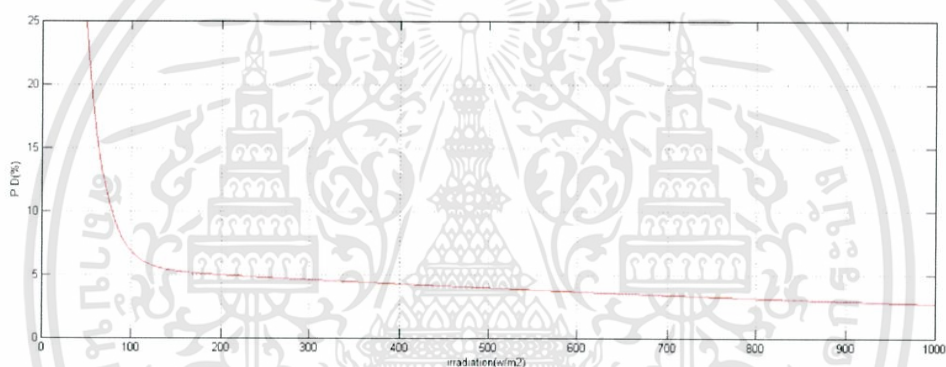
รูปที่ 4.5 แสดง Solar irradiation ของภาคตะวันตก

4.1.6 ภาคใต้



รูปที่ 4.6 แสดง Solar irradiation ของภาคใต้

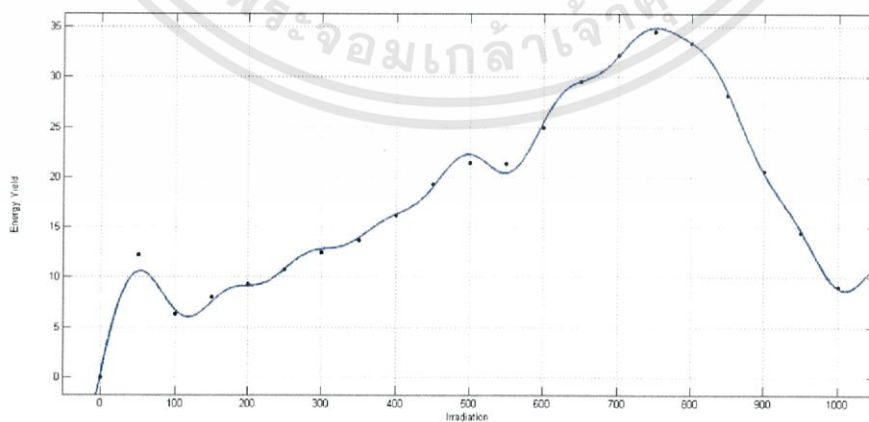
4.1.7 ประเทศไทย



รูปที่ 4.7 แสดง Solar irradiation ของประเทศไทย

4.2 ผลการแปลง solar irradiation เป็น energy yield

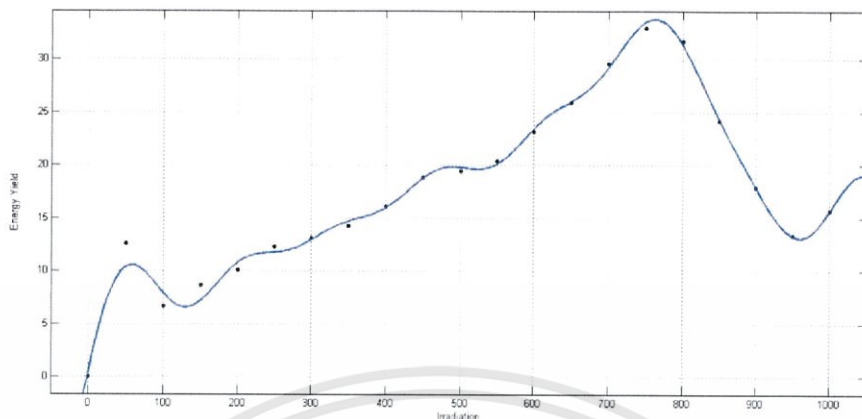
4.2.1 ภาคกลาง



รูปที่ 4..8 แสดง Energy yield ของภาคกลาง

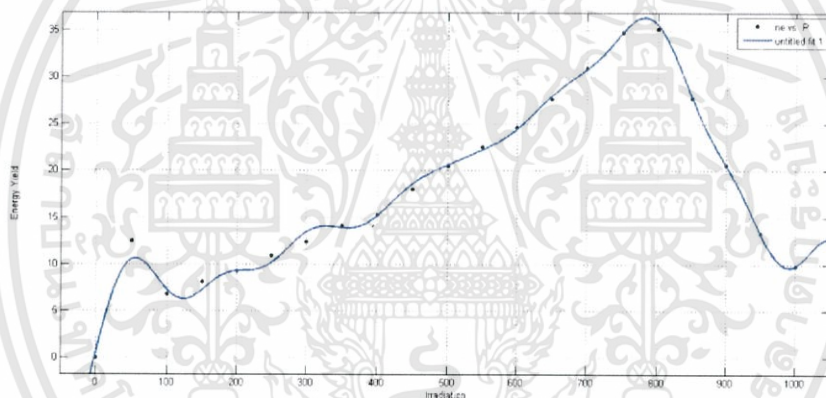
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ภาคเหนือ



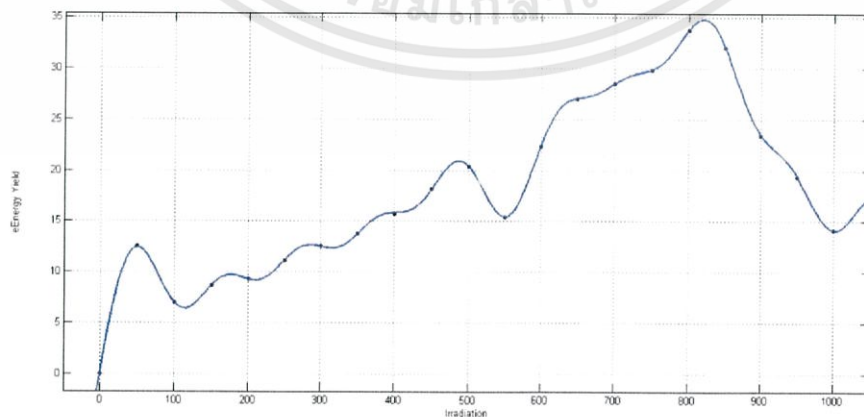
รูปที่ 4.9 แสดง Energy yield ของภาคเหนือ

4.2.3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 4.10 แสดง Energy yield ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

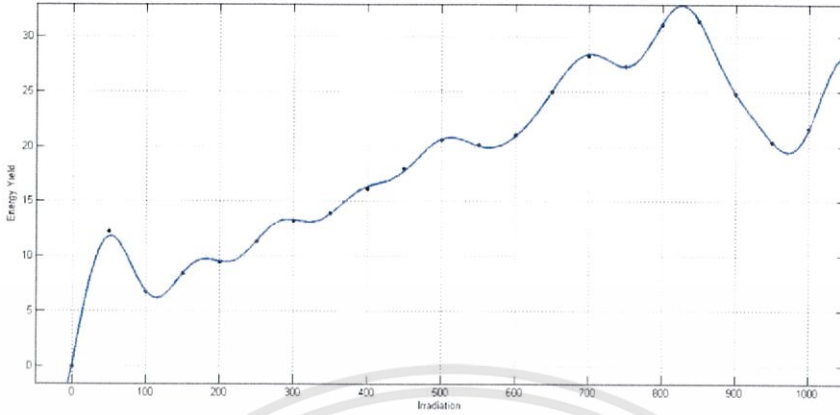
4.2.4 ภาคตะวันออก



รูปที่ 4.11 แสดง Energy yield ของภาคตะวันออก

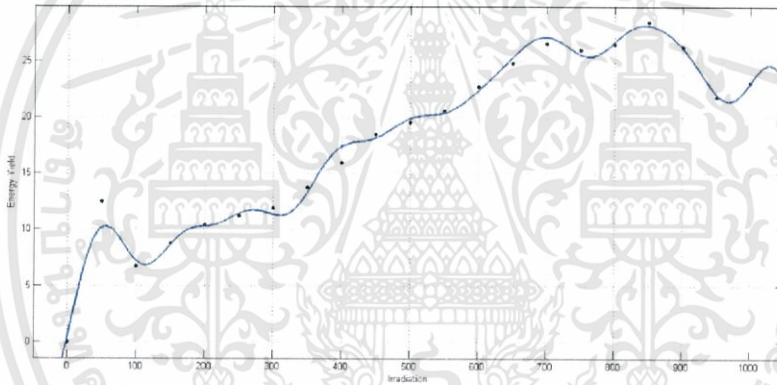
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



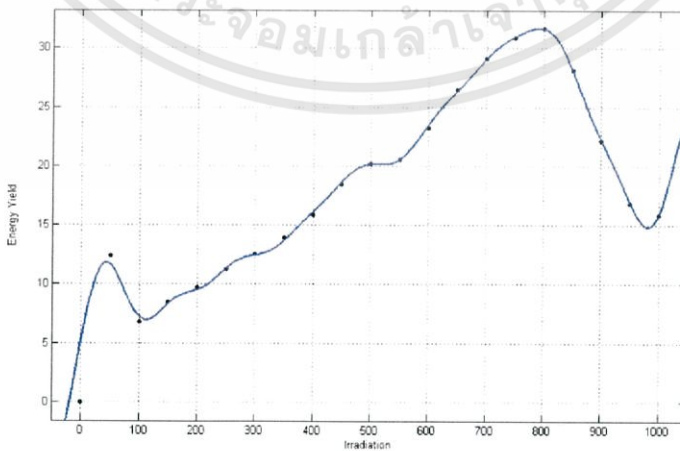
รูปที่ 4.12 แสดง Energy yield ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

4.2.6 ภาคใต้



รูปที่ 4.13 แสดง Energy yield ของภาคใต้

4.2.7 ประเทศไทย



รูปที่ 4.14 แสดง Energy yield ของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการแปลง energy yield เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ โดยเขียนอยู่ในรูปของ sum of sines
สมการทางคณิตศาสตร์ของ energy yield ได้ผลดังนี้

4.3.1 ภาคกลาง

$$f(x) = 29.05\sin(0.003158x - 0.4443) + 10.36\sin(0.01017x - 0.3013) \\ + 8.238\sin(0.01649x + 1.71) + 9.904\sin(0.01373x + 0.3449) \\ + 0.7176\sin(0.05547x - 1.136) + 3.863\sin(0.0246x + 0.6699) \\ + 3.116\sin(0.027x + 2.332) + 0.8616\sin(0.04203x + 0.1465) \quad 4.1$$

4.3.2 ภาคเหนือ

$$f(x) = 29.51\sin(0.003277x - 0.4609) + 8.57\sin(0.00773x + 0.6872) \\ + 4.333\sin(0.01816x + 0.6426) + 2.453\sin(0.024x + 1.289) \\ + 3.751\sin(0.01202x + 0.5198) + 1.543\sin(0.0314x + 0.2269) \\ + 0.9586\sin(0.03442x + 1.294) + 0.7772\sin(0.04349x - 0.2172) \quad 4.2$$

4.3.3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

$$f(x) = 28.71\sin(0.00313x - 0.4039) + 8.898\sin(0.009071x + 0.3006) \\ + 3.722\sin(0.01688x + 0.01688) + 4.052\sin(0.01181x + 1.131) \\ + 2.682\sin(0.02522x + 0.5477) + 2.834\sin(0.04575x - 1.633) \\ + 2.66\sin(0.04709x + 0.7947) + 1.364\sin(0.02833x + 2.006) \quad 4.3$$

4.3.4 ภาคตะวันออก

$$f(x) = 32.73\sin(0.003628x - 0.5811) + 14.54\sin(0.007373x + 1.031) \\ + 3.896\sin(0.02013x - 0.4919) + 6.298\sin(0.02791x + 1.837) \\ + 1.386\sin(0.04065x + 0.6435) + 1.139\sin(0.05586x - 0.9745) \\ + 6.89\sin(0.02558x - 0.1052) - 2.084\sin(0.0116x - 1.334) \quad 4.4$$

4.3.5 ภาคตะวันตก

$$f(x) = 29.9\sin(0.002927x - 0.2532) + 9.013\sin(0.005971x + 1.85) \\ + 3.43\sin(0.02169x - 1.557) + 13.51\sin(0.02629x - 0.6268) \\ + 11.82\sin(0.02743x + 1.924) + 1.03\sin(0.03786x + 0.7884) \\ + 18.13\sin(0.05313x - 2.46) + 18.19\sin(0.05333x + 0.5725) \quad 4.5$$

4.3.6 ภาคใต้

$$\begin{aligned}
 f(x) = & 31.03\sin(0.003281x - 0.4694) + 12.1\sin(0.007035x + 1.009) \\
 & + 3.893\sin(0.01111x + 1.769) + 138.7\sin(0.05425x - 2.641) \\
 & + 138.8\sin(0.05426x + 0.492) + 5.445\sin(0.03381x - 1.074) \\
 & + 1.228\sin(0.01769x + 0.984) + 5.119\sin(0.03491x + 1.526)
 \end{aligned}$$

4.6

4.3.7 ประเทศไทย

$$\begin{aligned}
 f(x) = & 25.5\sin(0.002296x - 0.06507) + 4.038\sin(0.008671x + 1.122) \\
 & + 18.02\sin(0.02209x - 1.46) + 25.28\sin(0.02335x + 1.081) \\
 & + 8.885\sin(0.02541x + 3.183) + 43.21\sin(0.04882x - 3.189) \\
 & + 49.56\sin(0.04906x - 0.1745) + 6.737\sin(0.05059x + 2.145)
 \end{aligned}$$

4.7

4.4 ผลการวิเคราะห์หาค่า energy yield เพื่อหาสมการประสิทธิภาพ

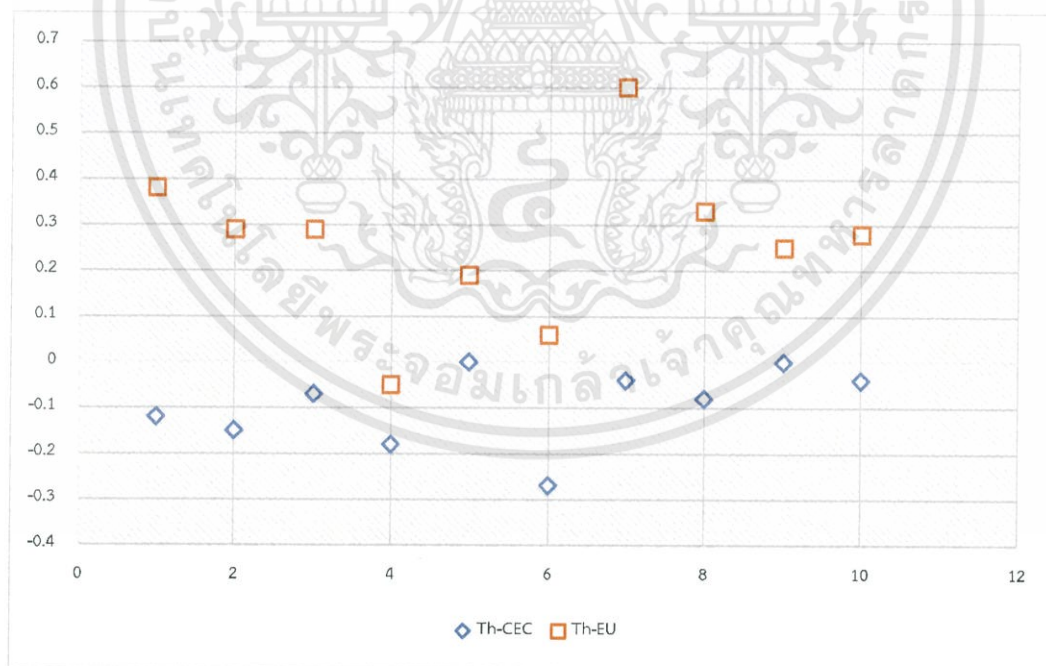
ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบ coefficient ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของแต่ละภาค

Efficiency (%)	Coefficient						ประเทศไทย
	ภาคเหนือ	ภาคกลาง	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคตะวันออก	ภาคตะวันตก	ภาคใต้	
10	0.04	0.05	0.03	0.05	0.05	0.04	0.05
20	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04
30	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
50	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.18	0.18
75	0.36	0.35	0.37	0.32	0.32	0.32	0.34
100	0.32	0.30	0.33	0.35	0.35	0.35	0.33

4.5 ผลการเปรียบเทียบสมการประสิทธิภาพกับมาตรฐาน CEC efficiency และ Euro efficiency

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 3 – 5 kW

model	Efficiency (%)										
	CEC	EU	Th	Th-CEC	Th-EU	Central	Eastern	Northeast	North	Southern	Western
1. connext 3000ES	97.04	96.54	96.92	-0.12	0.38	97.32	96.32	98.31	97.29	97.31	96.32
2. Replus-4000TL	97.20	96.76	97.05	-0.15	0.29	96.82	95.82	97.82	96.78	96.81	95.82
3. IG plus 50 v-1	94.98	94.61	94.90	-0.07	0.29	94.94	93.95	95.92	94.90	94.91	93.95
4. stecagrid4200	98.21	98.08	98.03	-0.18	-0.05	97.98	96.97	98.97	97.98	97.96	96.97
5. TRB5000TL	95.81	95.63	95.81	0.00	0.19	95.83	94.85	96.82	95.80	95.82	94.85
6. TL5000-10	96.65	96.32	96.38	-0.27	0.06	96.54	95.52	97.54	96.52	96.52	95.52
7. JSI5000TL	96.50	95.86	96.46	-0.04	0.60	96.83	95.78	97.88	96.75	96.79	95.78
8. PVI5000TL	96.13	95.72	96.05	-0.08	0.33	96.18	95.18	97.18	96.14	96.16	95.18
9. sunny boy 5000TL	96.29	96.04	96.29	0.00	0.25	96.41	95.42	97.40	96.38	96.40	95.42
10. 5000MTL-10	96.27	95.95	96.23	-0.04	0.28	96.28	95.29	97.28	96.25	96.27	95.29



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 3 – 5 kW

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 5 – 10 kW

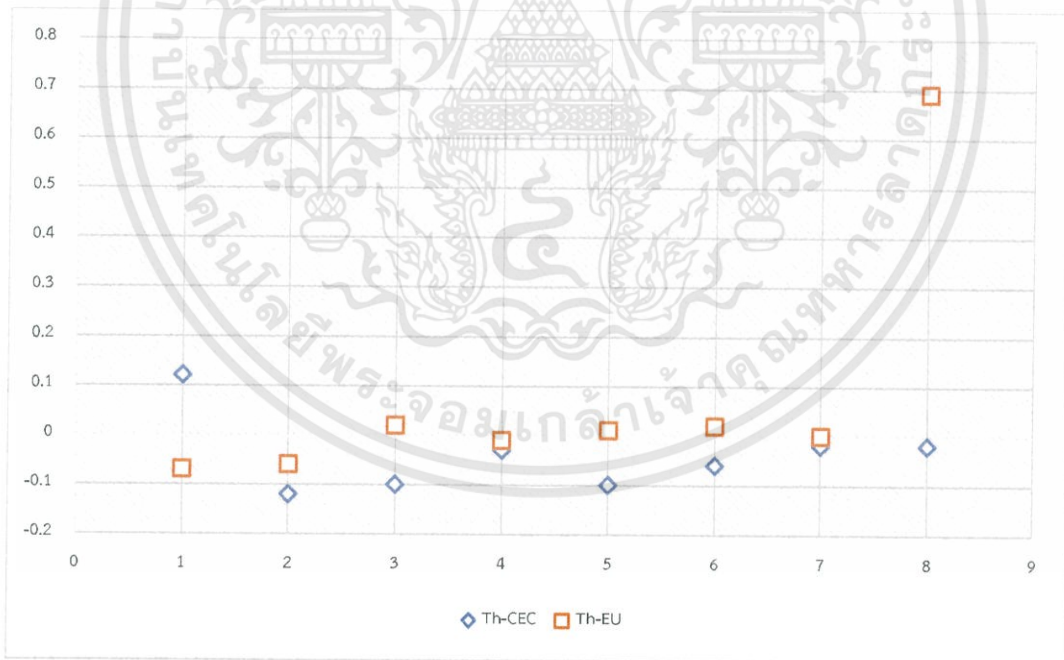
model	Efficiency (%)										
	CEC	EU	Th	Th-CEC	Th-EU	Central	Eastern	Northeast	North	Southern	Western
1. RPI-M6A	97.53	97.10	97.54	0.01	0.44	98.03	97.02	99.04	97.99	98.02	97.02
2. RPI-M8A	98.11	97.92	98.10	0.00	0.18	98.10	97.09	99.10	98.08	98.09	97.09
3. PVI10TL	97.62	97.30	97.59	-0.03	0.30	96.26	95.25	97.26	96.21	96.24	95.25



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 5 – 10 kW

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 20 – 30 kW

model	Efficiency (%)										
	CEC	EU	Th	Th-CEC	Th-EU	Central	Eastern	Northeast	North	Southern	Western
1. Piko20	97.64	97.83	97.76	0.12	-0.07	96.72	95.72	97.72	96.69	96.71	95.72
2. Powadar 20tl3	97.82	97.75	97.70	-0.12	-0.06	97.73	96.73	98.71	97.73	97.72	96.73
3. 20000UE	97.50	97.38	97.40	-0.10	0.02	97.49	96.50	98.48	97.48	97.49	96.50
4. RPI-M30	97.56	97.54	97.53	-0.03	-0.01	97.30	96.31	98.28	97.31	97.30	96.31
5. TRIO-20.0-TL-OUTD	98.13	98.02	98.03	-0.10	0.01	96.76	95.76	97.76	96.73	96.75	95.76
6. sun2000 23ktl	98.08	98.00	98.02	-0.06	0.02	98.02	97.03	99.01	98.01	98.02	97.03
7. Sunny Tripower 25000TL	98.03	98.00	98.00	-0.02	0.00	98.03	97.04	99.01	98.03	98.03	97.04
8. DSP-3330K	95.58	94.87	95.56	-0.02	0.69	95.81	94.77	96.86	95.71	95.79	94.77



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 20 – 30 kW

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 500 kW

model	Efficiency (%)										
	CEC	EU	Th	Th-CEC	Th-EU	Central	Eastern	Northeast	North	Southern	Western
1. CP500TL	98.03	97.96	97.86	-0.17	-0.10	97.88	96.88	98.85	97.89	97.87	96.88
2. CPS SCA500KTL-H	97.86	97.84	97.74	-0.12	-0.10	97.87	96.87	98.85	97.86	97.86	96.87
3. PVS800-57-0500kW-A	97.79	97.40	97.70	-0.08	0.30	97.75	96.72	98.76	97.71	97.73	96.72
4. NP201i	98.49	98.44	98.39	-0.11	-0.05	98.31	97.30	99.29	98.31	98.29	97.30



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 500 kW

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

สรุปผลการดำเนินงาน

สมการประสิทธิภาพที่ได้นั้น เกิดจากการนำข้อมูลความเข้มแสงของประเทศไทยซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ตรวจวัดจาก 38 สถานี กระจายอยู่ทั่วประเทศไทย และมีปริมาณสถานีตรวจวัดมากเป็นอันดับ 1 ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเริ่มดำเนินการเก็บค่าตั้งแต่ปี 2005 จนถึงปี 2014 แบบรายชั่วโมง มีปริมาณข้อมูลมากกว่า 1 ล้านค่า และเนื่องด้วยระยะเวลา ปริมาณข้อมูล การกระจายตัวของสถานีตรวจวัด ทำให้ข้อมูลความเข้มของแสงนั้นค่อนข้างมีความน่าเชื่อถือสูง เมื่อข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาสมการประสิทธิภาพ โดยเริ่มจากการแปลงเป็น Solar irradiation จากนั้นแปลงเป็น Energy yield จึงแปลง Energy yield เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปของ Fourier transforms โดยใช้ฟังก์ชัน cftool ใน Matlab ที่ค่าความแม่นยำสูงถึง 99.9% จะทำให้ได้สมการของ Energy yield ที่แม่นยำ และเมื่อนำไปอินทิเกรตแบบจำกัดเขต เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการประสิทธิภาพในแต่ละช่วงนั้น จะทำให้เกิดความแม่นยำสูง

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพที่ได้ มาทดลองใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่วางขายอยู่ในท้องตลาดจำนวน 25 models พบว่า

1. ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 3 - 5 kW นั้นหากคิดประสิทธิภาพตาม CEC มีแนวโน้มจะได้ค่าประสิทธิภาพจริงเมื่อนำมาใช้ในประเทศไทยต่ำกว่าที่กำหนดไว้ แต่หากคิดตาม Euro มีแนวโน้มจะได้ค่าประสิทธิภาพจริงสูงกว่าที่กำหนดไว้
2. ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 5 - 10 kW นั้นหากคิดประสิทธิภาพตาม CEC มีแนวโน้มจะได้ค่าประสิทธิภาพจริงเมื่อนำมาใช้ในประเทศไทยต่ำกว่าที่กำหนดไว้ แต่หากคิดตาม Euro มีแนวโน้มจะได้ค่าประสิทธิภาพจริงสูงกว่าที่กำหนดไว้
3. ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 20 - 30 kW นั้นหากคิดประสิทธิภาพตาม CEC มีแนวโน้มจะได้ค่าประสิทธิภาพจริงเมื่อนำมาใช้ในประเทศไทยต่ำกว่าที่กำหนดไว้ แต่หากคิดตาม Euro มีแนวโน้มจะได้ค่าประสิทธิภาพจริงเท่ากับที่กำหนดไว้
4. ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 500 kW นั้นหากคิดประสิทธิภาพตาม CEC และ Euro มีแนวโน้มจะได้ค่าประสิทธิภาพจริงเมื่อนำมาใช้ในประเทศไทยต่ำกว่าที่กำหนดไว้

ซึ่งทั้งนี้แล้วค่าที่แตกต่างกันนั้น เกิดจากความแตกต่างของสภาพเชิงพื้นที่ เขตตำแหน่งของลงจะจุดที่แตกต่างกันของทั้ง 3 มาตรฐาน ทำให้ค่าความเข้มแสงของแต่ละพื้นที่มีค่าแตกต่างกัน และค่าที่ได้จากสมการประสิทธิภาพที่วิเคราะห์ได้นั้น เป็นค่าที่เหมาะสมกับประเทศไทย

อุปสรรค

- ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้รับล่าช้ากว่ากำหนดไว้ 3 เดือน
- ข้อมูลมีปริมาณเยอะ แต่ระยะเวลาในการดำเนินงานเหลือน้อย ทำให้อาจมีโอกาสมิติดพลาดได้

ข้อเสนอแนะ

- ควรดำเนินการติดต่อขอข้อมูลล่วงหน้าอย่างน้อย 3 เดือน เนื่องจากมีขั้นตอนในการดำเนินเรื่องที่ใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน
- ในตอนการวิเคราะห์ข้อมูล มีโอกาสมิติดพลาด เนื่องจากมีปริมาณของข้อมูลมาก ทำให้อาจมีการตกหล่นในการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาค่า



บรรณานุกรม

กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์, 17 สิงหาคม 2559, กรุงเทพมหานคร 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ.

[1] Anish Kalathil, "Quantification of Solar Inverter Efficiency for Indian Tropical Climatic Conditions". TERI University, New Delhi, India, 2014.

[2] Wikipedia.2559, วันอิควินอกซ์(Equinox)เป็นวันที่กลางวันยาวเท่ากลางคืน(ออนไลน์), แหล่งที่มา <http://www.vcharkarn.com/vcafe/205247>, 3 พฤษภาคม 2559

[3] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, 2559, การแผ่รังสีความร้อน(ออนไลน์). แหล่งที่มา <http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Thermal%20Radiation/11-0.htm>, 3 พฤษภาคม 2559

[4] 2559, พลังงานแสงอาทิตย์ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียม (ออนไลน์), แหล่งอ้างอิง, <http://blog.thaisumi.com/พลังงานแสงอาทิตย์-ศักยภาพ/>, 3 พฤษภาคม 2559

[5] กรมอุตุนิยมวิทยา, 2559, สรุปลักษณะอากาศรายปี(ออนไลน์), แหล่งอ้างอิง http://www.tmd.go.th/programs/uploads/yearlySummary/annual2558_new2.pdf, 3 พฤษภาคม 2559

[6] กระทรวงพลังงาน.2559, พลังงานแสงอาทิตย์จากการตรวจวัด(ออนไลน์), แหล่งอ้างอิง http://www4.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=81%3A2010-05-03-10-29-08&catid=52&Itemid=68&lang=th, 3 พฤษภาคม 2559

[7] กระทรวงพลังงาน, 2559, ความเข้มแสงและศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์จำแนกตามจังหวัดรายปี พ.ศ.2556(ออนไลน์), แหล่งที่มา http://doc-eppo.eppo.go.th/integration/stat/T07_01_01.pdf, 3 พฤษภาคม 2559

[8] Folsom Labs.2559, Module Model, https://www.folsomlabs.com/modeling/module/module_model, 3 May 2016.

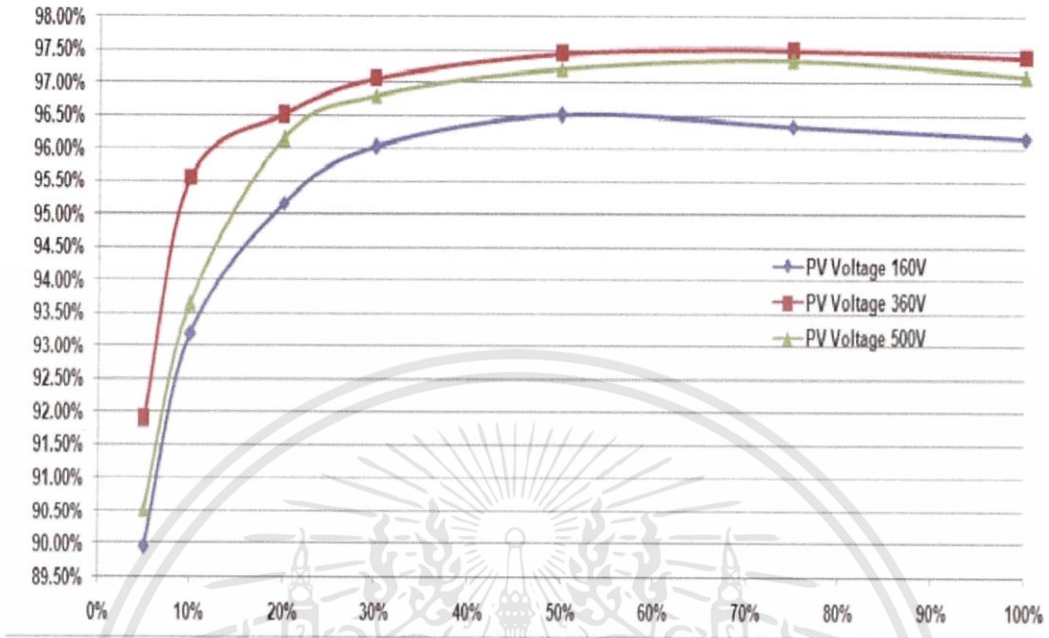
[9] Solarpowerplanetearth, 2559, Solar Panels (Photovoltaic Modules), <http://www.solarpowerplanetearth.com/solarpanels.htm>, 3 May 2016

[10] kru puy social.2559.ลักษณะทางกายภาพของทวีปยุโรป(ออนไลน์), แหล่งอ้างอิง <https://krupuysocial.wordpress.com/2010/07/11>, 3 พฤษภาคม 2559

- [11] กระทรวงพลังงาน, 2559, ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์(ออนไลน์),
http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Designer_CH1toCH5.pdf, 3 พฤษภาคม 2559
- [12] วิกิพีเดีย, 2559, ทวีปอเมริกาเหนือ(ออนไลน์), แหล่งอ้างอิง
<https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%97%E0%B8%A7%E0%B8%B5%E0%B8%9B%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B8%B7%E0%B8%AD>, 3 พฤษภาคม 2559
- [13] LKER ONGUN^{*}, ENGIN ÖZDEMİR, “Weighted efficiency measurement of PV inverters: introducing $\eta_{IZMİR}$,” Bornova İzmir, Turkey, June 2012.
- [14] Peter Lancaster, (1986), Curve and surface fitting an introduction, Great Britain.
- [15] MathWork, 2559, Evaluating Goodness of Fit(Online), Source
<http://www.mathworks.com/help/curvefit/evaluating-goodness-of-fit.html>, 3 May 2016
- [16] Lucas Vizzotto Bellinaso, Cassiano Rech, Luciano Schuch and Leandro Michels, METHODOLOGY FOR PRODUCT DESIGN OF PHOTOVOLTAIC INVERTERS, Santa Maria, RS – Brasil, 2013.

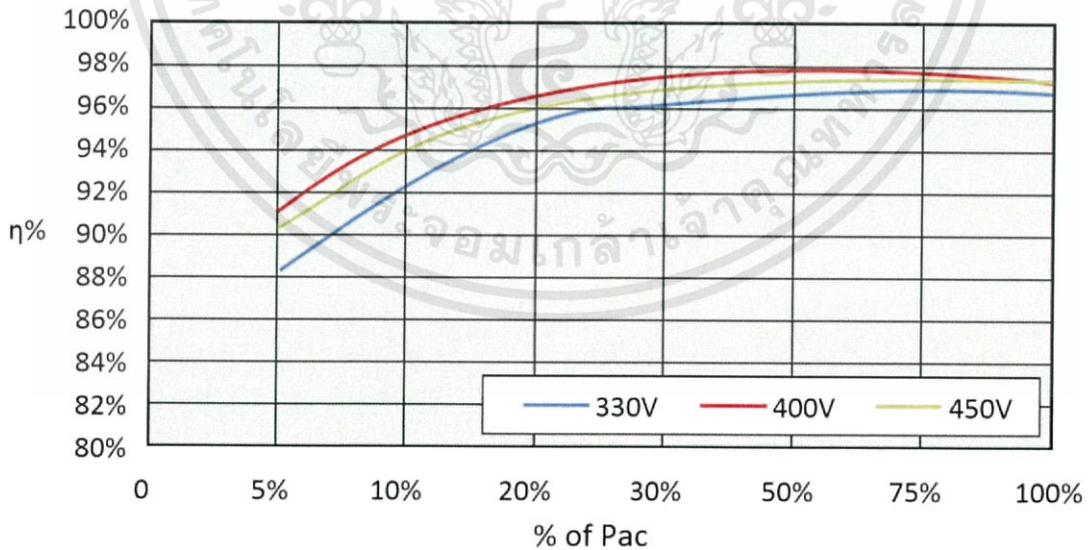


ขนาด 3-5 kW



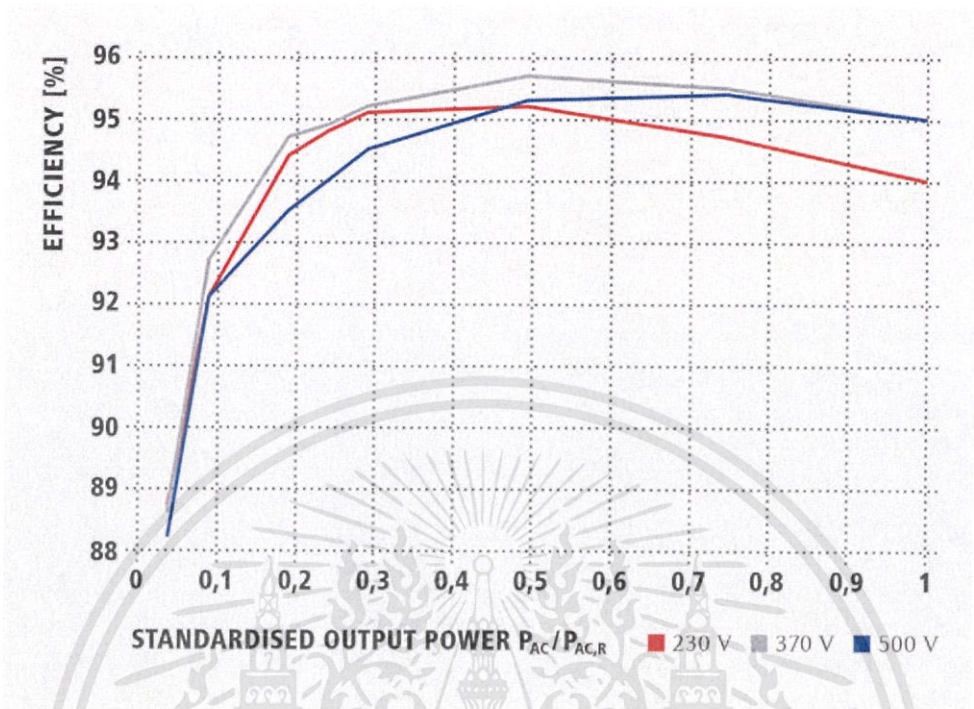
รูปที่ ก.1 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น Connext 3000ES

Efficiency Curve for Replus-4000TL

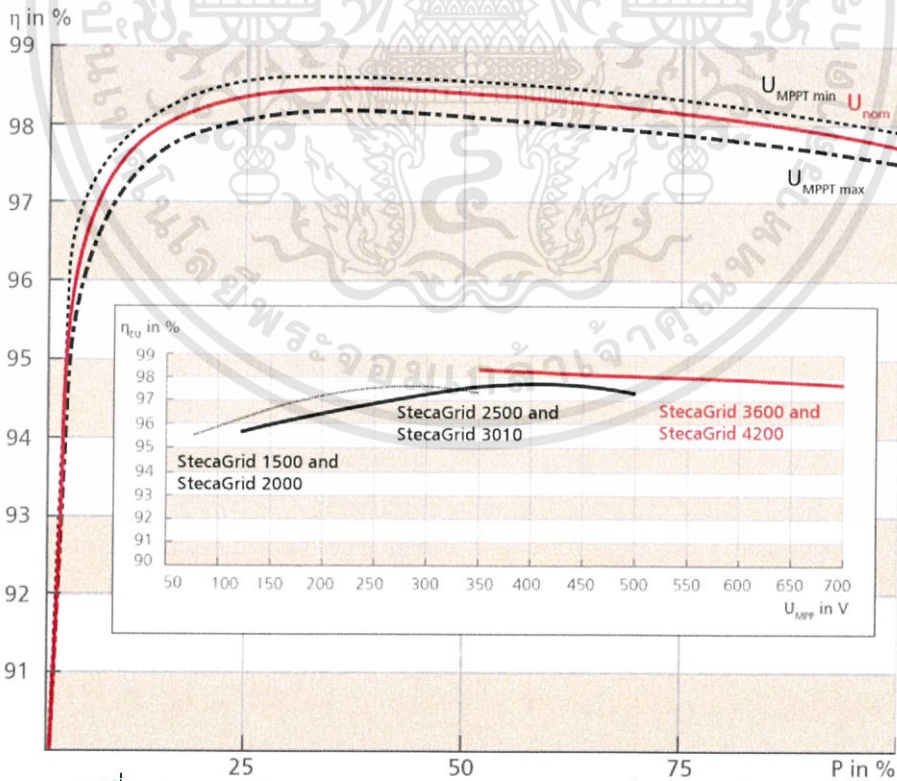


รูปที่ ก.2 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น Replus-4000TL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

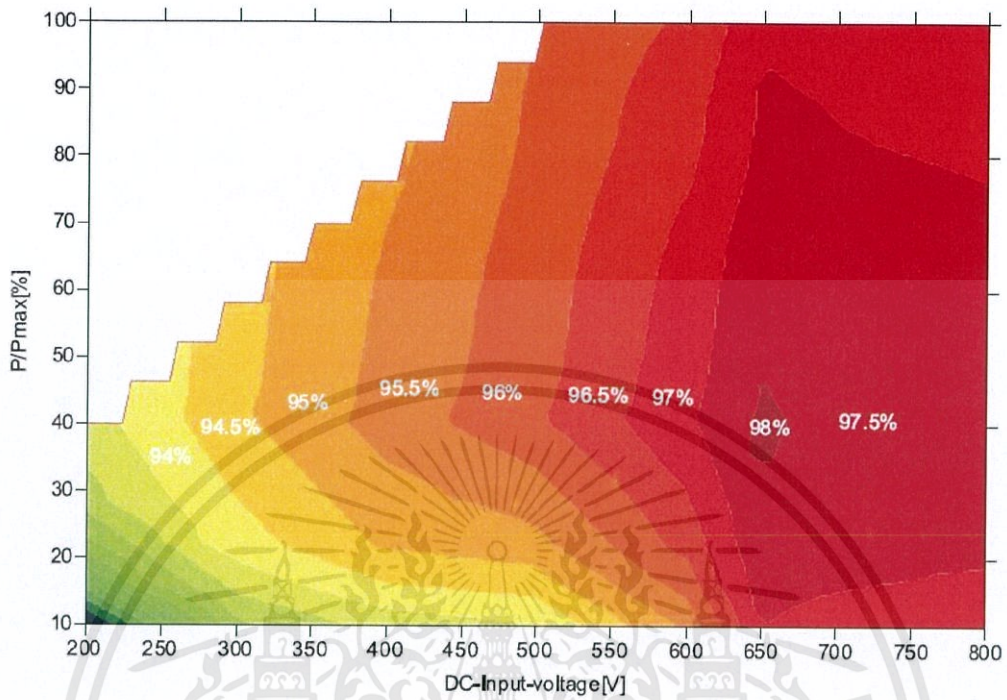


รูปที่ ก.3 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น IG plus 50 v-1

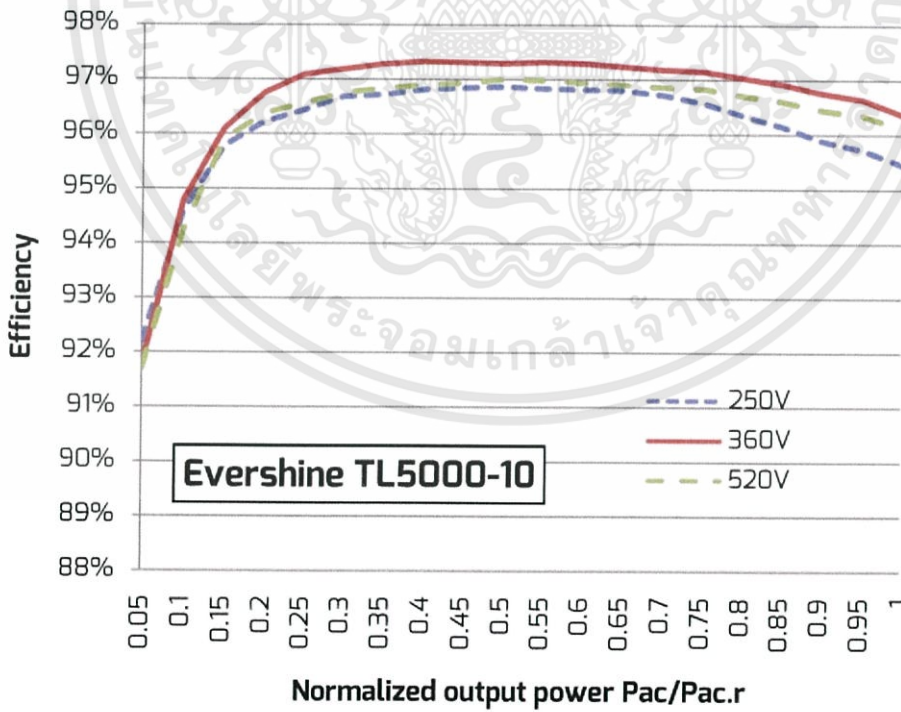


รูปที่ ก.4 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น StecaGrid 4200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

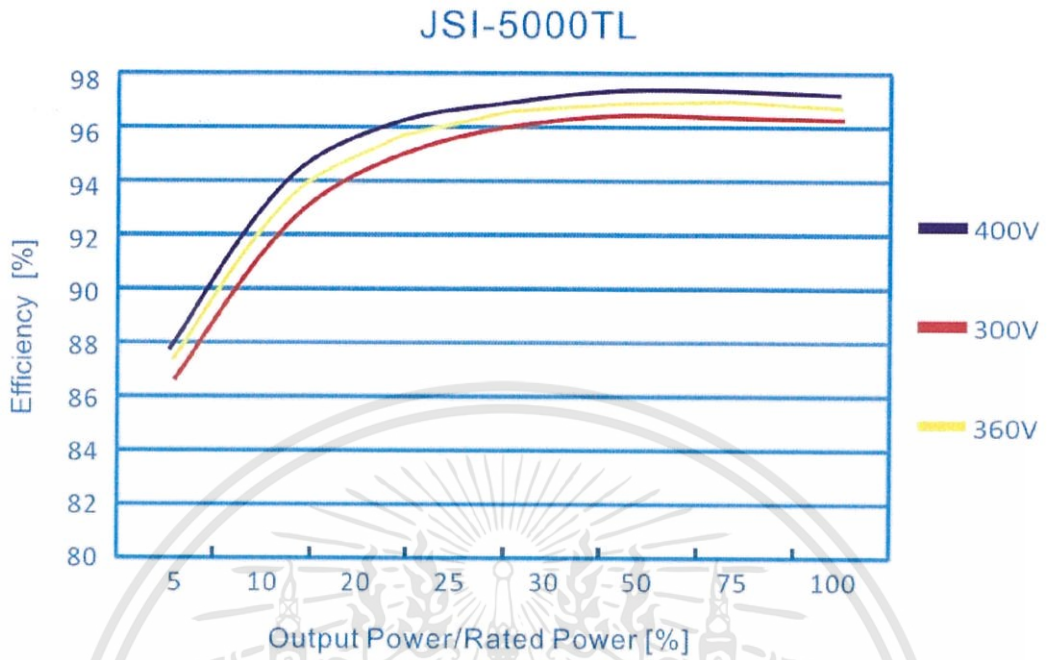


รูปที่ ก.5 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น TRB 5000TL

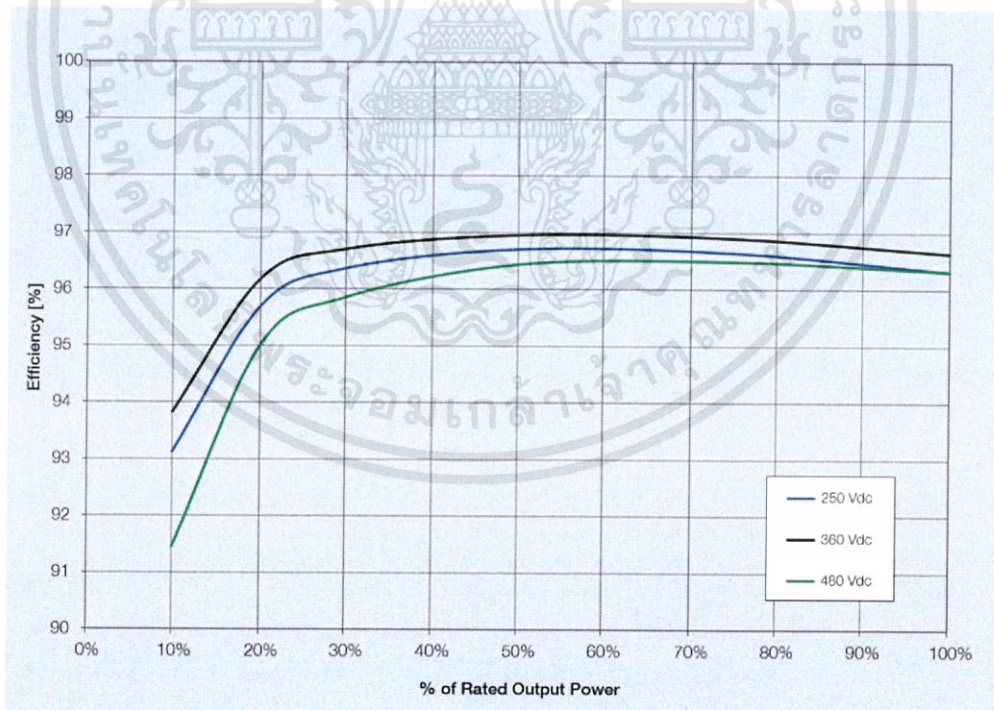


รูปที่ ก.6 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น TL5000-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

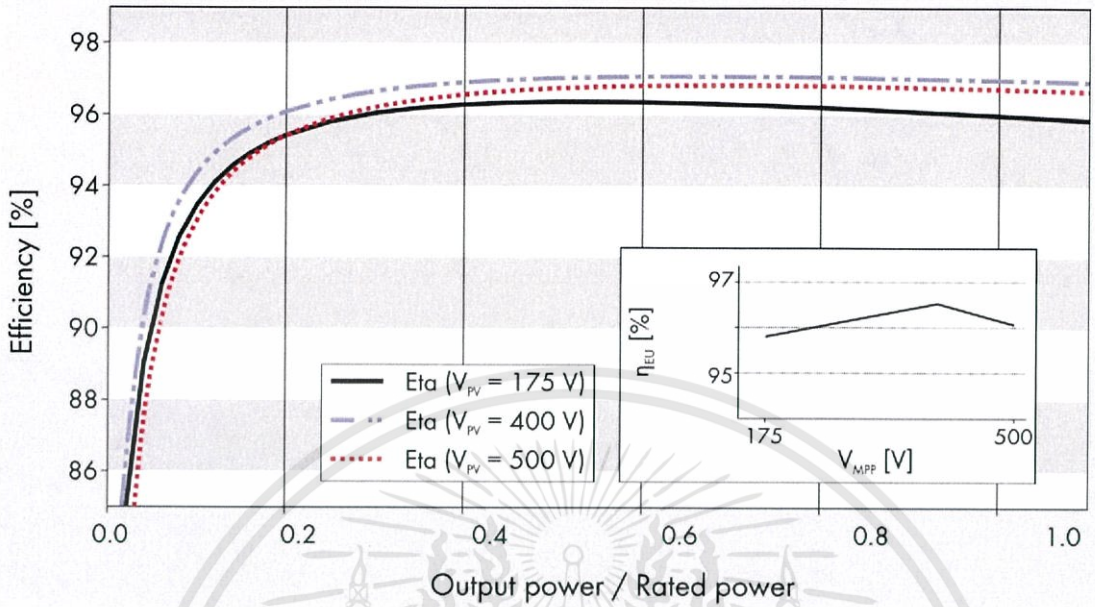


รูปที่ ก.7 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น JSI-5000TL

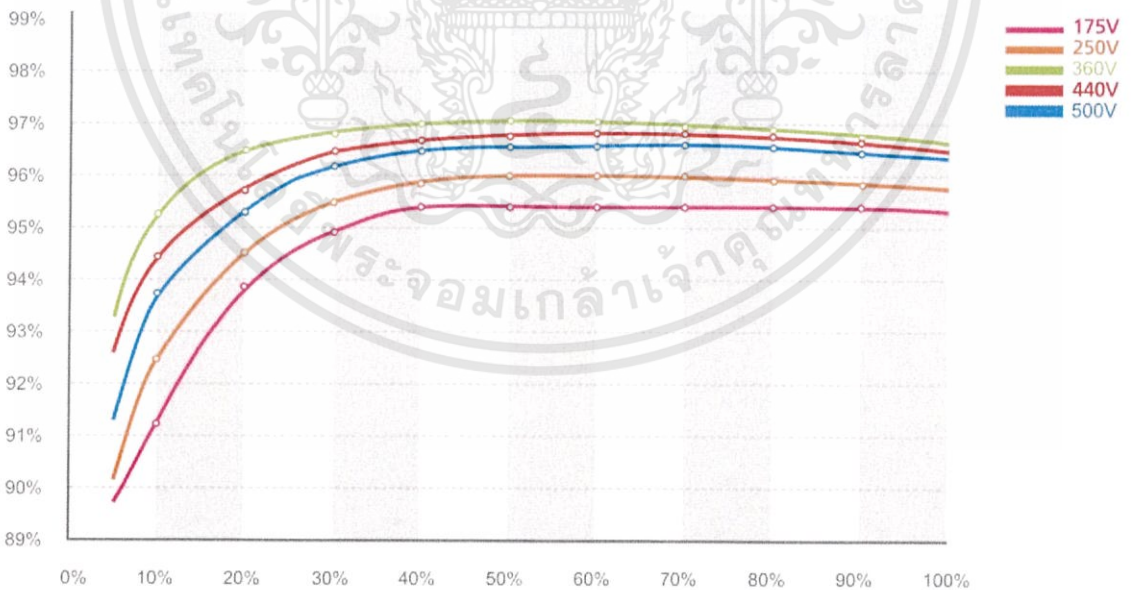


รูปที่ ก.8 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น PVI-5000TL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



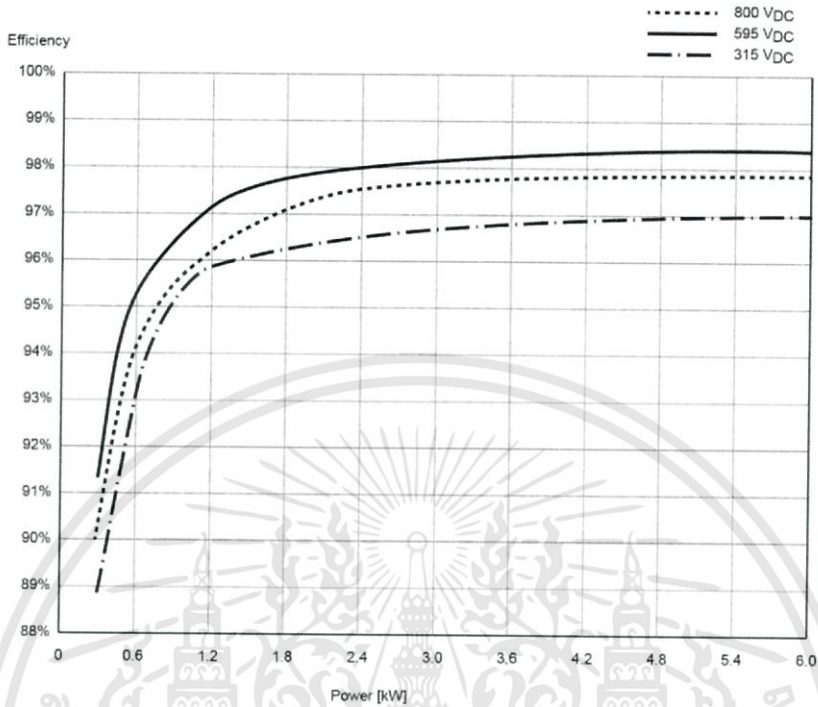
รูปที่ ก.9 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น Sunny boy 5000TL



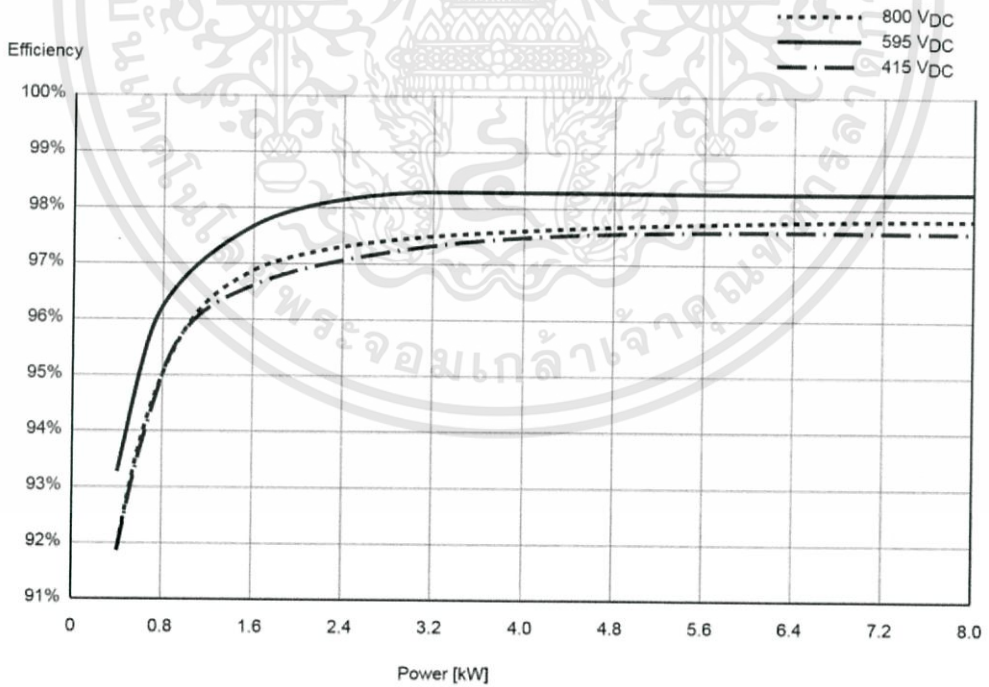
รูปที่ ก.10 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น 5000MTL-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาด 5-10 kW

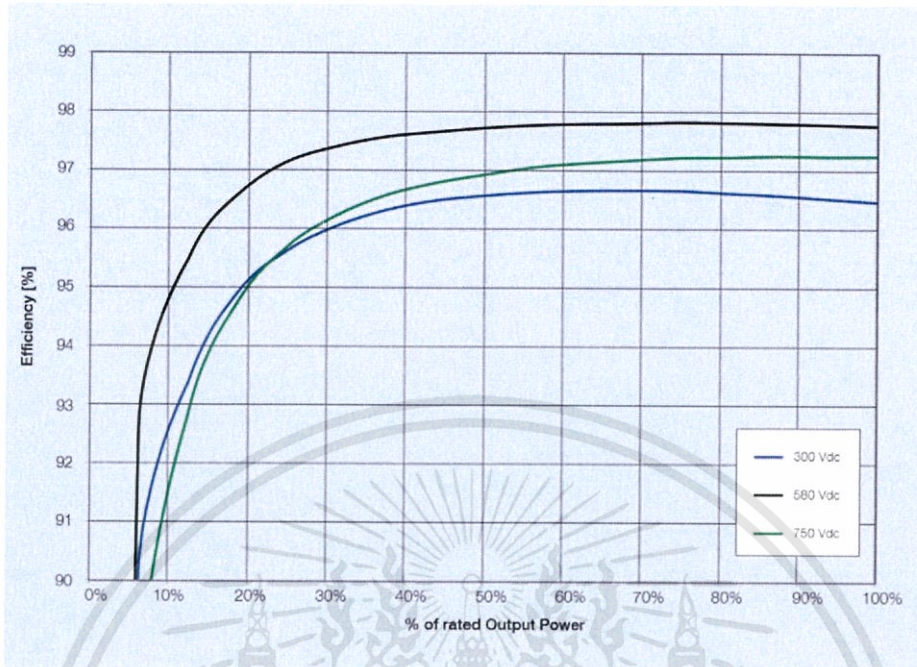


รูปที่ ก.11 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น RPI-M6A



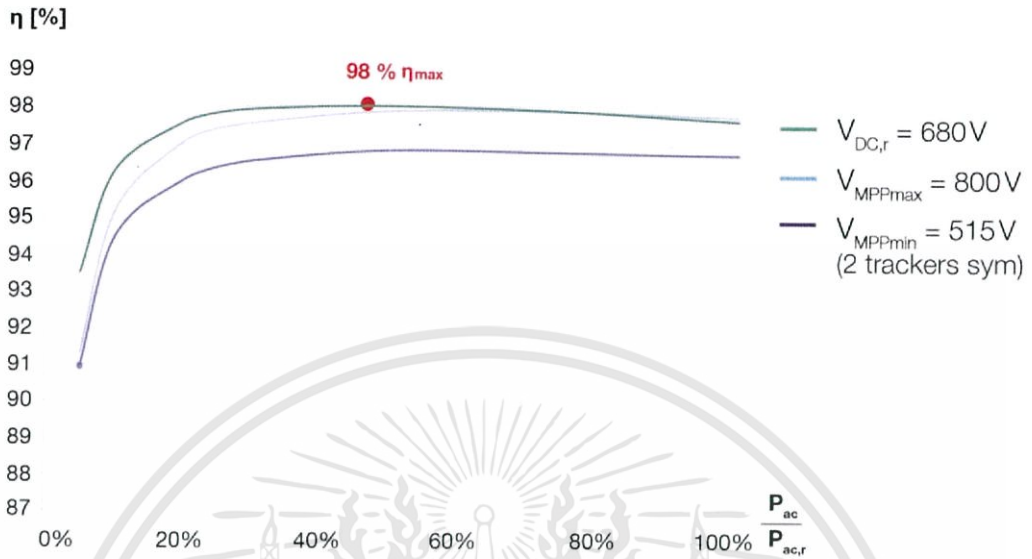
รูปที่ ก.12 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น RPI-M8A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

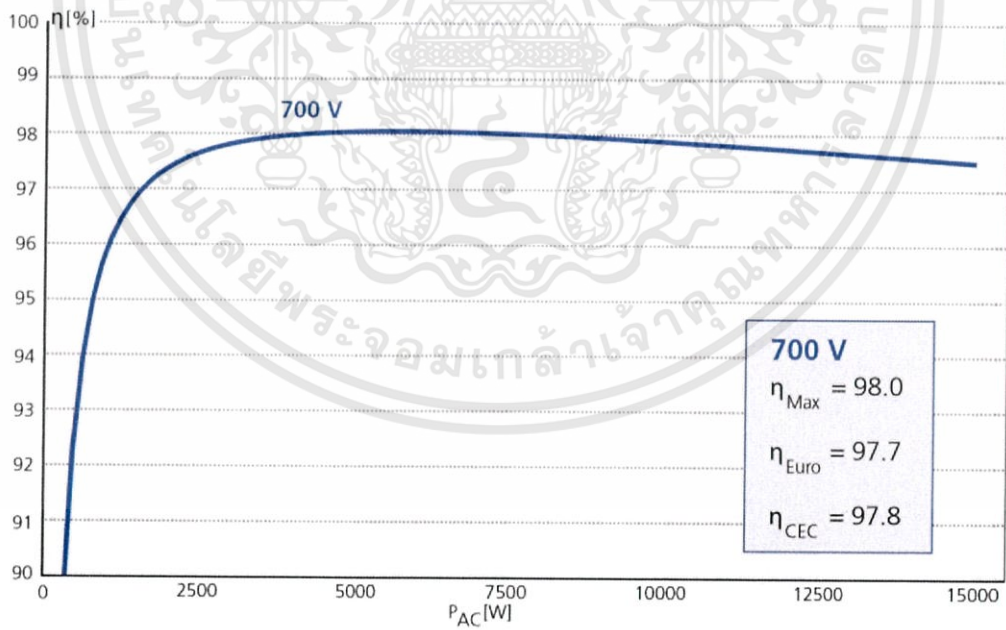


รูปที่ ก.13 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น PVI-10.0TL

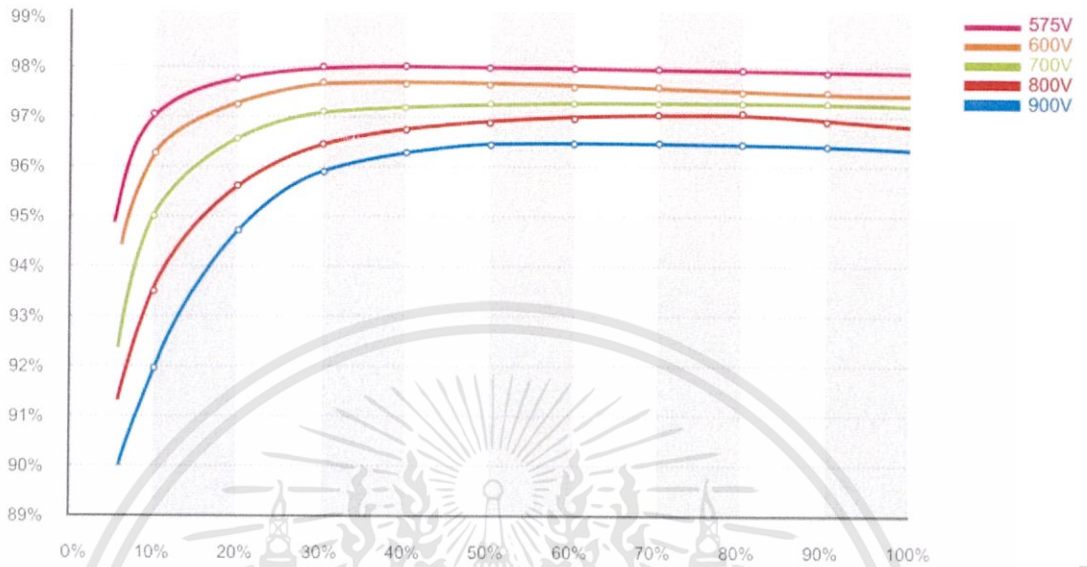
ขนาด 20-30 kW



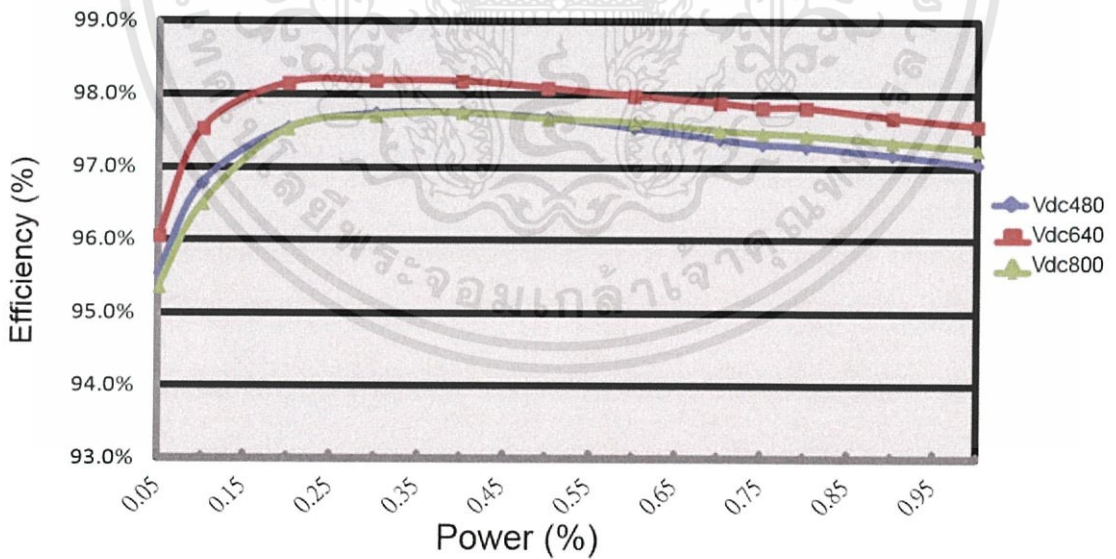
รูปที่ ก.14 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น PIKO-20



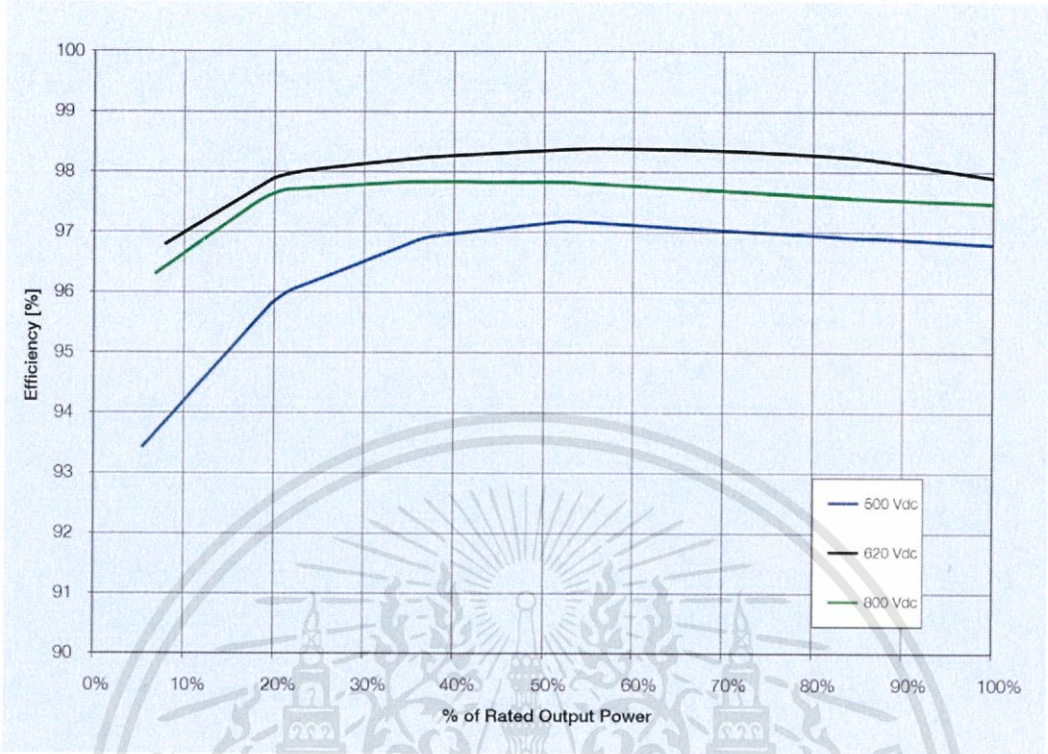
รูปที่ ก.15 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น Powador 20TL-3



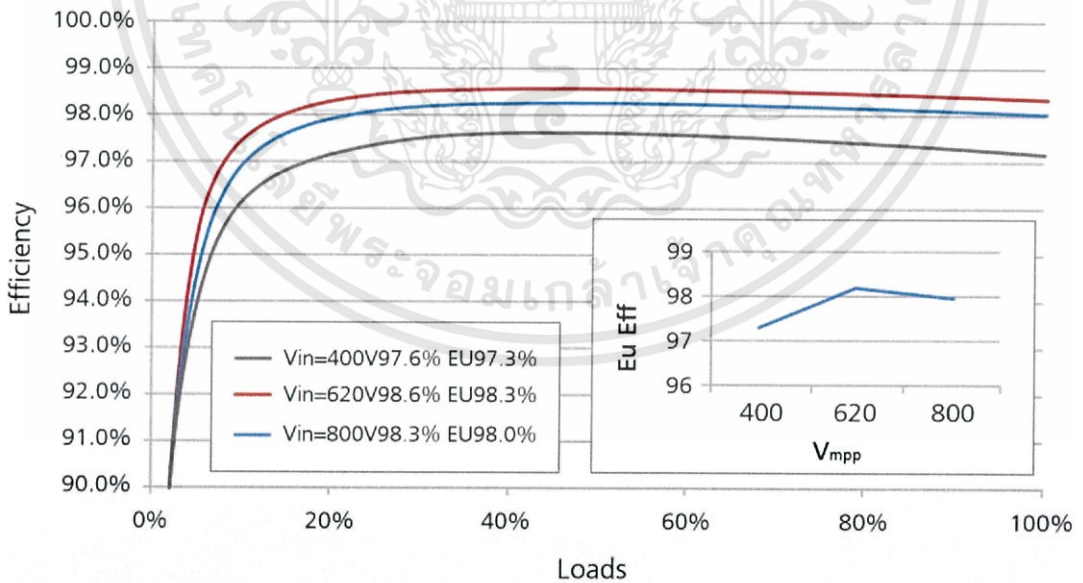
รูปที่ ก.16 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น 20000UE



รูปที่ ก.17 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น RPI M30

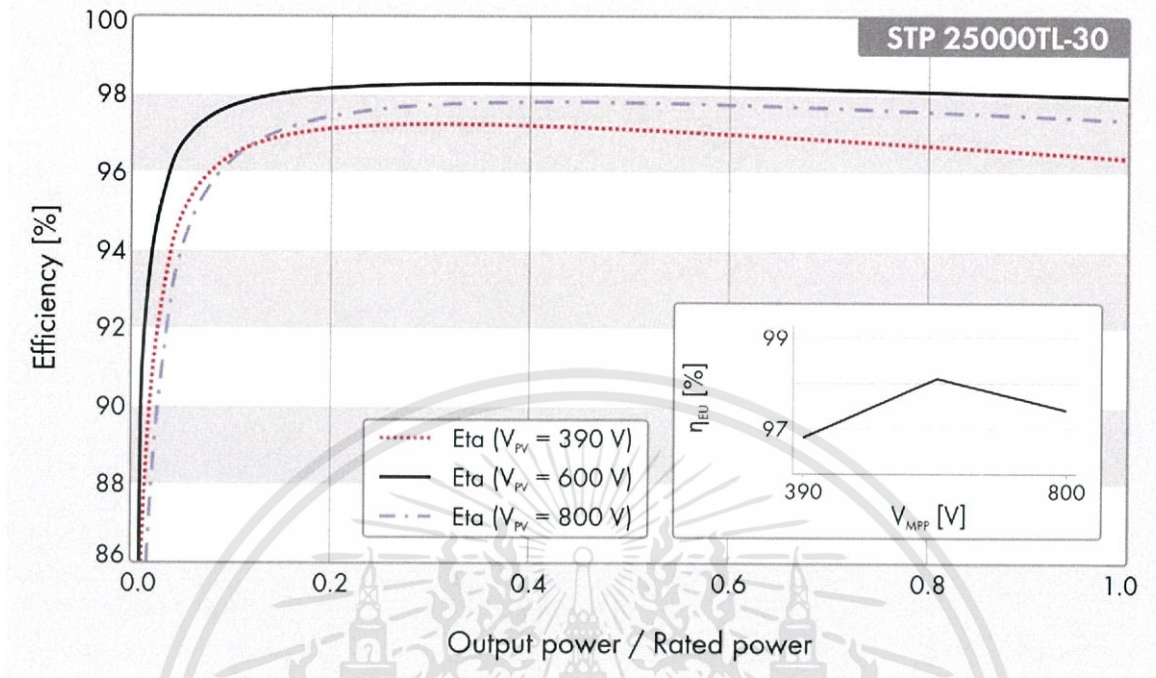


รูปที่ ก.18 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น TRIO-20.0TL-OUTD

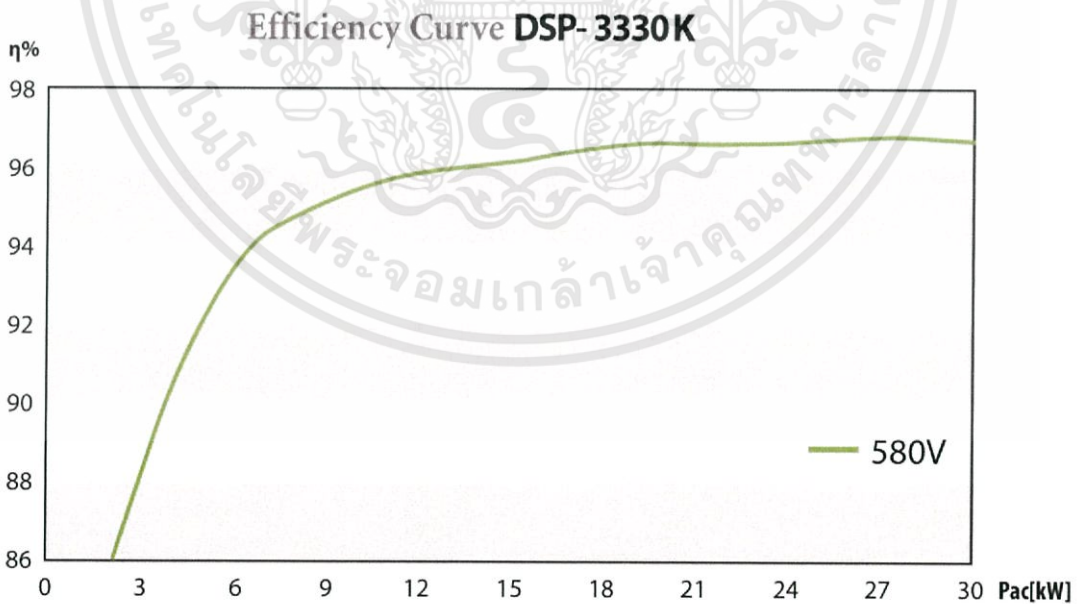


รูปที่ ก.19 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น SUN2000 23KTL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

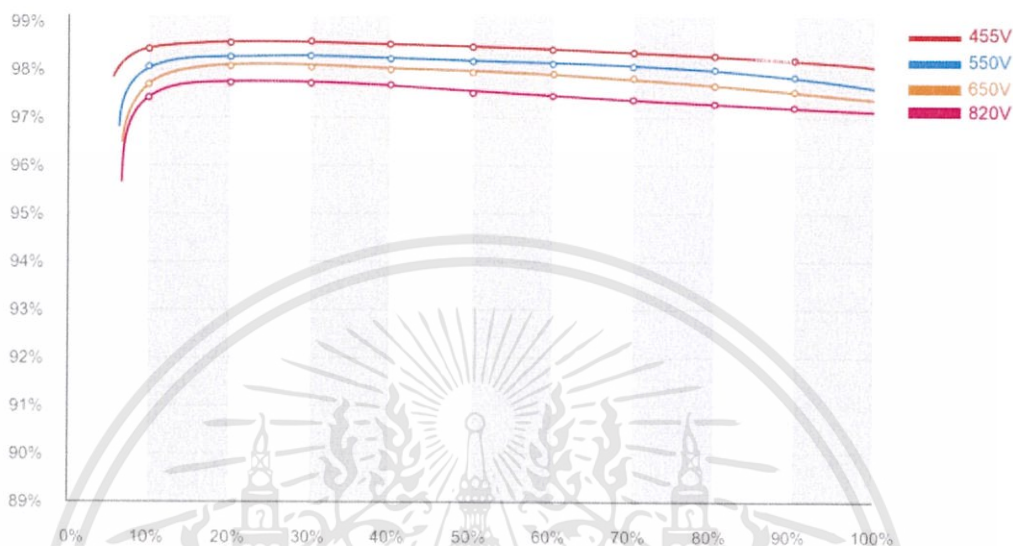


รูปที่ ก.20 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น SunnyTriPower25000TL



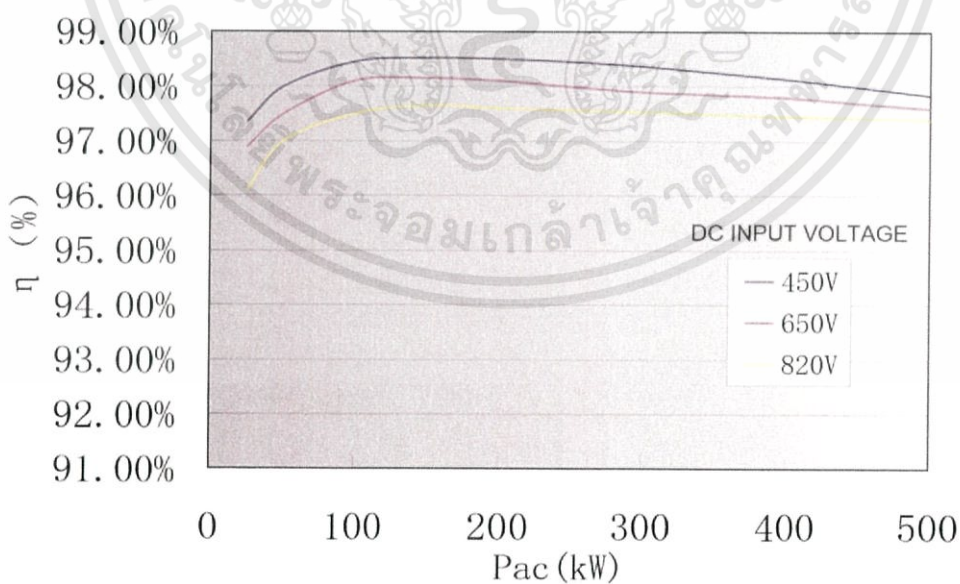
รูปที่ ก.21 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น DSP-3330K

ขนาด 500 kW



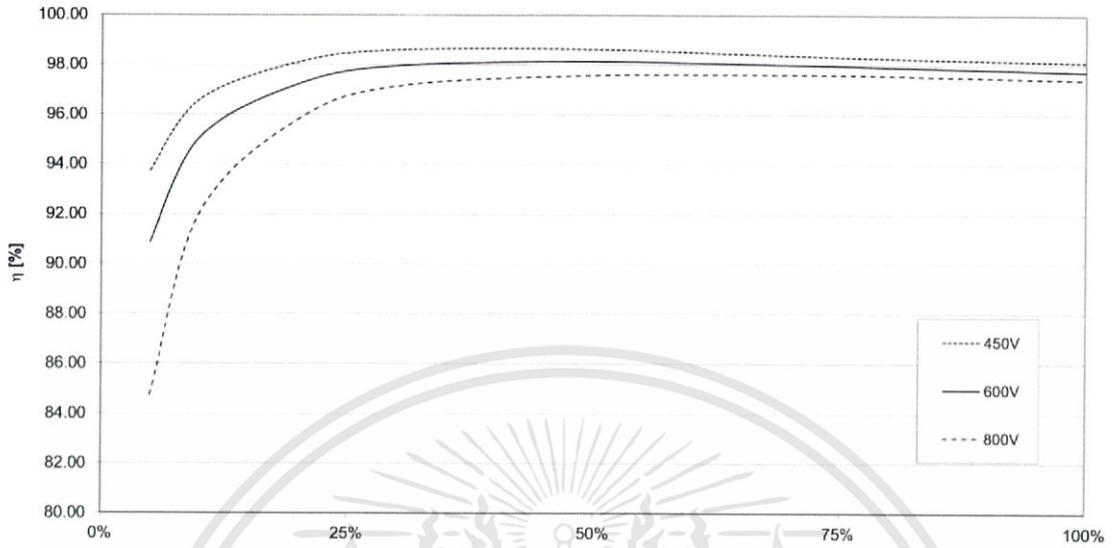
รูปที่ ก.22 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น CP 500TL

Efficiency Curve

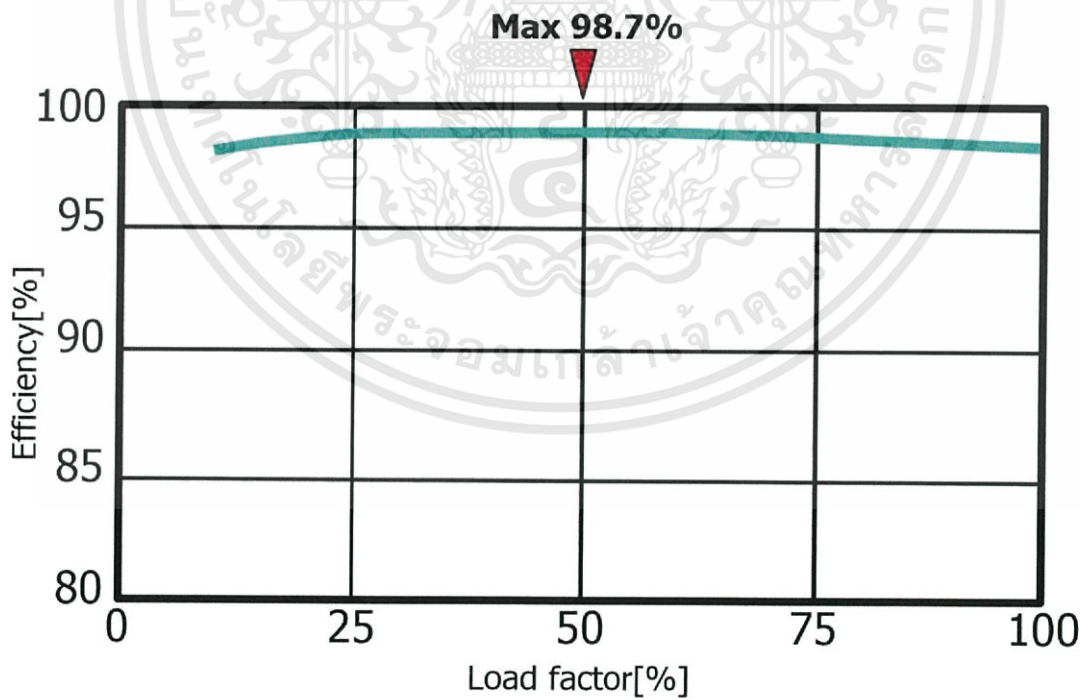


รูปที่ ก.23 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น CPS SCA500KTL-H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.24 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น PVS800-57-0500kW-A



รูปที่ ก.25 แสดง Efficiency curve ของ inverter รุ่น NP201i

การศึกษาค่าประสิทธิภาพสำหรับโซลาร์อินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมกับประเทศไทย

Study on Thailand efficiency for solar inverter

กิตติ คำจิต วัชร จันทรวงษ์ ศุภวีร์ วงษ์ประสิทธิ์¹ และศุภกร จักรแก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-739-2478 E-mail: sudd@icloud.com¹

บทคัดย่อ

โซลาร์อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงกระแสไฟฟ้าจาก DC เป็น AC อินเวอร์เตอร์จะมีมาตรฐานที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละเครื่อง ซึ่งในปัจจุบันถูกกำหนดโดย CEC efficiency และ Euro efficiency โดยมาตรฐานดังกล่าวทั้ง 2 แบบนั้น หากเรานำอินเวอร์เตอร์ตัวหนึ่ง ไปเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการทำงานโดยใช้มาตรฐานทั้ง 2 แบบ จะพบว่าได้ค่าประสิทธิภาพที่ไม่เท่ากัน โดย CEC efficiency นั้นถูกกำหนดขึ้นที่รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วน Euro efficiency นั้นถูกกำหนดขึ้นที่ประเทศเยอรมันนี เมื่อสังเกตจะพบว่าพื้นที่ตั้งของประเทศที่คิดค้นมาตรฐานทั้ง 2 แบบนั้นมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงทั้งสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ ปริมาณน้ำฝน สภาพแสง ดังนั้นหากนำมาใช้กับประเทศไทย อาจส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพจริงไม่ตรงตามค่าที่วัดได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างตัววัดประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับประเทศไทยขึ้นมา เพื่อเป็นตัวกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำกับสถานที่ตั้งของประเทศไทย

ABSTRACT

Solar inverter is the instrument that used for convert current from DC to AC. Inverter have a standard used for determine an efficiency on work in each instrument. Now, the standard was defined by CEC efficiency and Euro efficiency. If we have a one of inverter and bring it to test with both efficiency. We'll get a different value of efficiency from the same inverter. CEC efficiency was founded in California, USA and Euro efficiency was founded in Germany. From the countries was founded the both efficiency, they have a different in terrain, climate, the value of rain and irradiation. So if we have used both efficiency to determine we'll get a value of efficiency doesn't match with on work. That's the reason why we must found the Thailand efficiency for use only in Thailand to be a standard of determination inverter efficiency that will be used in Thailand.

Keyword: Thailand Efficiency, Solar inverter Efficiency, Inverter, Thailand, Standard Solar Efficiency.

1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้น มีศักยภาพมากเพียงพอที่จะใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในระดับค่อนข้างดี แต่จะมีข้อจำกัดในเรื่องของสภาพพื้นที่ สภาพอากาศ อนุหภูมิ ทำให้มีเพียงบางพื้นที่เท่านั้นที่จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่การผลิตกระแสไฟฟ้าให้มีศักยภาพสูงนั้นจะถูกจำกัดด้วยตัวบริภัณฑ์ทางไฟฟ้าที่มีหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟฟ้าตรงจากแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เรียกว่า inverter โดยภายในอินเวอร์เตอร์ จะมีการแบ่งค่ามาตรฐานประสิทธิภาพตามน้ำหนักของประสิทธิภาพที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ กล่าวคือ ในช่วงของพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ ที่ประสิทธิภาพต่างๆ เช่น 5% 10% 20% 50% เป็นต้น จะมีสัมประสิทธิ์มาตรฐานที่ไม่เท่ากัน เพื่อให้สามารถสร้างประสิทธิภาพของพลังงานที่ได้สูงที่สุด

บนโลกนี้ มีค่ามาตรฐานที่ถือว่าเป็นค่าสากล และถูกใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ CEC Efficiency และ European Efficiency โดย CEC Efficiency นั้น ถูกกำหนดขึ้นโดย California Energy Commission ตั้งแต่ปี 2549 เพื่อใช้ภายในเมือง Sacramento ในรัฐ California และ European Efficiency ถูกกำหนดขึ้นโดย Rolf Hotopp ตั้งแต่ในปี 2533 เพื่อใช้ในเมือง Trier ประเทศเยอรมันนี โดย European Efficiency จะมีรูปแบบดังสมการที่ 1.1

$$\eta_{euro} = 0.03\eta_{5\%} + 0.06\eta_{10\%} + 0.13\eta_{20\%} + 0.1\eta_{30\%} + 0.48\eta_{50\%} + 0.2\eta_{100\%} \quad [1.1]$$

และ CEC Efficiency จะมีรูปแบบดังสมการที่ 1.2

$$\eta_{cec} = 0.04\eta_{10\%} + 0.05\eta_{20\%} + 0.12\eta_{30\%} + 0.21\eta_{50\%} + 0.53\eta_{75\%} + 0.05\eta_{100\%} \quad [1.2]$$

ซึ่งเมื่อสังเกตจากสมการ CEC และ Euro Efficiency แล้ว จะพบว่า มีค่าการวัดคุณภาพแตกต่างกัน ซึ่งเนื่องมาจากพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา เพื่อใช้ในการคำนวณค่าแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นประสิทธิภาพดังกล่าว ถ้าหากนำมาใช้ในประเทศไทย อาจจะทำให้เกิดประสิทธิภาพไม่สูงที่สุดตามที่ควรจะเป็น เพราะเนื่องจากสภาพพื้นที่ อากาศ และสภาพแสงของประเทศไทยนั้นมีความแตกต่างจากทั้งยุโรปและแคลิฟอร์เนีย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

2.1.1 ความหมายของประสิทธิภาพในโซลาร์อินเวอร์เตอร์ ประสิทธิภาพของโซลาร์อินเวอร์เตอร์หรือประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (Conversion Efficiency) เป็นพารามิเตอร์บอกลักษณะการสูญเสียซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วย การสูญเสียเนื่องจากหม้อแปลง อุปกรณ์สวิตซ์ซิ่งและการจัดการด้านการใช้กำลังงานของอินเวอร์เตอร์และอื่นๆความสัมพันธ์ดังสมการที่ $\text{Input real power (of fundamental component) / Input real power}$ ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานขึ้นอยู่กับกำลังอินพุตและแรงดันอินพุตของอินเวอร์เตอร์ (ซึ่งมีค่าน้อย อาจไม่ต้องนำมาคิดผลก็ได้) การคิดผลจากแรงดันอินพุตต่อประสิทธิภาพอยู่บนฐานของการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในสภาวะจริงซึ่งสภาพอากาศ (อุณหภูมิและความเข้มแสงอาทิตย์) มีผลต่อการทำงานของแผงเซลล์

2.1.2 ประสิทธิภาพของโซลาร์อินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสม เนื่องจากความเข้มรังสีอาทิตย์บนแผงเซลล์จะขึ้นลงบ่อยครั้งในระหว่างวัน โดยพิจารณาว่าอินเวอร์เตอร์ทำงานภายใต้ภาระค่าต่างๆ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าเข้าช่วงขณะ ถ้าภาระมีค่าน้อยมาก เนื่องจากความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง การรวมผลของสภาวะเมื่อภาระค่าต่างๆจึงควรใช้ค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพ การบอกค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์โดยวิธีใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก (weighted' efficiencies) มีความน่าเชื่อถือมากกว่าการบอกค่าประสิทธิภาพสูงสุดเสียอีก (Peak Efficiency) ในปัจจุบันมาตรฐานการที่เป็นที่ยอมรับคือ European Efficiency และ CEC Efficiency ซึ่งทั้งสองมาตรฐานนี้อาจจะเหมาะสมหรือไม่เหมาะสมกับประเทศไทย เป็นผลมาจากสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน จึงเป็นเหตุผลให้จะต้องมี Thailand Efficiency เพื่อที่จะหาค่าประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับประเทศไทย

ประสิทธิภาพโดยวิธีใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight Efficiency) การวัดค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์แบบการถ่วงน้ำหนักมีประโยชน์มากกว่าการบอกเป็นค่าประสิทธิภาพสูงสุด (Peak Efficiency) ซึ่งประสิทธิภาพแบบการถ่วงน้ำหนักนี้แก้ไขจุดด้อยของประสิทธิภาพสูงสุดคือในระหว่างวันสภาวะอากาศที่แตกต่างกันตลอดวันทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานได้ต่างกันส่งผลให้ประสิทธิภาพต่างกัน ซึ่งวิธีการนี้เป็นการรวมผลของสภาวะเมื่อภาระค่าต่างๆจึงใช้ค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งในปัจจุบันมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับคือมาตรฐานยุโรป (European Efficiency) และมาตรฐานแคลิฟอร์เนีย (CEC Efficiency) แม้ว่ามาตรฐานที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นที่

ยอมรับ แต่ก็มีความเสี่ยงคือแม้เราจะมีอินเวอร์เตอร์เครื่องเดียวกันแต่หากว่าใช้มาตรฐานที่ต่างกันเพื่อหาค่าประสิทธิภาพ อินเวอร์เตอร์เครื่องเดียวกัน อาจจะได้ค่าประสิทธิภาพที่ต่างกันก็ได้ ซึ่งการเลือกใช้มาตรฐานอันไหนนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ที่ใช้อินเวอร์เตอร์นั้นๆ คือถ้าหากผู้ใช้งานอยู่ในยุโรปก็จะใช้ประสิทธิภาพยุโรปก็จะเหมาะสมกว่า

3. การศึกษาวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

เนื่องจากการพัฒนามาตรฐานที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของโซลาร์อินเวอร์เตอร์นั้น มีมาตรฐานใหญ่ๆ ที่ได้รับการยอมรับจากสากลเพียง 2 แห่ง ได้แก่ CEC efficiency และ Euro efficiency แต่ยังมีงานวิจัยในรูปแบบดังกล่าวจากหลายสถานที่ อาทิเช่น อินเดีย ตุรกี และอียิปต์ ที่ได้มีการตีพิมพ์เป็นวารสารทางวิชาการออกมาเผยแพร่ หลังจากการศึกษางานวิจัยในแต่ละที่แล้ว พบว่ามีรูปแบบขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่คล้ายกัน และสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนหลักๆ ได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ solar irradiation
2. ขั้นตอนการแปลง solar irradiation เป็น energy yield
3. ขั้นตอนการแปลง energy yield เป็นสมการทางคณิตศาสตร์

โดยเขียนอยู่ในรูปของ sum of sines

4. ขั้นตอนการวิเคราะห์สมการ energy yield เพื่อหาสมการประสิทธิภาพ

5. ขั้นตอนการเปรียบเทียบสมการประสิทธิภาพกับมาตรฐาน CEC efficiency และ Euro efficiency

3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์หา solar irradiation

Solar irradiation คือ กราฟที่แสดงถึงปริมาณของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่ขนาดหนึ่ง ในหน่วยของจูลต่อตารางเมตร โดยงานวิจัยนี้ จะใช้ข้อมูลการเก็บสถิติจากสถานีตรวจวัดอากาศทั้ง 38 สถานี จากกระทรวงพลังงาน ที่มีเก็บข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ปี 2005 ถึง 2014 รวมปริมาณข้อมูลมากกว่า 1 ล้านชุด โดยทั้ง 38 สถานีตั้งอยู่ในสถานที่ต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงสถานที่ที่ตั้งของสถานีตรวจวัดความเข้มแสง

ภาคเหนือ	ภาคกลาง	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคตะวันออก	ภาคตะวันตก	ภาคใต้
แพร่	กรุงเทพฯ	นครราชสีมา	ปทุมธานี	ตาก	ชุมพร
น่าน	กาญจนบุรี (ทองมาภูมิ)	สุรินทร์	ตราด	ประจวบคีรีขันธ์	ระนอง
แม่ฮ่องสอน	กาญจนบุรี	อุบลราชธานี	จันทบุรี	-	สุราษฎร์ธานี (ขุนพิมาย)
ดอยอินทนนท์	ลพบุรี	ร้อยเอ็ด	ชลบุรี	-	สุราษฎร์ธานี (สมุย)
เชียงใหม่ (เรดาร์)	นครสวรรค์	ขอนแก่น	-	-	ภูเก็ต
เชียงใหม่	เพชรบูรณ์	นครพนม	-	-	ตรัง
แม่ฮ่องสอน	พิษณุโลก	หนองคาย	-	-	สงขลา
แม่ฮ่องสอน	-	เลย	-	-	นราธิวาส
เชียงราย	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 นำข้อมูลทั้งหมดมาแปลงหน่วยจาก เมกกะจูลต่อตารางเมตร เป็น วัตต์ต่อตารางเมตร เพื่อใช้ในการแปลงเป็น solar irradiation โดยการแปลงหน่วยจาก MJ/m² เป็น W/m² จะใช้สมการดังนี้

$$W/m^2 = \frac{(MJ/m^2) \times 1,000}{3.6} \quad [2.1]$$

3.1.2 นำข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในหน่วยของ วัตต์ต่อตารางเมตร มาจำแนกแบ่งเป็นช่วง โดยกำหนดไว้ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และแบ่งเป็น 5% ต่อช่วง ตั้งแต่ 0 ถึง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร

3.1.3 นำข้อมูลที่ได้มาวาดกราฟ โดยกำหนดให้แกน x เป็นช่วงของกำลัง และแกน y เป็นจำนวนของชุดข้อมูลในแต่ละค่ากำลัง จะได้เป็น Solar irradiation ของประเทศไทย

3.2 ขั้นตอนการแปลง Solar irradiation เป็น energy yield

เมื่อได้กราฟ Solar irradiation จะนำแต่ละช่วงของกำลัง (วัตต์ต่อตารางเมตร) มาเข้าสมการ เพื่อหาค่าของ energy yield ในแต่ละช่วงของกำลัง

$$energy\ yield = \frac{P_n \times N_n}{N} \quad [2.2]$$

กำหนดให้ P_n คือ กำลังที่กำลังใดๆ มีหน่วยเป็น W/m²

N_n คือ จำนวนข้อมูลที่กำลังใดๆ

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

จากนั้น นำค่าที่ได้จากการคำนวณ มาวาดกราฟ โดย แกน x

เป็นค่าของช่วงกำลัง และแกน y เป็นค่าของ energy yield

3.3 ขั้นตอนการแปลง energy yield เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ โดยเขียนอยู่ในรูปของ sum of sines

3.3.1 นำกราฟ energy yield มา fit curve โดยใช้ฟังก์ชัน cftool ใน matlab

3.3.2 จากนั้นจะใช้ cftool ในการคำนวณหาสมการคณิตศาสตร์ของ energy yield ในรูปแบบของ sum of sines

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์แต่ละช่วงแล้ว จะนำมาใส่ในสมการประสิทธิภาพมาตรฐาน

$$Thailand\ weight\ Efficiency = a_1\pi_{10\%} + a_2\pi_{20\%} + a_3\pi_{30\%} + a_4\pi_{40\%} + a_5\pi_{50\%} + a_6\pi_{60\%} \quad [3.3]$$

3.5 ขั้นตอนการเปรียบเทียบสมการประสิทธิภาพกับมาตรฐาน CEC efficiency และ Euro efficiency

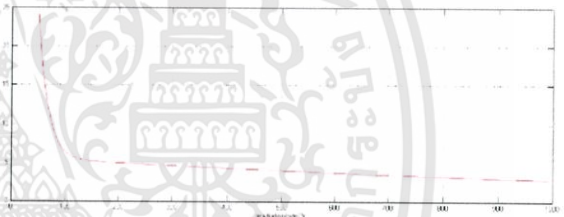
ในขั้นตอนนี้ จะทำการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพกับมาตรฐาน CEC efficiency และ Euro efficiency เพื่อหาความแตกต่างในด้านประสิทธิภาพในการใช้งานจริง โดยใช้อินเวอร์เตอร์ทั้ง 25 รุ่น แยกตามขนาดดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงขนาดและรุ่นของ solar inverter ที่ใช้ในการทดสอบสมการประสิทธิภาพ

ขนาด	3 – 5 kW	5 – 10 kW	20 – 30 kW	500 kW
รุ่น	CP500TL	TL5000-10	RPI-6A	5000MTL-10
	CPS SCA500KTL-H	JSI5000TI	NP201i	Sunny Tripower 25000TL
	TRB5000TL	RPI-M30	PVI10TL	TRIO-20.0-TL-OUTD
	stecagrid4200		PVI5000TL	RPI-M8A
	Piko20		DSP-3330K	
	pawadar 20tl3		Replus-4000TL	
	PVS800-57-0500kv/-A		sunny boy 5000TL	
	2000UE		IG plus 50 v-1	
	sun2000 23ktl			
	context 3000ES			

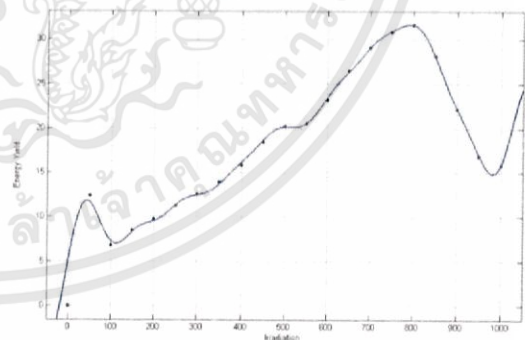
4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการวิเคราะห์ Solar irradiation



รูปที่ 1 แสดง Solar irradiation ของประเทศไทย

4.2 ผลการแปลง solar irradiation เป็น energy yield



รูปที่ 2 แสดง Energy yield ของประเทศไทย

4.3 ผลการแปลง energy yield เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ โดยเขียนอยู่ในรูปของ sum of sines

$$f(x) = 25.5\sin(0.002296x - 0.06507) + 4.038\sin(0.008671x + 1.122) + 18.02\sin(0.02209x - 1.46) + 25.28\sin(0.02335x + 1.081) + 8.885\sin(0.02541x + 3.183) + 43.21\sin(0.04882x - 3.189) + 49.56\sin(0.04906x - 0.1745) + 6.737\sin(0.05059x + 2.145) \quad [4.1]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวิเคราะห์สมการ energy yield เพื่อหาสมการประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบ coefficient ที่เปอร์เซ็นต์

ต่างๆ ของแต่ละภาค

Efficiency (%)	Coefficient						ประเทศไทย
	ภาคเหนือ	ภาคกลาง	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคตะวันออก	ภาคตะวันตก	ภาคใต้	
10	0.04	0.05	0.03	0.05	0.05	0.04	0.05
20	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04
30	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
50	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.18	0.18
75	0.36	0.35	0.37	0.32	0.32	0.32	0.34
100	0.32	0.30	0.33	0.35	0.35	0.35	0.33

4.5 ผลการเปรียบเทียบสมการประสิทธิภาพกับมาตรฐาน CEC

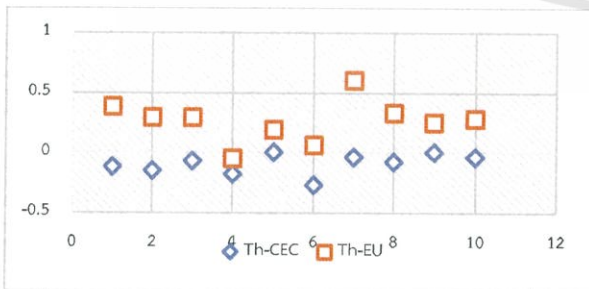
efficiency และ Euro efficiency

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการ

วิเคราะห์กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์

ขนาด 3 – 5 kW

model	Efficiency (%)				
	CEC	EU	Th	Th-CEC	Th-EU
1. context 3000ES	97.04	96.54	96.92	-0.12	0.38
2. Replus-4000TL	97.20	96.76	97.05	-0.15	0.29
3. IG plus 50 v-1	94.98	94.61	94.90	-0.07	0.29
4. stecagrid4200	98.21	98.08	98.03	-0.18	-0.05
5. TRB5000TL	95.81	95.63	95.81	0.00	0.19
6. TL5000-10	96.65	96.32	96.38	-0.27	0.06
7. JSI5000TI	96.50	95.86	96.46	-0.04	0.60
8. PVI5000TL	96.13	95.72	96.05	-0.08	0.33
9. sunny boy 5000TL	96.29	96.04	96.29	0.00	0.25
10. 5000MPL-10	96.27	95.95	96.23	-0.04	0.28



รูปที่ 3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้สมการประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์กับ CEC efficiency และ Euro efficiency ในอินเวอร์เตอร์

ขนาด 3 – 5 kW

5. สรุปผลการดำเนินงาน

สมการประสิทธิภาพที่ได้นั้น เกิดจากการนำข้อมูลความเข้มแสงของประเทศไทยซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ตรวจวัดจาก 38 สถานีกระจายอยู่ทั่วประเทศไทย และมีปริมาณสถานีตรวจวัดมากเป็นอันดับ 1 ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเริ่มดำเนินการเก็บค่าตั้งแต่ปี 2005 จนถึงปี 2014 แบบรายชั่วโมง มีปริมาณข้อมูลมากกว่า 1 ล้านค่า และเนื่องด้วยระยะเวลา ปริมาณข้อมูล การกระจายตัวของสถานีตรวจวัด ทำให้ข้อมูลความเข้มของแสงนั้นค่อนข้างมีความน่าเชื่อถือสูง

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพที่ได้ มาทดลองใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่วางขายอยู่ในท้องตลาดจำนวน 25 models พบว่า

1. ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 3 - 5 kW และ 5 - 10 kW นั้นหากคิดประสิทธิภาพตาม CEC มีแนวโน้มจะได้ค่าประสิทธิภาพจริงเมื่อนำมาใช้ในประเทศไทยต่ำกว่าที่กำหนดไว้ แต่หากคิดตาม Euro มีแนวโน้มจะได้ค่าประสิทธิภาพจริงสูงกว่าที่กำหนดไว้

2. ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 20 - 30 kW นั้นหากคิดประสิทธิภาพตาม CEC มีแนวโน้มจะได้ค่าประสิทธิภาพจริงเมื่อนำมาใช้ในประเทศไทยต่ำกว่าที่กำหนดไว้ แต่หากคิดตาม Euro มีแนวโน้มจะได้ค่าประสิทธิภาพจริงเท่ากับที่กำหนดไว้

3. ในอินเวอร์เตอร์ขนาด 500 kW นั้นหากคิดประสิทธิภาพตาม CEC และ Euro มีแนวโน้มจะได้ค่าประสิทธิภาพจริงเมื่อนำมาใช้ในประเทศไทยต่ำกว่าที่กำหนดไว้

เอกสารอ้างอิง

Anish Kalathil, "Quantification of Solar Inverter Efficiency for Indian Tropical Climatic Conditions". TERI University, New Delhi, India, 2014.

LKER ONGUN , ENGIN ÖZDEMİR , "Weighted efficiency measurement of PV inverters: introducing η_{IZMIR} ," Bornova İzmir, Turkey, June 2012.

Lucas Vizzotto Bellinaso, Cassiano Rech, Luciano Schuch and Leandro Michels, METHODOLOGY FOR PRODUCT DESIGN OF PHOTOVOLTAIC INVERTERS, Santa Maria, RS – Brasil, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายกิตติ คำจิต

เกิดวันที่ 11 เมษายน 2537

306/138 ม.5 ซอยร่มเกล้า12 ถนนร่มเกล้า

แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี กรุงเทพฯ 10510

Email : zakuchar@hotmail.com



นายวงศธร จันทรวงศ์ทรัพย์

เกิดวันที่ 7 พฤษภาคม 2537

บ้านเลขที่ 125 ม8 ต.เก่าจิว อ.พล จ.ขอนแก่น

40120 Email : wongsathonpuay@gmail.com



นายศุทรวีร์ วงษ์ประสิทธิ์

เกิดวันที่ 16 สิงหาคม 2536

บ้านเลขที่ 93/35 ม.6 ต.บ้านเกาะ อ.เมือง

จ.อุดรดิตถ์ Email : suttw@icloud.com



นายศุภกร จักรแก้ว

เกิดวันที่ 30 ธันวาคม 2536

บ้านเลขที่ 111/64 ม.2 ต.บางกระทีก อ.สามพราน

จ.นครปฐม 73210

email:suppakorn.5@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้