

แบบจำลองการประมาณการสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ESTIMATION MODEL FOR ELECTRICITY PRODUCTION FROM
PHOTOVOLTAIC SYSTEMS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-D-018-141

แบบจำลองการประมาณการสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ESTIMATION MODEL FOR ELECTRICITY PRODUCTION FROM
PHOTOVOLTAIC SYSTEMS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KMITL-2019-EN-D-018-141

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ESTIMATION MODEL FOR ELECTRICITY PRODUCTION FROM
PHOTOVOLTAIC SYSTEMS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
2019
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง KMITL-2019-EN-D-018-141 อย่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองการประมาณการสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์
นักศึกษา	นายภาสภณ มโนสุกฤตกุล
รหัสนักศึกษา	57601024
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ดร.วิสุทธิ จูติรุ่งเรือง

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอแบบจำลองการประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Proposed Model) โดยนำความเข้มแสงอาทิตย์มาใช้เป็นอินพุต ซึ่งผลของการประมาณการจะอยู่ในรูปของ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า โดยใช้แบบจำลอง1D5P ร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks :ANN) เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลการประมาณการให้แม่นยำและรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยพิจารณาช่วงความเข้มแสงอาทิตย์เป็นสองช่วงคือ Low-irradiance ($0-350\text{W/m}^2$) และ High-irradiance ($>350-1,000\text{ W/m}^2$) โดยได้นำแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นใหม่ไปทดสอบกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.07 kWp และ12 MWp ผลจากการทดสอบพบว่า การประมาณการด้วยแบบจำลอง Proposed Model จะมีความแม่นยำมากขึ้นโดยมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 1 % มีการทดสอบเป็น รายวัน รายเดือน รายฤดู และรายปี ผลที่ได้พบว่ามีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 1 % เช่นกัน ดังนั้นผลจากการพัฒนาจึงสามารถนำไปใช้ในการออกแบบติดตั้ง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อที่จะได้ออกแบบกำหนดกำลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้งให้เหมาะสมกับความต้องการต่อ ภาระload ที่ใช้งานได้อย่างเหมาะสม และยังสามารถนำผลการประมาณการของแบบจำลองไปตรวจสอบความผิดปกติของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขณะใช้งาน

Thesis Title	ESTIMATION MODEL FOR ELECTRICITY PRODUCTION FROM PHOTOVOLTAIC SYSTEMS
Student	Mr.Phasapon Manosukritkul
Student ID	57601024
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Surasak Niemcharoen
Thesis Co-Advisor	Assoc. Prof. Dr. Wisut Titiroongruang

ABSTRACT

This thesis proposes an estimate model for electricity generation from PV system (Proposed Model) using the solar irradiance as an input. The estimated results will be in voltage, current and power. Model 1D5P together with artificial neural networks (ANN) were applied for accurate and fast analysis of the estimated data. The solar irradiance considered is divided into two ranges, which are low-irradiance ($0-350\text{W/m}^2$) and high-irradiance ($>350-1,000\text{W/m}^2$). The developed proposed model was validated with 2.07 kWp and 12 MWp PV systems. The results show that the estimation using the proposed model is more accurate with the error of less than 1%. The test was performed daily, monthly, seasonally, and yearly, the results show the error of less than 1% as well. Therefore, the development results can be applied for the suitable design and installation of solar cells of PV power with the demand and load. In addition, the estimation of the proposed model can be used for the error inspection of PV power system during operation.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง ,รองศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ และดร. กอบศักดิ์ ศรีประภา,พีระวุฒิ ชินวรรังสี,ดร.ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์,ศศิวิมล ทรงไตร, เอกวัฒน์ บุพิห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (STL) ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะตลอดจนอบรมสั่งสอนและให้ความอนุเคราะห์ในทุกๆ ด้านจนกระทั่งงานวิจัยนี้บรรลุตามเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก ความเมตตา อบรมสั่งสอน เป็นกำลังใจ และสนับสนุนทางการเรียนแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

สำหรับคุณประโยชน์อันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบให้แก่คณาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ และสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ซึ่งเป็นสถานที่ให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำวิจัย จนกระทั่งจบการศึกษา

ภาสภณ มโนสุกฤตกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	viii
สารบัญรูป.....	x
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 สมมุติฐานการศึกษา.....	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	5
1.7 โดยเนื้อหาในวิทยานิพนธ์แบ่งเป็นบทต่างๆ ตามรายละเอียดดังนี้.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	6
2.1 ทฤษฎีรอยต่อพี-เอ็น.....	6
2.2 ผลของโฟโตโวลตาอิก.....	6
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์(Solar cells).....	7
2.3.1 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.3.2 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์.....	9
2.4 แบบจำลองการประมาณการ.....	9
2.4.1 แบบจำลองการประมาณการเซลล์แสงอาทิตย์แบบหนึ่งไดโอดสามตัวแปร (1D3P Model).....	9
2.4.2 แบบจำลองการประมาณการเซลล์แสงอาทิตย์แบบหนึ่งไดโอดสี่ตัวแปร (1D4P Model).....	11
2.4.3 แบบจำลองการประมาณการเซลล์แสงอาทิตย์แบบหนึ่งไดโอดห้าตัวแปร (1D5P Model).....	11
2.5 การพัฒนาแบบจำลองการประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในพื้นที่ประเทศไทย.....	13
2.5.1 สร้างแบบจำลองการประมาณการแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.5.2 สร้างแบบจำลองระบบการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จริง.....	15
2.5.3 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม.....	15
2.5.4 กระบวนการสร้างแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้า จากเซลล์แสงอาทิตย์.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาiv เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5.5	กระบวนการปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กระบวนการปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลองด้วย Weight parameter.....	18
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	19
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	19
3.2	ศึกษาแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	20
3.2.1	เปรียบเทียบการประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของแบบจำลองกับค่าที่วัดจริง.....	20
3.2.2	เก็บข้อมูลจากระบบโรงไฟฟ้า 12 MWp.....	21
3.3	สร้างแบบจำลองเพื่อชดเชยผลการจำลองในแต่ละช่วงของความเข้มแสงอาทิตย์.....	21
3.3.1	สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ค่ากระแสไฟฟ้าแสง (Photo current).....	21
3.3.2	สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมค่ากระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ย้อนกลับ.....	22
3.3.3	สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมค่าความต้านทานขนาน (Parallel Resistance).....	23
3.3.4	สร้างแบบจำลองแยกช่วงความเข้มแสงอาทิตย์.....	24
3.3.5	สร้างแบบจำลองค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป้าหมายที่ทำการทดสอบ รายปี(Pmy)และแบบจำลองผลการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ รายปี(Psy).....	25
3.3.6	สร้างแบบจำลอง Weight parameter (P_w).....	26
3.3.7	สร้างแบบจำลอง Proposed models (P_p).....	26
3.3.8	สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม Proposed models (P_p).....	27
3.4	ทดสอบแบบจำลองแบบใหม่ Proposed models (P_p) โดยทดสอบกับระบบฯ ขนาดกำลังการผลิต 12 MWp เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประมาณการกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (รายวัน).....	28
3.5	นำแบบจำลองไปทดสอบกับระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 1ปี (รายวัน).....	28
3.5.1	สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	28
3.6	การทดสอบแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าตามสภาพอากาศของแต่ละวันที่มีสภาพอากาศที่แตกต่างกันของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	28
3.7	การทดสอบแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าตามฤดูกาลรายเดือนของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	29
3.8	ทดสอบแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงรายปีของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	29

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.9 นำแบบจำลองไปทดสอบกับระบบฯขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 12 MWp โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 2ปี (รายวัน).....	29
3.9.1 สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	29
3.10 การทดสอบแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าตามสภาพอากาศของแต่ละวันที่มีสภาพอากาศที่แตกต่างกันของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	29
3.11 การทดสอบแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าตามฤดูกาลรายเดือนของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	30
3.12 ทดสอบแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงรายปีใน ปีคศ.2016 และปีคศ.2017ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12MWp.....	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	31
4.1 ผลเก็บข้อมูลของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ 12 MWp.....	31
4.1.1 ผลเก็บข้อมูลของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ 12 MWp เปรียบเทียบการประมาณการด้วยแบบจำลอง 1D3P, 1D4P และ1D5P.....	31
4.2 ผลทดลองสร้างแบบจำลองฯเพื่อชดเชยผลการประมาณการในแต่ละช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	35
4.2.1 ผลการประมาณการฯในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ Low-irradiance (0-350 W/m ²) ด้วยแบบจำลอง Proposed Model ที่สมการโพลีโนเมียลลอเดอร์ต่างๆ.....	35
4.2.2 ผลการประมาณการฯในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ High-irradiance (>350-1,000W/m ²) ด้วย Proposed Model ที่สมการโพลีโนเมียลลอเดอร์ต่างๆ.....	36
4.2.3 ผลทดสอบการประมาณการฯในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ (0-1,000 W/m ²) ด้วยแบบจำลอง Proposed Model.....	37
4.3 ผลทดลองทดสอบแบบจำลองการประมาณการฯเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงภายใต้สภาวะอากาศที่ต่างกันของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	38
4.3.1 วันที่มีเมฆมาก (Cloudy)ของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	38
4.3.2 วันที่ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	38
4.4 ผลทดลองแบบจำลองการประมาณการฯเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงในช่วงฤดูกาล ของระบบฯในประเทศไทยขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	39
4.4.1 การประมาณการช่วงฤดูร้อนของระบบฯประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	40
4.4.2 การประมาณการช่วงฤดูฝนของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	41
4.4.3 การประมาณการช่วงฤดูหนาวของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	43
4.5 ผลทดลองแบบจำลองการประมาณการฯเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง รายปีของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	44

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.5.1	ทำการประมาณการค่ากำลังไฟฟ้าเป็นรายปี ในปีค.ศ.2017 ของระบบการฯ ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	44
4.6	ผลทดลองทดสอบแบบจำลองการประมาณการฯ เปรียบเทียบกับค่าที่ผลิตได้จริง ภายใต้สภาวะอากาศที่แตกต่างกันของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	45
4.6.1	วันที่ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) ของระบบฯ ขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	45
4.6.2	วันที่มีเมฆมาก (Cloudy) ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	47
4.7	ผลทดลองแบบจำลองการประมาณการฯ เปรียบเทียบกับค่าที่ผลิตได้จริง ช่วงฤดูกาล ของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปีค.ศ.2016.....	48
4.7.1	การประมาณการช่วงฤดูร้อน ของระบบฯ ขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปีค.ศ.2016.....	49
4.7.2	การประมาณการช่วงฤดูฝน ของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปีค.ศ.2016.....	50
4.7.3	การประมาณการช่วงฤดูหนาว ของระบบการฯมีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปีค.ศ.2016.....	52
4.8	ผลทดลองแบบจำลองการประมาณการฯ เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง ช่วงฤดูกาล ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปีค.ศ.2017.....	53
4.8.1	การประมาณการช่วงฤดูร้อน ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปีค.ศ.2017.....	53
4.8.2	การประมาณการช่วงฤดูฝน ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปีค.ศ.2017.....	54
4.8.3	ช่วงฤดูหนาว ของระบบฯมีขนาดกำลังการผลิต 12 MWpในปีค.ศ.2017.....	56
4.9	ผลทดลองแบบจำลองการประมาณการฯเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง รายเดือน ของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	57
4.9.1	ทำการประมาณการค่ากำลังไฟฟ้าเป็นรายเดือน ซึ่งจะประมาณการครั้งละปีแยกกัน ในปีค.ศ.2016 และ ปีค.ศ.2017 ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	57
4.9.2	ทำการประมาณการค่ากำลังไฟฟ้าในระยะเวลา 2 ปี โดยจะประมาณการ 2 ปี.....	59
	บทที่ 5 การวิจารณ์และอภิปรายผล.....	61
	เอกสารอ้างอิง.....	63
	ภาคผนวก	71
	ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	70
	ภาคผนวก ข ผลงานวิจัยที่รวมทำวิจัยต่อเนื่อง.....	97
	ประวัติผู้เขียน.....	99

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่า Ideal factor.....	11
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย.....	20
4.1 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองการประมาณการการผลิตกำลังไฟฟ้า ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	32
4.2 ผลการเปรียบเทียบการประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้า ของแบบจำลอง 1D5P กับค่าวัดจริง.....	33
4.3 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง 1D5P ที่ได้รับการปรับปรุงโดยใช้รูปแบบโดย Proposed Model ในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ Low-irradiance (0-350W/m ²).....	36
4.4 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง 1D5P ที่ได้รับการปรับปรุงโดยใช้รูปแบบโดย Proposed Model ในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ High-irradiance (>350-1,000 W/m ²).....	37
4.5 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง 1D5P ที่ได้รับการปรับปรุงโดยใช้รูปแบบโดย Proposed Model ในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ (0-1,000 W/m ²).....	37
4.6 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการของแบบจำลอง(วันที่ท้องฟ้าโปร่ง, เมฆน้อย) ในวันที่ 25/11/2017.....	39
4.7 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง รายเดือนฤดูร้อน ของระบบฯ ขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	41
4.8 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง รายเดือน ในช่วงฤดูฝนของระบบการฯ ขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	42
4.9 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง รายเดือนฤดูหนาว ของระบบการฯ ขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	43
4.10 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง รายเดือน ในช่วงฤดูฝนของระบบการผลิตไฟฟ้า ของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	45
4.11 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการของแบบจำลอง(วันที่ท้องฟ้าโปร่ง, เมฆน้อย) ในปีค.ศ.2016 ของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	46
4.12 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการของแบบจำลอง(วันที่ท้องฟ้าโปร่ง, เมฆน้อย) ในปีค.ศ.2017ของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	47
4.13 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการของแบบจำลอง(วันที่มีเมฆมาก) ในปีค.ศ.2016ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	47

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการของแบบจำลอง (วันที่มีเมฆมาก) ในปีค.ศ.2017ของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	48
4.15 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน ในช่วงฤดูร้อนของระบบการฯ ขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปี ค.ศ.2016.....	50
4.16 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน ในช่วงฤดูฝนขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปีค.ศ.2016	51
4.17 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน ในช่วงฤดูหนาวของระบบการผลิตไฟฟ้า ของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย มีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปีค.ศ.2016	52
4.18 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน ในช่วงฤดูร้อนของระบบการผลิตไฟฟ้า ของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย มีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปีค.ศ.2017	54
4.19 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน ในช่วงฤดูฝนของระบบการผลิตไฟฟ้า ของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย มีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปี ค.ศ.2017	55
4.20 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน ในช่วงฤดูหนาวของระบบการผลิตไฟฟ้า ของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย มีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปี ค.ศ.2017	56
4.21 ตารางเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้า จากแบบจำลอง (รายเดือน) ในปีค.ศ.2016 ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	58
4.22 ตารางเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้า จากแบบจำลอง (รายเดือน) ในปีค.ศ.2017 ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	59
4.23 ตารางเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจริงได้ในปีค.ศ.2016 - ปีค.ศ.2017 กับผลการประมาณ การกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (รายปี) ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	60

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้าและความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา	2
2.1 แสดงลักษณะการเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นที่บริเวณรอยต่อพี-เอ็น.....	6
2.2 การเกิดกระแสไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	8
2.4 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์	9
2.5 1D3P Model	10
2.6 1D4P Model	11
2.7 1D5P Model	12
2.8 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง.....	13
2.9 แบบจำลองค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการประมาณค่าแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้.....	14
2.10 แบบจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์	15
2.11 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมระบบเซลล์แสงอาทิตย์	16
2.12 กระบวนการสร้างแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	17
3.1 วงจรสมมูล 1D5P model.....	21
3.2 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของค่า Photo current (I _{ph}).....	22
3.3 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของค่า Reverse Saturation Current (I ₀).....	23
3.4 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของค่า Parallel Resistance (R _{sh}).....	24
3.5 แบบจำลองแยกช่วงความเข้มแสงอาทิตย์.....	25
3.6 แบบจำลองค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป้าหมายที่ทำการทดสอบ รายปี (P _{my})และ แบบจำลองผลการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์รายปี(P _{sy})	25
3.7 แบบจำลอง P _w (Solar irradiance 0-350 W/m ²)และ P _w (Solar irradiance >350-1,000W/m ²)	26
3.8 แบบจำลอง P _p (Solar irradiance 0 -W/m ²)และ P _p (Solar irradiance >350-1,000W/m ²).....	27
3.9 แบบจำลอง P _p (Solar irradiance 0-1,000 W/m ²).....	27
3.10 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม Proposed models (P _p).....	28
3.11 โครงข่ายประสาทเทียมของระบบฯ ขนาดกำลังการผลิต 2.07kWp.....	28
3.12 โครงข่ายประสาทเทียมของ ระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp	29

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 กราฟแสดงค่าการประมาณการฯโดยแบบจำลอง1D3Pเปรียบเทียบกับค่าวัดจริง.....	31
4.2 กราฟแสดงค่าการประมาณการฯโดยแบบจำลอง1D4Pเปรียบเทียบกับค่าวัดจริง.....	31
4.3 กราฟแสดงค่าการประมาณการฯโดยแบบจำลอง1D5Pเปรียบเทียบกับค่าวัดจริง.....	32
4.4 กราฟแสดงค่าการประมาณการกำลังการฯในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ Low-irradiance (0 - 350W/m ²) เปรียบเทียบกับค่าวัดจริง.....	34
4.5 กราฟแสดงค่าการประมาณการกำลังการฯในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ High-irradiance (>350-1,000 W/m ²) เปรียบเทียบกับค่าวัดจริง.....	34
4.6 ผลของแบบจำลอง Proposed Model ที่ใช้ในการประมาณการปรับปรุงค่าความผิดพลาด ในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ Low-irradiance (0-350W/m ²).....	35
4.7 ผลของแบบจำลอง Proposed Model ที่ใช้ในการประมาณการปรับปรุงค่าความผิดพลาด ในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ High-irradiance (>350-1,000 W/m ²).....	36
4.8 ผลของแบบจำลอง Proposed Model ที่ใช้ในการประมาณการปรับปรุงค่าความผิดพลาด ในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ (0-1,000 W/m ²).....	37
4.9 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการฯ จากแบบจำลอง (วันที่มีเมฆมาก)ในวันที่ 2/10/2017.....	38
4.10 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับ ผลการประมาณการฯ จากแบบจำลอง(วันที่ท้องฟ้าโปร่ง, เมฆน้อย) ในวันที่ 25/11/2017.....	39
4.11 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ฤดูร้อน)ในปีค.ศ.2017 ของระบบฯขนาด 2.07 kWp.....	40
4.12 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ช่วงฤดูฝน)ในปีค.ศ.2017ของระบบการฯ ขนาดกำลังการผลิต 2.07kWp.....	42
4.13 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง กับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ฤดูหนาว)ในปีค.ศ.2017ของระบบการฯ ขนาด 2.07 kWp.....	43
4.14 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (รายปี)ในปี ค.ศ.2017 ของระบบฯ ขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp.....	44
4.15 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการฯจากแบบจำลอง (วันที่ท้องฟ้าโปร่ง, เมฆน้อย) ในวันที่ 06/04/2016 ระบบการฯ ขนาดกำลังการผลิต 12 MWp.....	46

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (วันที่ท้องฟ้าโปร่ง, เมฆน้อย) ในวันที่ 20/4/2017ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp..... 46
4.17	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (วันที่มีเมฆมาก)ในวันที่01/08/16ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp 47
4.18	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (วันที่มีเมฆมาก) ในวันที่02/9/2017 ระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp..... 48
4.19	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ช่วงฤดูร้อน)ในปีค.ศ.2016ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp 49
4.20	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ช่วงฤดูฝน)ในปีค.ศ.2016ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp 51
4.21	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ช่วงฤดูหนาว)ในปีค.ศ.2017ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp 52
4.22	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ช่วงฤดูหนาว)ในปีค.ศ.2017ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp 53
4.23	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ช่วงฤดูฝน)ในปีค.ศ.2017ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp 55
4.24	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ช่วงฤดูหนาว)ในปีค.ศ.2017ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp 56
4.25	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (รายเดือน)ในปีค.ศ.2016ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp 57
4.26	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (รายเดือน)ในปีค.ศ.2017ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp 58
4.27	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้า จากแบบจำลอง (2 ปี)ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp..... 60

บทที่ 1

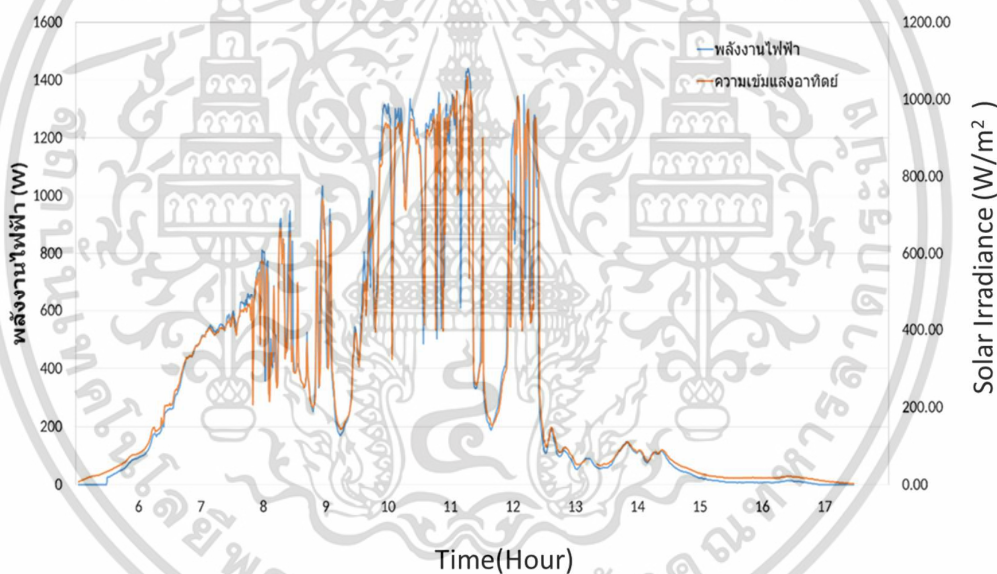
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันมีการคิดคำนึงถึงการรักษาภาวะแวดล้อมของโลก และเพื่อให้บรรลุผลข้อตกลงของ การประชุมรัฐภาคีกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สมัยที่ 21 การประชุมครั้งนี้ได้มีเป้าหมายเพื่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งจะมีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทุกประเทศทั่วโลกจึงร่วมมือกันเพื่อจะป้องกันไม่ให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ประเทศไทย จึงมีนโยบายลดการปล่อยก๊าซ Carbon dioxide (CO₂) ในภาคอุตสาหกรรม คมนาคมการขนส่ง และการเกษตรให้ลดลงตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยการนำเอาพลังงานทดแทนมาใช้ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้ประเทศไทยปล่อย CO₂ น้อยลงได้ โดยรัฐบาลของประเทศไทยได้มีนโยบายส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในรูปแบบ Adder รูปแบบนี้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตจะรับซื้อกระแสไฟฟ้าจากบริษัทผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน ที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียน ในราคาพิเศษ ซึ่งในส่วนที่ใช้พลังงานทดแทนที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะได้รับซื้อโดยมีการตั้งราคาซื้อขายที่สูงที่สุด โดยมีโครงการเริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 เป็นต้นมาถึงปัจจุบัน มีการพัฒนารูปแบบเพื่อที่จะส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ อย่างต่อเนื่อง ซึ่งในอนาคตการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก (Small Power Producer :SPP) และ ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก(Very Small Power Producer :VSPP) จะมีการดำเนินการเข้าสู่ระบบส่งและจำหน่ายเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะพลังงานทดแทนที่ได้มาจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีส่วนที่จะเพิ่มขึ้นมากที่สุด ซึ่งข้อมูลที่ตรวจสอบได้ของ เดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 พบว่าผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายใหญ่ (Independent Power Producer :IPP)ที่มีขนาดกำลังผลิตมากกว่า 90 MW โดยโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ในกลุ่มนี้ได้ทำการผลิตไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบแล้ว ประมาณ 2,930 MW และแนวโน้มของในปลายปีจะมีการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกมาก เช่นโครงการผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน (Solar Farm) และโครงการใน ส่วนของที่ผลิตได้จากหน่วยงานราชการและสหกรณ์การเกษตรโดยจะส่งเสริมผ่านโครงการส่งเสริมการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งบนหลังคาที่พักอาศัย โรงงานอุตสาหกรรมหรือตามอาคารที่ เรียกว่าโซลาร์รูฟท็อป (Solar rooftop) ประกอบกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan :AEDP 2015) มีเป้าหมายตั้งอยู่ที่ 30% ในการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกในปี พ.ศ. 2579 เป็นการแสดงให้เห็นถึงการให้ความสำคัญต่อการ ใช้พลังงานทดแทน โดยเฉพาะในส่วนของ การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีเป้าหมายการติดตั้งอยู่ที่ 6,000 MW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีจุดที่น่าสนใจที่ต้องพิจารณาเกี่ยวกับเสถียรภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบการผลิตไฟฟ้าอันเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพของแต่ละพื้นที่ที่ไม่เหมือนกัน การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามฤดูกาล และการเปลี่ยนแปลงแบบกะทันหันของแต่ละวัน เช่น วันที่ท้องฟ้าแจ่มใสแต่มีเมฆขนาดใหญ่มาบดบังแสงอาทิตย์ในระยะเวลาสั้นๆเพียง 1 ชั่วโมง แล้วเคลื่อนที่ออกไป หรือในช่วงฤดูฝนที่มีเมฆมากมาบดบังเป็นเวลานานหลายวัน ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวมีผลต่อการทำให้ความเข้มของแสงอาทิตย์ไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในช่วงเวลาของวันดังแสดงใน รูปที่ 1.1 ซึ่งเป็นจุดที่สำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมักจะเกิดขึ้นได้ทั่วไปตามสภาพของที่ตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละพื้นที่ คือ มีความผันผวนในการผลิตไฟฟ้าสูงซึ่งทำให้ความน่าเชื่อถือด้านความปลอดภัย (Security Reliability) และคุณภาพไฟฟ้า(Power Quality)ไม่ดี ควบคุมได้ยากหรือควบคุมไม่ได้เลย ซึ่งโรงไฟฟ้าเหล่านี้มักจะก่อให้เกิดปัญหา ความน่าเชื่อถือ(Reliability) ต่อคุณภาพไฟฟ้าในระบบส่งและจำหน่ายไฟฟ้า



รูปที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้าและความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา

รายงานผลโครงการ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ(2019:2) “โครงการพัฒนาแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในเขตร้อนชื้น”

จาก รูปที่ 1.1 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของวัน กับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของวัน พบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในช่วงหนึ่งวัน ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ โดยในช่วงค่าความเข้มแสงอาทิตย์มาก ค่าพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ก็จะมากด้วย ส่วนในช่วงค่าความเข้มแสงอาทิตย์น้อยค่าพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่

ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย[1] จึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการส่งจ่ายไฟฟ้าจึงเป็นเหตุผลที่ต้องมีการประมาณการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้ทราบว่าโรงไฟฟ้าที่ตั้งอยู่แต่ละพื้นที่นั้นจะมีกำลังการผลิตไฟฟ้าในแต่ละเดือน แต่ละปีมีกำลังการผลิตเท่าไร เพื่อที่จะได้บริหารจัดการเตรียมพร้อมที่สำหรับจะลดหรือจะจ่ายไฟฟ้าเข้าโครงข่ายส่งจ่ายไฟฟ้า ได้อย่างทันท่วงทีให้มีเสถียรภาพการส่งจ่ายและมีประสิทธิภาพการส่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งการประมาณการประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาการจัดการพลังงานนี้

โดยการประมาณการประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปนั้น หมายถึงการนำมาตรฐานเดียวกันมาใช้เพื่อการประมาณการหรือทบทวนและเปรียบเทียบในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ว่าในแต่ละวัน ในแต่ละเดือนและแต่ละปีนั้น โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของแต่ละพื้นที่นั้นจะมีกำลังการผลิตเท่าใด โดยจะตรวจสอบพร้อมกับการบำรุงรักษา ตรวจสอบถึงประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อความเป็นเสถียรภาพของระบบส่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งการประมาณการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ นั้นจะนิยมใช้แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีบทความวิจัยหลายบทความที่มีการนำเสนอโมเดล(Model)แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการพิจารณาถึงการฉายรังสีดวงอาทิตย์เทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยมีการพัฒนา Model ขึ้นจากวงจรสมมูลไดโอด แบบหนึ่งไดโอด - สามพารามิเตอร์ (1D3P) และ รุ่นหนึ่งไดโอดสี่พารามิเตอร์ (1D4P) [2-15] โดยในปัจจุบันมีการใช้รูปแบบหนึ่งไดโอดห้าพารามิเตอร์ (1D5P) เพื่อจำลองพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ [18-33]

แบบจำลองนี้จะประมาณการผลิตของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้วงจรไดโอดซึ่งแสดงพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปจะมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประมาณการณ์เพียงสองค่าคือค่าการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ในสภาพความเป็นจริงแล้วนั้นจะมีปัจจัยหรือตัวแปรหลายตัวแปรที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ช่วงความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์ แสงสเปกตรัมที่ไม่เท่ากันสำหรับการฉายรังสี สภาพอากาศที่คาดเดาไม่ได้ ดังนั้นค่าความผิดพลาดของแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละพื้นที่จะเกิดข้อผิดพลาดของการประมาณการ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการปรับค่าของแบบจำลองให้มีความถูกต้องแม่นยำเพิ่มขึ้น [34-45]

งานวิจัยนี้จะเป็นกระบวนการที่จะปรับปรุงเพิ่มความแม่นยำของการประมาณการให้เพิ่มขึ้นซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า "Proposed Model"

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เก็บข้อมูลจากระบบโรงไฟฟ้า 12 MWp เพื่อเปรียบเทียบของแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบบ 1D5P
2. สร้างแบบจำลองแบบใหม่เพื่อลดข้อผิดพลาดการจำลองในแต่ละช่วงความเข้มแสงอาทิตย์
3. ทดลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่ในประเทศไทย ด้วยแบบจำลองแบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น

1.3 สมมติฐานการศึกษา

แบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปสร้างจากวงจรสมมูลไดโอด เช่น แบบจำลอง 1D3P, 1D4P, 1D5P และ 2D5P เป็นต้น การปรับปรุงค่าความแม่นยำของแบบจำลองจะทำได้โดยการเพิ่มพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการเพิ่มสมการและ ความซับซ้อนของแบบจำลอง แต่กลับพบว่าความซับซ้อนที่เพิ่มเยอะขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญต่อความแม่นยำ และต้องใช้ระยะเวลามากในการประมาณการ [46-48] งานวิจัยต่างๆจึงหันกลับมาวิจัยแบบจำลอง1D5Pโดยข้อมูลงานวิจัยในปี 2015 พบว่าข้อผิดพลาดอยู่ที่ 2 % [49-66] เช่นเดียวกันงานวิจัยนี้ จึงได้พัฒนาแบบจำลองพื้นฐาน 1D5P และใช้กระบวนการปรับปรุงค่าความแม่นยำด้วยการแบ่งการประมาณการออกเป็นสองช่วง ช่วงแรกLow-irradiance (0-350W/m²) และช่วงที่สอง High-irradiance (>350-1,000 W/m²) อันส่งผลที่จะได้แบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ไม่ต้องใช้ สมการซับซ้อนมากแต่มีความแม่นยำสูงข้อผิดพลาดน้อย

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

แบบจำลอง Proposed models (P_p) ที่ใช้ในการประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ จะใช้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ มาใช้ในการประมาณการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความแม่นยำกับสภาพภูมิอากาศ แต่ละพื้นที่ของโรงไฟฟ้า ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญต่อการที่ทำให้ผู้บริหารจัดการโครงข่ายไฟฟ้า (Grid Operator) สามารถบริหารจัดการโครงข่ายไฟฟ้าได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถแก้ปัญหา Reliability ของคุณภาพไฟฟ้าในระบบส่งและจำหน่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแบบจำลองนั้นจะมีกระบวนการพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เช่นการปรับค่าแพกเตอร์และใช้กระบวนการ Weight parameter เพื่อการแก้ปัญหการประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละพื้นที่ตั้งอยู่ในประเทศไทย[67-71] ซึ่งแต่ละพื้นที่จะมีความเข้มของสเปกตรัมแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นไม่เท่ากัน มีสภาพอากาศที่ไม่เหมือนกัน พบว่าจากการนำแบบจำลอง Proposed models ไปใช้ในการประมาณการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ละพื้นที่นั้น ได้ค่าการประมาณการที่มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น [72]

1.5 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

1. เก็บข้อมูลจากระบบโรงไฟฟ้า 12 MWp เพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง1D5P
2. สร้างแบบจำลองเพื่อชดเชยผลการจำลองในแต่ละช่วงของความเข้มแสงอาทิตย์
3. ทดลองแบบจำลองแบบใหม่ โดยทดลองกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก
4. ทดลองแบบจำลองแบบใหม่ โดยทดลองกับระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่
5. ทดลองแบบจำลองกับระบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ภายใต้สภาวะอากาศที่แตกต่างกัน
6. ทดลองประมาณการผลิตไฟฟ้าของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ รายเดือน รายปี
7. วิเคราะห์ผลการทดลองและประมวลผลการศึกษา

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. สามารถเก็บข้อมูลการประมาณการของแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 12 MWp
2. สามารถออกแบบแบบจำลองใหม่ที่พัฒนาค่าผิดพลาดของการประมาณการให้น้อยลงได้
3. สามารถสร้างแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้งานได้จริงกับระบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในประเทศไทย

1.7 โดยเนื้อหาในวิทยานิพนธ์แบ่งเป็นบทต่างๆ ตามรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 บทนำ จะกล่าวถึงที่มาของปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์ การตั้งสมมติฐาน และ ขั้นตอนการศึกษาของวิทยานิพนธ์ เพื่อทำให้เกิดความเข้าใจถึงภาพรวมทั้งหมดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึงเซลล์แสงอาทิตย์ การประมาณการแบบทันทีทันใด (Real-time PV Power Forecasting) การพัฒนาแบบจำลองการประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ประเทศไทย แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กระบวนการสร้างแบบจำลองการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กระบวนการปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลองการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย กล่าวถึง ขั้นตอนการเก็บข้อมูลของแบบจำลองการประมาณการของแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 12 MWp การออกแบบปรับปรุงและสร้างแบบจำลองแบบใหม่ ทดลองแบบจำลองแบบใหม่กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และกับโรงไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล ผลของจุดผิดพลาดของแบบจำลอง ผลของทดลองแบบจำลองแบบใหม่กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยเปรียบเทียบค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ในขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp และ 12 MWp

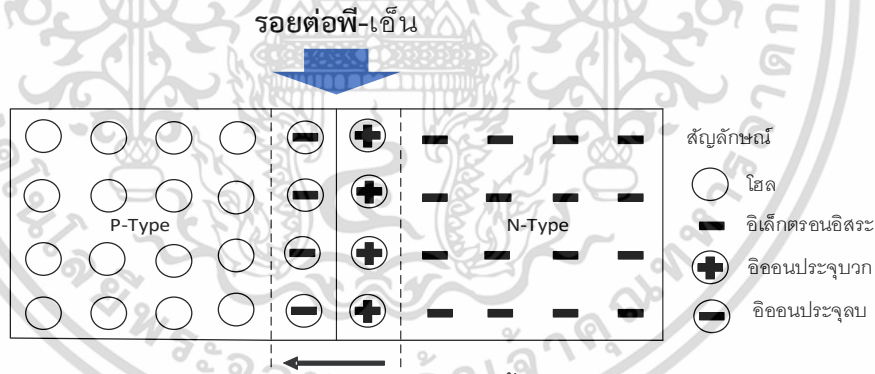
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ สรุปผลการทดลองทั้งหมดของบทที่ 4 เพื่อบ่งชี้ถึงผลการทดลองที่เป็นประเด็นหลักในการทดลองและข้อเสนอแนะวิทยานิพนธ์ของเล่มนี้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีรอยต่อพี-เอ็น

รอยต่อ พี-เอ็น ของเนื้อสารชนิดเดียวกัน เช่น ซิลิกอนชนิดพีกับซิลิกอนชนิดเอ็น เมื่อเรานำซิลิกอนสองชนิดนี้มาต่อเข้าด้วยกันด้วยขบวนการทางเคมี เช่นการแพร่ด้วยความร้อน (Thermal diffusion) และเนื่องจากสารกึ่งตัวนำสองชนิดนี้มีความแตกต่างกันของความหนาแน่นของประจุพาหะ จึงเกิดการถ่ายเทประจุพาหะขึ้น โดยด้านที่มีความเข้มข้นของประจุพาหะมากจะถ่ายเทไปยังด้านที่มีประจุพาหะน้อย กล่าวคือ อิเล็กตรอนทางด้านสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะไหลไปยังด้านสารกึ่งตัวนำชนิดพี และโฮลจากทางด้านสารกึ่งตัวนำชนิดพีจะไหลไปยังสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น การแพร่ข้ามรอยต่อนี้ จะเกิดขึ้นที่บริเวณใกล้รอยต่อเป็นอันดับแรก โดยจะเกิดประจุไฟฟ้าลบทางด้านพี เนื่องจากทางด้านพีสูญเสียโฮลไปยังทางด้านเอ็น และประจุไฟฟ้าบวกจะไปปรากฏอยู่ทางด้านเอ็น เนื่องจากอิเล็กตรอนทางด้านเอ็นไหลไปยังด้านพีประจุไฟฟ้าตัวเองเป็นตัวทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในชั้นที่บริเวณรอยต่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยที่สนามไฟฟ้าจะเป็นตัวต้านการเคลื่อนที่ของโฮลจากทางด้านพี และอิเล็กตรอนทางด้านเอ็น ไม่ให้เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ แต่อย่างไรก็ตาม การแพร่นี้จะดำเนินต่อไปจนกว่า สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะพอดีที่จะทำให้โฮลและอิเล็กตรอนหยุดแพร่ข้ามรอยต่อนี้ได้ ดังนั้นในสภาวะนี้จะไม่มีการแพร่พาหะใดๆข้ามรอยต่อ นี้เราเรียกว่า “ภาวะสมดุล” และเนื่องจากมีสนามไฟฟ้าตกคร่อมรอยต่อนี้เองจะเกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นเราเรียกว่า “ศักย์สัมผัส” (V_0 contact potential) หรือ “แรงดันภายใน” (built in voltage)

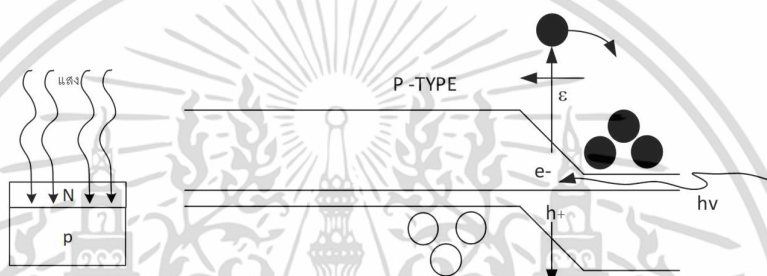


2.2 ผลของโฟโตโวลตาอิก

สารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็น เมื่อมีแสงที่มีพลังงานมากพอมาตกกระทบ พลังงานแสงบางส่วนจะถูกดูดกลืนเอาไว้ถ้าพลังงานส่วนนี้มีค่ามากกว่าช่องว่างแถบพลังงานแล้วจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์จากแถบวาเลนซ์กระโดดข้ามไปยังแถบความนำได้ และจะเหลือโฮลไว้ที่แถบวาเลนซ์ อิเล็กตรอนที่กระโดดข้ามไปยังแถบความนำนั้นจะเคลื่อนที่อย่างไม่มีทิศทาง จนหมดพลังงานที่จะอยู่ในแถบความนำได้ ก็จะตกลงมาอยู่ที่แถบวาเลนซ์เหมือนเดิม อิเล็กตรอนอิสระที่เกิดจากแสงนี้เองที่ทำให้สภาพความนำไฟฟ้าภายในสารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลง แม้จะไม่ทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขึ้น แต่ก็สามารถนำผลที่เกิดขึ้นนี้

ไปสร้างไปสร้างอุปกรณ์ที่มีสภาพความนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามแสงได้อย่างเช่น โฟโตไดโอด และ เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นมาต่อกัน จะทำให้เกิดรอยต่อพี-เอ็น สารกึ่งตัวนำทั้งสองจะพยายามรักษาสภาพสมดุลไว้ โดยระดับเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดจะมาอยู่ในระดับเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ที่สภาพสมดุลจะเกิดกำแพงศักย์(Potential barrier) ขึ้นที่รอยต่อ เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่รอยต่อจนเกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้นในแถบความนำ และเกิดโฮลขึ้นในแถบวาเลนซ์ ผลจากสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากกำแพงศักย์ จะทำให้อิเล็กตรอนไหลไปยังด้านเอ็น และโฮลจะไหลไปทางด้านพี เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าไหลออกสู่ภายนอกได้ ถ้ามีแหล่งรับพลังงานหรือโหลด(Load) ที่เหมาะสมมาต่ออยู่ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เราเรียกว่า “ผลของโฟโตโวลทาทิก” อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นโดยอาศัยผลของโฟโตโวลทาทิก จนทำให้สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้คือ เซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.2 การเกิดกระแสไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์

กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่รับแสงของเซลล์ ส่วนแรงดันที่จะเกิดขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับกำแพงศักย์ ซึ่งมีค่าได้ไม่เกินช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นช่องว่างของสารกึ่งตัวนำจึงสามารถใช้เป็นตัวกำหนดแรงดันสูงสุดของเซลล์ได้

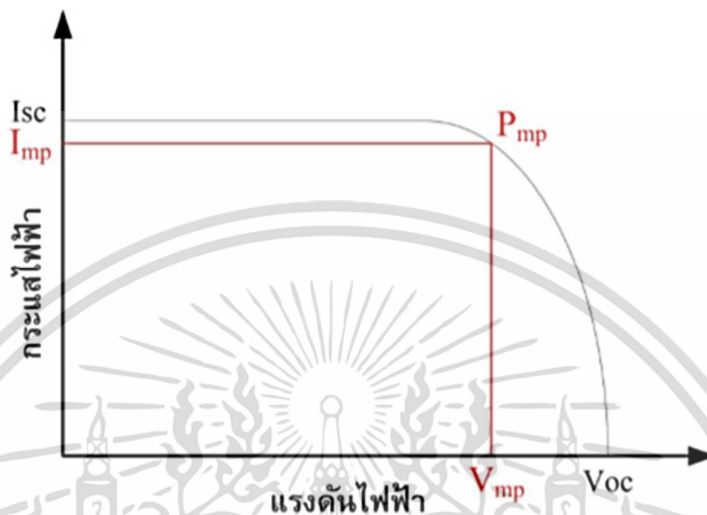
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์(Solar cells)

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างเป็นแบบรอยต่อพี-เอ็น โดยเมื่อมีแสงตกกระทบที่เซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ โครงสร้างโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์จะเหมือนกับไดโอดทั่วไปทุกประการ แตกต่างกันเพียงแต่ ชั้นของสารกึ่งตัวนำทางด้านที่รับแสง ต้องมีความบางมากๆ จนแสงส่องทะลุไปถึงรอยต่อและสารกึ่งตัวนำด้านที่เป็นฐานรองได้ เพราะฉะนั้น กราฟคุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ยังไม่ถูกแสง จะมีลักษณะเหมือนกันกับไดโอดทั่วไป แต่ถ้ามีแสงมาตกกระทบแล้ว คุณสมบัติกระแสและแรงดันจะเปลี่ยนไป

หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ก็คือเมื่อมีแสงมาตกกระทบที่เซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างอิเล็กตรอนและโฮลขึ้น โครงสร้างรอยต่อพี-เอ็น จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าขึ้นภายในเซลล์ เพื่อแยกอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่ไปขั้วลบและโฮลเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง และถ้าต่อเข้ากับโหลดภายนอก จะใช้งานได้เหมือนกับแหล่งจ่ายไฟตัวหนึ่งนั่นเอง

2.3.1 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์มีโครงสร้างเป็นแบบรอยต่อพี-เอ็นเพียงรอยต่อเดียวเหมือนไดโอด ในขณะที่เซลล์ได้รับแสงทิศทางการไหลของกระแสที่ผ่านรอยต่อของเซลล์ กราฟความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่า เซลล์จะจ่ายกระแสออกมามากที่สุดเมื่อเซลล์ถูกลัดวงจรซึ่งให้ค่าเป็น I_{sc} และ เซลล์จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้มากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกเปิดวงจรออก ซึ่งให้ค่าเป็น V_{oc} เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์ ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างกระแสและแรงดันแล้ว จะพบว่า กราฟคุณสมบัติของเซลล์ในขณะที่ได้รับแสงในรูปที่ 2.3 จะมีอยู่จุดหนึ่งที่มีค่าผลคูณของกระแสและแรงดันมีค่าสูงสุด จุดนี้จะเรียกว่าจุดพลังงานสูงสุดของเซลล์ กระแสและแรงดันที่จุดนี้มีค่าเป็น I_m และ V_m ตามลำดับถ้าเรานำไปให้กับแหล่งรับพลังงานหรือโหลด ที่มีความต้านทานพอดีกับจุดนี้ เซลล์จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดมีค่าสูงสุด ค่าความต้านทานของโหลดที่เหมาะสมนี้จะคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่าง V_m ต่อ I_{sc} เพราะฉะนั้น ค่าความต้านทานโหลด $= V_m / I_{sc}$

ผลคูณของกระแสและแรงดันที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชันในกราฟรูปที่ 2.3 คือถ้ากราฟมีความชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของกระแสและแรงดันก็จะมีค่ามากตามไปด้วย การที่กราฟของเซลล์แสงอาทิตย์มีความชันแตกต่างกันนั้น เป็นผลมาจากความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์นั้นมีความแตกต่างกัน

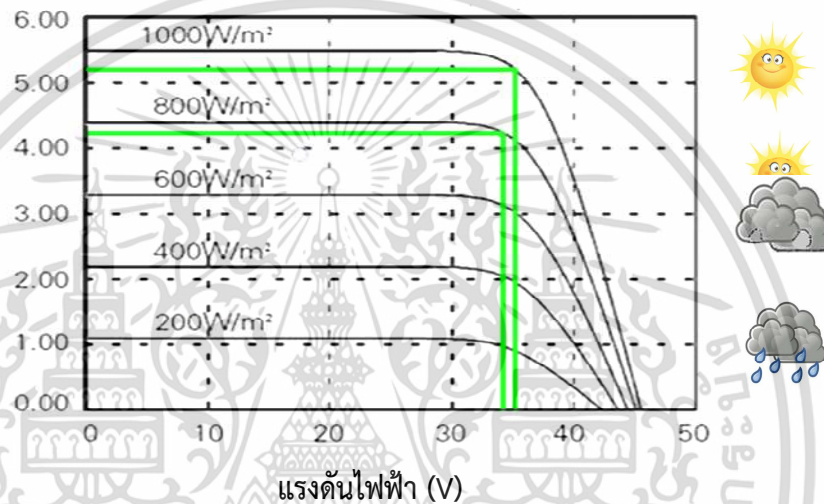
เมื่อ P_{mp}	คือ	พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์จริงๆ(W)
I_{mp}	คือ	กระแสสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์(A)
V_{mp}	คือ	แรงดันสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์(V)
I_{sc}	คือ	ค่ากระแสลัดวงจร(A)
V_{oc}	คือ	แรงดันขณะวงจรเปิด(V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ จำเป็นต้องใช้แสงมากระตุ้นให้อิเล็กตรอนมีอิสระหลุดจากการยึดเหนี่ยวกับโฮลภายในอะตอม ถ้าแสงที่ส่องมากระทบเซลล์มีความเข้มสูงมากขึ้นก็จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระมากขึ้นตามไปด้วย เป็นผลให้กระแสที่ได้จากเซลล์มีค่าสูงขึ้น จากรูปที่ 2.4 รายงานผลโครงการศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ(2019) “โครงการพัฒนาแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในเขตร้อนชื้น” จะเห็นได้ว่า เมื่อมีเมฆมากค่าพลังงานจะต่ำ เมื่อมีเมฆบางส่วนค่าพลังงานที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อมีแสงแดดท้องฟ้าโปร่ง ค่าพลังงานที่ได้จะมีค่าสูง

กระแสไฟฟ้า (A)



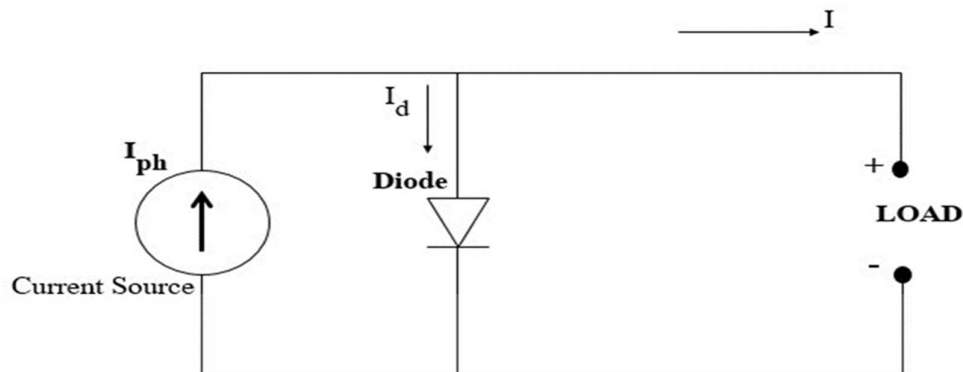
รูปที่ 2.4 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

2.4 แบบจำลองการประมาณการ

การประมาณการแบบนี้จะเป็น การประมาณการการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องอาศัยแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะต้องป้อนข้อมูลอินพุตให้กับแบบจำลอง ซึ่งจะประกอบด้วยค่าสองค่าด้วยกันที่ป้อนให้คือ ค่าแรกความเข้มแสงอาทิตย์และค่าที่สองคืออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบบจำลองจะมีด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ[73]

2.4.1 แบบจำลองการประมาณการเซลล์แสงอาทิตย์แบบหนึ่งไดโอดสามตัวแปร (1D3P Model)

โดยแบบจำลองนี้จะมีค่าตัวแปรที่นำมาใช้ในการประมาณการการที่จะประกอบด้วยคือค่า I_{ph} นั้นเป็นค่ากระแสแสง (photo current) และต่อมาคือค่า I_0 เป็นค่ากระแสอิ่มตัวย้อนกลับของไดโอด และท้ายสุดคือค่า n เป็นค่า Ideal Factor โดยแบบจำลองแบบนี้จะเป็นโมเดลที่พื้นฐานในการประมาณการแต่ยังขาดการพิจารณาในส่วนของค่าความต้านทานซึ่งเป็นค่าความต้านทานบริเวณจุดต่อของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 1D3P Model

$$I_{ph} = I_d + I \quad (2.5)$$

$$I = I_{ph} - I_d \quad (2.6)$$

เมื่อ I_{ph} คือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (A)

I_d คือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากไดโอด (A)

I คือ กระแสไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (A)

เมื่อ $R_s = 0$, กระแส I_d จะมีค่าดังนี้

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{q \cdot V_0}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

เมื่อ V_0 คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมรอยต่อ (V)

n คือ ค่า Ideal factor (ค่า Ideal factor นั้นขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีในการผลิตโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แสดงดังตารางที่ 2.1)

I_0 คือ กระแสไบอัสอิมิตัวย้อนกลับของไดโอด (A)

T คือ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Kelvin)

q คือ ประจุอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} C

k คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann มีค่าเท่ากับ 1.380×10^{-23} J/Kelvin

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q \cdot V_0}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (2.8)$$

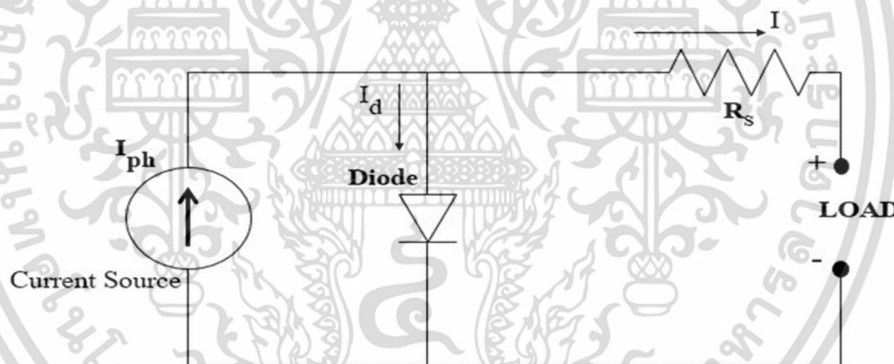
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่า Ideal factor[73]

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	Ideal factor
Mono C-Si	1.2
Poly C-Si	1.3
a-Si:H	1.8
a-Si:H double junction	3.3
a-Si:H triple junction	5
CdTe	1.5
CIS	1.5
GaAs	1.3

2.4.2 แบบจำลองการประมาณการเซลล์แสงอาทิตย์แบบหนึ่งไดโอดสี่ตัวแปร (1D4P Model)

ค่าตัวแปรของแบบจำลองนี้จะประกอบด้วยค่า I_{pv} , I_0 , n และ R_s โดยจะมีการพิจารณาความต้านทานอนุกรม (R_s) เป็นความต้านทานที่เกิดขึ้นบริเวณจุดต่อ แต่จะขาดการพิจารณาค่าของ R_{sh} ที่เป็นค่าความต้านทานภายในซึ่งเกิดขึ้นในชั้นของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 1D4P Model

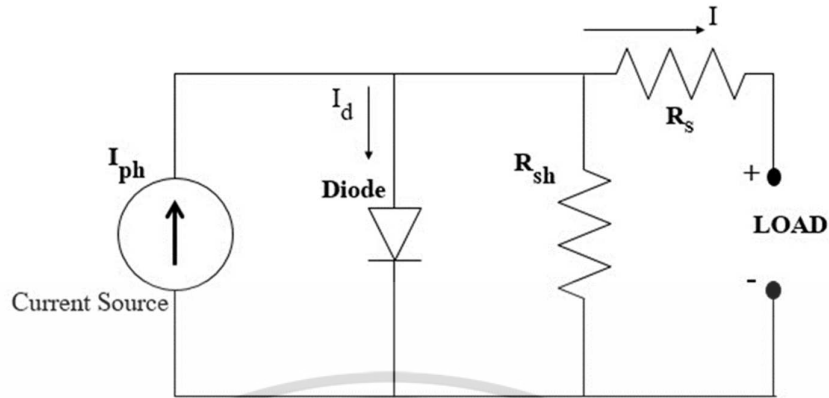
ถ้า $R_s > 0$ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อ $V_0 = V + I.R_s$

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V-I.R_s)}{n.k.T}\right) - 1 \right] \quad (2.9)$$

2.4.3 แบบจำลองการประมาณการเซลล์แสงอาทิตย์แบบหนึ่งไดโอดห้าตัวแปร (1D5P Model)

โดยในแบบจำลองนี้จะมีการพิจารณาตัวแปรทั้งหมด 5 ตัวแปรด้วยกัน ซึ่งจะประกอบด้วยค่า I_{ph} , I_d , I_0 , R_s และ R_{sh} แสดงได้ดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 1D5P Model

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V - I R_s)}{n \cdot k \cdot T} \right) - 1 \right] - \frac{(V + I R_s)}{R_{sh}} \quad (2.10)$$

ค่า I_{ph} มีความสัมพันธ์โดยแปรผันตรงกับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ และอุณหภูมิ ดังสมการที่ (2.11)

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} \left(I_{sc,ref} + \mu_{sc} \cdot (T - T_{ref}) \right) \quad (2.11)$$

เมื่อ I_{ph} คือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (A)

G คือ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (W/m^2)

G_{ref} คือ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ STC (W/m^2)

μ_{sc} คือ สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของกระแสไฟฟ้า

T คือ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Kelvin)

T_{ref} คือ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC (Kelvin)

$I_{sc,ref}$ คือ กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจรที่ STC (A)

โดยที่ค่าอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อกำลังไฟฟ้าทางขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์อันเนื่องมาจากค่ากระแสลัดวงจรสัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิยังมีผลกระทบต่อกระแสไบอัสย้อนกลับของไดโอดที่เรียกว่า Reverse saturation current of diode (I_0) ดังสมการที่ (2.12)

$$I_0 = I_{0,ref} \left(\frac{T_c}{T_{c,ref}} \right)^3 \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k} \right) \left(\frac{1}{T_{c,ref}} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2.12)$$

เมื่อ E_g คือ ค่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ (Energy band gap) และ $I_{0,ref}$ มีค่าดังสมการที่ (2.13)

$$I_{0,ref} = I_{sc,ref} \exp \left(\frac{q(-V_{oc,ref})}{n \cdot k \cdot T} \right) \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

- $I_{sc, ref}$ คือ กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจรที่ STC (A)
 $V_{oc, ref}$ คือ แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรที่ STC (V)
 T_{ref} คือ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC (Kelvin)
 E_g คือ Band gap energy of semiconductor

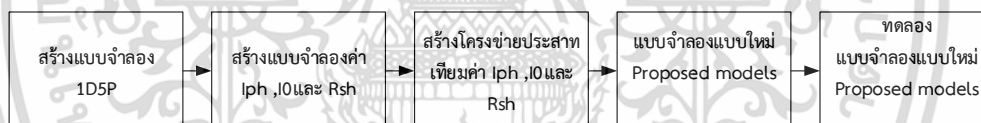
ค่าความต้านทานขนาน (R_{sh}) แสดงดังสมการที่ (2.14)

$$R_{sh} = \frac{V_m + (I_{m,ref} \cdot R_s)}{I_{sc,ref} - I_{sc,ref} \left\{ \exp \left[\frac{q(V_{m,ref} + I_{m,ref} \cdot R_s - V_{oc,ref})}{n \cdot k \cdot T} \right] \right\} + I_{sc,ref} \left\{ \exp \left[\frac{q(-V_{oc,ref})}{n \cdot k \cdot T} \right] \right\} - \left(\frac{P_m}{V_{m,ref}} \right)} \quad (2.14)$$

เมื่อ

- P_m คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (W)
 V_m คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (V)
 I_m คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (A)

2.5 การพัฒนาแบบจำลองการประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ประเทศไทย

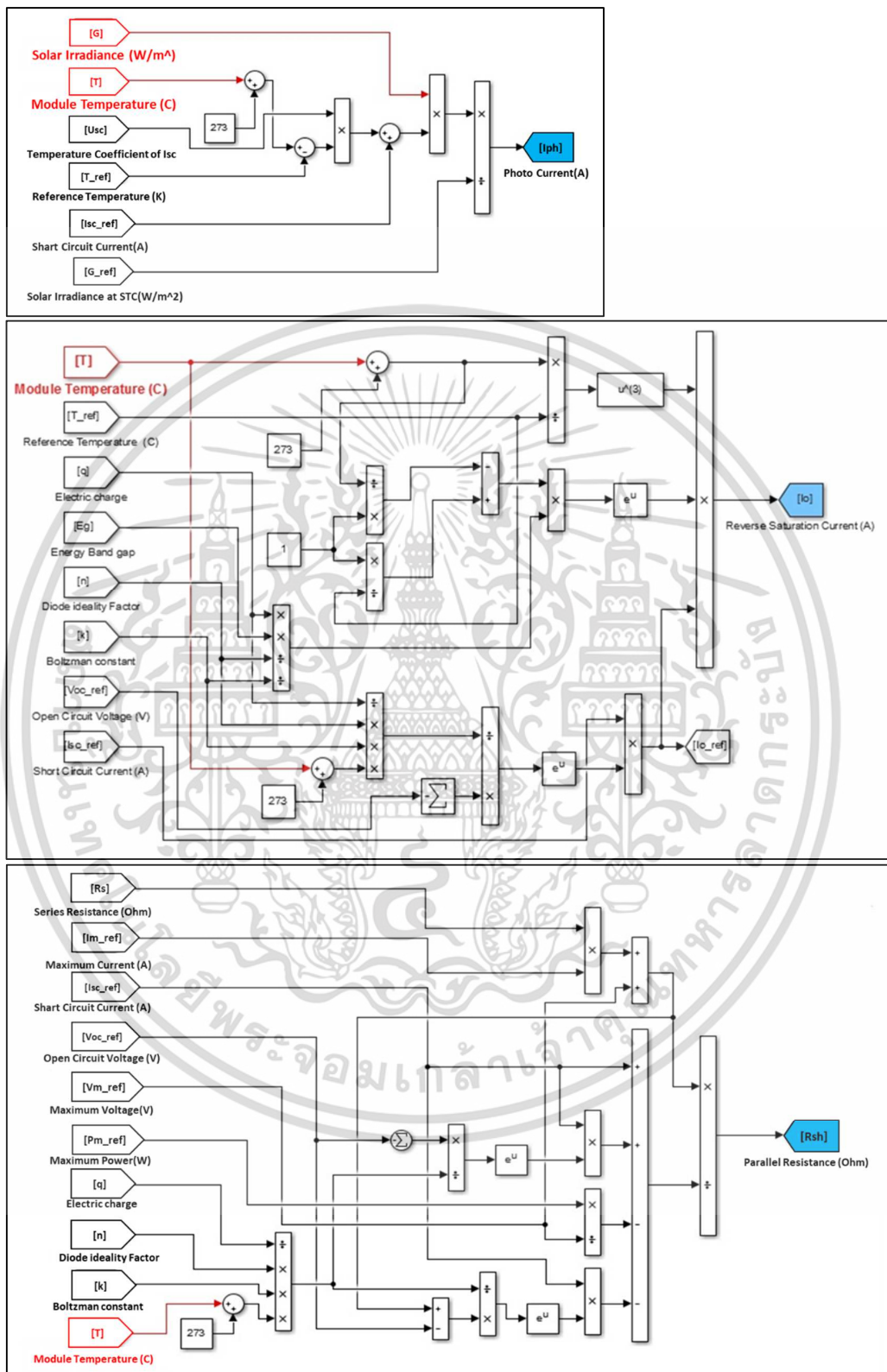


รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง

กระบวนการสร้างแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสร้างจากวงจรพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์คือ วงจรสมมูลแบบหนึ่งไดโอด หัวตัวแปรหลักซึ่งตัวแปรหลักที่ส่งผลและนำค่ามาพิจารณาหลักต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในแบบจำลองนี้คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นจึงนำแบบจำลองการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น มาทดลองทดสอบและคำนวณ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับค่าการผลิตไฟฟ้าจริง ที่ได้จากเครื่องมือวัดจริงจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ว่ามีผลแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งการได้มาของความแม่นยำและการลดข้อผิดพลาดค่าการประมาณการนั้นจะต้องอาศัยการพัฒนาแบบจำลองให้มีความละเอียด ครอบคลุมต่อปัจจัยในหลายด้าน

2.5.1 สร้างแบบจำลองการประมาณการแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การพัฒนานั้นจะสร้างแบบจำลองค่า กระแสไฟฟ้าแสง (I_{ph}), แบบจำลองค่า กระแสไฟฟ้าอิมมิตัวย้อนกลับ (I_0) และ แบบจำลองค่า ความต้านทานขนาน (R_{sh}) ด้วยโปรแกรม Matlab / Simulink คำนวณกระแสไฟฟ้า (I) เพื่อจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) โดยจะต้องสร้างแบบจำลองดังรูปที่ 2.9

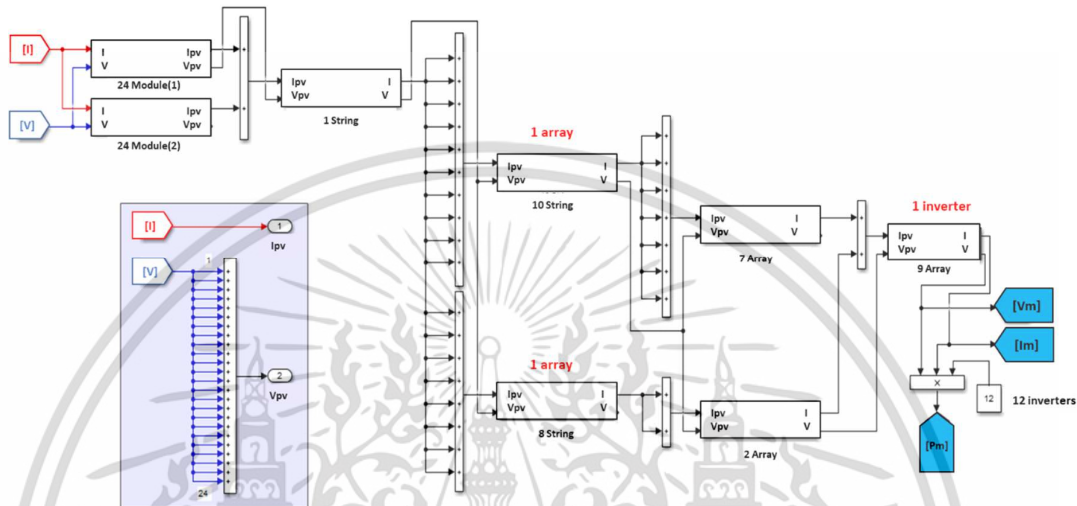


รูปที่ 2.9 แบบจำลองค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการประมาณค่าแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 สร้างแบบจำลองระบบการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จริง

เมื่อสร้างแบบจำลองที่เป็นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของการประมาณการแล้ว จากนั้นจะทำการสร้างแบบจำลองที่เป็นระบบโรงไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จริง นำมาสร้างเป็นแบบจำลอง โดยต้องมีแบบการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จริง ซึ่งจะแตกต่างกันของแต่ละโรงไฟฟ้า มาสร้างเป็นแบบจำลองดังรูปที่ 2.10



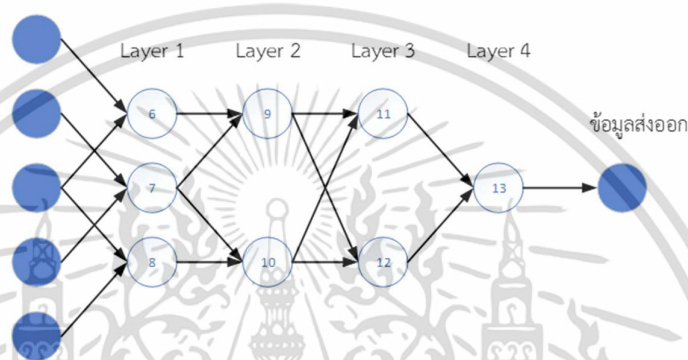
รูปที่ 2.10 แบบจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์

2.5.3 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

การนำโครงข่ายประสาทเทียมมาจัดการคำนวณการประมาณการนั้นเพื่อที่จะทำให้ระบบการประมาณการมีความรวดเร็วขึ้นโดยจะจัดแบ่งกลุ่มการคำนวณออกเป็นชั้น (layer) ซึ่งแต่ละชั้นจะส่งผ่านข้อมูลได้อย่างรวดเร็วไม่ต้องเสียเวลาการรอผลคำนวณจากชั้นตอนอื่น มีการจัดลำดับความคิดก่อนหลังในการตัดสินใจเพื่อเลือกข้อมูลที่สำคัญก่อนมาพิจารณา การจัดลำดับความใกล้เคียงของการประมาณการโครงข่ายประสาทเทียมจะเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ ที่มีการประมวลผลข้อมูลที่ถูกพัฒนาโดยอาศัยหลักการทำงานของโครงข่ายประสาทชีววิทยามนุษย์ จะเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ต้องมีผู้สอน (Supervised Learning) เพื่อช่วยกำหนดเอาต์พุตเป้าหมาย (Output target) ให้กับโครงข่ายประสาทเทียม และสามารถมีได้หลายชั้น (Multi-Layer Feed Forward Neural Network) โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยเซลล์ประสาทเทียม หรือที่เรียกกันว่า โหนด ที่มีจำนวนมากเชื่อมต่อกัน ซึ่งการเชื่อมต่อกันนั้นจะแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย เรียกกลุ่มย่อยเหล่านั้นว่า ชั้นหรือ layer โดยชั้นแรกจะเป็นชั้นนำข้อมูลเข้า ซึ่งเรียกว่า ชั้นรับข้อมูลที่ป้อนเข้า (input layer) ส่วนชั้นอันดับขั้นสุดท้ายจะเรียกว่าชั้นส่งข้อมูลที่ส่งออก (output layer) โดยชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นรับส่งข้อมูลป้อนเข้าและชั้นส่งข้อมูลออกเรียกว่า ชั้นที่แอบแฝง (hidden layer) ซึ่งชั้นนี้จะมีมากกว่า 1 ชั้นก็ได้ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถแบ่งประเภทของโครงข่ายประสาทเทียมตามจำนวนชั้นของโครงข่ายแบบกว้าง ๆ ได้ 2 แบบได้แก่ โครงข่ายแบบชั้นเดียว (single layer) และโครงข่ายแบบหลายชั้น (multi layer) โดยโครงข่ายแบบชั้นเดียว เป็นโครงข่ายประสาทเทียม ที่มีเพียงชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าและชั้นส่งข้อมูลออกเพียงเท่านั้น ซึ่งโหนดในชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าจะทำหน้าที่รับข้อมูลเข้า (input value) แล้วส่งข้อมูลผ่านเส้นที่เชื่อมโยงต่าง ๆ ไปให้โหนดในชั้นส่งข้อมูลออก โดยความเข้มของสัญญาณ หรือปริมาณข้อมูลที่นำเข้าสู่โหนดใน

ชั้นส่งข้อมูลออกจะขึ้นอยู่กับค่าน้ำหนักที่อยู่บนเส้นเชื่อมโหนดในชั้นส่งข้อมูลออก จะนำข้อมูลที่ได้รับการคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า ฟังก์ชันการแปลง (transfer function) ที่เหมาะสมกับปัญหา แล้วส่งผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นข้อมูลส่งออก เช่น โครงข่ายแบบชั้นเดียวแบบเพอเซปตรอนอย่างง่าย (simple perceptron) และโครงข่ายโฮปฟิลด์ (hopfield networks) ลักษณะโครงข่ายแบบชั้นเดียว โดยที่โครงข่ายแบบหลายชั้น เป็นโครงข่ายที่มีชั้นแอบแฝงตั้งแต่ 1 ชั้นขึ้นไป โครงข่ายแบบหลายชั้นจะใช้ในกรณีที่ปัญหามีความซับซ้อน ซึ่งโครงข่ายแบบชั้นเดียวไม่สามารถแก้ปัญหาได้ จึงเพิ่มจำนวนโหนดที่มีการคำนวณ หรือชั้นแอบแฝงให้กับโครงข่าย แสดงดัง รูปที่ 2.11

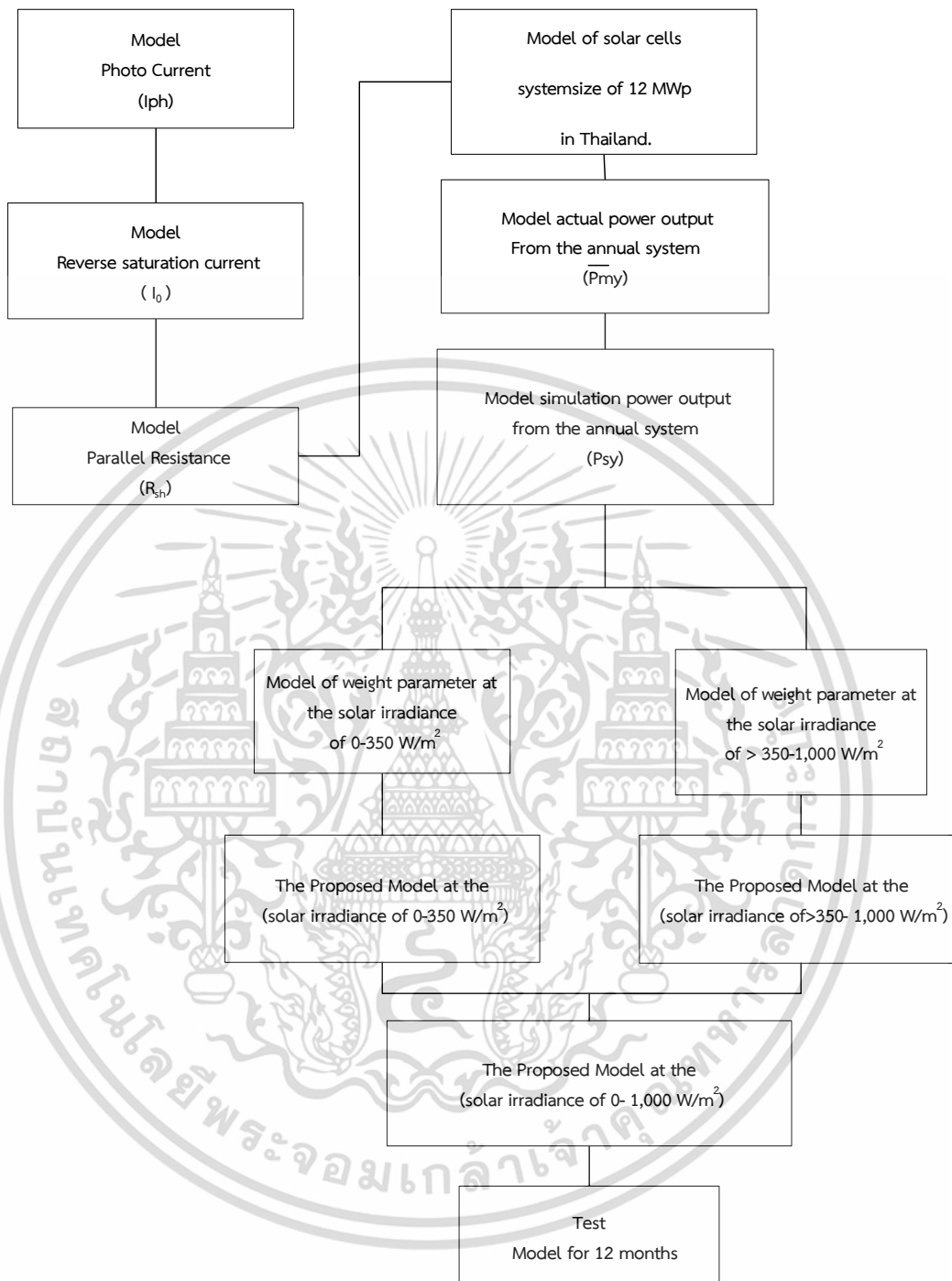
ข้อมูลป้อนเข้า



รูปที่ 2.11 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมระบบเซลล์แสงอาทิตย์

2.5.4 กระบวนการสร้างแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อจะทำการสร้างแบบจำลองนั้นต้องทำการออกแบบแผนภาพการทำงานของแบบจำลองก่อน การสร้างแบบจำลองโดยแสดงดัง รูปที่ 2.12 เพื่อให้การออกแบบที่มุ่งเน้นให้มีการพัฒนาให้แบบจำลองมีความสามารถแยกความเข้มแสงอาทิตย์ และสามารถแสดงค่าการประมาณการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด จะเริ่มตั้งแต่การสร้าง Model the photo current (I_{ph}), Model the reverse saturation current (I_0) และ Model the parallel resistance (R_{sh}) เพื่อการคำนวณค่าทางไฟฟ้าของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และเป็นค่า Input ที่เป็นค่าตั้งต้นของการประมาณการที่ต้องสอดคล้องสัมพันธ์กัน จากนั้นสร้างโมเดลการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ทดสอบ เพื่อการประมาณการค่ากำลังผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ค่าต่างๆเป็นระยะเวลา 2 ปี เพื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าการประมาณการที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น จากนั้นใช้วิธีการที่นำเสนอปรับปรุงค่าประมาณการค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยปรับให้ได้ค่าการประมาณการที่มีค่าผิดพลาดน้อยสุด เพื่อศึกษาถึงผลของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มีต่อค่าความแม่นยำของแบบจำลองในระยะเวลา 2 ปี แล้วทำการทดสอบการประมาณการผลิตไฟฟ้าของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ทดสอบเป็นระยะเวลา 12 เดือน เทียบกับค่าที่วัดได้จริง โดยเอาท์พุทที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมนั้นสามารถวัดค่าความแม่นยำของเอาท์พุท ได้โดยเปรียบ เทียบค่าความผิดพลาดกับค่าที่วัดได้จริง



รูปที่ 2.12 กระบวนการสร้างแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 กระบวนการปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กระบวนการปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลองด้วย Weight parameter [ภาคผนวก ข.]

เทคนิค Weight parameter ซึ่งเป็นกระบวนการที่พัฒนาขึ้นมาใช้ปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลอง กระบวนการปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลอง โดยทำการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่เป้าหมายรายปี (\bar{P}_{my}) และ ผลการจำลองการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์รายปี (\bar{P}_{sy}) ที่ทุกค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ตั้งแต่ 0-1000 W/m² ดังสมการที่ (2.15) และ (2.16) ตามลำดับ

$$\bar{P}_{my}(G) = \frac{1}{N_y} \sum_{d=1}^{N_y} P_{md} \quad (2.15)$$

$$\bar{P}_{sy}(G) = \frac{1}{N_y} \sum_{d=1}^{N_y} P_{sd} \quad (2.16)$$

โดย N_y คือ จำนวนวันในหนึ่งปี

P_{md} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ รายวัน (kWh/d)

P_{sd} คือ ผลการจำลองการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ รายวัน (kWh/d)

โดยขั้นตอนต่อไปนี้จะสร้างสมการสมการโพลิโนเมียล จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์กับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่เป้าหมายรายปี (\hat{P}_{my}) และ ผลการจำลองการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์รายปี (\hat{P}_{sy}) ดังสมการที่ (2.17) และทำการสร้าง Weight parameter (P_w) เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลองดังสมการที่ (2.18) [ภาคผนวก ข.]

$$\hat{P}_{my}(G), \hat{P}_{sy}(G) = \text{Intercept} + A_1 G + A_2 G^2 + A_3 G^3 \quad (2.17)$$

$$P_w = \hat{P}_{my}(G) - \hat{P}_{sy}(G) \quad (2.18)$$

$$P_s = \hat{P}_{sy}(G) + P_w \quad (2.19)$$

สมการที่ (2.19) แสดงกระบวนการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย Weight parameter

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองการประมาณการสำหรับการผลิตของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสร้างแบบจำลองที่มีการแยกวิธีการประมาณการความเข้มแสงของดวงอาทิตย์โดยใช้การปรับปรุงของการประมาณการในแต่ละช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ไม่เท่ากัน จึงต้องแบ่งช่วงของการประมาณการเป็นสองช่วง เพื่อการปรับปรุงการประมาณการให้มีค่าความผิดพลาดน้อยลง โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. เก็บข้อมูลจากระบบโรงไฟฟ้า 12 MWp เพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง 1D5P พบว่าแบบจำลอง 1D3P 1D4P และ 1D5P แตกต่างจากข้อมูลจริงที่ได้จากระบบโรงไฟฟ้าขนาด 12 MWp โดยแบ่งความแตกต่างเป็น 2 ช่วงของความเข้มแสงอาทิตย์คือช่วง Low-irradiance ($0 - 350 \text{ W/m}^2$) ผลการจำลองมีค่าต่ำกว่าข้อมูลจริง และช่วง High-irradiance ($> 350 - 1,000 \text{ W/m}^2$) ผลการจำลองมีค่าสูงกว่าข้อมูลจริง
2. สร้างแบบจำลองเพื่อชดเชยผลการจำลองในแต่ละช่วงของความเข้มแสงอาทิตย์
3. ทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.07 KWp ของสำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เนื่องจากเก็บข้อมูลง่าย ง่ายต่อการปรับปรุงโปรแกรมให้แม่นยำ โดยการเปรียบเทียบข้อมูลเป็นรายวันและรายเดือน อีกทั้งยังพิจารณาถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ที่อาจมีผลต่อการตอบสนองของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย ได้แก่ ฤดูกาล สภาพท้องฟ้าโปร่ง และสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆมาก
4. นำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 12 MWp
5. วิเคราะห์ผลการทดลองและประมวลผลการศึกษา

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

ลำดับ	การดำเนินการ	ปีที่1	ปีที่2	ปีที่3	ปีที่4	ปีที่5
1	ศึกษาแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	↔				
2	เก็บข้อมูลวัดจริงจากระบบโรงไฟฟ้า 12 MWp เปรียบเทียบกับการประมาณการด้วยแบบจำลอง 1D3P ,1D4P และ1D5P	↔ 1D3P	↔ 1D4P	↔ 1D5P		
3	สร้างแบบจำลองเพื่อชดเชยผลการจำลองในแต่ละช่วงของความเข้มแสงอาทิตย์			↔		
4	ทดลองแบบจำลองใหม่โดยการเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก โดยการเปรียบเทียบข้อมูลเป็นรายวันและรายเดือน อีกทั้งยังพิจารณาถึงองค์ประกอบอื่นๆที่อาจมีผลต่อการตอบสนองของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย ได้แก่ ฤดูกาล สภาพท้องฟ้าโปร่ง และสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆมาก				↔	
5	นำแบบจำลองไปเปรียบเทียบข้อมูล 12 MWp โดยพิจารณาเปรียบเทียบผล เป็นรายวัน รายเดือน และรายปี อีกทั้งพิจารณาผลของสภาวะอากาศที่แตกต่างกันด้วย				↔	
6	วิเคราะห์ผลการทดลองและประมวลผลการศึกษา					↔

3.2 ศึกษาแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.2.1 เปรียบเทียบการประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของแบบจำลองกับค่าที่วัดจริง

ศึกษาการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าวัดจริง โดยใช้แบบจำลองฯ 1D5P เพื่อทดสอบการประมาณการในแต่ละช่วงความเข้มแสงอาทิตย์

3.2.2 เก็บข้อมูลจากระบบโรงไฟฟ้า 12 MWp

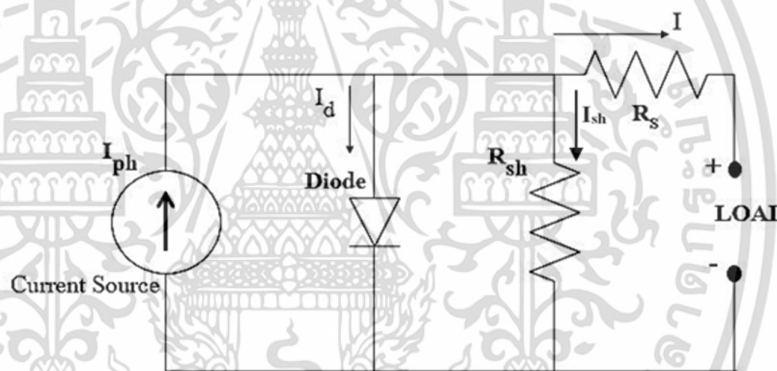
เปรียบเทียบผลข้อมูลที่วัดได้จริงกับผลที่ได้จากการประมาณการด้วยแบบจำลอง 1D3P, 1D4P และ 1D5P แตกต่างจากข้อมูลจริงที่ได้จากระบบโรงไฟฟ้าขนาด 12 MWp ทดสอบความแตกต่างของช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ เป็น 2 ช่วงของความเข้มแสงอาทิตย์คือ ช่วง Low-irradiance ($0 - 350 \text{ W/m}^2$) และช่วง High-irradiance ($> 350 - 1,000 \text{ W/m}^2$)

3.3 สร้างแบบจำลองเพื่อชดเชยผลการจำลองในแต่ละช่วงของความเข้มแสงอาทิตย์

แบบจำลองที่ใช้นั้นสามารถใช้ในการศึกษาถึงมีค่าพารามิเตอร์ 5 ค่าด้วยกันซึ่งจะประกอบไปด้วย

1. I คือ กระแสไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (A)
2. I_{ph} คือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (A)
3. I_0 คือ กระแสไบอัสอิมิตัวย้อนกลับของไดโอด (A)
4. R_s คือ ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์ (Ω)
5. R_{sh} คือ ค่าความต้านทานขนานของเซลล์ (Ω)

แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 วงจรสมมูล 1D5P model

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V - I R_s)}{n \cdot k \cdot T} - 1 \right) \right] - \frac{(V + I R_s)}{R_{sh}} \quad (3.1)$$

- เมื่อ n คือ ค่า Ideal factor Diode (ค่า Ideal factor Diode นั้นขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีในการผลิตโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แสดงดังตารางที่ 3.2)
- T คือ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Kelvin)
- q คือ ประจุอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- k คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann มีค่าเท่ากับ $1.380 \times 10^{-23} \text{ J/Kelvin}$

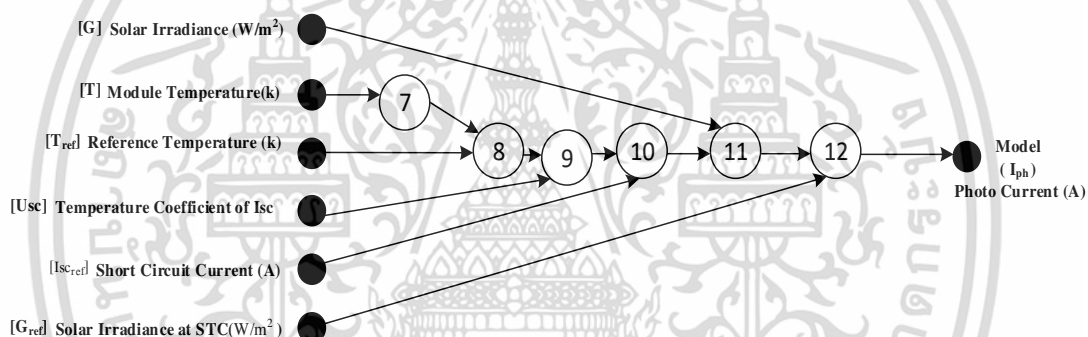
3.3.1 สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ค่ากระแสไฟฟ้าแสง (Photo current)

ค่า Photo current จะได้มาจากแสงที่ส่องมายังเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วทำให้เกิด คู่ อิเล็กตรอน - โฮล เกิดเป็นกระแสไฟฟ้า ดังสมการที่ (3.2)

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} \left(I_{sc,ref} + \mu_{sc} \cdot (T - T_{ref}) \right) \quad (3.2)$$

เมื่อ	I_{ph}	คือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (A)
	G	คือ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (W/m^2)
	G_{ref}	คือ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ STC (W/m^2)
	μ_{sc}	คือ สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของกระแสไฟฟ้า
	T	คือ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Kelvin)
	T_{ref}	คือ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC (Kelvin)
	$I_{sc, ref}$	คือ กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจรที่ STC (A)

จากนั้นจึงนำสมการที่ (3.2) มาสร้างทำการสร้างแบบจำลองค่า กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (I_{ph}) ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink โดยจัดให้อยู่ในรูปแบบ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) เพื่อการประมาณการที่รวดเร็วเพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.2 [73]



รูปที่ 3.2 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของค่า Photo current (I_{ph})

3.3.2 สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมค่ากระแสไฟฟ้าอิมิตัวย้อนกลับ

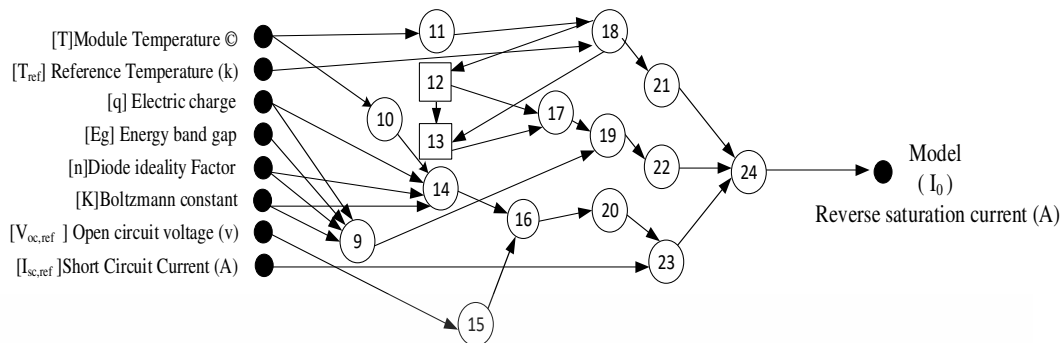
กระแสไบอัสอิมิตัวย้อนกลับของไดโอดจะ สัมพันธ์กับอุณหภูมิ ดังแสดงในสมการที่ (3.3) [73]

$$I_0 = I_{0,ref} \left(\frac{T_c}{T_{c,ref}} \right)^3 \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k} \right) \left(\frac{1}{T_{c,ref}} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (3.3)$$

เมื่อ E_g คือ ค่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ (Energy band gap) และ $I_{0,ref}$ มีค่าดังสมการที่ (3.4)

$$I_{0,ref} = I_{sc,ref} \exp \left(\frac{q(-V_{oc,ref})}{n \cdot k \cdot T} \right) \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของค่า Reverse Saturation Current (I_0)

- เมื่อ I_0 คือ กระแสไบอัสอิมิต์ย้อนกลับของไดโอด (A)
 $I_{sc, ref}$ คือ กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจรที่ STC (A)
 $V_{oc, ref}$ คือ แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรที่ STC (V)
 T คือ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Kelvin)
 $T_{c,ref}$ คือ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC (Kelvin)
 n คือ ค่า Ideal factor Diode (ค่า Ideal factor Diode นั้นขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีในการผลิตโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แสดงดังตารางที่ 3.2)
 q คือ ประจุอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} C
 k คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann มีค่าเท่ากับ 1.380×10^{-23} J/Kelvin
 E_g คือ Band gap energy of semiconductor

จากนั้นจึงนำสมการที่ (3.3, 3.4) มาสร้างทำการสร้างแบบจำลองค่า Reverse Saturation Current of diode โดยใช้โปรแกรม Matlab/Simulink ให้จัดอยู่ในรูปแบบ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) แสดงดังรูปที่ 3.3

3.3.3 สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมค่าความต้านทานขนาน (Parallel Resistance)

ค่าความต้านทานขนานคือค่าความต้านทานของรอยต่อหรือค่าความต้านทานภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแสดงด้วยสมการที่ (3.5)

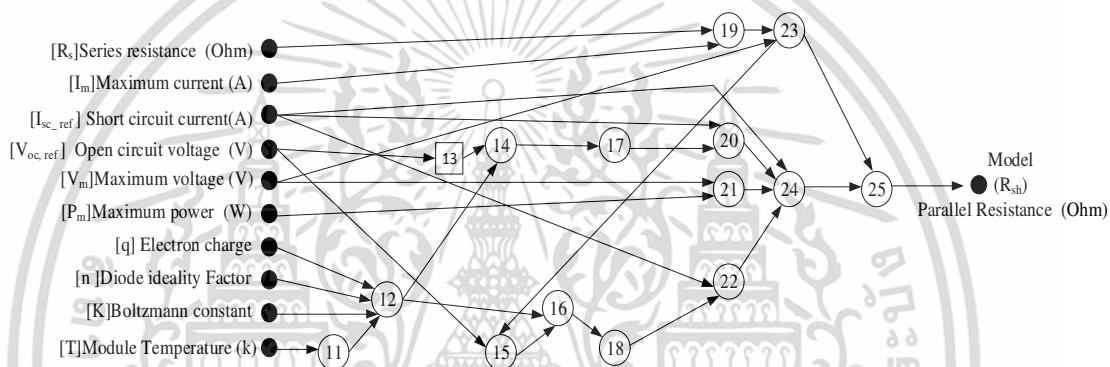
$$R_{sh} = \frac{V_m + (I_{m,ref} R_s)}{I_{sc,ref} - I_{sc,ref} \left\{ \exp \left[\frac{q(V_{m,ref} + I_{m,ref} R_s - V_{oc,ref})}{n \cdot k \cdot T} \right] \right\} + I_{sc,ref} \left\{ \exp \left[\frac{q(-V_{oc,ref})}{n \cdot k \cdot T} \right] \right\} - \left(\frac{P_m}{V_{m,ref}} \right)} \quad (3.5)$$

- เมื่อ R_s คือ ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์ (Ω)
 R_{sh} คือ ค่าความต้านทานขนานของเซลล์ (Ω)
 $I_{sc, ref}$ คือ กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจรที่ STC (A)
 $V_{oc, ref}$ คือ แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรที่ STC (V)
 P_m คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- V_m คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (V)
 I_m คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (A)
 n คือ ค่า Ideal factor Diode (ค่า Ideal factor Diode นั้นขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีในการผลิตโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แสดงดังตารางที่ 3.1)
 T คือ อุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์ (Kevin)
 q คือ ประจุอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} C
 k คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann มีค่าเท่ากับ 1.380×10^{-23} J/Kevin

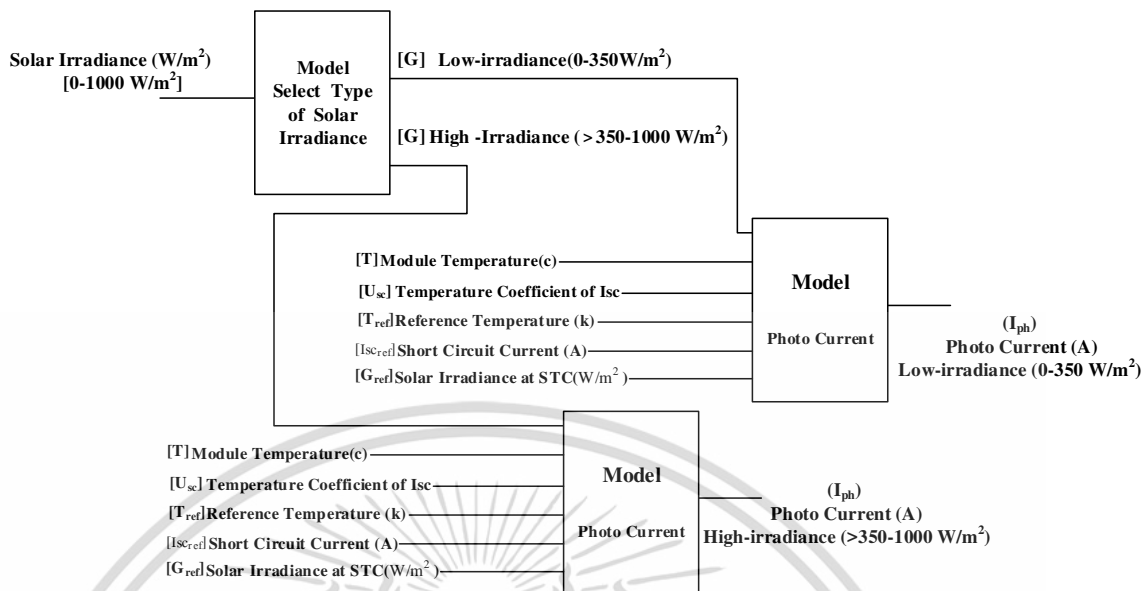
จากนั้นจึงนำสมการที่ (3.5) มาสร้างทำการสร้างแบบจำลองค่าความต้านทานขนานของเซลล์ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink โดยจัดให้อยู่ในรูปแบบ Artificial Neural Networksแสดงดังรูปที่ 3.4 [73]



รูปที่ 3.4 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของค่า Parallel Resistance (Rsh)

3.3.4 สร้างแบบจำลองแยกช่วงความเข้มแสงอาทิตย์

ขั้นตอนนี้จะสร้างแบบจำลองเลือกชนิดของการฉายรังสีแสงอาทิตย์ที่แยกค่าการฉายรังสีเป็นสองค่า: Low-irradiance ($0-350 \text{ W/m}^2$) และ High-irradiance ($>350-1,000 \text{ W/m}^2$) ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แบบจำลองแยกช่วงความเข้มแสงอาทิตย์

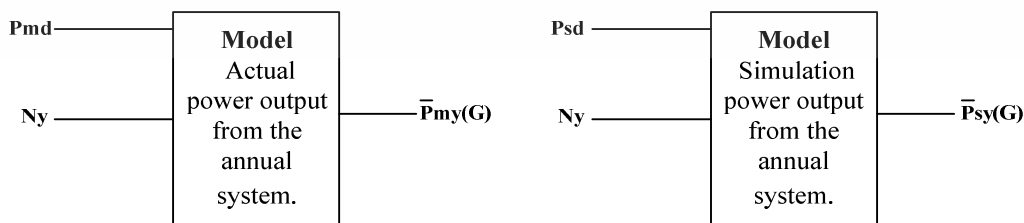
3.3.5 สร้างแบบจำลองค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป้าหมายที่ทำการทดสอบ รายปี (\bar{P}_{my})และแบบจำลองผลการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์รายปี (\bar{P}_{sy})

แบบจำลองนี้จะสร้างขึ้นเพื่อเป็นแบบที่ทดสอบได้กับทั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยขั้นตอนแรกจะทดสอบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเมื่อได้ผลได้ค่าแม่นยำที่สุดจึงทำการ ทดสอบกับระบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในขั้นตอนต่อไป ที่ โดยใช้ข้อมูลอย่างน้อย 1 ปี เพื่อสร้างแบบจำลอง จากสมการโดยแสดงด้วยสมการที่ (3.6)และ(3.7)

$$\bar{P}_{my}(G) = \frac{1}{N_y} \sum_{d=1}^{N_y} P_{md} \tag{3.6}$$

$$\bar{P}_{sy}(G) = \frac{1}{N_y} \sum_{d=1}^{N_y} P_{sd} \tag{3.7}$$

จากนั้นจึงนำสมการที่ (3.6)และ(3.7)มาสร้างทำการสร้างแบบจำลองแบบจำลองค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป้าหมายที่ทำการทดสอบรายปี (\bar{P}_{my}) และผลการจำลองการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์รายปี(\bar{P}_{sy}) ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink แสดงดังรูปที่3.6 และรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 แบบจำลองค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป้าหมายที่ทำการทดสอบ รายปี (\bar{P}_{my})และ แบบจำลองผลการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์รายปี (\bar{P}_{sy})

3.3.6 สร้างแบบจำลอง Weight parameter (P_w)

ปรับปรุงค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์กับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจริงจากเซลล์แสงอาทิตย์เป้าหมายที่ทำการทดสอบรายปี (\widehat{P}_{my}) กับ ผลการจำลองการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์รายปี (\widehat{P}_{sy}) โดยสร้างสมการโพลิโนเมียล ดังสมการที่ (3.8)

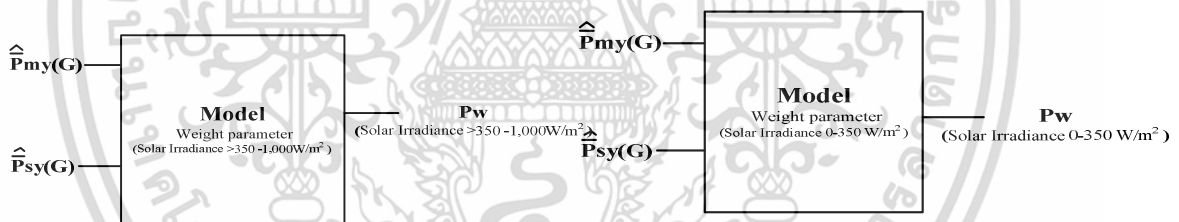
$$\widehat{P}_{my}(G), \widehat{P}_{sy}(G) = \text{Intercept} + A_1G + A_2G^2 + A_3G^3 \quad (3.8)$$

จากนั้นจะทำการสร้างสมการ Weight parameter (P_w) โดยจะมี 2 สมการที่ ช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ Low-irradiance ($0-350\text{W/m}^2$) และ High-irradiance ($350-1,000\text{W/m}^2$) แสดงด้วยสมการที่ (3.9) และ (3.10)

$$P_w \left(\text{Solar Irradiance } 0 - 350 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) = \widehat{P}_{my}(G) - \widehat{P}_{sy}(G) \quad (3.9)$$

$$P_w \left(\text{Solar Irradiance } >350 - 1,000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) = \widehat{P}_{sy}(G) - \widehat{P}_{my}(G) \quad (3.10)$$

จากนั้นทำการสร้างแบบจำลอง Weight parameter P_w (Solar irradiance $0-350\text{W/m}^2$) และ Weight parameter P_w (Solar irradiance $350-1,000\text{W/m}^2$) โดยแสดงด้วยรูปที่ (3.9)



รูปที่ 3.7 แบบจำลอง P_w (Solar irradiance $0-350\text{W/m}^2$) และ P_w (Solar irradiance $>350-1,000\text{W/m}^2$)

3.3.7 สร้างแบบจำลอง Proposed models (P_p)

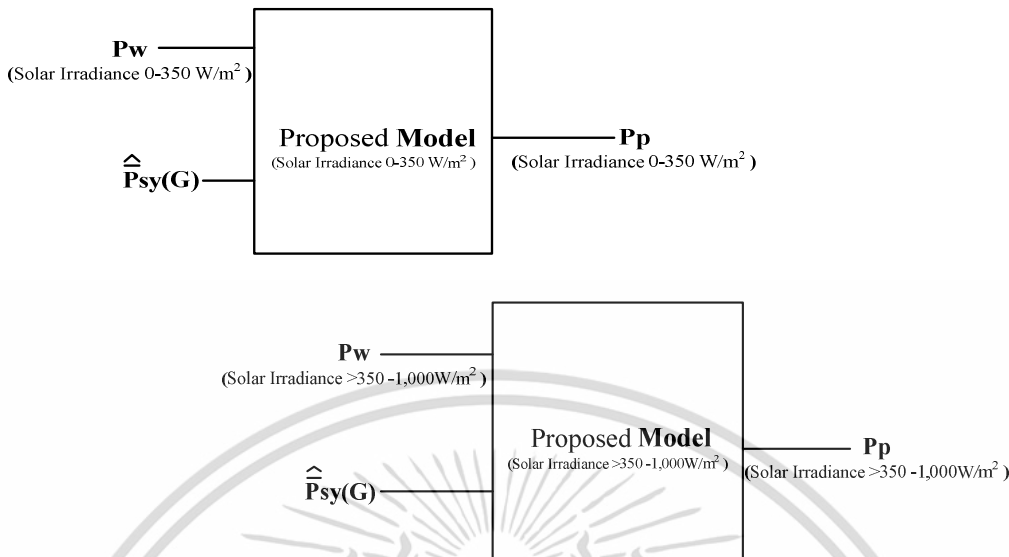
ทำการสร้างสมการ Proposed models (P_p) โดยจะมี 2 สมการที่ ช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ Low-irradiance ($0-350\text{W/m}^2$) และ High-irradiance ($350-1,000\text{W/m}^2$) แสดงด้วยสมการที่ (3.11) และ (3.12)

$$P_p \left(\text{Solar Irradiance } 0 - 350 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) = \widehat{P}_{sy}(G) + P_w \left(\text{Solar Irradiance } 0 - 350 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) \quad (3.11)$$

$$P_p \left(\text{Solar Irradiance } >350 - 1,000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) = \widehat{P}_{sy}(G) + P_w \left(\text{Solar Irradiance } >350 - 1,000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) \quad (3.12)$$

ขั้นตอนต่อไปจะทำการสร้างแบบจำลอง P_p (Solar irradiance $0-350\text{W/m}^2$) และ P_p (Solar irradiance $350-1,000\text{W/m}^2$) โดยแสดงด้วยรูปที่ (3.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แบบจำลอง Pp (Solar irradiance 0 -W/m²)และ Pp (Solar irradiance >350-1,000W/m²)

จากนั้นทำการสร้างสมการ Proposed models (P_p) Solar irradiance 0-1,000 W/m² ซึ่งเป็น การรวมกันของP_p(Solarirradiance0-350W/m²)กับP_p (Solar irradiance >350-1,000W/m²) เพื่อ ค่าการปรับปรุงจะเป็นค่าที่แม่นยำและสามารถสร้างกราฟการประมาณการณ์เป็นเส้นตรงต่อเนื่องของ ความเข้มแสงอาทิตย์ได้ แสดงด้วยสมการที่ (3.13)

$$P_p = P_p \left(\text{Solar Irradiance } 0 - 350 \frac{W}{m^2} \right) + P_p \left(\text{Solar Irradiance } >350 - 1,000 \frac{W}{m^2} \right) \quad (3.13)$$

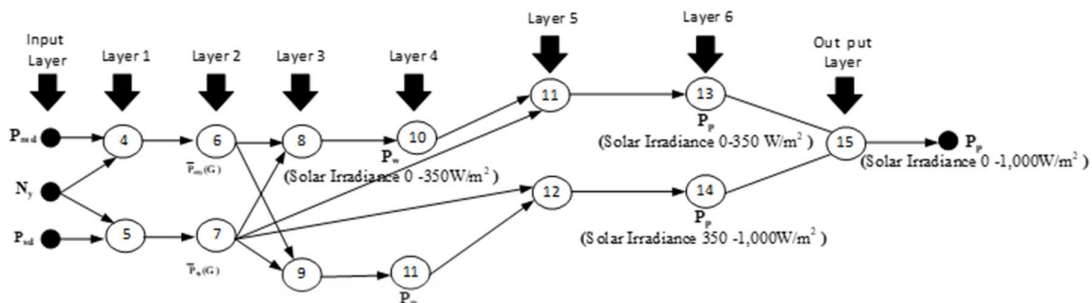
จากนั้นจะทำการสร้างแบบจำลอง P_p(Solar irradiance 0-1,000 W/m²)โดยแสดงดังรูปที่ (3.9)



รูปที่ 3. 9 แบบจำลอง Pp (Solar irradiance 0-1,000 W/m²)

3.3.8 สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม Proposed models (P_p)

นำทุกขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองมาจัดรูปแบบโครงสร้างประสาทเทียมเพื่อการพัฒนาการ ประมาณการณ์ให้รวดเร็วขึ้น



รูปที่ 3. 10 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม Proposed models (Pp)

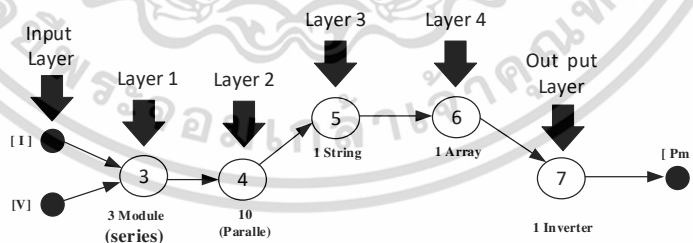
3.4 ทดลองแบบจำลองแบบใหม่ Proposed models (Pp) โดยทดสอบกับระบบฯ ขนาดกำลังการผลิต 12 MWp เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประมาณการกำลังการผลิตของ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (รายวัน)

โดยการทดสอบแรกจะใช้โปรแกรมแบบจำลองใหม่ Proposed models (Pp) แยกความเข้มแสงอาทิตย์ออกเป็นสองช่วง คือ Low-irradiance(0-350/m²) และ High-irradiance (>350-1,000W/m²) ส่วนการทดสอบครั้งที่สองจะใช้โปรแกรมแบบจำลองใหม่ Proposed models (Pp) ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ Solar irradiance(0-1,000 W/m²)

3.5 นำแบบจำลองไปทดสอบกับระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 1ปี (รายวัน)

3.5.1 สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

ทำการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบจำลองระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาด 2.07 kWp ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 230 Wp จำนวน 9 แผง 1สตริง ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ อนุกรมกัน 9 แผง ต่อขนานกัน 1 ชุด และมี อินเวอร์เตอร์ 1 เครื่อง



รูปที่ 3.11 โครงข่ายประสาทเทียมของระบบฯ ขนาดกำลังการผลิต 2.07kWp

3.6 การทดสอบแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าตามสภาพอากาศของแต่ละวันที่ มีสภาพอากาศที่แตกต่างกันของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

ทำเปรียบเทียบค่าการประมาณการที่ได้จากแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าที่วัดได้จริง ภายใต้สภาวะอากาศที่แตกต่างกัน ได้แก่ ท้องฟ้าโปร่ง(Clear Sky)และมีเมฆมาก(Cloudy)

3.7 การทดสอบแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าตามฤดูกาลรายเดือนของระบบขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

ทำเปรียบเทียบค่าการประมาณการที่ได้จากแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าที่วัดได้จริงใน

ช่วงฤดูร้อน (มีนาคม, เมษายน และพฤษภาคม)

ช่วงฤดูฝน (มิถุนายน, กรกฎาคม, สิงหาคม, กันยายน และ ตุลาคม)

ช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน, ธันวาคม, มกราคม และ กุมภาพันธ์)

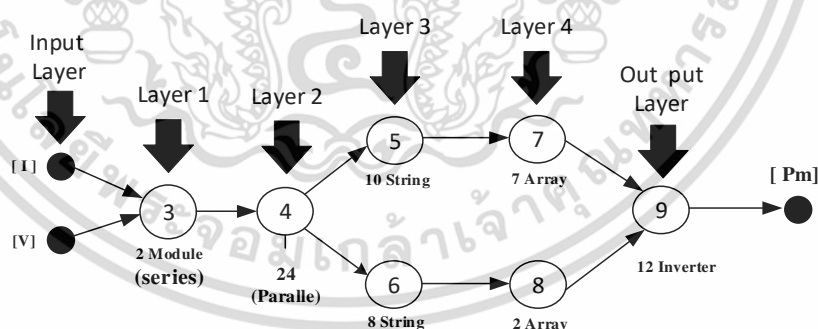
3.8 ทดสอบแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงรายปีของระบบขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

ทำการทดสอบผลของการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp รายปีเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง เป็นระยะเวลา 1 ปี

3.9 นำแบบจำลองไปทดสอบกับระบบขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 12 MWp โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 2 ปี (รายวัน)

3.9.1 สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ทำการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบจำลองระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาด 12 MWp ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 245 Wp จำนวน 49,536 แผง ชุด 10 ชุด จำนวน 7 อาร์เรย์, ชุด 8 ชุด จำนวน 2 อาร์เรย์ โดยใน 1 ชุดประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ อนุกรมกัน 2 แผง จะขนานกัน 24 ชุด และมี อินเวอร์เตอร์ 12 เครื่อง



รูปที่ 3.12 โครงข่ายประสาทเทียมของ ระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

3.10 การทดสอบแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าตามสภาพอากาศของแต่ละวันที่มีสภาพอากาศที่แตกต่างกันของระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ทำเปรียบเทียบค่าการประมาณการที่ได้จากแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าที่วัดได้จริง ภายใต้สภาวะอากาศที่แตกต่างกัน ได้แก่ ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) และมีเมฆมาก (Cloudy)

3.11 การทดสอบแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าตามฤดูกาลรายเดือนของระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ทำเปรียบเทียบค่าการประมาณการที่ได้จากแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าที่วัดได้จริงใน

ช่วงฤดูร้อน (มีนาคม, เมษายน และพฤษภาคม)

ช่วงฤดูฝน (มิถุนายน, กรกฎาคม, สิงหาคม, กันยายน และตุลาคม)

ช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน, ธันวาคม, มกราคม และ กุมภาพันธ์)

3.12 ทดสอบแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงรายปี ใน ปีคศ.2016 และปีคศ.2017ของระบบขนาดกำลังการผลิต 12MWp

ทำการทดสอบผลของการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต12MWp รายปีเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง เป็นระยะเวลา 2 ปี

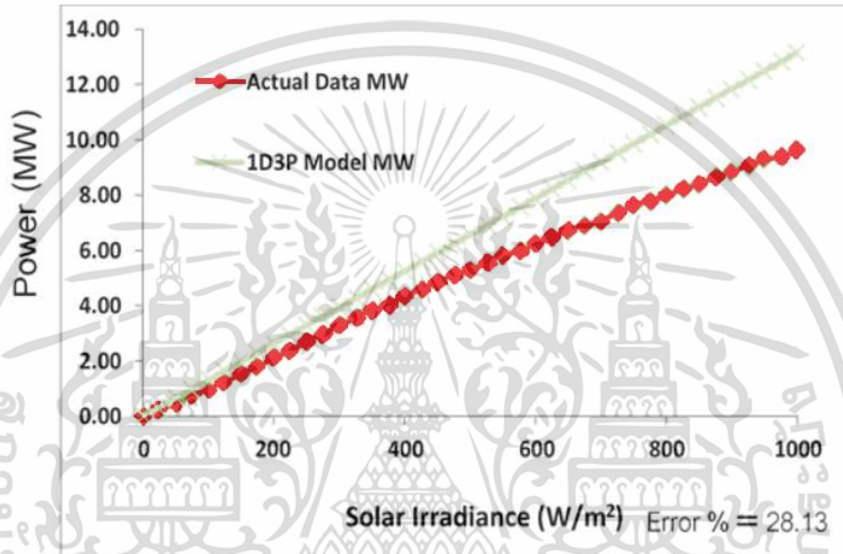


บทที่ 4

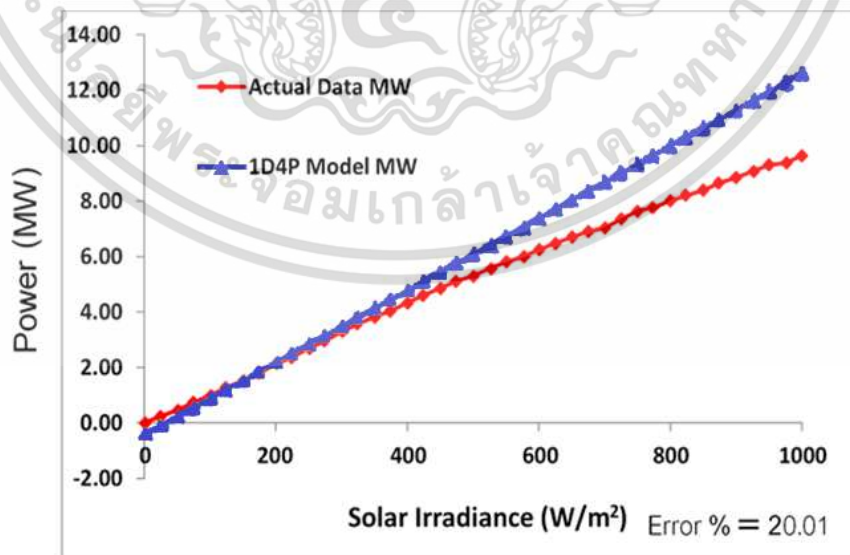
ผลการทดลอง

4.1 ผลเก็บข้อมูลของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ 12 MWp

4.1.1 ผลเก็บข้อมูลของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ 12 MWp เปรียบเทียบการประมาณการฯ ด้วยแบบจำลอง 1D3P, 1D4P และ 1D5P

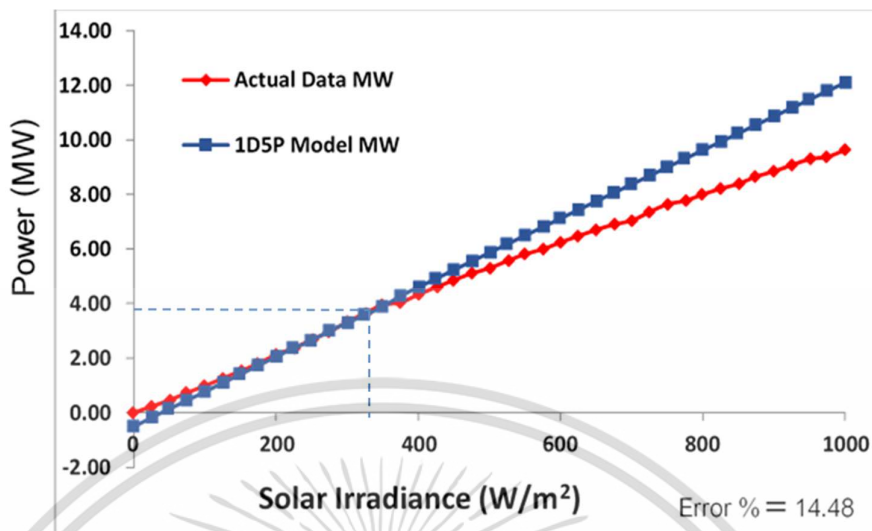


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าการประมาณการฯโดยแบบจำลอง1D3Pเปรียบเทียบกับค่าวัดจริง



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าการประมาณการฯโดยแบบจำลอง1D4Pเปรียบเทียบกับค่าวัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าการประมาณการฯโดยแบบจำลอง1D5Pเปรียบเทียบกับค่าวัดจริง

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าการประมาณการฯของแบบจำลอง 1D5P มี ค่าความผิดพลาด(Error %)คือ 14.88 % ซึ่งเป็นค่าน้อยสุดเมื่อเทียบกับผลการประมาณการของแบบจำลอง1D4P และ1D3P จึงเลือกแบบจำลอง 1D5P มาทำการทดสอบ โดยจะต้องนำไปทดสอบเป็นสองช่วงของความเข้มแสง คือช่วงความเข้มแสง 0-350 W/m² และ ช่วงความเข้มแสง >350-1000 w/m² เพื่อปรับค่าการประมาณการให้มีความแม่นยำขึ้น

ตารางที่ 4.1 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองการประมาณการการผลิตกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Models	Error %
1D3P	28.13
1D4P	20.01
1D5P	14.88

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบการประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้าของแบบจำลอง1D5Pกับค่าวัดจริง

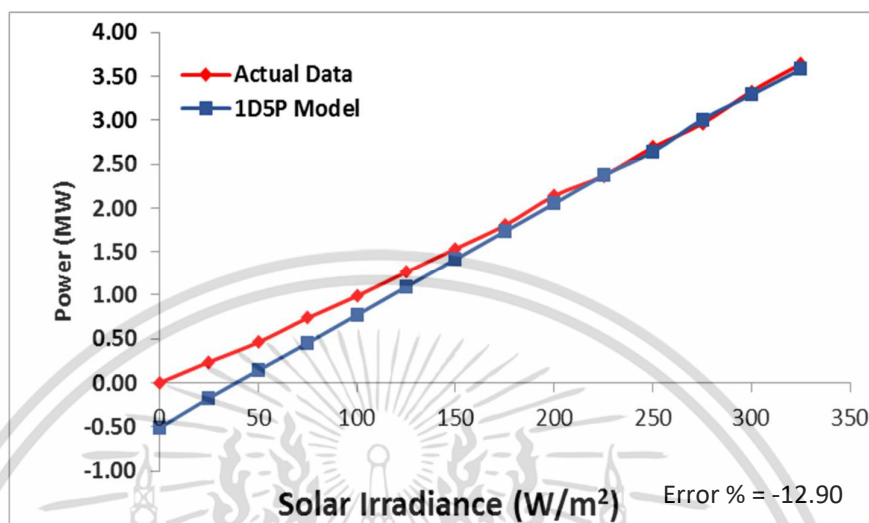
Solar irradiance (W/m ²)	Actual Data (MW)	1D5P Model(MW)	Error %
100	0.99	0.77	21.88
200	2.14	2.05	4.08
300	3.33	3.25	1.20
400	4.33	4.60	6.25
500	5.30	5.86	10.67
600	6.25	7.12	13.97
700	7.04	8.37	18.85
800	8.01	9.62	20.11
900	8.85	10.86	22.73
1000	9.64	12.10	25.53

จากผลการทดลองพบว่าแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นจากแบบจำลอง 1D5P สามารถแสดงพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้องโดยจะมีการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากกำลังการผลิตน้อยไปสู่ผลิตมาก ตามค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ที่เพิ่มจาก 0 W/m² ถึง 1,000 W/m² โดยพบว่าในระยะเวลา 2 ปีที่ทดสอบจะเกิดจุดตัดของกราฟการประมาณการกับกราฟที่ได้จากค่าวัดจริงที่จุดตัดที่ความเข้มของแสงอาทิตย์ 350 W/m² ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการประมาณการ

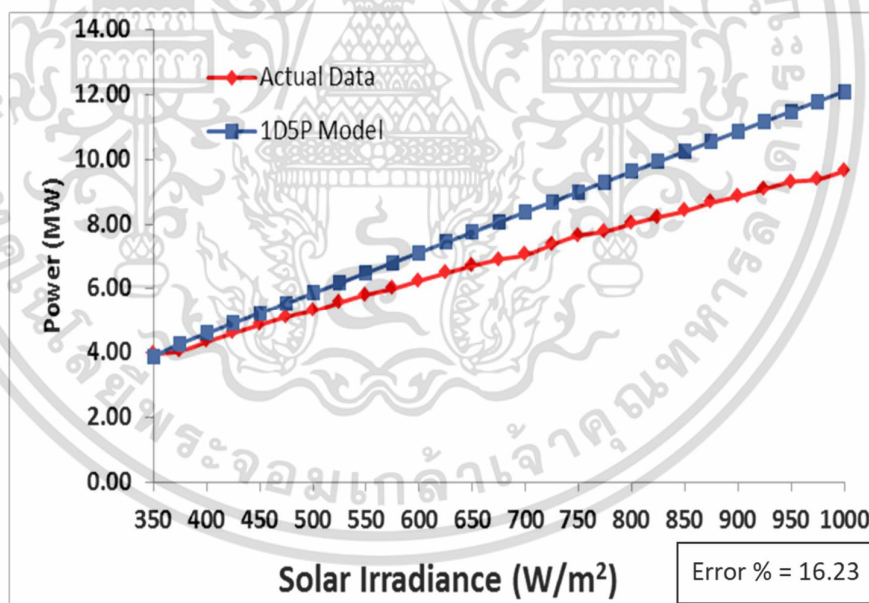
ผลที่ได้จากตารางที่ 4.2 มีค่าผิดพลาดของแบบจำลองการประมาณการพบว่าในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ Low-irradiance (0-350W/m²) จะมีค่าประมาณการของแบบจำลอง1D5P ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริง แต่ในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ High-irradiance (>350 -1,000 W/m²)จะมีค่าของการประมาณการของแบบจำลอง1D5P ห่างจากค่าวัดจริง โดยหากทำการปรับค่าประมาณการในช่วง Low-irradiance ให้ที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าวัดจริง จะทำให้ค่าประมาณการในช่วง High-irradiance จะห่างจากค่าวัดจริงเพิ่มขึ้น และในทางกลับกันเมื่อปรับค่าการประมาณการในช่วง High-irradiance ให้มีค่าใกล้เคียงกับวัดจริง ค่าประมาณการในช่วง Low-irradiance ก็จะทำให้ห่างจากค่าวัดจริงเพิ่มขึ้น

จึงทำการทดลองสร้างแบบจำลองโดยแบ่งช่วงความเข้มแสงอาทิตย์เป็น 2 ช่วง ช่วงแรกในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ Low-irradiance (0 - 350W/m²) แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริง

จากนั้น ทำการทดลองช่วงที่สอง คือช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ High-irradiance ($>350-1,000$ W/m^2) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าวัดจริง เพื่อหาค่าชดเชยในการประมาณการในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าการประมาณการกำลังการในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ Low-irradiance ($0 - 350 W/m^2$) เปรียบเทียบกับค่าวัดจริง



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าการประมาณการกำลังการในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ High-irradiance ($>350-1,000 W/m^2$) เปรียบเทียบกับค่าวัดจริง

รูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 แสดงผลการประมาณการในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ 2 ช่วง พบว่าในช่วงในช่วงที่ความเข้มแสงอาทิตย์ Low-irradiance ($0 - 350 W/m^2$) จะมีข้อผิดพลาดเฉลี่ย 12.90% และในช่วงที่ความเข้มแสงอาทิตย์ High-irradiance ($>350-1,000 W/m^2$) มีข้อผิดพลาดเฉลี่ย 16.23% โดยค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของทั้งสองช่วงจะเห็นได้ว่ามีนัยสำคัญของค่าผิดพลาดใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลทดลองสร้างแบบจำลองฯเพื่อชดเชยผลการประมาณการในแต่ละช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ในการปรับชดเชยนั้นจะทำการปรับ เป็น order จากสมการจะเห็นได้ว่ามีการปรับ order เพิ่มขึ้น ค่ายกกำลังจะมีค่ามากขึ้น และตัวแปรในการคำนวณจะมีค่าเพิ่มขึ้นดังสมการที่(4.1-4.4)

$$\text{order 2} \quad y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c \quad (4.1)$$

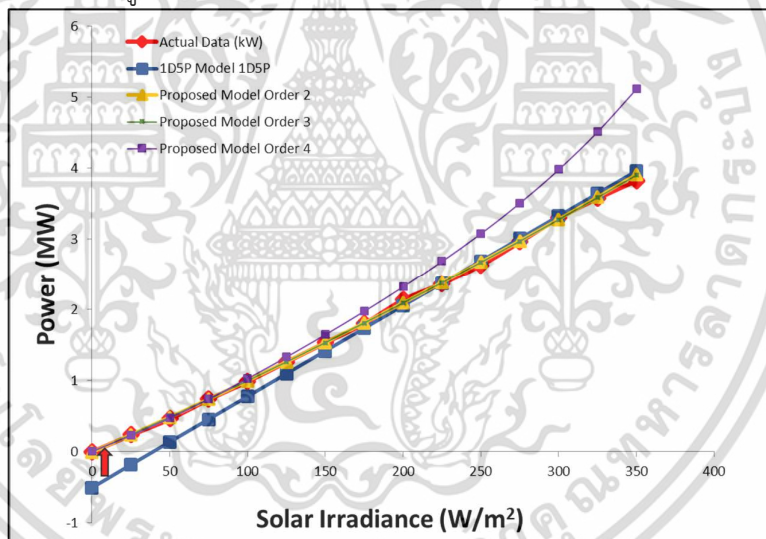
$$\text{order 3} \quad y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d \quad (4.2)$$

$$\text{order 4} \quad y = a \cdot x^4 + b \cdot x^3 + c \cdot x^2 + d \cdot x + e \quad (4.3)$$

$$\text{order 5} \quad y = a \cdot x^5 + b \cdot x^4 + c \cdot x^3 + d \cdot x^2 + e \cdot x + g \quad (4.4)$$

4.2.1 ผลการประมาณการฯในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ Low-irradiance (0- 350 W/m²) ด้วยแบบจำลอง Proposed Model ที่สมการโพลิโนเมียลลอเดอร์ต่างๆ

ใช้สมการโพลิโนเมียลเพื่อหา ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบโรงไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบ ค่าจากการวัดจริงกับ ค่าที่ได้จากแบบจำลองการประมาณการ ซึ่งแบบจำลองจะชดเชยผลการประมาณการ ด้วยสมการโพลิโนเมียลลอเดอร์ 2 ถึง 4 แสดงดังรูปที่ 4.6



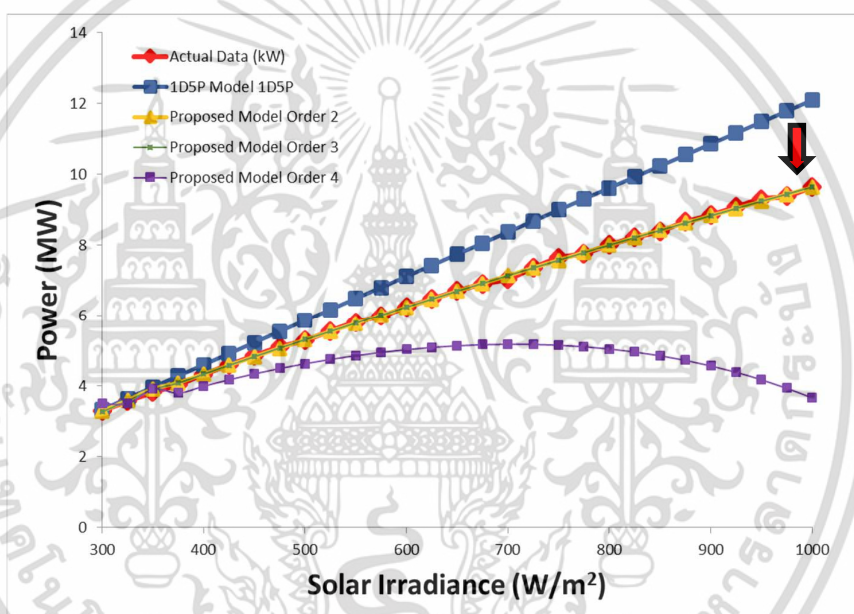
รูปที่ 4.6 ผลของแบบจำลอง Proposed Model ที่ใช้ในการประมาณการปรับปรุงค่าความผิดพลาดในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ Low-irradiance (0-350W/m²)

ผลการประมาณการฯจากแบบจำลอง Proposed Model ในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ Low-irradiance (0-350W/m²) พบว่า ค่าความผิดพลาดจากแบบจำลอง 1D5P มีค่าประมาณ 12.90% และเมื่อทำการประมาณการเพื่อชดเชยผลด้วย Proposed Model ออเดอร์ที่ 2 และ 3 พบว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยมีค่า 0.47% และ 0.43% ตามลำดับ โดยจะพบว่าผลที่ได้จากการประมาณการ มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง แต่เมื่อทำการปรับค่าออเดอร์เป็นออเดอร์ที่ 4 จะพบว่าแนวโน้มของกราฟเบี่ยงเบนออกจากค่าที่วัดจริง โดยมีความผิดพลาดเพิ่มขึ้นถึง 8.55% จึงเลือกใช้ Proposed Model Order 3 ในการทดสอบ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง 1D5P ที่ได้รับการปรับปรุงโดยใช้รูปแบบโดย Proposed Model ในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ Low-irradiance ($0-350\text{W/m}^2$)

Models	Error %
1D5P	12.90
Proposed Model Order 2	0.47
Proposed Model Order 3	0.43
Proposed Model Order 4	8.55

4.2.2 ผลการประมาณการในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ High-irradiance ($>350-1,000\text{W/m}^2$) ด้วย Proposed Model ที่สมการโพลีโนเมียลลอเดอร์ต่างๆ



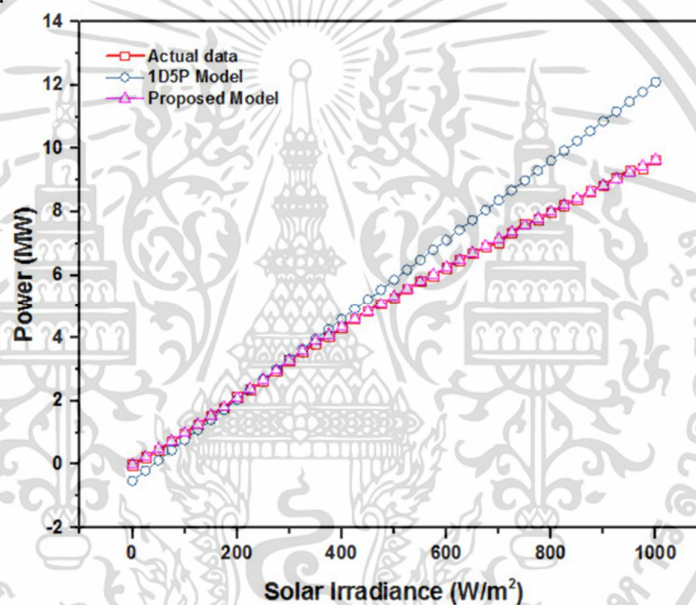
รูปที่ 4.7 ผลของแบบจำลอง Proposed Model ที่ใช้ในการประมาณการปรับปรุงค่าความผิดพลาดในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ High-irradiance ($>350-1,000\text{W/m}^2$)

ในช่วง High-irradiance ก็เช่นกัน จะใช้สมการโพลีโนเมียลเพื่อปรับชดเชยค่าการประมาณการจากแบบจำลองฯ ให้เท่ากับวัดจริง โดยการปรับด้วยสมการโพลีโนเมียลลอเดอร์ 2 ถึง 4 แสดงดังรูปที่ 4.8 ซึ่งผลการประมาณการฯ ในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ High-irradiance ($>350-1,000\text{W/m}^2$) พบว่าค่าความผิดพลาดจากแบบจำลอง 1D5P มีค่าประมาณ 16.23% และเมื่อทำการประมาณการชดเชยผลการประมาณการด้วยแบบจำลอง Proposed Model ออเดอร์ที่ 2 และ 3 มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยมีค่า 0.48% และ 0.44% ตามลำดับ โดยจะพบว่าผลที่ได้จากการประมาณการ มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง แต่เมื่อทำการปรับค่าออเดอร์เป็นออเดอร์ที่ 4 จะพบว่าแนวโน้มของกราฟเบี่ยงเบนออกจากค่าที่วัดจริง โดยมีค่าความผิดพลาดเพิ่มขึ้นถึง 29.14 % จึงเลือกใช้ Proposed Model Order 3 ในการทดสอบ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง 1D5P ที่ได้รับการปรับปรุงโดยใช้รูปแบบโดย Proposed Model ในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ High-irradiance (>350 - $1,000$ W/m^2)

Models	Error %
1D5P	16.23
Proposed Model Order 2	0.48
Proposed Model Order 3	0.44
Proposed Model Order 4	29.14

4.2.3 ผลทดสอบการประมาณการในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ (0 - $1,000$ W/m^2) ด้วยแบบจำลอง Proposed Model



รูปที่ 4.8 ผลของแบบจำลอง Proposed Model ที่ใช้ในการประมาณการปรับปรุงค่าความผิดพลาดในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ (0 - $1,000$ W/m^2)

ตารางที่ 4.5 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง 1D5P ที่ได้รับการปรับปรุงโดยใช้รูปแบบโดย Proposed Model ในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ (0 - $1,000$ W/m^2)

Models	Error %
1D5P Model	14.48
Proposed Model	0.44

เมื่อใช้ Proposed Model ประมาณการในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ (0 - $1,000$ W/m^2) แสดงดังรูปที่ 4.8 ผลการประมาณการฯ โดยใช้แบบจำลอง Proposed Model กับแบบจำลอง 1D5P พบว่าค่าความผิดพลาดจากแบบจำลอง 1D5P มีค่าประมาณ 14.48 % และเมื่อทำการปรับปรุงความแม่นยำด้วย

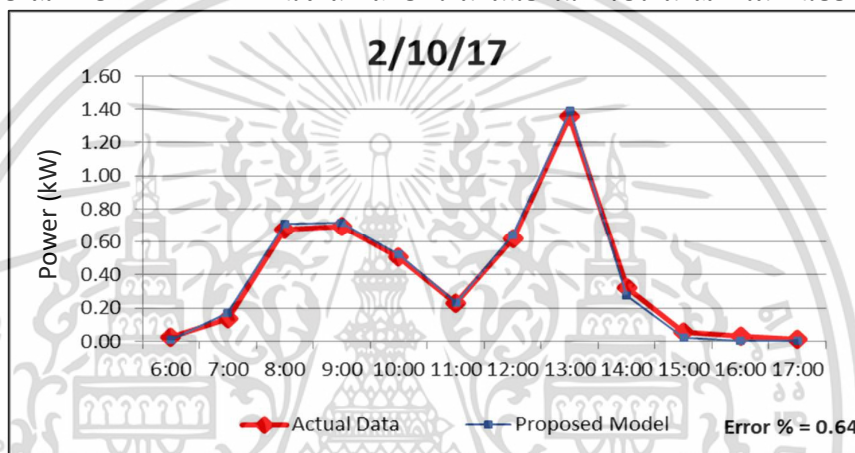
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Proposed Model ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเพียง 0.44 % จึงใช้ Proposed Model ในการทดสอบกับระบบการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยที่มีขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp เพื่อที่จะทดสอบกับระบบเล็กซึ่งสะดวกต่อการทดสอบในการประมาณการ

4.3 ผลทดลองทดสอบแบบจำลองการประมาณการฯเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริง ภายใต้สภาวะอากาศที่ต่างกันของระบบขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

4.3.1 วันที่มีเมฆมาก (Cloudy) ของระบบขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

เลือกวันสำหรับการประมาณการไฟฟ้า จากปีค.ศ.2017 ในช่วงเวลา 6.00 น.- 17.00 น. โดยเลือกวันที่มีเมฆมากตลอดวันมาทำการทดสอบ เพื่อทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองและทราบผลความแตกต่างของสภาพอากาศที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อความแม่นยำในการประมาณการมากน้อยเพียงใด



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการฯ จากแบบจำลอง(วันที่มีเมฆมาก) ในวันที่ 2/10/2017

ตารางที่ 4.6 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการของแบบจำลอง (วันที่มีเมฆมาก) ในวันที่ 2/10/2017

	Measured	Simulate	Error (%)
Energy (kW)	4.66	4.69	0.64

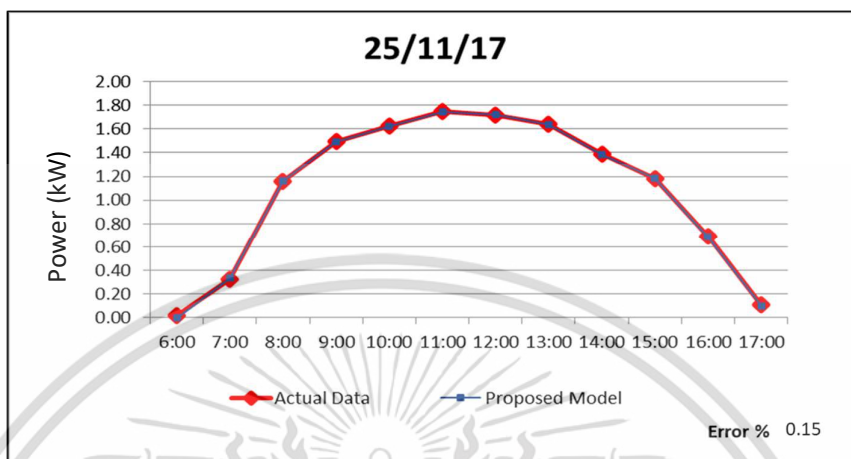
จากผลการทดลองในระยะเวลาจาก 6.00 น.ถึงเวลา17.00น.ของวันในปีค.ศ.2017 โดยวันที่มีเมฆมาก พบว่าค่าการประมาณการที่ได้จากแบบจำลองการประมาณการจะมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบฯ มีค่าความผิดพลาดเพียง 0.64% จากกราฟจะเห็นได้ว่ากราฟจะเป็นกราฟที่เป็นระฆังคว่ำที่ไม่สวยเหมือนกับวันที่อากาศโปร่งใส แต่ทดสอบได้ว่าแบบจำลองการประมาณการฯมีความแม่นยำ กราฟมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

4.3.2 วันที่ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) ของระบบขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

ทำการประมาณการผลิตไฟฟ้ารายวันจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลอง Proposed Model ในช่วงเวลา 6.00 น.- 17.00 น. โดยเลือกวันที่มีความเข้มแสงอาทิตย์สูงตลอดวัน วันที่ท้องฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปร่งไม่มีเมฆ หรือ วันที่มีเมฆน้อย โดยทดสอบกับวัน ใน ปีค.ศ. 2017 เพื่อทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองในกรณีที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือที่เรียกว่าการเปลี่ยนแปลงแบบราบรื่น โดยจะเปรียบเทียบกับค่ากำลังผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับ ผลการประมาณการจากแบบจำลอง(วันที่ท้องฟ้าโปร่ง, เมฆน้อย) ในวันที่ 25/11/2017

ตารางที่ 4.6 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการของแบบจำลอง(วันที่ท้องฟ้าโปร่ง, เมฆน้อย)ในวันที่ 25/11/2017

	Actual Data	Proposed Model	Error (%)
Energy (kW)	13.08	13.10	0.15

จากผลการทดลองในระยะเวลา 6.00 น. ถึงเวลา 17.00 น. ของวันในปีค.ศ. 2017 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนตามความเข้มแสงอาทิตย์จากช่วงเช้า ช่วงเที่ยงวัน และช่วงเย็น ดังรูปที่ 4.10 กราฟที่ได้จะมีเป็นรูปประหลาดๆ โดยค่าที่ได้จากแบบจำลองการประมาณการจะมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีความผิดพลาดเพียง 0.15%

4.4 ผลทดลองแบบจำลองการประมาณการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง ในช่วงฤดูกลาง ของระบบฯในประเทศไทยขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

ในประเทศไทยตั้งแต่โบราณกาลนิยมแบ่งฤดูกาลออกเป็น 3 ฤดู

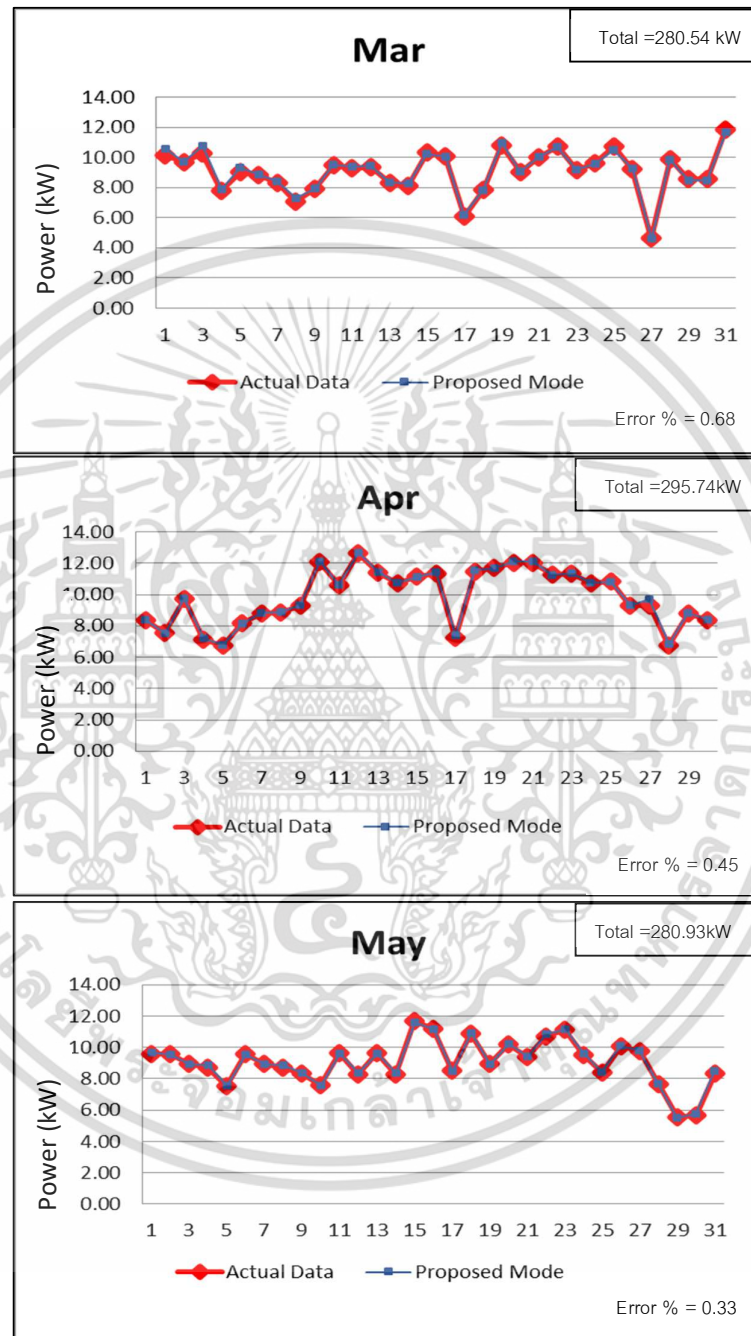
ฤดูร้อน มี 3 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือน มีนาคม,เมษายนและพฤษภาคม

ฤดูฝน มี 5 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือน มิถุนายน,กรกฎาคม,สิงหาคม,กันยายนและตุลาคม

ฤดูหนาว มี 4 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน,ธันวาคม,มกราคมและกุมภาพันธ์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงแบ่งการพิจารณาผลของแบบจำลองด้วยการแบ่งช่วงฤดูกาลดังกล่าว

4.4.1 การประมาณการช่วงฤดูร้อนของระบบฯประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp
 ทำการประมาณการผลิตไฟฟ้า รายเดือนในช่วงฤดูร้อน จากโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย
 แบบจำลอง Proposed Model ในค.ศ.2017 ในช่วงเวลา 6.00 น.- 17.00 น.



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ฤดูร้อน)ในปีค.ศ.2017 ของระบบฯขนาด 2.07 kWp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน (ฤดูร้อน) ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

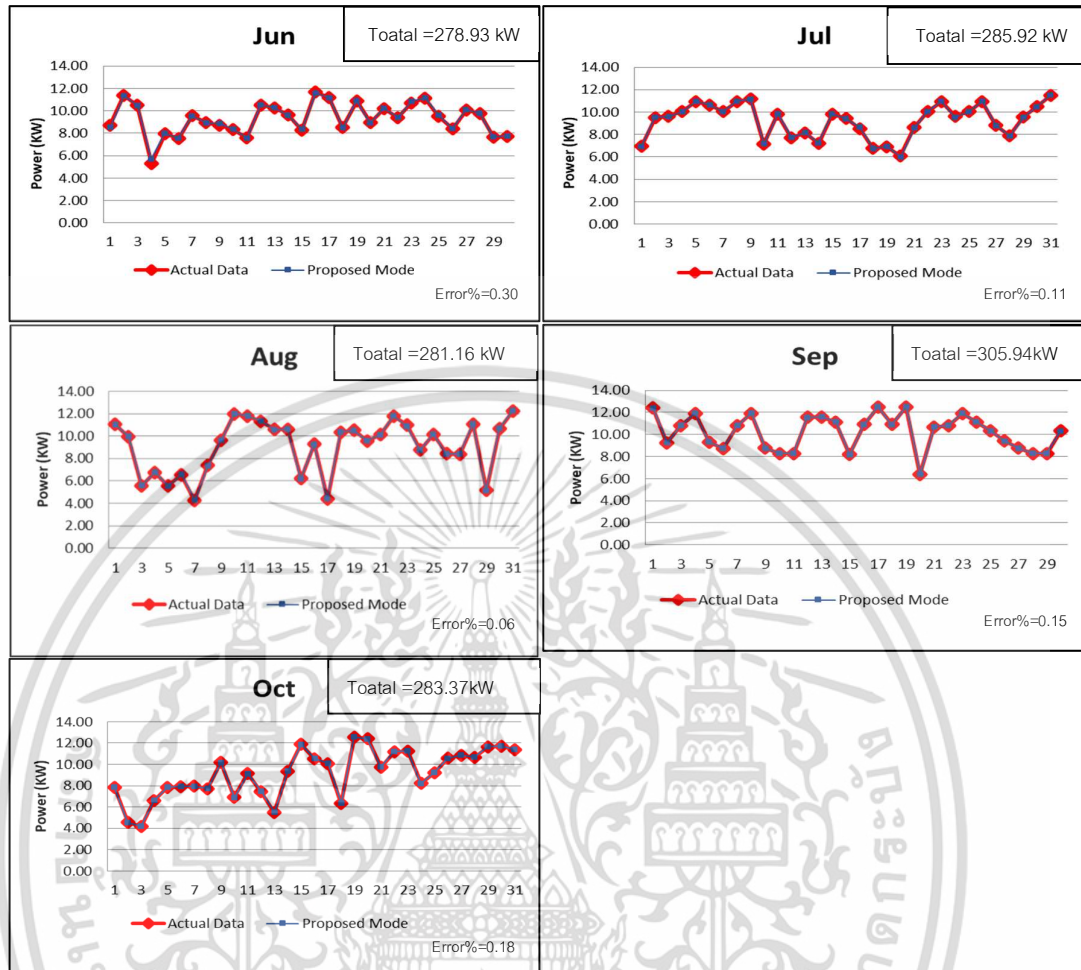
Months	Measured (kW)	Simulate (kW)	Error (%)
Mar/2017	280.54	282.45	0.68
Apr/2017	295.74	297.07	0.45
May2017	280.93	281.90	0.33
Avg.	285.74	287.14	0.48

ผลการทดลองพบว่ากราฟมีแนวโน้มของกราฟเป็นไปตามแนวเดียวกัน จะมีการขึ้นลงของกราฟเปลี่ยนแปลงหรือการผันผวนเป็นบางวัน เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ เมื่อมีเมฆบังหรือตลอดทั้งวันมีเมฆมากหรือมีฝนตก ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าการประมาณการก็จะได้ค่าต่ำลง ซึ่งการทดสอบเก็บข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.07 kWp ช่วงฤดูร้อน จะเห็นได้ว่าสามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 285.74 kW และผลจากการประมาณการด้วยแบบจำลองการประมาณการฯด้วยแบบจำลอง Proposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 287.14 kW ค่าที่ได้จากแบบจำลองการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าที่ใกล้เคียงและแนวโน้มเดียวกันกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง

โดยผลของแบบจำลองการประมาณการค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในฤดูร้อน มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยต่อเดือน 0.48 % แสดงดังตารางที่ 4.7

4.4.2 การประมาณการช่วงฤดูฝนของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

ทำการประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้ารายเดือนจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลอง Proposed Model โดยทดสอบในช่วงฤดูฝน(มิถุนายน,กรกฎาคม,สิงหาคม,กันยายนและตุลาคม) ในช่วงฤดูนี้ จะมีวันที่มีฝนตก และวันที่มีเมฆมาก ซึ่งมีการผันผวน เปลี่ยนแปลงมากบางวันก็จะมีท้องฟ้าโปร่งเมฆน้อย เนื่องจากต้องการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองกรณีที่มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่ราบรื่น โดยเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ช่วงฤดูฝน)ในปี.ศ.2017ของระบบการฯ ขนาดกำลังการผลิต 2.07kWp

ตารางที่ 4.8 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน ในช่วงฤดูฝนของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

Months	Measured(kw)	Simulate(kw)	Error (%)
Jun/2017	278.93	279.78	0.30
Jul/2017	285.92	286.24	0.11
Aug/2017	281.16	281.33	0.06
Sep/2017	305.94	306.28	0.15
Oct/2017	283.37	283.90	0.18
Avg.	287.06	287.50	0.16

ในฤดูฝน ซึ่งมีระยะเวลาถึง 5เดือน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า กราฟยังคงมีแนวโน้มของกราฟ เป็นไปตามแนวเดียวกัน ทั้ง 5 เดือน โดยจะมีการขึ้นลงของ กราฟเปลี่ยนแปลง เนื่องมาจากการ เปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากมีฝนตกพบว่าค่ากำลัง ไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบ

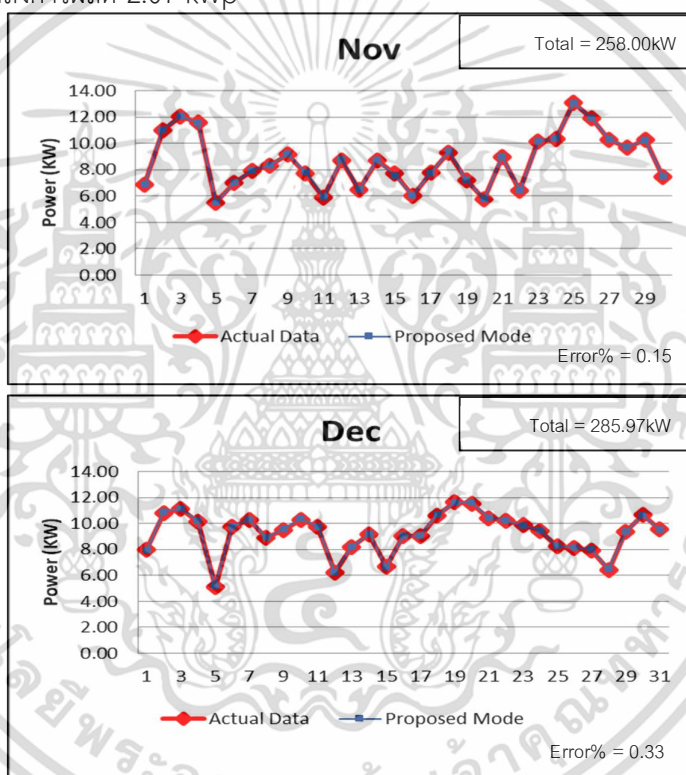
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้า เฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 287.37kWและผลจากการประมาณการด้วยแบบจำลอง Proposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 287.50 kW ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองสามารถที่จะประมาณค่าการประมาณการได้อย่างแม่นยำ ไม่ว่าจะในช่วงฤดูที่ท้องฟ้าโปร่งหรือช่วงฤดูฝน มีเมฆมาก

โดยผลของแบบจำลองการประมาณการค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในฤดูฝน มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยต่อเดือน 0.16 % แสดงดังตารางที่ 4.8

4.4.3 การประมาณการช่วงฤดูหนาวของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

ทำการประมาณการผลิตไฟฟ้า รายเดือน ช่วงฤดูหนาว ด้วยแบบจำลอง Proposed Model ในปี ค.ศ.2017 ในเวลา 6.00 น.- 17.00 น.ของระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยที่มีขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง กับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ฤดูหนาว)ในปีค.ศ.2017ของระบบการฯ ขนาด 2.07 kWp

ตารางที่ 4.9 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน(ฤดูหนาว)ของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 KWp

Months	Measured(kW)	Simulate(kW)	Error (%)
Nov/2017	258.00	258.39	0.15
Dec/2017	285.97	286.90	0.33
Avg.	271.985	272.645	0.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

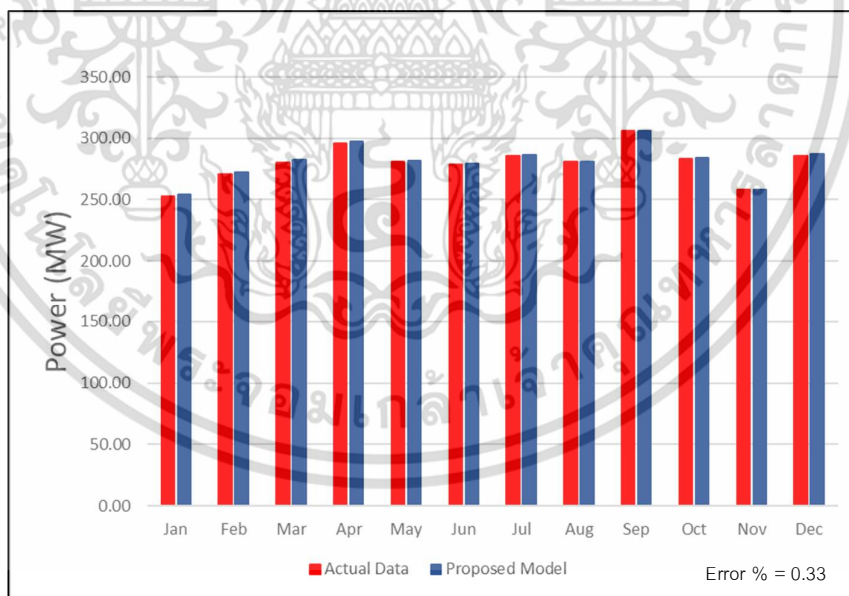
จากผลการทดลองพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าการประมาณการจากแบบจำลอง Proposed Model มีแนวโน้มของกราฟเป็นไปตามแนวเดียวกัน ซึ่งจะมีการขึ้นลงของกราฟข้อมูลหรือมีการเปลี่ยนแปลงหรือการผันผวนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ เมื่อมีเมฆบังหรือตลอดทั้งวันมีเมฆมาก ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าการประมาณการจะได้ค่าต่ำลง ซึ่งการทดสอบเก็บข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.07 kWp ช่วงฤดูหนาว พบว่าสามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 271.985kW และผลจากการประมาณการด้วยแบบจำลองการประมาณการด้วยแบบจำลอง Proposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 272.645 kW โดยพบว่า ผลจากแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงและแนวโน้มเดียวกันกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นค่าวัดจริง

โดยผลการจำลองค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ช่วงฤดูหนาว พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่อเดือน 0.24 % แสดงดังตารางที่ 4.8

4.5 ผลทดลองแบบจำลองการประมาณการฯเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง รายปี ของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

ทำการประมาณการการผลิตไฟฟ้า รายปี จากโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลอง Proposed Model ในปีค.ศ.2017

4.5.1 ทำการประมาณการค่ากำลังไฟฟ้าเป็นรายปี ในปีค.ศ.2017 ของระบบการฯในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (รายปี) ในปี ค.ศ.2017 ของระบบฯ ขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

ผลการทดสอบในการเก็บข้อมูลการกำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.07 kWp ตลอดระยะเวลา 12 เดือนพบว่าสามารถวัดกำลังการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน ประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

280.03kW และแบบจำลองคาดการณ์กำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย แบบจำลอง Proposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 280.94kW โดยพบว่าผลการประมาณการด้วยแบบจำลอง Proposed Model มีแนวโน้มเดียวกันกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากแบบจำลอง Proposed Model พบว่ามีความผิดพลาดเฉลี่ยต่อเดือน 0.33% ดังแสดงในตารางที่ 4.10

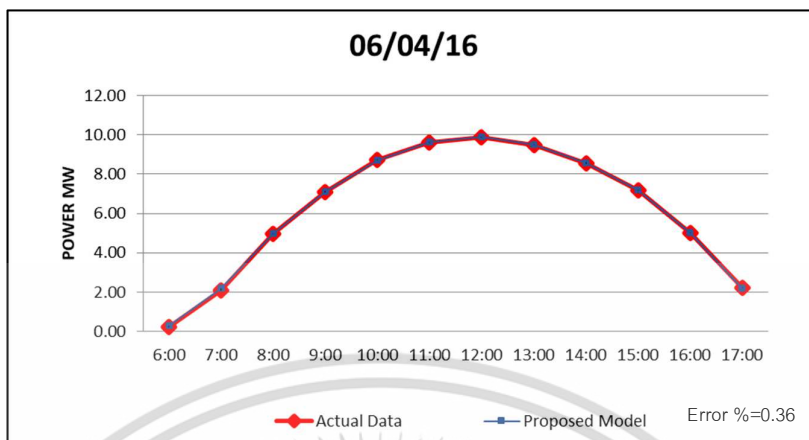
ตารางที่ 4.10 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน ในช่วงฤดูฝนของระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 2.07 kWp

Month	Actual Data(kW)	Proposed Model(kW)	Error %
Jan/2017	252.93	254.37	0.57
Feb/2017	270.89	272.72	0.68
Mar/2017	280.54	282.45	0.68
Apr/2017	295.74	297.07	0.45
May/2017	280.93	281.90	0.35
Jun/2017	278.93	279.78	0.30
Jul/2017	285.92	286.24	0.11
Aug/2017	281.16	281.33	0.06
Sep/2017	305.94	306.28	0.11
Oct/2017	283.37	283.90	0.18
Nov/2017	258.00	258.39	0.15
Dec/2017	285.97	286.90	0.33
Avg	280.03	280.94	0.33

4.6 ผลทดลองทดสอบแบบจำลองการประมาณการฯ เปรียบเทียบกับค่าที่ผลิตได้จริงภายใต้สภาวะอากาศที่แตกต่างกันของระบบการฯ ขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

4.6.1 วันที่ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) ของระบบฯ ขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ทำการประมาณการฯ ด้วยแบบจำลอง Proposed Model โดยเลือกวันที่มีความเข้มแสงอาทิตย์สูงตลอดวัน วันที่ท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ หรือ วันที่มีเมฆน้อย โดยทดสอบกับวัน ใน ปีค.ศ. 2016 และ วันในปีค.ศ. 2017 ในช่วงเวลา 6.00 น.- 17.00 น. เพื่อทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองในกรณีที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือที่เรียกว่าการเปลี่ยนแปลงแบบราบรื่น โดยจะเปรียบเทียบกับค่ากำลังผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

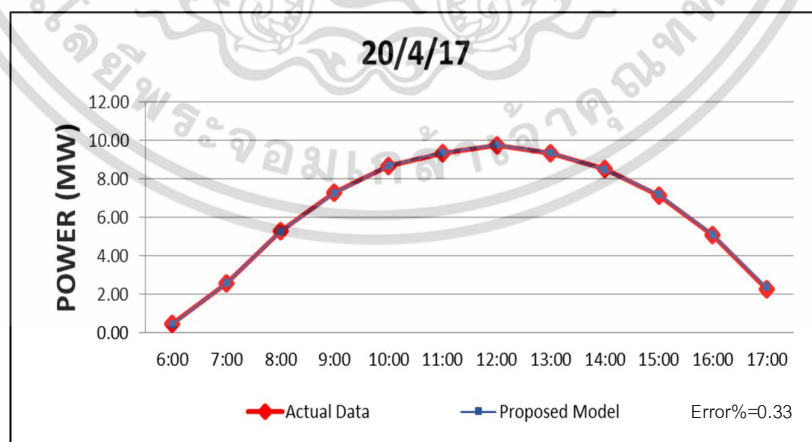


รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการจากแบบจำลอง (วันที่ห้องฟ้าโปร่ง, เมฆน้อย)ในวันที่06/04/2016 ระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ตารางที่ 4.11 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการของแบบจำลอง(วันที่ห้องฟ้าโปร่ง, เมฆน้อย)ในปี ค.ศ.2016 ของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

	Actual Data	Proposed Model	Error (%)
Energy(MW)	75.02	75.29	0.36

จากผลการทดลองในระยะเวลา6.00 น.ถึงเวลา17.00น.ของวันในปีค.ศ.2016 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนตามความเข้มแสงอาทิตย์จากช่วงเช้า ช่วงเที่ยงวัน และช่วงเย็น ดังรูปที่ 4.17 กราฟที่ได้จะมีเป็นรูปประฆังคว่ำ โดยค่าที่ได้จากแบบจำลองการประมาณการจะมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าความผิดพลาด 0.36%



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง กับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (วันที่ห้องฟ้าโปร่ง, เมฆน้อย) ในวันที่ 20/4/2017ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

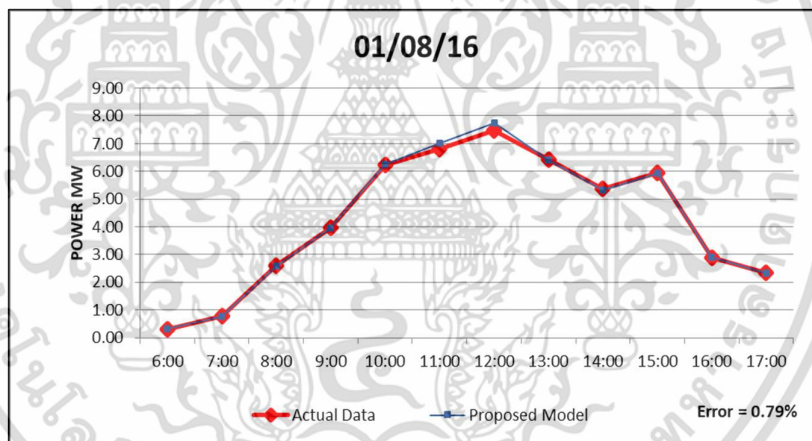
ตารางที่ 4.12 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการของแบบจำลอง(วันที่ท้องฟ้าโปร่ง, เมฆน้อย)ในปี ค.ศ.2017ของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

	Measured	Simulate	Error (%)
Energy (MW)	75.70	75.94	0.33

จากผลการทดลองในปีที่2 คือ ค.ศ.2017 โดยทดลองในระยะเวลา6.00 น.ถึงเวลา17.00น. พบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงเปลี่ยน ตามความเข้มแสงอาทิตย์ จาก ช่วงเช้า ช่วงเที่ยงวัน และช่วงเย็น ดังรูปที่ 4.16 กราฟที่ได้เป็นรูปประฆังคว่ำ เหมือนกับกราฟของปี2016 โดยค่าที่ได้จากแบบจำลองการประมาณการจะมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าความผิดพลาด 0.33%

4.6.2 วันที่มีเมฆมาก (Cloudy) ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

เลือกวันสำหรับการประมาณการไฟฟ้า จากปีค.ศ.2016 และปีค.ศ.2017 โดยเลือกวันที่มีเมฆมาก ตลอดวันมาทำการทดสอบ เพื่อทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองและทราบผลความแตกต่างของ สภาพอากาศที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อความแม่นยำในการประมาณการมากน้อยเพียงใด



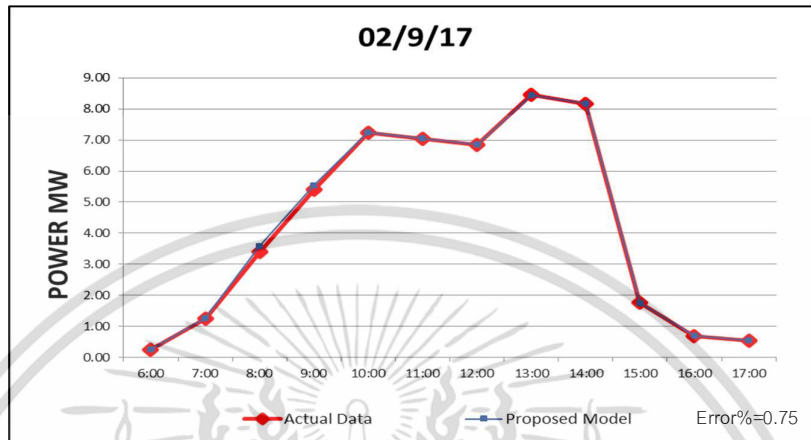
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (วันที่มีเมฆมาก)ในวันที่01/08/16ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ตารางที่ 4.13 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการของแบบจำลอง(วันที่มีเมฆมาก)ในปีค.ศ.2016ของ ระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

	Measured	Simulate	Error (%)
Energy (MWh)	51.13	51.53	0.79

จากผลการทดลองในระยะเวลาจาก 6.00 น.ถึงเวลา17.00น.ของวันในปีค.ศ.2016 โดยวันที่มีเมฆ มาก พบว่าค่าการประมาณการที่ได้จากแบบจำลองการประมาณการจะมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ ผลิตได้จริงจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าความผิดพลาดเพียง 0.79 % เท่านั้นจากกราฟจะ

เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงหรือการผันผวนของกำลังการผลิตไฟฟ้าลักษณะของกราฟจะเป็นกราฟที่เป็นระฆังคว่ำที่ไม่สวยงามเหมือนกับวันที่อากาศโปร่งใส แต่ทดสอบได้ว่าแบบจำลองการประมาณการค่ากำลังไฟฟ้านำเสนอสามารถ ประมาณการได้อย่างแม่นยำ กราฟมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (วันที่มีเมฆมาก) ในวันที่ 02/9/2017 ระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ตารางที่ 4.14 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการของแบบจำลอง(วันที่มีเมฆมาก)ในปี ค.ศ.2017 ของระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

	Measured	Simulate	Error (%)
Energy (MW)	51.03	51.41	0.75

เช่นเดียวกันผลการทดลองในปีที่ 2 คือ ค.ศ.2017 โดยทดลองในระยะเวลา 6.00 น. ถึงเวลา 17.00 น. ค่าที่ได้จากแบบจำลองการประมาณการจะมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ มีความผิดพลาด 0.75% จากกราฟในช่วงบ่ายอาจจะมีฝนตกเมฆมากทำให้กราฟกำลังผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าตกลงจาก 8 MW ลงมาถึง 2 MW ซึ่งค่าที่ได้จากแบบจำลองการประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ก็สามารถประมาณการได้ถูกต้องแม่นยำ

4.7 ผลทดลองแบบจำลองการประมาณการฯ เปรียบเทียบกับค่าที่ผลิตได้จริง ช่วงฤดูกาลของระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปี ค.ศ.2016

ในประเทศไทยตั้งแต่โบราณกาลนิยมแบ่งฤดูกาลออกเป็น 3 ฤดู

ฤดูร้อน มี 3 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือน มีนาคม, เมษายน และ พฤษภาคม

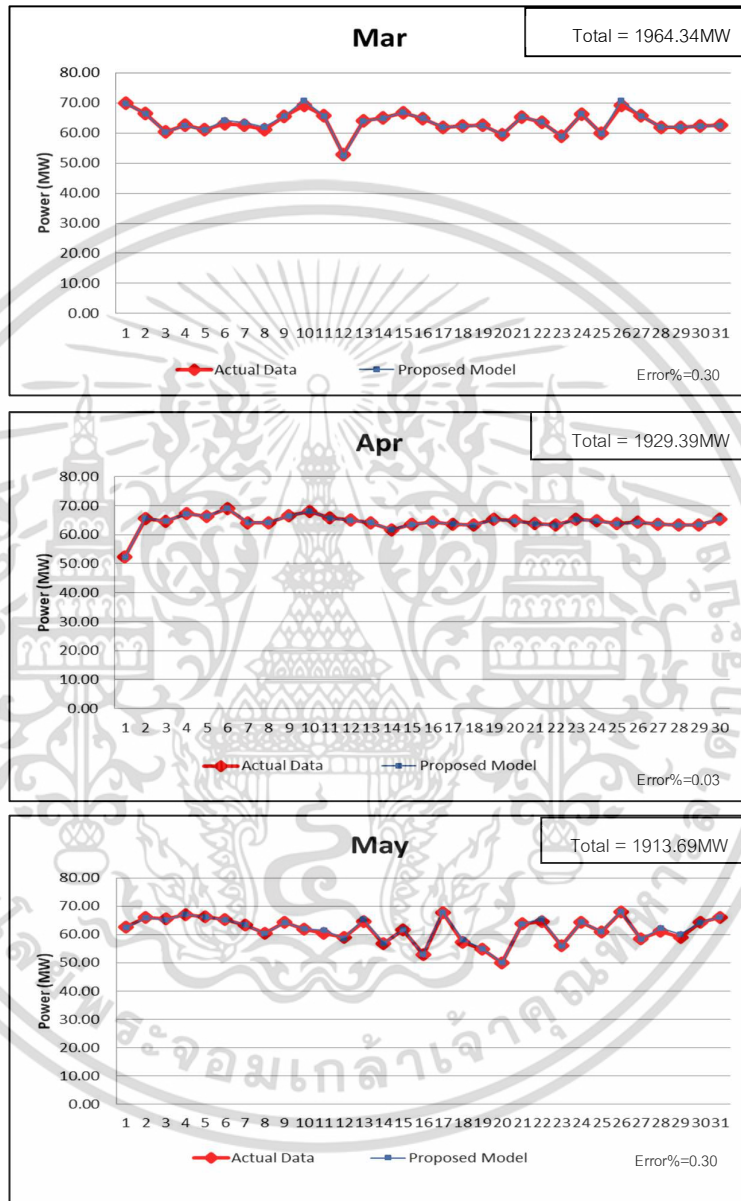
ฤดูฝน มี 5 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือน มิถุนายน, กรกฎาคม, สิงหาคม, กันยายน และ ตุลาคม

ฤดูหนาว มี 4 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน, ธันวาคม, มกราคม และ กุมภาพันธ์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงแบ่งการพิจารณาผลของแบบจำลองด้วยการแบ่งช่วงฤดูกาลดังกล่าว

4.7.1 การประมาณการช่วงฤดูร้อน ของระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปี ค.ศ. 2016

ทำการประมาณการผลิตไฟฟ้า รายเดือนช่วงฤดูร้อนจากของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยที่มีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ด้วยแบบจำลอง Proposed Model ในปีค.ศ.2016



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ช่วงฤดูร้อน)ในปีค.ศ.2016ของระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน ในช่วงฤดูร้อนของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWpในปี.ศ.2016

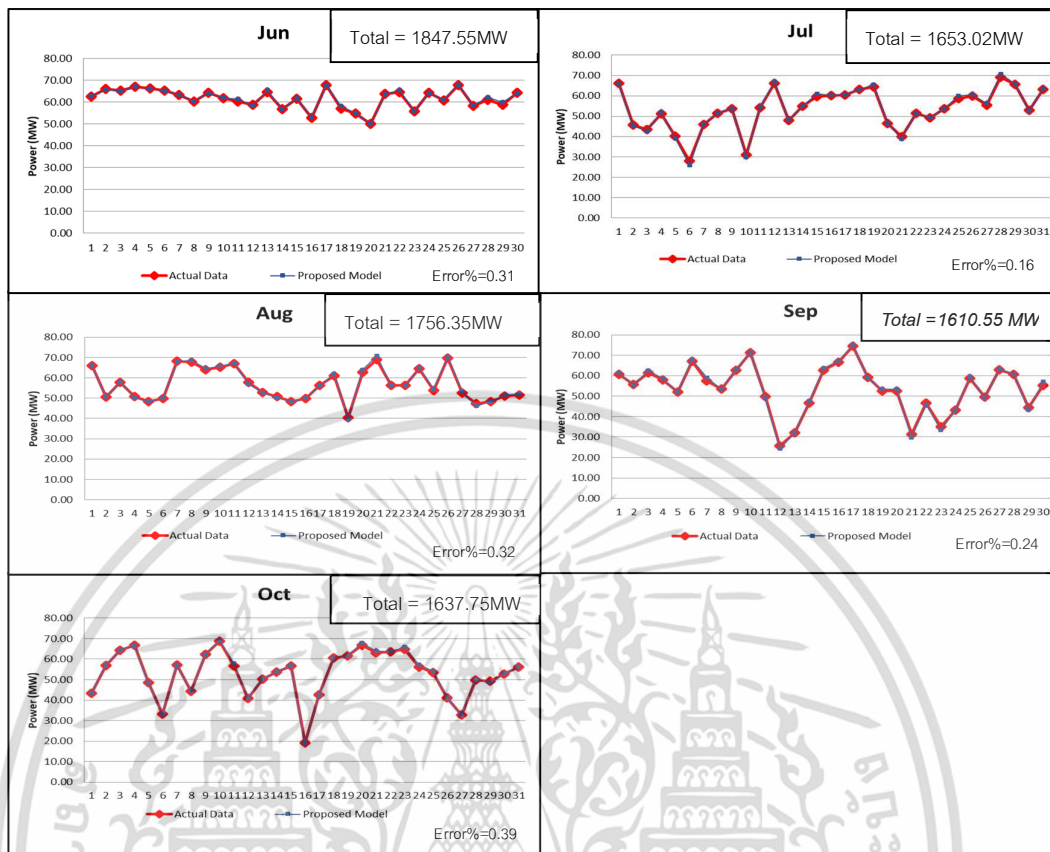
Months	Measured(MW)	Simulate(MW)	Error (%)
Mar/2016	1964.34	1970.33	0.30
Apr/2016	1929.39	1929.89	0.03
May/2016	1913.69	1919.40	0.30
Avg.	1935.81	1939.87	0.21

ในฤดูร้อนจากผลการทดลองพบว่า กราฟมีแนวโน้มของกราฟเป็นไปตามแนวเดียวกัน จะมีการขึ้นลงของกราฟเปลี่ยนแปลงหรือการผันผวนเป็นบางวัน ซึ่งการทดสอบเก็บข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 12 MWp ช่วงฤดูร้อน ระยะเวลา 3 เดือน จะเห็นได้ว่าสามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 1935.81 MWh และผลจากการประมาณการด้วยแบบจำลองการประมาณกำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลอง Proposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 1939.87 MWh ค่าที่ได้จากผลการประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าที่ใกล้เคียงและแนวโน้มเดียวกันกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง

โดยผลของแบบจำลองการประมาณการค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในฤดูร้อนช่วงเดือนมีค่าความผิดพลาด เฉลี่ยต่อเดือน 0.21 % แสดงดังตารางที่ 4.15

4.7.2 การประมาณการช่วงฤดูฝนของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWpในปี.ศ. 2016

ทำการประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้ายรายเดือนจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลอง Proposed Model โดยทดสอบในช่วงฤดูฝน(มิถุนายน,กรกฎาคม,สิงหาคม,กันยายนและตุลาคม) ในช่วงฤดูนี้ จะมีวันที่มีฝนตก และวันที่มีเมฆมาก ซึ่งมีการผันผวน เปลี่ยนแปลงมากบางวันก็จะมีท้องฟ้าโปร่งเมฆน้อย ทำให้พลังงานที่วัดได้ในแต่ละวันมีค่าน้อยกว่าค่าที่วัดได้ในฤดูร้อนและในฤดูหนาวผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ช่วงฤดูฝน)ในปี.ศ.2016ของระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ตารางที่ 4.16 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน ในช่วงฤดูฝนขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปี.ศ.2016

Months	Measured(MW)	Simulate(MW)	Error (%)
Jun/2016	1847.55	1853.26	0.31
Ju/2016	1653.02	1655.61	0.16
Aug/2016	1756.35	1761.88	0.32
Sep/2016	1610.55	1614.39	0.24
Oct/2016	1637.75	1644.15	0.39
Avg.	1701.04	1705.86	0.28

ช่วงเดือนในฤดูฝน ผลการทดลองพบว่า กราฟยังคงมีแนวโน้มของกราฟเป็นไปตามแนวเดียวกัน ทั้ง 5 เดือน พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน ประมาณ 1701.04 MW และผลจากการประมาณการด้วยแบบจำลองการประมาณกำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลอง Proposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน

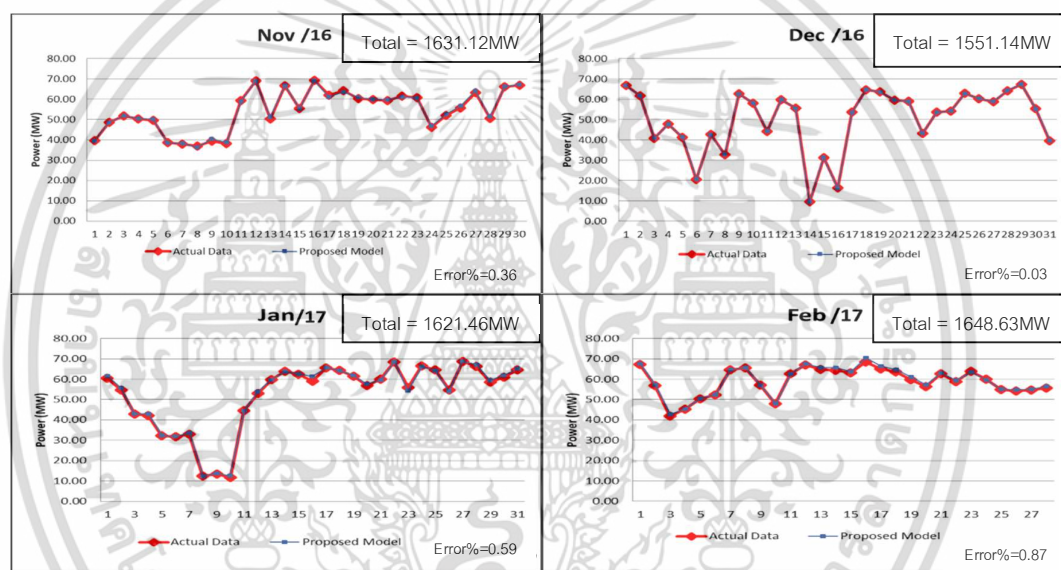
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1705.86 MW ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองสามารถที่จะประมาณค่าการประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ ไม่ว่าจะเป็นช่วงฤดูที่ท้องฟ้าโปร่ง หรือช่วงฤดูฝน มีเมฆมาก มีฝนตก

โดยผลของแบบจำลองการประมาณการค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในฤดูฝน ช่วงเดือน มีค่าความผิดพลาด เฉลี่ยต่อเดือน 0.28 % แสดงดังตารางที่ 4.16

4.7.3 การประมาณการช่วงฤดูหนาวของระบบการมีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปี.ศ. 2016

ทำการประมาณการการผลิตไฟฟ้า รายเดือน ช่วงฤดูหนาวจากโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลอง Proposed Model ในปี.ศ.2016ของระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ช่วงฤดูหนาว)ในปี.ศ.2017ของระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ตารางที่ 4.17 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน ในช่วงฤดูหนาวของระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปี.ศ.2016

Months	Measured(MW)	Simulate(MW)	Error (%)
Nov/2016	1631.12	1636.95	0.36
Dec/2016	1551.14	1551.64	0.03
Jan/2017	1621.46	1622.60	0.59
Feb/2017	1648.63	1662.91	0.87
Avg.	1613.09	1618.53	0.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

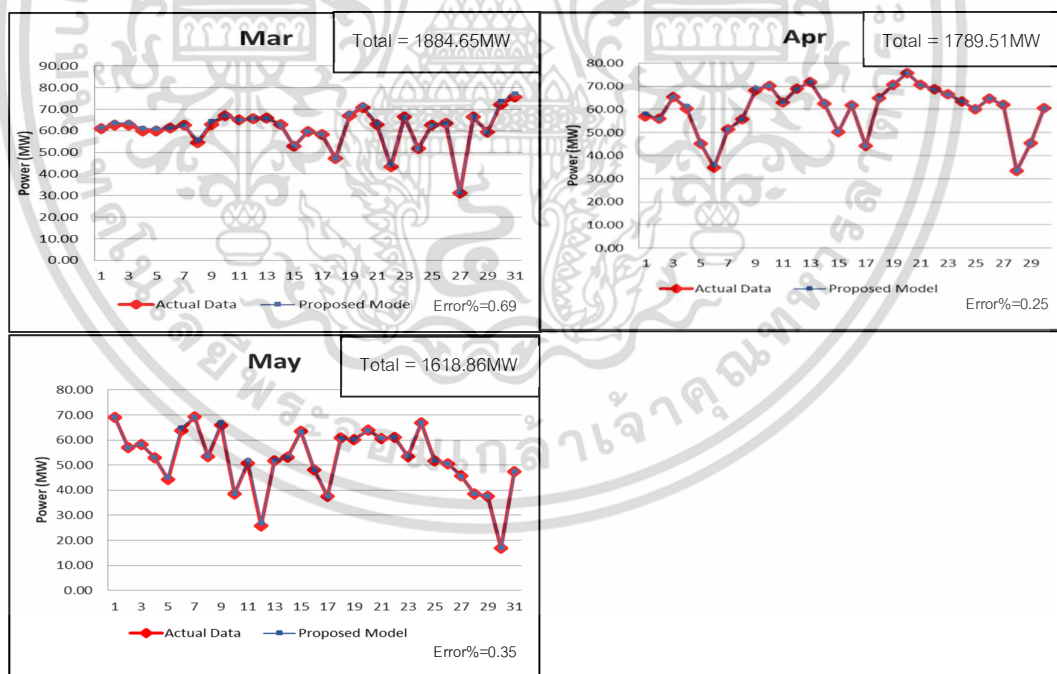
ผลการทดลองเก็บข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 12 MWp มีแนวโน้มของกราฟเป็นไปตามแนวเดียวกัน ซึ่งพบว่าเมื่อนำไปทดสอบกับขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใหญ่ขึ้น แบบจำลอง Proposed Model ก็จะมีการประมาณการที่แม่นยำ ซึ่งระยะเวลา 3 เดือน ในช่วงฤดูหนาวของระบบการฯ ขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปี.ศ.2016 พบว่าสามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 1613.09MW และผลจากการประมาณการด้วยแบบจำลองการประมาณการด้วยแบบจำลอง Proposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 1618.53 MW โดยพบว่า ผลจากแบบจำลองการประมาณการมีค่าใกล้เคียงและแนวโน้มเดียวกันกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นค่าวัดจริง

โดยผลการจำลองค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ช่วงฤดูหนาว ของระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปี.ศ.2016 พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน เฉลี่ยต่อเดือน 0.46 % แสดงดังตารางที่ 4.17

4.8 ผลทดลองแบบจำลองการประมาณฯ เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง ช่วงฤดูกาลของระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปี.ศ.2017

4.8.1 การประมาณการช่วงฤดูร้อนของระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปี.ศ.2017

ทำการประมาณการการผลิตไฟฟ้า รายเดือนช่วงฤดูร้อน(มีนาคม ,เมษายนและพฤษภาคม) จากของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ด้วยแบบจำลอง Proposed Model ในปี.ศ.2017



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ช่วงฤดูหนาว) ในปี.ศ.2017 ของระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ตารางที่ 4.18 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน ในช่วงฤดูร้อนของระบบการผลิตไฟฟ้าของ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปี.ศ.2017

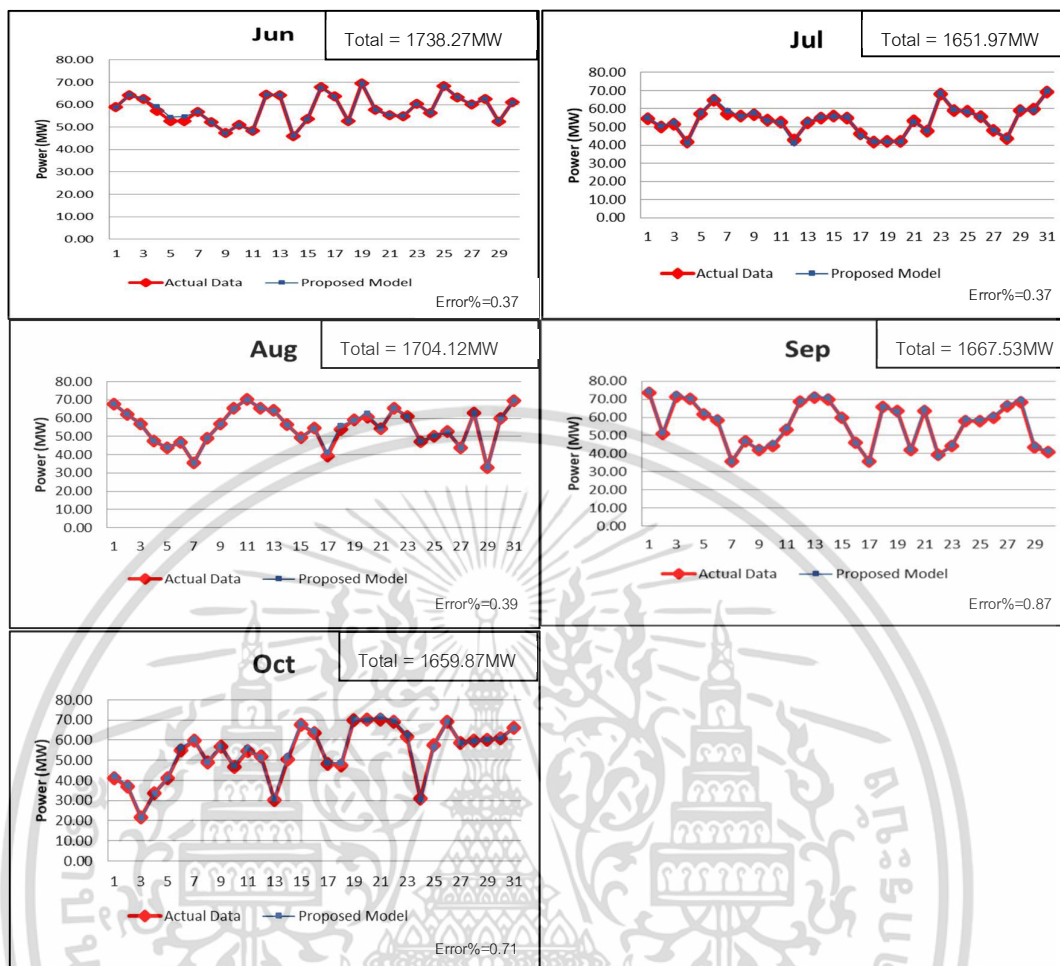
Months	Measured(MW)	Simulate(MW)	Error (%)
Mar/2017	1884.65	1897.68	0.69
Apr/2017	1789.51	1793.94	0.25
May/2017	1618.86	1624.54	0.35
Avg.	1764.34	1772.05	0.43

จากผลการทดลองแนวโน้มของกราฟเป็นไปตามแนวเดียวกันจะมีการขึ้นลงของกราฟเป็นบางวัน เมื่อมีเมฆบังหรือตลอดทั้งวันมีเมฆมาก หรือมีฝนตก ซึ่งการทดสอบเก็บข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 12 MWp ช่วงฤดูร้อน ระยะเวลา 3 เดือน จะเห็นได้ว่าสามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 1764.34 MW และผลจากการประมาณการด้วยแบบจำลองการประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลอง Propod Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 1772.05 MW จะเห็นได้ว่าในช่วงฤดูร้อนจะมีค่ากำลังการผลิตสูงที่สุดเนื่องจากมีวันที่ท้องฟ้าโปร่งเยอะจึงสามารถผลิตไฟฟ้าได้มาก ซึ่งผลที่ได้จากผลการประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากแบบจำลองจะมีค่าที่ใกล้เคียงและแนวโน้มเดียวกันกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง

โดยผลของแบบจำลองการประมาณการค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในฤดูร้อน มีค่าความผิดพลาด เฉลี่ยต่อเดือน 0.43% แสดงดังตารางที่ 4.18

4.8.2 การประมาณการช่วงฤดูฝนของระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปี.ศ.2017

ทำการประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้ารายเดือนจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลอง Proposed Model โดยทดสอบในช่วงฤดูฝน(มิถุนายน,กรกฎาคม,สิงหาคม,กันยายนและตุลาคม) ในช่วงฤดูนี้ จะมีวันที่มีฝนตก และวันที่มีเมฆมาก



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ช่วงฤดูฝน)ในปี.ศ.2017ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ตารางที่ 4.19 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน ในช่วงฤดูฝนของระบบการผลิตไฟฟ้าของ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 12 MWpในปี.ศ.2017

Months	Measured(MW)	Simulate(MW)	Error (%)
Jun/2017	1738.27	1744.72	0.37
Jul/2017	1651.97	1658.10	0.37
Aug/2017	1704.12	1710.76	0.39
Sep/2017	1667.53	1683.34	0.87
Oct/2017	1659.87	1671.62	0.71
Avg.	1684.35	1693.71	0.54

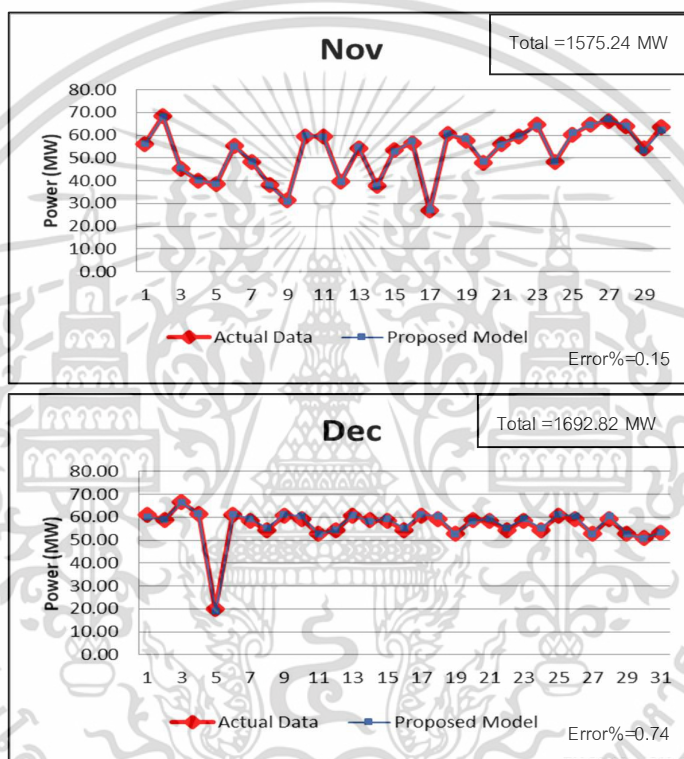
กราฟยังคงมีแนวโน้มของกราฟเป็นไปตามแนวเดียวกัน ทั้ง 5 เดือน พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 1684.35 MW และผลจากการประมาณการด้วยแบบจำลองการประมาณกำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลอง

Proposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 1693.71 MW ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองสามารถที่จะประมาณค่าการประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ ไม่ว่าจะเป็นช่วงฤดูที่ท้องฟ้าโปร่ง หรือช่วงฤดูฝน มีเมฆมาก มีฝนตก

โดยผลของแบบจำลองการประมาณการกำลังผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในฤดูฝนช่วงเดือนมีค่าความผิดพลาด เฉลี่ยต่อเดือน 0.54% แสดงดังตารางที่ 4.19

4.8.3 ช่วงฤดูหนาวของระบบฯมีขนาดกำลังการผลิต 12 MWpในปี.ศ.2017

ทำการประมาณการการผลิตไฟฟ้า รายเดือน ช่วงฤดูหนาว ด้วยแบบจำลอง Proposed Model ในปี.ศ.2017ของระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (ช่วงฤดูหนาว)ในปี.ศ.2017ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ตารางที่ 4.20 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองฯ รายเดือน ในช่วงฤดูหนาวของระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 12 MWpในปี.ศ.2017

Months	Measured(MW)	Simulate(MW)	Error (%)
Nov/2017	1575.24	1577.65	0.15
Dec/2017	1692.82	1705.30	0.74
Avg.	1634.03	1641.48	0.45

ในช่วงฤดูหนาวปี.ศ.2017 จะเป็นช่วงที่ท้องฟ้าโปร่งจะมีข้อผิดพลาดของการประมาณการน้อยที่สุดเพียง 0.11 % โดยสามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 1634.03MW และผลจากการประมาณการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

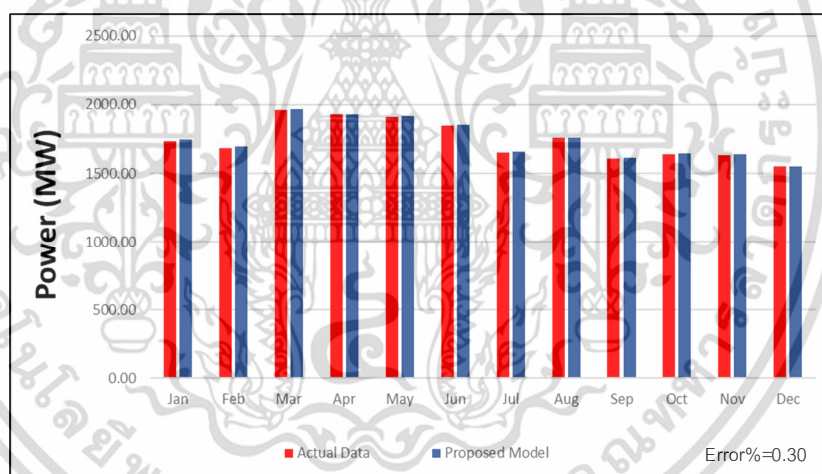
ด้วยแบบจำลองการประมาณการด้วยแบบจำลอง Proposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 1641.48MWh โดยพบว่า ผลจากแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงและแนวโน้มเดียวกันกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นค่าวัดจริง

โดยผลการจำลองค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ช่วงฤดูหนาว ของระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp ในปีค.ศ.2017 พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน เฉลี่ยต่อเดือน 0.45% แสดงดังตารางที่ 4.19

4.9 ผลทดลองแบบจำลองการประมาณการฯเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง รายเดือนของระบบการฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ทำการประมาณการการผลิตไฟฟ้า รายเดือน ด้วยแบบจำลอง Proposed Model ในปีค.ศ.2016 และปีค.ศ.2017ของระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

4.9.1 ทำการประมาณการค่ากำลังไฟฟ้าเป็นรายเดือน ซึ่งจะประมาณการครั้งละปีแยกกัน ในปีค.ศ.2016 และ ปีค.ศ.2017 ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

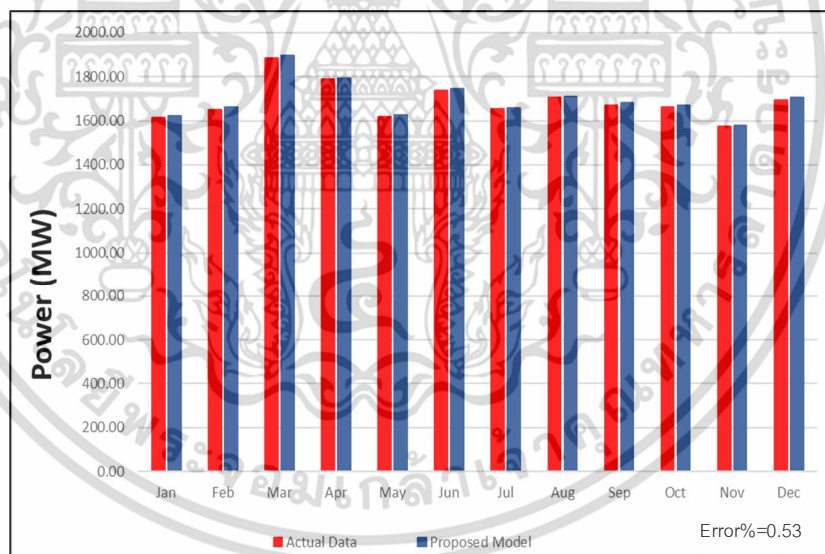


รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (รายเดือน)ในปีค.ศ.2016ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ผลการทดลองแบบจำลอง Proposed Model เพื่อเก็บข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 12 MWp เป็นระยะเวลา 12 เดือนพบว่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 1742.86MW และแบบจำลองการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย Proposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 1748.06MW โดยพบว่าผลการจำลอง Proposed Model สามารถประมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ได้อย่างแม่นยำโดยมีข้อผิดพลาดเพียงเฉลี่ยต่อเดือน 0.30 % ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ตารางเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (รายเดือนในปีค.ศ.2016 ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

Month	Actual Data(MW)	Proposed Model(MW)	Error %
Jan/2016	1735.03	1745.32	0.59
Feb/2016	1684.42	1693.87	0.56
Mar/2016	1964.34	1970.33	0.30
Apr/2016	1929.39	1929.89	0.03
May/2016	1913.69	1919.40	0.30
Jun/2016	1847.55	1853.26	0.31
Jul/2016	1653.02	1655.61	0.16
Aug/2016	1756.35	1761.88	0.32
Sep/2016	1610.55	1614.39	0.24
Oct/2016	1637.75	1644.15	0.39
Nov/2016	1631.12	1636.95	0.36
Dec/2016	1551.14	1551.64	0.03
Avg	1742.86	1748.06	0.30



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (รายเดือน)ในปีค.ศ.2017ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

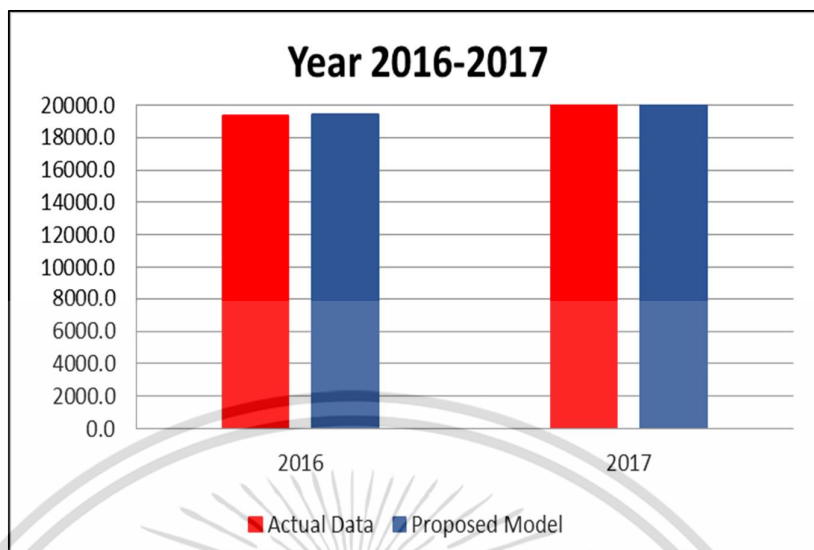
ตารางที่ 4.22 ตารางเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (รายเดือน)ในปี.ศ.2017 ของระบบขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

Month	Actual Data(MW)	Proposed Model(MW)	Error %
Jan/2017	1614.01	1623.60	0.59
Feb/2017	1648.63	1662.91	0.87
Mar/2017	1884.65	1897.68	0.69
Apr/2017	1789.51	1793.94	0.25
May/2017	1618.86	1624.54	0.35
Jun/2017	1738.27	1744.72	0.37
Jul/2017	1651.97	1658.10	0.37
Aug/2017	1704.12	1710.76	0.39
Sep/2017	1667.89	1682.34	0.87
Oct/2017	1659.87	1671.62	0.71
Nov/2017	1575.24	1577.65	0.15
Dec/2017	1692.82	1705.30	0.74
Avg	1687.15	1696.10	0.53

ผลการทดลองแบบจำลอง Proposed Model ในปี.ศ.2017 เพื่อเก็บข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 12 MWp เป็นระยะเวลา 12 เดือนพบว่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 1687.15MW และแบบจำลองการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย Proposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 1696.10MW โดยพบว่าผลการจำลอง Proposed Model สามารถประมาณการการผลิตไฟฟ้าจากระบบกำลังผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ได้อย่างแม่นยำโดยมีข้อผิดพลาดเฉลี่ยต่อเดือนเพียง 0.53 % ดังตารางที่ 4.22

4.9.2 ทำการประมาณการค่ากำลังไฟฟ้าในระยะเวลา 2 ปี โดยจะประมาณการ 2 ปี

โดยจะทำการทดสอบแบบจำลองการประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 12 MWp เป็นระยะเวลาต่อเนื่องกัน 2 ปี เพื่อทดสอบหาข้อผิดพลาดในการประมาณการเมื่อจะประมาณการในระยะเวลาที่มากขึ้น



รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (2 ปี) ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

ตารางที่ 4.23 ตารางเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจริงได้ในปีค.ศ.2016 - ปีค.ศ.2017 กับ ผลการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง (รายปี) ของระบบฯขนาดกำลังการผลิต 12 MWp

Year	2016	2017
Actual Data (MW)	19363.2	20245.85
Proposed Model (MW)	19425.1	20353.15
Error %	0.32	0.53

จากผลการทดลองแบบจำลอง Proposed Model ต่อเนื่องในปีค.ศ.2016 และไปถึงสิ้นปีค.ศ. 2017 เพื่อเก็บข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 12 MWp เป็นระยะเวลา 2 ปี พบว่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีค.ศ.2016 มีค่าเท่ากับ 19363.2 MW และแบบจำลองการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย Proposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 19425.1MW มีความผิดพลาดเพียง 0.32 % และกำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีค.ศ.2017 มีค่าเท่ากับ 20245.85 MW และแบบจำลองการประมาณการกำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย Proposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 20353.15 MWh มีความผิดพลาดเพียง 0.53 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การวิจารณ์และอภิปรายผล

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองการประมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยปรับปรุง ขบวนการเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดในการประมาณการของแบบจำลอง 1D5P ให้มีค่าผิดพลาดน้อยลง ผล การประมาณการของแบบจำลองในแต่ละช่วงเวลาไปเปรียบเทียบกับพลังงานที่ผลิตได้ เพื่อพิจารณาหา ความผิดปกติของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้รู้ถึงความผิดพลาดของระบบฯได้อย่าง รวดเร็ว ซึ่งพัฒนาแบบจำลองโดยการแยกการประมาณการออกเป็น สองช่วงตามความเข้มของ แสงอาทิตย์คือ Low-irradiance ($0 - 350\text{W/m}^2$) และ High-irradiance ($>350 - 1,000\text{W/m}^2$) จากผลการ ทดลองนั้นสามารถปรับปรุงค่าความแม่นยำให้มีข้อผิดพลาดน้อยลงได้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- จากผลการทดลองแสดงให้เห็นการประมาณการกำลังผลิตของระบบโรงไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์ โดยวิธีการสร้างแบบจำลองด้วย Matlab / Simulink ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี Artificial Neural Networks (ANN) โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลอง 1D5P ที่มีค่าความผิดพลาด 14.88% จะเห็น จากผลการทดลองว่าแบบจำลองที่นำเสนอนี้มีข้อผิดพลาดน้อยกว่า 1%

- ทำการทดสอบแบบจำลองกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.07 KWp โดยการทดสอบ เปรียบเทียบแบบรายวัน ทั้งในสภาพวันที่ท้องฟ้าโปร่ง แดดดี และวันที่มีเมฆมาก จะมีค่าความผิดพลาด น้อยกว่า 1% ผลการพิจารณา ยังเปรียบเทียบเป็นช่วงฤดูกาล อีกด้วย (ฤดูหนาว, ฤดูร้อนฤดูฝน)

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือน มีนาคม, เมษายนและพฤษภาคม สามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 285.74 kW และผลจากการประมาณการด้วยแบบจำลอง Proposed Model สามารถจำลองการผลิต ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 287.14 kW มีค่า Error 0.48%

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือน มิถุนายน, กรกฎาคม, สิงหาคม, กันยายนและตุลาคม สามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย ต่อเดือน 287.06kWและผลจากการประมาณการด้วยแบบจำลอง Proposed Model สามารถจำลอง การผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 287.50 kW มีค่าError 0.16%

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน, ธันวาคม, มกราคมและกุมภาพันธ์ สามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย ต่อเดือน 271.98kW และผลจากการประมาณการด้วยแบบจำลองProposed Model สามารถจำลอง การผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 272.64 kW มีค่าError 0.24 %

ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองจะมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันกับ ผลการวัดจากระบบเซลล์ แสงอาทิตย์โดยมีค่าผิดพลาดน้อยกว่า 1% เช่นกัน

- ทำการทดสอบแบบจำลองกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 12MWp โดยการทดสอบเปรียบเทียบ แบบรายวัน ทั้งในสภาพวันที่ท้องฟ้าโปร่ง แดดดี และวันที่มีเมฆมาก จะมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 1% ผลการพิจารณา ยังเปรียบเทียบเป็นช่วงฤดูกาล อีกด้วย (ฤดูหนาว, ฤดูร้อนฤดูฝน)

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือน มีนาคม, เมษายนและพฤษภาคม สามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 1764.34 MW และผลจากการประมาณการด้วยแบบจำลอง Proposed Model สามารถจำลองการ ผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 1772.05 MW มีค่า Error 0.43%

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือน มิถุนายน,กรกฎาคม,สิงหาคม,กันยายนและตุลาคม สามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 1684.35 MW และผลจากการประมาณการด้วยแบบจำลอง Proposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 1693.71 MW มีค่า Error 0.54 %

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน,ธันวาคม,มกราคมและกุมภาพันธ์ สามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 1634.03MW และผลจากการประมาณการด้วยแบบจำลองProposed Model สามารถจำลองการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 1642.48 MW มีค่า Error 0.45%

ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองจะมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันกับ ผลการวัดจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีค่าผิดพลาดน้อยกว่า 1% เช่นกัน

- ผลการทดสอบแบบจำลองกับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดกำลังการผลิต12 MWp ในปี ค.ศ.2017 จะผลิตพลังงานได้จริง 1687.15MW/เดือน หรือ 54.42MW/วัน ถ้าคิดเฉลี่ย 1KWp จะผลิตพลังงานได้วันละ 4.53 kW ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองจะผลิตพลังงานได้ 1696.10 MW/เดือน หรือ 54.71MW/วัน ถ้าคิดเฉลี่ย 1KWp จะผลิตพลังงานได้วันละ 4.55 kW จะเห็นได้ว่ามีค่าผิดพลาดเพียง 0.44%

ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลนี้ทำการออกแบบติดตั้ง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เพื่อที่จะได้ออกแบบกำหนดกำลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้งให้เหมาะสมกับความต้องการต่อภาระload ที่ใช้งานได้อย่างเหมาะสม และยังสามารถนำผลการประมาณการของแบบจำลองไปตรวจสอบความผิดปกติของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขณะใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Messenger and J. Ventre, “**Photovoltaic System Engineering,**” CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 2000.
- [2] K. Yeong-Chan , L. Tsorng-Juu , C. Jiann-Fuh . “ **Novel maximum-power-pointtracking controller for photovoltaic energy conversion system,**” IEEE Trans Ind Electron 48:594–601. 2001.
- [3] YT . Tan , DS. Kirschen , N. Jenkins . “**A model of PV generation suitable for stability analysis,**” IEEE Trans Energy Convers ;19:748–55. 2004.
- [4] Y. Yusof, SH. Sayuti ,M. Abdul Latif. “ **Wanik MZC.Modeling and simulation of maximum power point tracker for photovoltaic system,**” In: Proceedings of power and energy conference, p. 88–93. 2004.
- [5] X. Weidong, W. G. Dunford, and A. Capel. “**A novel modeling method for photovoltaic cells,**” Power Electronics Specialists Conference, Vol. 3, pp. 1950–1956. 2004.
- [6] AA. Ghoneim. “**Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems,**” Energy Convers Manag 47:1449–63. 2006.
- [7] R. Chenni , M. Makhlof , T. Kerbache , A. Bouzid . “**A detailed modeling method for photovoltaic cells,**”. Renew Energy 32:1724–30. 2007.
- [8] Mellit A, Benghanem M, Kalogirou SA. Modeling and simulation of a standalone photovoltaic system using an adaptive artificial neural network: proposition for a new sizing procedure. Renew Energy;32:285–313. 2007.
- [9] AN. Celik ,N. Acikgoz . “**Modelling and experimental verification of the operating current of mono-crystalline photovoltaic modules using four- and fiveparameter models,**” Appl Energy 84:1–15. 2007.
- [10] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, and E. R. Filho, “**Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays,**” Power Electronics Conference, pp. 1244–1254. 2007.
- [11] J. Yuncong, J. A. A. Qahouq, and M. Orabi, “**Matlab/Pspice hybrid simulation modeling of solar PV cell/module,**”. Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Twenty-Sixth Annual IEEE, pp.1244-1250. 2011.
- [12] A. Chatterjee, A. Keyhani, and D. Kapoor. “**Identification of Photovoltaic Source Models,**” Energy Conversion, nsaction, vol. PP, pp. 1-7. 2011.
- [13] SB. Dongue, D. Njomo , JG. TIEEE Traamba, L. Ebengai. “**Modeling of electrical response of illuminated crystalline photovoltaic modules using four- and five-parameter models,**” Int J Emerg Technol Adv Eng;2:612–9. 2012.

- [14] RL. Chakrasali, VR. Sheelavant ,HN. Nagaraj. “ **Network approach to modeling and simulation of solar photovoltaic cell,**”*Renew Sustain Energy Rev* ;21:84–8.2013.
- [15] Karamirad M, Omid M, Alimardani R, Mousazadeh H, Heidari SN. “**ANN based simulation and experimental verification of analytical four- and five-parameters models of PV modules**”, *Simul Model Pract Theory* ;34:86–98.2013.
- [16] MA. de Blas, JL. Torres, E. Prieto, A. Garcia. “**Selecting a suitable model for characterizing photovoltaic devices,**”*Renew Energy*;25:371–80. 2002.
- [17] Y. Sukamongkol, S. Chungpaibulpatana , W. Ongsakul . “**A simulation model for predicting the performance of a solar photovoltaic system with alternating current loads,**” *Renew Energy*;27:237–58. 2002.
- [18] W. Hadj Arab , F. Chenlo ,M. Benghanem. “ **Loss-of-load probability of photovoltaic water pumping systems,**” *Sol Energy*;76:713–23. 2004.
- [19] W. De Soto, SA. Klein, WA. Beckman. “ **Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance,**” *Sol Energy*;80:78–88. 2006.
- [20] E. Karatepe ,M. Boztepe , M. Colak . “**Neural network based solar cell model,**” *Energy Convers Manag* ;47:1159–78. 2006.
- [21] D.Sera , R. Teodorescu , P. Rodriguez .“ **PV panel model based on datasheet values,**” In: *Proceedings of IEEE international symposium on industrial electronics, ISIE*; p. 2392–6.2007.
- [22] AN. Celik,N. Acikgoz. “**Modelling and experimental verification of the operating current of mono-crystalline photovoltaic modules using four- and fiveparameter models,**” *Appl Energy*;84:1–15. 2007.
- [23] MG. JR. Gazoli , ER. Filho. “**Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays,**” *IEEE Trans Power Electron*;24: 1198–208. 2009.
- [24] V. Lo Brano, A. Orioli , G. Ciulla, A. Di Gangi A. “**An improved five-parameter model for photovoltaic modules,**” *Sol Energy Mater Sol Cells*;94:1358–70.2010.
- [25] H. Tian, F. Mancilla-David, K. Ellis, E. Muljadi,P. Jenkins . “ **A cell-to-module-toarray detailed model for photovoltaic panels.,**”*Sol Energy*;86:2695–706. 2012.
- [26] JS. Kumari, CS. Babu. “**Mathematical modeling and simulation of photovoltaic cell using matlab-simulink environment,**” *Int J Electr Comput Eng*;2:26–34. 2012.
- [27] A. Chouder, S. Silvestre, N. Sadaoui, L. Rahmani. “**Modeling and simulation of a grid connected PV system based on the evaluation of main PV module parameters,**” *Simul Model Pract Theory*;20:46–58.2012.
- [28] TH. Jung, JW. Ko , GH. Kang, HK. Ahn. “**Output characteristics of PV module considering partially reverse biased conditions,**” *Sol Energy* ;92:214–20. 2013.
- [29] T. Ma, H. Yang, L.Lu, J. Peng. “ **Technical feasibility study on a standalone hybrid solar-wind system with pumped hydro storage for a remote island in Hong Kong,**” *Renew Energy*;69:7–15. 2014.

- [30] T. Ma, H. Yang, L. Lu. “Development of a model to simulate the performance characteristics of crystalline silicon photovoltaic modules / strings / arrays ,” Sol Energy ;100:31–41.2014.
- [31] J.Bai ,S. Liu, Y.Hao Z. Zhang , M. Jiang,Y.Zhang . “Development of a new compound method to extract the five parameters of PV modules,” Energy Convers Manag ;79:294–303.2014.
- [32] G.Ciulla , V. Lo Brano,V. Di Dio,G. Cipriani, “ A comparison of different one-diode models for the representation of I–V characteristic of a PV cell.” Renew Sustain Energy Rev;32:684–96. 2014.
- [33] RK. Kharb, SL. Shimi, S. Chatterji ,MF. Ansari. “Modeling of solar PV module and maximum power point tracking using ANFIS,” Renew Sustain Energy Rev;33:602–12. 2014.
- [32] M. A. de Blas, J. L. Torres, E. Prieto, and A. Garcia, “Selecting a suitable model for characterizing photovoltaic devices,” Renewable Energy, vol. 25, no. 3, pp. 371–380, 2002.
- [33] Y. Sukamongkol, S. Chungpaibulpatana, and W. Ongsakul, “A simulation model for predicting the performance of a solar photovoltaic system with alternating current loads,” Renewable Energy, vol. 27, no. 2, pp. 237–258, 2002.
- [34] A. Hadj Arab, F. Chenlo, and M. Benghanem, “Loss-of-load probability of photovoltaic water pumping systems,” Solar Energy, vol. 76, no. 6, pp. 713–723, 2004.
- [35] W. De Soto, S. A. Klein, and W. A. Beckman, “Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance,” Solar Energy, vol. 80, no. 1, pp. 78–88, 2006.
- [36] E. Karatepe, M. Boztepe, and M. Colak, “Neural network based solar cell model,” Energy Conversion and Management, vol. 47, no. 9-10, pp. 1159–1178, 2006.
- [37] D. Sera, R. Teodorescu, and P. Rodriguez, “PV panel model based on datasheet values,” in Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE '07), pp. 2392–2396, Vigo, Spain, June 2007.
- [38] V. Lo Brano, A. Orioli, G. Ciulla, and A. Di Gangi, “An improved five- parameter model for photovoltaic modules,” Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 94, no. 8, pp. 1358–1370, 2010.
- [39] H. Tian, F. Mancilla-David, K. Ellis, E. Muljadi, and P. Jenkins, “A cell-to-module-to-array detailed model for photovoltaic panels,” Solar Energy, vol. 86, no. 9, pp. 2695–2706, 2012.
- [40] J. Kumari and C. S. Babu, “Mathematical modeling and simulation of photovoltaic cell using matlab-simulink environment,” International Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 2, no. 1, pp. 26–34, 2012.

- [41] A. Chouder, S. Silvestre, N. Sadaoui, and L. Rahmani, “**Modeling and simulation of a grid connected PV system based on the evaluation of main PV module parameters,**” *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 20, no. 1, pp. 46–58, 2012.
- [42] T. H. Jung, J. W. Ko, G. H. Kang, and H. K. Ahn, “**Output characteristics of PV module considering partially reverse biased conditions,**” *Solar Energy*, vol. 92, pp. 214–220, 2013.
- [43] T. Ma, H. Yang, L. Lu, and J. Peng, “**Technical feasibility study on a standalone hybrid solar-wind system with pumped hydro storage for a remote island in Hong Kong,**” *Renewable Energy*, vol. 69, pp. 7–15, 2014.
- [44] T. Ma, H. Yang, and L. Lu, “**Development of a model to simulate the performance characteristics of crystalline silicon photovoltaic modules/strings/arrays,**” *Solar Energy*, vol. 100, pp.31–41, 2014.
- [45] G. Ciulla, V. Lo Brano, V. Di Dio, and G. Cipriani, “**A comparison of different one-diode models for the representation of I-V characteristic of a PV cell,**” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 32, pp. 684–696, 2014.
- [46] B. Dominique, K. Zacharie, N. Donatien , “**Modelling and Simulation of photovoltaic module considering single-diode equivalent circuit model in MATLAB,**” *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website: www.ijetae.com (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 3, Issue 3, March 2013.*
- [47] A. Krismadinata, Abd. Nasrudin . H. Rahima, S. Jeyraj. “**Photovoltaic module modeling using simulink/matlab,**” *Procedia Environmental Sciences* 17 ;537 – 546. 2013.
- [48] T. Vivek r, S.C. Gupta and S. Yashwant. “**Single-diode PV Cell Modeling and study of characteristics of single and two – diode equivalent circuit,**” *Electrical and Electronics Engineering: An International Journal (ELELIJ) Vol 4, No 3, August 2015.*
- [49] V. Lo Brano, A. Orioli, G. Ciulla, and A. Di Gangi, “**An improved five-parameter model for photovoltaic modules,**” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 94, no. 8, pp. 1358–1370, 2010.
- [50] T. Ma, H. Yang, L. Lu, and J. Peng, “**Technical feasibility study on a standalone hybrid solar-wind system with pumped hydro storage for a remote island in Hong Kong,**” *Renewable Energy*, vol. 69, pp. 7–15, 2014.
- [51] T. Ma, H. Yang, and L. Lu, “**Development of a model to simulate the performance characteristics of crystalline silicon photovoltaic modules/strings/arrays,**” *Solar Energy*, vol. 100, pp.31–41, 2014.

- [52] G. Ciulla, V. Lo Brano, V. Di Dio, and G. Cipriani, “**A comparison of different one-diode models for the representation of I-V characteristic of a PV cell,**” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 32, pp. 684–696, 2014.
- [53] W. De Soto, S. A. Klein, and W. A. Beckman, “**Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance,**” *Solar Energy*, vol. 80, no. 1, pp. 78–88, 2006.
- [54] T. H. Jung, J. W. Ko, G. H. Kang, and H. K. Ahn, “**Output characteristics of PV module considering partially reverse biased conditions,**” *Solar Energy*, vol. 92, pp. 214–220, 2013.
- [55] M. A. de Blas, J. L. Torres, E. Prieto, and A. Garcia, “**Selecting a suitable model for characterizing photovoltaic devices,**” *Renewable Energy*, vol. 25, no. 3, pp. 371–380, 2002.
- [56] A. Hadj Arab, F. Chenlo, and M. Benghanem, “**Loss-of-load probability of photovoltaic water pumping systems,**” *Solar Energy*, vol. 76, no. 6, pp. 713–723, 2004.
- [57] D. Sera, R. Teodorescu, and P. Rodriguez, “**PV panel model based on datasheet values,**” in *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE '07)*, pp. 2392–2396, Vigo, Spain, June 2007.
- [58] Y. Sukamongkol, S. Chungpaibulpatana, and W. Ongsakul, “**A simulation model for predicting the performance of a solar photovoltaic system with alternating current loads,**” *Renewable Energy*, vol. 27, no. 2, pp. 237–258, 2002.
- [59] E. Karatepe, M. Boztepe, and M. Colak, “**Neural network based solar cell model,**” *Energy Conversion and Management*, vol. 47, no. 9-10, pp. 1159–1178, 2006.
- [60] H. Tian, F. Mancilla-David, K. Ellis, E. Muljadi, and P. Jenkins, “**A cell-to-module-to-array detailed model for photovoltaic panels,**” *Solar Energy*, vol. 86, no. 9, pp. 2695–2706, 2012.
- [61] J. Kumari and C. S. Babu, “**Mathematical modeling and simulation of photovoltaic cell using matlab-simulink environment,**” *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 26–34, 2012.
- [62] R. K. Kharb, S. L. Shimi, S. Chatterji, and M. F. Ansari, “**Modeling of solar PV module and maximum power point tracking using ANFIS,**” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.33, pp. 602–612, 2014.
- [63] A. Chouder, S. Silvestre, N. Sadaoui, and L. Rahmani, “**Modeling and simulation of a grid connected PV system based on the evaluation of main PV module parameters,**” *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 20, no. 1, pp. 46–58, 2012.

- [64] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, and E. R. Filho, “**Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays,**” IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 24, no. 5, pp. 1198–1208, 2009.
- [65] R. K. Kharb, S. L. Shimi, S. Chatterji, and M. F. Ansari, “**Modeling of solar PV module and maximum power point tracking using ANFIS,**” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.33, pp. 602–612, 2014.
- [66] D. Alberto , L .Sonia and M. Giampaolo “**Comparison of different physical models for PV power output prediction** ” Solar Energy 119 pp 83-99.2015.
- [67] S. Kittisontirak, P. Manosukritkul, A. Limmanee, N. Sitthiphol, S. Niemcharoen, K. Sriprapha and W. Titiroongruang “**Comparison of PV Estimation Model with Measured PV Power Output**”, International Electrical Engineering Congress, pp 212-214. 2017.
- [68] S. Kittisontirak, P. Manosukritkul, P. Dawan, P. Chinnavornrungrsee, A. Hongsingthong, N. Atiwongsangthong, K. Sriprapha and W. Titiroongruang “**A Novel Power Output Model for Photovoltaic System**”, International Electrical Engineering Congress,pp 209-211. 2017.
- [69] P. Manosukritkul,S. Kittisontiraka, K. Sripraphaa , W. Tangwongcharoenb and W. Titiroongruangc “**Verification of new model by comparison with actual data**”, International Electrical Engineering Congress, pp 215-217.2017.
- [70] P. Manosukritkul, S. Kittisontiraka, S. Songtraai and W. Titiroongruang “**The New Simulation Model for Estimating PV Power Output**”,International Electrical Engineering Congress, pp 218-221.2017.
- [71] S. Kittisontirak, A. Bupi, P. Chinnavornrungrsee, K. Sriprapha, P. Thajchayapong, and W. Titiroongruang, “**An Improved PV Output Forecasting Model by Using Weight Function: A Case Study in Cambodia,**” International Journal of Photoenergy, pp1-10.2019.
- [72] P. Manosukritkul, V. Siriwongrungrson,S. Kittisontirak, K. Sriprapha , W. Titiroongruang and S. Niemcharoen “**Prediction of the power generation solar power plant system in Thailand**”,International Journal of Simulation Systems ,Science & Technology .Volume 20 pp18.1-18.10.2019.
- [73] J. A. Gow and C. D. Manning, “**Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies,**”IEE Proceedings: Electric Power Applications, vol. 146, no. 2, pp.193–200, 1999



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. P. Manosukritkul, V. Siriwongrungson, S. Kittisontirak, K. Sriprapha , W. Titiroongruang and S. Niemcharoen “Prediction of the power generation solar power plant system in Thailand”, International Journal of Simulation Systems ,Science & Technology .Volume 20 pp18.1-18.10.2019.
2. P. Manosukritkul, S. Kittisontiraka, K. Sripraphaa , W. Tangwongcharoenb and W. Titiroongruangc_ “Verification of new model by comparison with actual data” , International Electrical Engineering Congress, pp215-217.2017.
3. P. Manosukritkul, S. Kittisontiraka, S. Songtraï and W. Titiroongruang “The New Simulation Model for Estimating PV Power Output” , International Electrical Engineering Congress, pp 218-221.2017.
4. S. Kittisontirak, P. Manosukritkul, P. Dawan, P. Chinnavornrungsee, A. Hongsingthong, N. Atiwongsangthong, K. Sriprapha and W. Titiroongruang “A Novel Power Output Model for Photovoltaic System” , International Electrical Engineering Congress, pp 209-211.2017.
5. S. Kittisontirak, P. Manosukritkul, A. Limmanee, N. Sitthiphol, S. Niemcharoen, K. Sriprapha and W. Titiroongruang “Comparison of PV Estimation Model with Measured PV Power Output” , International Electrical Engineering Congress, pp 212-214.2017.
6. P. Manosukritkul, T. Aiamtha, A. Hongsingthong, P. Chinnavornrungsee, S. Songtraï, T. Krajangsang, J. Sritharathikhun, K. Sriprapha , and W. Titiroongruang “Two Years Demonstration results of Two Large a-Si Thin Film PV Power Plants at Different Locations” , World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (6) pp 1267-1268.2014.

Prediction of the Generation Capacity of Solar Power Plants in Thailand

PhasaponManosukritkul ^{1*}, Wisut Titiroongruang ¹, Surasak Niemcharoen ¹, Vilailuck Siriwongrungson ²
Songkiate Kittisontirak ³, Kobsak Sriprapha ³

¹ Faculty of Engineering, ² College of Advanced Manufacturing, Innovation Department
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand.
e-mail: 57601024@kmitl.ac.th

³ National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), and
National Science and Technology Development Agency (NSTDA),
112 Thailand Science Park, Pathum Thani, Thailand.
e-mail: songkiate.kittisontirak@nectec.or.th,

Abstract - As electricity production from solar energy in Thailand has increased dramatically during the past few years, prediction of electricity production from solar power can be applied for power generation optimization. This paper proposes prediction techniques of such power generation in Thailand over a one-year period. The solar intensity, temperature, electric voltage, electric current and power output from a PhotoVoltaic, PV, system were applied for this estimation. For the least error, Matlab/Simulink was used to create a real-time PV power forecasting to calculate electric current and voltage of the solar power system. In addition, an artificial neural networks (ANNs) was applied to analyze the structure and adjust the power generation prediction of the 12 MWp PV-grid connected system located in Thailand. By applying this proposed model with the analysis and dividing the solar intensity into two ranges, the estimation error was decreased. The two solar intensities are low-irradiance at 0-350 W/m² and high- irradiance at 350-1,000W/m² in order to get the most accuracy that leads to predictions 1-3 days.

Keywords – PV estimation Model, Proposed Model, Prediction Model, Solar power plant system Model.

I. INTRODUCTION

The solar power systems for the electricity production in Thailand was increased because Thailand is a member of the International Energy Agency (IEA) and PVPS (International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Program), the government-sponsored policies and activities in promoting industrial use and production of solar power have helped to drive the growth of the solar power in various areas. These include the assessment of the efficiency of photovoltaic systems in Thailand [1-3]. The system used for performance analysis and energy prediction by modeling is therefore an important point in research [4].

A circuit that behaves like solar cell the most is the diode equivalent circuit. The parameters considered in this diode equivalent circuit to simulate the solar cell are solar radiation, wavelength of the sun, the spectrum of unequal light for each irradiation and uncertain weather [5-20].

Presently, one diode five-parameter (1D5P) model is used to simulate the behavior of equivalent circuit of solar cells [21-38].

Therefore, the model's error in predicting the electricity production of each area may be large. As a result, it is necessary to adjust the model for higher accuracy for the electricity production estimation [39-53].

Model accuracy has been improved by adding of parameters that add complexity to the models of PV Power Output, which have been widely studied are such as 1D3P, 1D4P, 1D5P and 2D5P [5,6,18,20 and53-55].

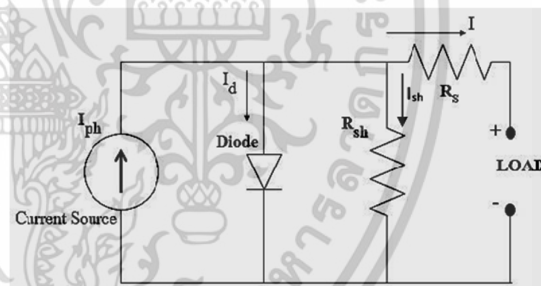


Figure 1. Photovoltaic equivalent circuit of 1D5P model.

This research aims to develop a model for predicting the production of electricity from PV systems using Matlab/Simulink. Equivalent to 1D5P diodes was developed to a proposed model. The proposed model was then validated with one-year solar power production at two solar intensities. These two solar intensities are low-irradiance at 0-350 W/m² and high-irradiance at 350-1,000 W/m². The output can measure its accuracy through the calculation using root mean square error (RMSE).

This research aims to develop a model for predicting the production of electricity from PV systems that equivalent to 1D5P diodes with Matlab and Simulink for the calculation of the electric current (I) as written in Equation 1.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q \cdot V_0}{n \cdot k \cdot T} \right) - 1 \right] \quad (1)$$

In the calculation of electric current, additional models were added to enhance the accuracy through the modeling by I_{ph} is the photocurrent (A), I_0 is the diode saturation current(A), V_{oc} is the PV module voltage (V), n is the diode

factor ($1 \leq n \leq 2$), k is the Boltzmann constant (1.381×10^{-23} J/K), T is the actual cell temperature(K) and q is the electron charge (1.602×10^{-19} C).

II. A PSEUDO-CODE FOR ELECTRICITY GENERATION ESTIMATION.

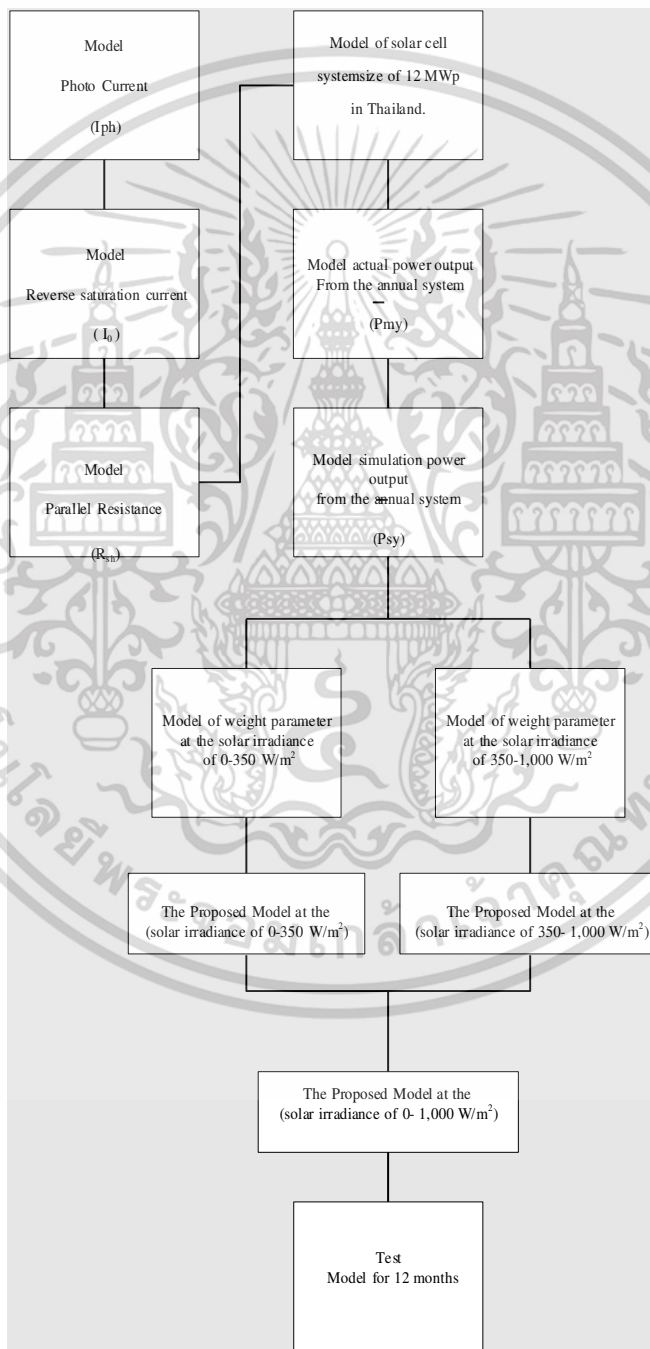


Figure 2. A pseudo-code to estimation electricity generation.

This estimation algorithm started from the creation of the photo current model (I_{ph}), reverse saturation current model (I_0) and parallel resistance model (R_{sh}). These three models were used for the calculation of electric values of the solar power systems and as an input for the correlated estimation. Finally, the electricity production model from a solar power system in a test area was proposed. This proposed model was used to estimate the electricity production as a function of solar intensity for two years. The actual electricity production was compared with the estimated value from the model. The outcome from the comparison was used to adjust the proposed model of the electricity production to have the least error. The influence of the solar intensity on the proposed model accuracy was investigated for the one-month period. Then the proposed model was used to estimate the electricity production of the solar power system in the test area for 12 months, which was compared with the actual electricity production.

A. Electricity Production Modelling.

Model accuracy has been improved by adding of terms that increase the accuracy to the models of PV Power Output. The R_s , which is the series resistance (Ω) and the R_{sh}

which is the shunt resistance (Ω), were added to the equivalent circuit 1D5P model. These R_s and R_{sh} assisted in sensing the effects of the actual use and increase the accuracy. The more accurate equivalent circuits model can be written as Equation 2 and 3.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V + I.R_s)}{n.k.T} - 1\right) \right] - \frac{(V + I.R_s)}{R_{sh}} \tag{2}$$

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} \left(I_{sc,ref} + \mu_{sc} \cdot (T - T_{ref}) \right) \tag{3}$$

Figure.3 shows a model of the photo current (I_{ph}), where I_{ph} is the electricity generated by the solar irradiance (A). Six variables influenced the I_{ph} are as follows: G is the solar radiation intensity (W/m^2), G_{ref} is the solar irradiance at Standard Test Conditions (STC) at air mass 1.5 (W/m^2), μ_{sc} is the temperature coefficient of the current, T is the solar panel temperature (K), T_{ref} is the solar panel temperature at STC (K) and $I_{sc,ref}$ is the short circuit current at STC (A). The Equation 3 was applied to the model value in Figure.3, which used to model the main variables that affect the photo current (I_{ph}). For this model, main parameters are solar irradiance (G) and temperature of solar panel (T).

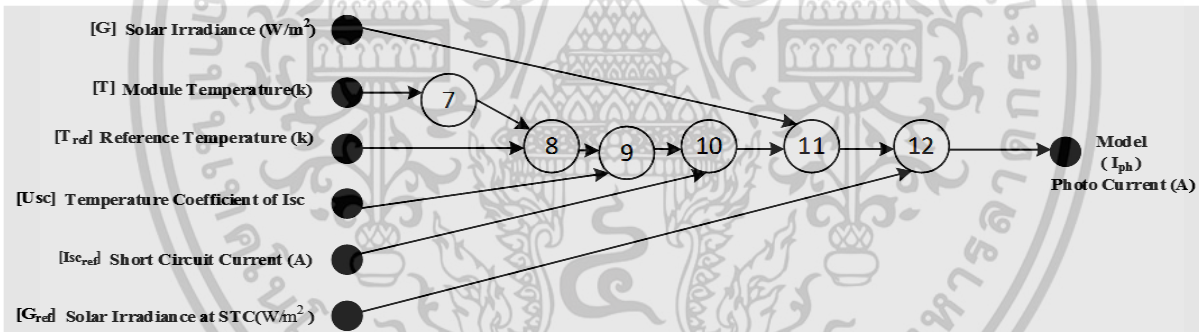


Figure 3. Network Architecture of the photo current (I_{ph}).

$$I_0 = I_{0,ref} \left(\frac{T_c}{T_{c,ref}} \right)^3 \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k} \right) \left(\frac{1}{T_{c,ref}} - \frac{1}{T} \right) \right] \tag{4}$$

$$I_{0,ref} = I_{sc,ref} \exp \left(\frac{q(-V_{oc,ref})}{n \cdot k \cdot T} \right) \tag{5}$$

The Equation 4 and 5 are applied to model the reverse saturation current (I_0) as shown in Figure.4. The reverse saturation current (I_0) model, Where I_0 is the reverse saturation current (A) consists of parameters as follows.

$I_{sc,ref}$ is the short circuit current at STC (A), $V_{oc,ref}$ is the open circuit voltage at STC (V), T is the solar panel temperature (K), $T_{c,ref}$ is the solar panel temperature at STC (K), n is the diode ideality factor, q is the electron charge, which is 1.602×10^{-19} C, k is the Boltzmann constant which is 1.380×10^{-23} (J/K) and E_g the energy band gap of semiconductor.

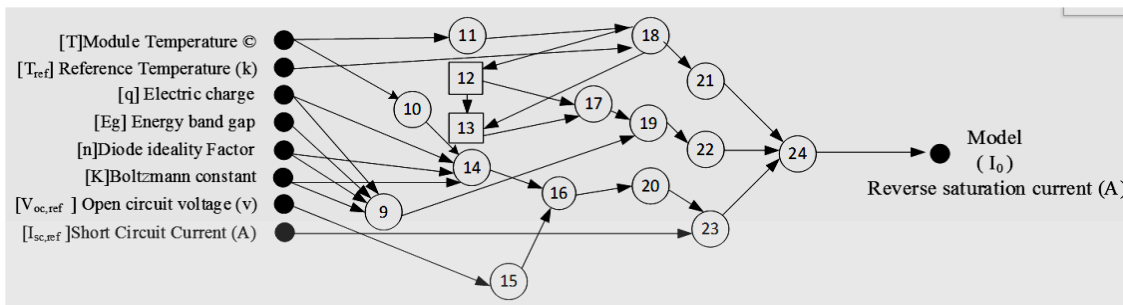


Figure 4. Network Architecture of the reverse saturation current (I₀).

The parallel resistance (R_{sh}) is as written in Equation 7, which model the value of the parallel resistance (R_{sh}) as shown in Figure 5. Where R_s is the series resistance of a solar cell (Ω), R_{sh} is the parallel resistance (Ω), I_{sc,ref} is the short circuit current at STC (A), V_{oc,ref} is the open circuit voltage at STC (V), P_m is the maximum power produced by

solar cells (W), V_m is the maximum voltage that solar cells produced (V), I_m is the maximum current that solar cells produce (A), n is the diode ideality factor, T is the temperature at which the cell junctions (K), q is the electron charge, which is 1.602 × 10⁻¹⁹ C and k is the Boltzmann constant, which is 1.380 × 10⁻²³ J/K.

$$R_{sh} = \frac{V_m + (I_{m,ref} \cdot R_s)}{I_{sc,ref} - I_{sc,ref} \left\{ \exp \left[\frac{q(V_{m,ref} + I_{m,ref} \cdot R_s - V_{oc,ref})}{n \cdot k \cdot T} \right] \right\} + I_{sc,ref} \left\{ \exp \left[\frac{q(-V_{oc,ref})}{n \cdot k \cdot T} \right] - \left(\frac{P_m}{V_{m,ref}} \right) \right\}} \quad (7)$$

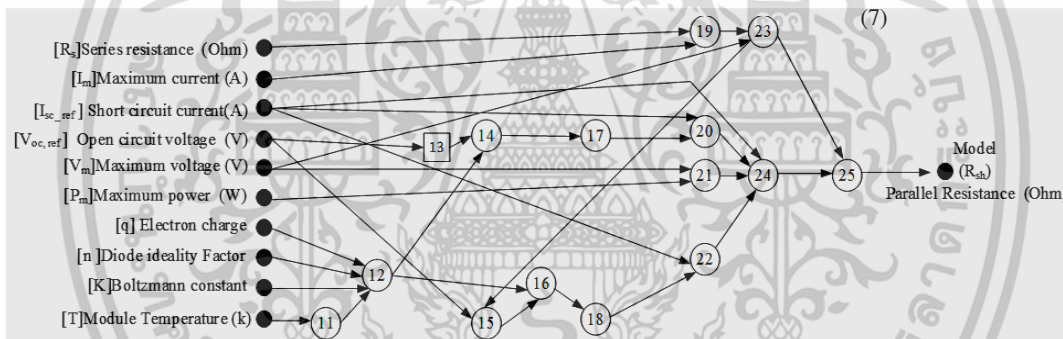


Figure 5. Network Architecture of the parallel resistance (R_{sh}).

B. Model Creation the model was created for the solar cell systems of the target area.

panels of 245 Wp, 1 inverters, 10 strings, 7 arrays, 8 strings, 2 arrays in 1 string, and a series of 24 parallel panels. The results of the power estimation from the model and the actual value measured from photovoltaic system were compared.

Figure 6 shows a model creation of the proposed model, which lead to the creation of the solar system model size of 12 MWp. The PV system consists of 49,536

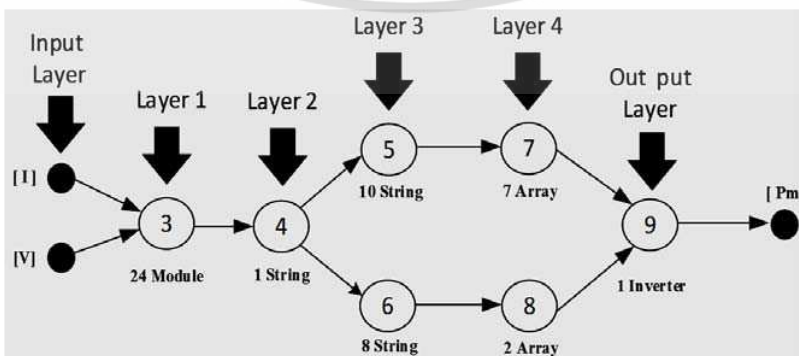


Figure 6. Network Architecture of the Model solar cell system in Thailand

C. Model Improvement.

Artificial neural networks is a mathematical model used in data processing. It was developed based on the

neural networks function in human. In this article, the supervised learning artificial neural networks was used to specify the output target. The multi-layer feed forward neural network was chosen.

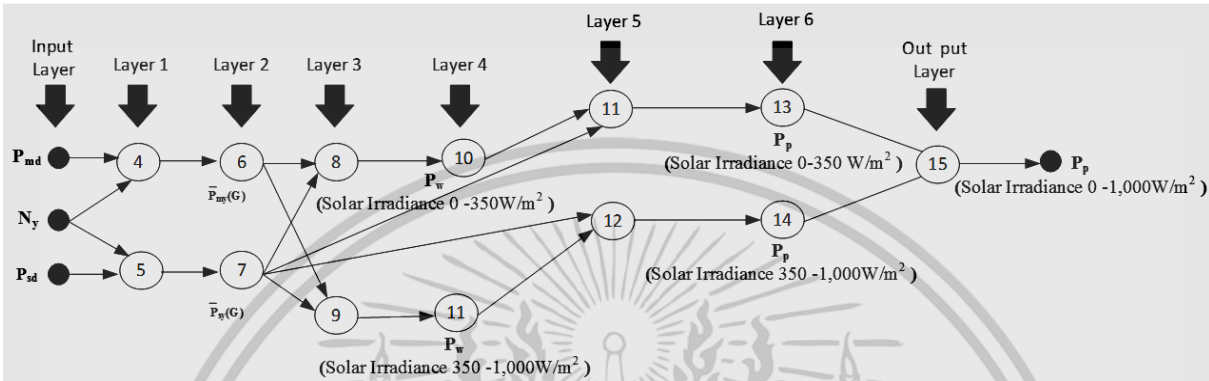


Figure 7. Network Architecture of the Proposed Model at the solar irradiance 0-1,000 W/m²

Figure 7 shows a model creation of the simulated PV power output from the developed model (P_p).The accuracy was improved with proposed at parameter at the solar irradiance of 0-1000 W/m² as written in Equation 8-14.

$$\bar{P}_{my}(G) = \frac{1}{N_y} \sum_{d=1}^{N_y} P_{md} \quad (8) \quad \bar{P}_{sy}(G) = \frac{1}{N_y} \sum_{d=1}^{N_y} P_{sd} \quad (9) \quad P_w \left(\text{Solar Irradiance } 0 - 350 \frac{W}{m^2} \right) = \bar{P}_{my}(G) - \bar{P}_{sy}(G) \quad (10)$$

$$P_w \left(\text{Solar Irradiance } >350 - 1,000 \frac{W}{m^2} \right) = \bar{P}_{sy}(G) - \bar{P}_{my}(G) \quad (11)$$

$$P_p \left(\text{Solar Irradiance } 0 - 350 \frac{W}{m^2} \right) = \bar{P}_{sy}(G) + P_w \left(\text{Solar Irradiance } 0 - 350 \frac{W}{m^2} \right) \quad (12)$$

$$P_p \left(\text{Solar Irradiance } 350 - 1,000 \frac{W}{m^2} \right) = \bar{P}_{my}(G) + P_w \left(\text{Solar Irradiance } 350 - 1,000 \frac{W}{m^2} \right) \quad (13)$$

$$P_p = P_p \left(\text{Solar Irradiance } 0 - 350 \frac{W}{m^2} \right) + P_p \left(\text{Solar Irradiance } 350 - 1,000 \frac{W}{m^2} \right) \quad (14)$$

The model was used to calculate the actual power output of the solar cell system in the annual target area (P_{my}) and simulate the results of power output of the annual solar PV system (P_{sy}) at the solar irradiance of 350-1000 W/m².Where, N_y is the number of days in a year, P_{md} is the actual power produced by the daily solar system (kWh/d) and P_{sd} is the simulation result of the daily solar cell (kWh/d).

The model creation of a weight parameter (P_w) at the solar irradiance of 0-350 W/m² and 350-1000 W/m² to

improve the model accuracy are written in Equation 10 and 11, respectively.

For the model creation of the simulated PV power output from the developed model (P_p) to improve the model accuracy with proposed parameter at the solar irradiance of 0-350W/m²and 350-1000 W/m² by adjusting the order are written in Equation 12 and 13, respectively.

III. RESULT AND DISCUSSION

A. The simulation results of 1D5P model in comparison with the actual data at the solar irradiance of 0 - 1000 W/m².

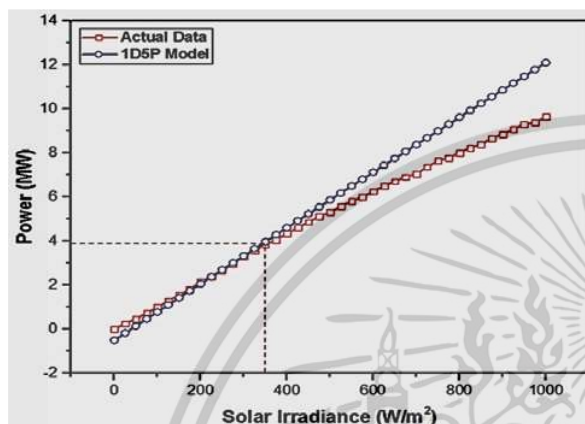


Figure 8. Comparison of simulation results of 1D5P model at the solar irradiance of 0-1000 W/m².

Figure.8 at the point of intersection, the actual data and the simulation from 1D5P models are equal. Considering at the solar irradiance of 350 W/m² to 0 W/m², the difference of power values increase as the solar irradiance decreases and reaches the maximum difference at the solar irradiance of 0 W/m². This could be implied that there is prediction error for the predicted value from the 1D5P model. When considering the solar irradiance from the intersection of both graphs at 350 W/m² to 1,000 W/m², the difference of power values increase as the solar irradiance increases. The maximum difference of power was at the solar irradiance of 1000 W/m². According to Table 1, the average error of the estimated value of the 1D5P model is 13.97%. Thus the 1D5P model was chosen for testing because it has the best estimation values. As mentioned, the test was separated into two ranges of the solar irradiance: 0-350 W/m² and 350-1000 W/m² for accurate estimation. From Table I, the minimum error of 4.15% was at the solar irradiance of 250 W/m² and the maximum error of 25.56% was at the solar irradiance as 1000 W/m².

TABLE I. COMPARISON OF ACTUAL DATA WITH SIMULATION RESULTS OF THE 1D5P MODEL AT VARIOUS SOLA IRRADIANCES

Solar irradiance (W/m ²)	Actual Data (MW)	1D5P Model (MW)	Error %
200	2.14	2.05	Min 4.15
400	4.33	4.60	6.13
600	6.25	7.12	13.91
800	8.01	9.62	20.12
1000	9.64	12.10	Max 25.56
		Avg	13.97

B. Simulation Results of the Proposed Model Compared with Actual Data at the Solar Irradiance of 0 – 350 W/m².

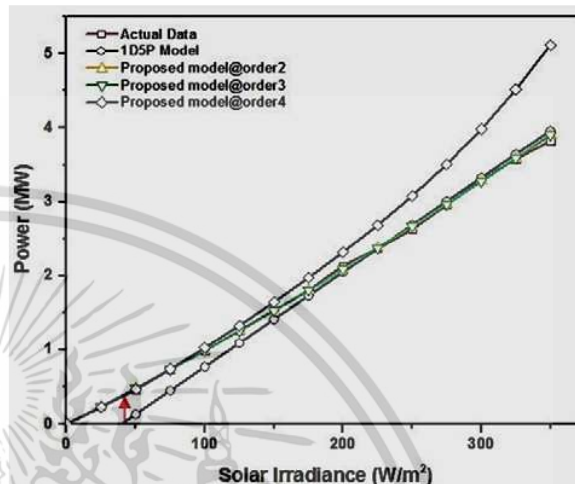


Figure 9. The improved accuracy through the simulation results of the proposed model at the solar irradiance of 0-350 W/m².

Figure 9 shows the power as the function of the solar irradiance at 0 W/m² to the 350 W/m². The actual power values matched with the predicted values of the 1D5P model. There were significant differences between the measured and predicted values of the model. The most different power value is at the solar irradiance of 0 MW. Therefore, the Proposed Model adjusted the forecasts the solar energy production from PV system to be more accurate by using the Proposed Model at 2, 3 and 4th orders. The graphs obtained from 2nd and 3rd order of the Proposed Model was approximated to the actual data while the 4th order of the Proposed Model was deviated from the actual data line. This could be implied that the 4th order of the adjusted Proposed Model was overestimated. Therefore, the Proposed Model was adjusted by choosing the most accurate order for the forecast at the ranges of the irradiance.

C. Simulation Results of the Proposed Model in Comparison with the Actual Data at the Solar Irradiance of 350- 1000 W/m²

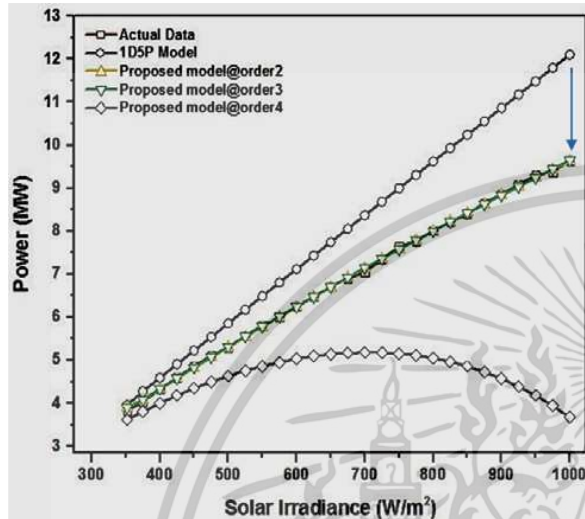


Figure 10. The improved accuracy through the simulation results of the proposed model at the solar irradiance of 350-1000 W/ m².

Figure.10 shows that at the solar irradiance of 350 W/m² to 1,000 W/m², the power values differed from the lowest to the highest of the solar irradiance. The most significant difference was at the actual measured value of 12.10 MW. The predicted value for the 1D5P model of 9.64 MW. The error was equal to 14.40%. Therefore, the proposed methodology for this model in the 2nd and 3rd order can be used as an accurate predictor for the measured value. The 4th order of the Proposed Model cannot be used as an accurate predictor as the predicted line was deviated from the actual data line. As a result, the Proposed Model was adjusted by choosing the most accurate order for the forecast at the range of the irradiance as shown in the Figure10. The predicted value obtained from the proposed model has high accuracy with an error of 0.48%.

D. Simulation Results of the Proposed Model Compared with the Actual Data and the 1D5P Model at the Solar Irradiance of 0 -1000W/m²

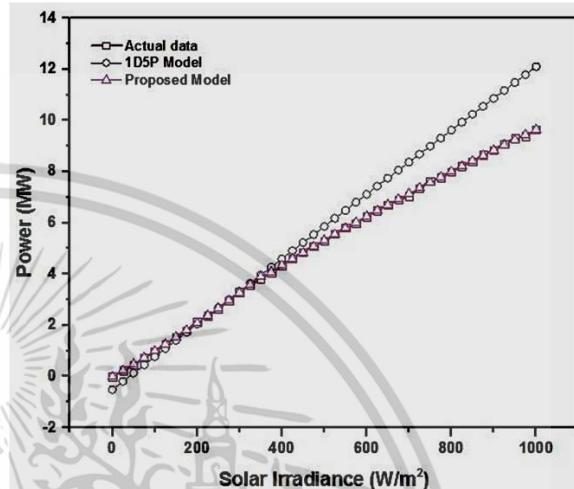


Figure 11. The improved accuracy through the simulation results of the proposed Model at the solar irradiance of 0-1000 W/m².

Figure.11 and Table II show the power at various solar irradiance at 200, 400, 600, 800 and 1000 W/m². The comparison of the predicted results of the Proposed Model with the 1D5P model showed that the error was extremely low in the range of the solar irradiance considered. The predicted values obtained from the Proposed Model has high accuracy with the minimum error maximum error and average error of 0.02%, 2.41% and 0.55%, respectively.

TABLE II. COMPARISON OF THE SIMULATION RESULTS OF POWER FOR THE PROPOSED MODEL AT VARIOUS SOLAR IRRADIANCES

Solar irradiance (W/m ²)	Actual Data (MW)	Proposed Model (MW)	Error %
200	2.14	2.09	Max 2.41
400	4.33	4.34	0.20
600	6.25	6.25	Min 0.02
800	8.01	8.01	0.05
1000	9.64	9.65	0.07
		Avg	0.55

E. Comparisons of Actual Data the Simulated PV Power-Output of 1D5P Model and the Proposed Model for 12 Months of Measured Data.

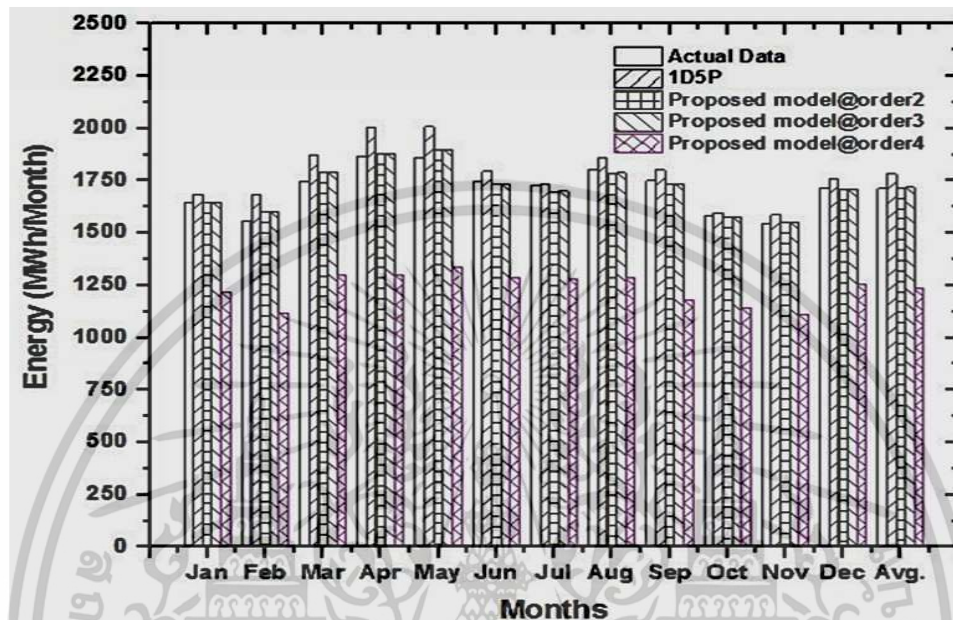


Figure 12. The simulated and measured data of monthly PV power-output.

Figure.12 shows the power output for 12 months that was predicted using the adjusted Proposed Model method and compared with the prediction of 1D5P model and the actual data. The predicted value obtained from the Proposed Model is more accurate than the estimated values from the 1D5P model.

TABLE III. COMPARISON OF ACTUAL DATA WITH THE PROPOSED MODEL AND 1D5P MODEL.

Months	Actual Data	Proposed Model		1D5P Model	
	Energy (MWh)	Energy (MWh)	Error%	Energy (MWh)	Error%
Jan	1646.32	1645.79	Min 0.03	1684.89	2.34
Feb	1560.73	1602.39	2.67	1680.55	7.68
Mar	1748.92	1791.90	2.46	1869.35	6.89
Apr	1866.68	1881.24	0.78	2002.73	7.29
May	1861.53	1898.04	Max 1.96	2007.68	7.85
Jun	1744.37	1734.48	0.57	1795.42	2.93
Jul	1724.53	1699.95	1.43	1734.40	0.57
Aug	1805.40	1788.25	0.95	1858.39	2.94
Sep	1750.57	1736.14	0.82	1801.07	2.88
Oct	1585.16	1577.69	0.47	1596.05	0.69
Nov	1542.63	1553.60	0.71	1587.18	2.89
Dec	1712.32	1709.70	0.15	1759.68	2.77
Avg.	1712.43	1718.26	0.34	1781.45	3.97

Table III shows that the error of power projection in one year of the Proposed Model is 0.34%. When it compared from the prediction with the 1D5P model the error reached 3.97%. Thailand is characterized to have tropical climate in

Southeast Asia. Table III shows the minimum error of 0.03% which is in January when the weather is cool and pleasant with comparatively little or no rain. However, the Southwest Monsoon Season has a “wet phase” (May - October). During this wet phase, continuous moderate to heavy rainfall in the afternoons and early evenings is generally observed. This may lead to the maximum error of 1.96% in May.

IV. CONCLUSION.

The results show the power generation estimation of PV systems using Matlab/Simulink and analysis using Artificial Neural Networks (ANNs). The electric power output from the proposed model was compared with the actual value and the non-improved 1D5P model. It was found that the proposed model has lower estimation error, easy to use and can estimate the electricity production at the target area. The error of the electricity generation from PV systems to the solar intensity was reduced from 13.97% to as low as 0.55%. The error of the power generation estimation of the tested solar power plants during 12 months period was also decreased from 3.97% to as low as 0.34%.

Our research is leading to the development of models that can predict the production of electricity from solar power plants that are accurate to the tropical climate like Thailand which can predict 1 to 3 days in advance with accuracy of not less than 80%.

REFERENCES

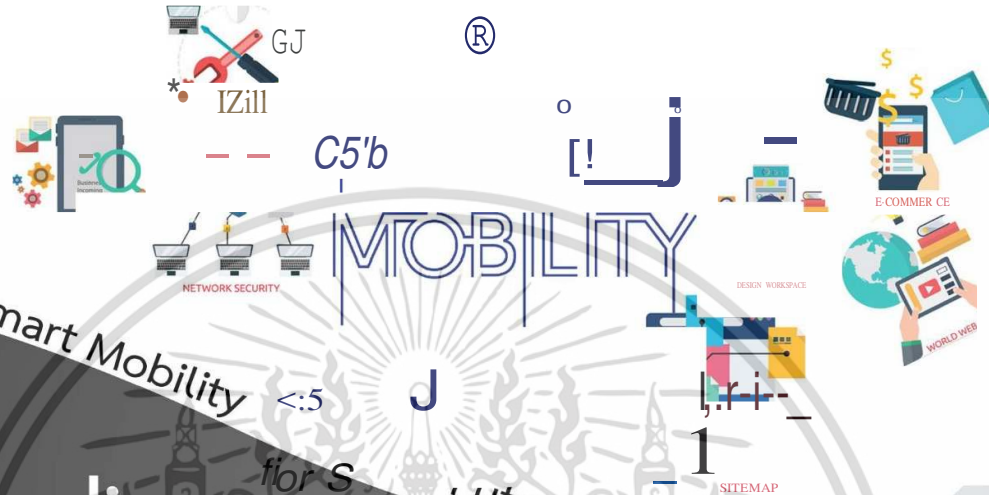
- [1] S. Kittisontirak, K. Chumpolrat, S. Songtraï, N. Udomdachanut, A. Hongsingthong, J. Sritharathikhun, P. Chinnavornrunsee, K. Sriprapha and W. Titiroongruang "The outdoor performance of different PV systems in tropical climate conditions in Thailand", International Conference On Frontier Of Energy And Environment Engineering 2014 pp 389-391.
- [2] A. Hongsingthong, S. Kittisontirak, P. Chinnavornrunsee, S. Songtraï, K. Chumpolrat, A. Limmanee, J. Sritharathikhun, N. Boriraksantikul, K. Sriprapha and W. Titiroongruang "Initial Results Of Pv System Performance With The Two Different System Installations: The Case Of A 1 kWp HIT PV SYSTEM IN A SUBURB OF BANGKOK, THAILAND", World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (6) 2014 pp 1199-1200.
- [3] S. Kittisontirak, P. Chinnavornrunsee, S. Songtraï, K. Chumpolrat, A. Hongsingthong, J. Sritharathikhun, K. Sriprapha, P. Tajchayapong, and W. Titiroongruang "A 126 kWp PV-Diesel Generator Hybrid System in Kampong Chheuteal high school, Kampong Thom province, Kingdom of Cambodia", World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (6) 2014 pp 1249-1250.
- [4] Messinger, R., Ventre, J., 2000. "Photovoltaic System Engineering," CRC Press, Boca Raton, pp. 11-12 and 41-51.
- [5] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, and E. R. Filho, 2009 "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays," Power Electronics Conference, pp. 1244-1254.
- [6] J. Yuncong, J. A. A. Qahouq, and M. Orabi, 2011 "Matlab/Pspice hybrid simulation modeling of solar PV cell/module," Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Twenty-Sixth Annual IEEE, pp.1244-1250.
- [7] Chenni R, Makhlof M, Kerbache T, Bouzid A. A detailed modeling method for photovoltaic cells. Energy 2007;32:1724-30.
- [8] Dongue SB, Njomo D, Tamba JG, Ebengai L. Modeling of electrical response of illuminated crystalline photovoltaic modules using four- and five-parameter models. Int J Emerg Technol Adv Eng 2012;2:612-9.
- [9] Tan YT, Kirschen DS, Jenkins N. A model of PV generation suitable for stability analysis. IEEE Trans Energy Convers 2004;19:748-55.
- [10] Mellit A, Benghanem M, Kalogirou SA. Modeling and simulation of a standalone photovoltaic system using an adaptive artificial neural network: proposition for a new sizing procedure. Renew Energy 2007;32:285-313.
- [11] Gonzalez L, Francisco M. Model of photovoltaic module in Matlab. CIBELEC; 2005.
- [12] Yusof Y, Sayuti SH, Abdul Latif M, Wanik MZC. Modeling and simulation of maximum power point tracker for photovoltaic system. In: Proceedings of power and energy conference, 2004, p. 88-93.
- [13] Yeong-Chan K, Tsong-Juu L, Jiann-Fuh C. Novel maximum-power-point-tracking controller for photovoltaic energy conversion system. IEEE Trans Ind Electron 2001;48:594-601.
- [14] Chakrasali RL, Sheelavant VR, Nagaraja HN. Network approach to modeling and simulation of solar photovoltaic cell. Renew Sustain Energy Rev 2013;21:84-8.
- [15] Ghoneim AA. Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems. Energy Convers Manag 2006;47:1449-63.
- [16] Kou Q, Klein SA, Beckman WA. A method for estimating the long-term performance of direct-coupled PV pumping systems. Sol Energy 1998;64: 33-40.
- [17] Celik AN, Acikgoz N. Modelling and experimental verification of the operating current of mono-crystalline photovoltaic modules using four- and fiveparameter models. Appl Energy 2007;84:1-15.
- [18] A. Chatterjee, A. Keyhani, and D. Kapoor, 2011 "Identification of Photovoltaic Source Models," Energy Conversion, IEEE Transaction, vol. PP, pp. 1-7.
- [19] Karamirad M, Omid M, Alimardani R, Mousazadeh H, Heidari SN. ANN based simulation and experimental verification of analytical four- and five-parameters models of PV modules. Simul Model Pract Theory 2013;34:86-98.
- [20] X. Weidong, W. G. Dunford, and A. Capel, 2004 "A novel modeling method for photovoltaic cells," Power Electronics Specialists Conference, Vol. 3, pp. 1950-1956.
- [21] Lo Brano V, Orioli A, Ciulla G, Di Gangi A. An improved five-parameter model for photovoltaic modules. Sol Energy Mater Sol Cells 2010;94:1358-70.
- [22] Ma T, Yang H, Lu L, Peng J. Technical feasibility study on a standalone hybrid solar-wind system with pumped hydro storage for a remote island in Hong Kong. Renew Energy 2014;69:7-15.
- [23] Villalva MG, Gazoli JR, Filho ER. Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. IEEE Trans Power Electron 2009;24: 1198-208.
- [24] Ma T, Yang H, Lu L. Development of a model to simulate the performance characteristics of crystalline silicon photovoltaic modules/strings/arrays. Sol Energy 2014;100:31-41.
- [25] Bai J, Liu S, Hao Y, Zhang Z, Jiang M, Zhang Y. Development of a new compound method to extract the five parameters of PV modules. Energy Convers Manag 2014;79:294-303.
- [26] Ciulla G, Lo Brano V, Di Dio V, Cipriani G. A comparison of different one-diode models for the representation of I-V characteristic of a PV cell. Renew Sustain Energy Rev 2014;32:684-96.
- [27] De Soto W, Klein SA, Beckman WA. Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance. Sol Energy 2006;80:78-88.
- [28] Jung TH, Ko JW, Kang GH, Ahn HK. Output characteristics of PV module considering partially reverse biased conditions. Sol Energy 2013;92:214-20.
- [29] de Blas MA, Torres JL, Prieto E, Garcia A. Selecting a suitable model for characterizing photovoltaic devices. Renew Energy 2002;25:371-80.
- [30] Hadj Arab A, Chenlo F, Benghanem M. Loss-of-load probability of photovoltaic water pumping systems. Sol Energy 2004;76:713-23
- [31] Sera D, Teodorescu R, Rodriguez P. PV panel model based on datasheet values. In: Proceedings of IEEE international symposium on industrial electronics, ISIE; 2007. p. 2392-6.
- [32] Sukamongkol Y, Chungpaibulpatana S, Ongsakul W. A simulation model for predicting the performance of a solar photovoltaic system with alternating current loads. Renew Energy 2002;27:237-58.
- [33] Karatepe E, Boztepe M, Colak M. Neural network based solar cell model. Energy Convers Manag 2006;47:1159-78.
- [34] Tian H, Mancilla-David F, Ellis K, Muljadi E, Jenkins P. A cell-to-module-to-array detailed model for photovoltaic panels. Sol Energy 2012;86:2695-706.
- [35] Kumari JS, Babu CS. Mathematical modeling and simulation of photovoltaic cell using matlab-simulink environment. Int J Electr Comput Eng 2012;2:26-34.
- [36] Kharb RK, Shimi SL, Chatterji S, Ansari MF. Modeling of solar PV module and maximum power point tracking using ANFIS. Renew Sustain Energy Rev 2014;33:602-12.
- [37] Chouder A, Silvestre S, Sadaoui N, Rahmani L. Modeling and simulation of a grid connected PV system based on the evaluation of main PV module parameters. Simul Model Pract Theory 2012;20:46-58.
- [38] Celik AN, Acikgoz N. Modelling and experimental verification of the operating current of mono-crystalline photovoltaic modules using four- and fiveparameter models. Appl Energy 2007;84:1-15. [2] V. Lo Brano, A. Orioli, G. Ciulla, and A. Di Gangi, "An improved five-parameter model for photovoltaic modules," Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 94, no. 8, pp. 1358-1370, 2010.
- [39] T. Ma, H. Yang, L. Lu, and J. Peng, "Technical feasibility study on a standalone hybrid solar-wind system with pumped hydro storage for a remote island in Hong Kong," Renewable Energy, vol. 69, pp. 7-15, 2014.
- [40] T. Ma, H. Yang, and L. Lu, "Development of a model to simulate the performance characteristics of crystalline silicon photovoltaic modules/strings/arrays," Solar Energy, vol. 100, pp.31-41, 2014.
- [41] G. Ciulla, V. Lo Brano, V. Di Dio, and G. Cipriani, "A comparison of different one-diode models for the representation of I-V

- characteristic of a PV cell,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 32, pp. 684–696, 2014.
- [42] W. De Soto, S. A. Klein, and W. A. Beckman, “Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance,” *Solar Energy*, vol. 80, no. 1, pp. 78–88, 2006.
- [43] T. H. Jung, J. W. Ko, G. H. Kang, and H. K. Ahn, “Output characteristics of PV module considering partially reverse biased conditions,” *Solar Energy*, vol. 92, pp. 214–220, 2013.
- [44] M. A. de Blas, J. L. Torres, E. Prieto, and A. Garcia, “Selecting a suitable model for characterizing photovoltaic devices,” *Renewable Energy*, vol. 25, no. 3, pp. 371–380, 2002.
- [45] A. Hadj Arab, F. Chenlo, and M. Benghanem, “Loss-of-load probability of photovoltaic water pumping systems,” *Solar Energy*, vol. 76, no. 6, pp. 713–723, 2004.
- [46] D. Sera, R. Teodorescu, and P. Rodriguez, “PV panel model based on datasheet values,” in *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE '07)*, pp. 2392–2396, Vigo, Spain, June 2007.
- [47] Y. Sukamongkol, S. Chungpaibulpatana, and W. Ongsakul, “A simulation model for predicting the performance of a solar photovoltaic system with alternating current loads,” *Renewable Energy*, vol. 27, no. 2, pp. 237–258, 2002.
- [48] E. Karatepe, M. Boztepe, and M. Colak, “Neural network based solar cell model,” *Energy Conversion and Management*, vol. 47, no. 9-10, pp. 1159–1178, 2006.
- [49] H. Tian, F. Mancilla-David, K. Ellis, E. Muljadi, and P. Jenkins, “A cell-to-module-to-array detailed model for photovoltaic panels,” *Solar Energy*, vol. 86, no. 9, pp. 2695–2706, 2012.
- [50] J. Kumari and C. S. Babu, “Mathematical modeling and simulation of photovoltaic cell using matlab-simulink environment,” *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 26–34, 2012.
- [51] R. K. Kharb, S. L. Shimi, S. Chatterji, and M. F. Ansari, “Modeling of solar PV module and maximum power point tracking using ANFIS,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 33, pp. 602–612, 2014.
- [52] A. Chouder, S. Silvestre, N. Sadaoui, and L. Rahmani, “Modeling and simulation of a grid connected PV system based on the evaluation of main PV module parameters,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 20, no. 1, pp. 46–58, 2012.
- [53] S. Kittisontirak, A. Bupi, P. Chinnavornrungrsee, K. Sriprapha, P. Thajchayapong, and W. Titiroongruang, “An Improved PV Output Forecasting Model by Using Weight Function: A Case Study in Cambodia,” *International Journal of Photoenergy*, Volume 2016.
- [54] S. Kittisontirak, A. Bupi, P. Chinnavornrungrsee, K. Sriprapha, P. Thajchayapong, and W. Titiroongruang, “An Improved PV Output Forecasting Model by Using Weight Function: A Case Study in Cambodia,” *International Journal of Photoenergy*, Volume 2016.
- [55] Z. Salam, K. Ishaque, and H. Taheri, 2010 “An improved two-diode photovoltaic (PV) model for PV system,” *Power Electronics, Device and Energy Systems (PEDES) & 2010 Power India, 2010 Joint International Conference*, pp.1-5.

i EECON 2017

The 2017 International Electrical Engineering Congress

8-10 MARCH 2017, PATIAYA THAILAND



“Smart Mobility
for Smart Future”

Proceedings

Organized by



VOLUME I

POWER & ENERGY

Technical Co-sponsored by

!1.!!



SPECIAL SESSION



Sponsored by



IRCTechnologies



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 Group IRCT 02-m-1.00 Combrhat'ion

เมื่อ 3 กรกฎาคม 2560 ออกพิมพ์ ณ กรุงเทพมหานคร และด้วย นื่องสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกแห่งที่ปรากฏในเล่ม

Verification of new model by comparison with actual data

Phasapon Manosukritkul^c, Songkiate Kittisontirak^a, Kobsak Sriprapha^a, Wisan Tangwongcharoen^b and Wisut Titiroongruang^c

^aNational Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Pathum Thani, Thailand.

^bFaculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

^cFaculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

Email: kmphasap@hotmail.com

Abstract—This papers shows the results of testing the power output of the solar PV system using silicon crystals used in the test. Then simulate the power output in the form of third-generation model. The first generation model (1D5P) at a second series Weight Function Model and form a third model has been developed. The test system with 28 kWp The results show that the first form (1D5P) error of 14.40%. models the second error of 5.02% in the third form a models that has developed error of 1.05%

Keywords— PV Module, PV Power Output , Model

I. INTRODUCTION

At present renewable energy is vital to energy source from the fossil fuels . Energy from solar energy is a clean and sustainable way to produce energy. In Thailand the government focused on the installation of renewable energy power plant because of promoted by the DEDE (Department of Alternative Energy Development and Efficiency) and Royal Thai Government. It supports the creation of a system of large farms and cell technology has been choosing as a crystal. Important After installing photovoltaic systems It should be

checked and maintained properly. Therefore tested pv module were needed , PV system using the estimated energy production of the PV system, which is very useful in monitoring the system and it is important tool for service providers to manage the energy. To estimate the energy production of the PV system, usually it start from modeling PV.

There are several research groups have paid attention to the effects of solar radiation. [1] using a model single diode equivalent circuit models which are often used in PV [2-4] are currently being developed model to improve the estimates to better starting 1D3P, 1D4P, 1D5P and 2D5P by two diode equivalent circuit. [5-7]

From the above results of measuring power output and results of the Simulation. by testing the Irradiance 0 - 1000 (w / m²) showed that the value has error 14.40. %. this Simulation Model research was designed in order to reduce the error. During the Simulation Model test, the less divided into two sessions is low irradiance 0-350 (w / m²) and high irradiance 350 - 1000 (w/m²).To study increas the Accuracy. The Simulation of The increased efficiency. In order to be develop ed in estimate PV System to test next.

Model is the first to test Single diode five parameters (1D5P) model is a second Weight Function Model is the third Resolve Function Model. [8]

II. PROCEDURE OF PROPOSED MODEL

A. Development of a model.

From the first to the second parameter is the solar Irradiance and temperature module to calculate. By separating the calculator into two solar irradiance is during low irradiance 0-350 (w/m²) and high irradiance 350 - 1000 (w / m²). Temperature 25 Δ C temperature module . The two parameters are used to calculate the PV Voltage and PV Current. the PV Output is calculated by multiplying the PV Voltage multiply with PV Current .To improve the Resolve Function Model it separates simulation solar irradiance. And PV system power output were simulated. As shown in Figure.1.

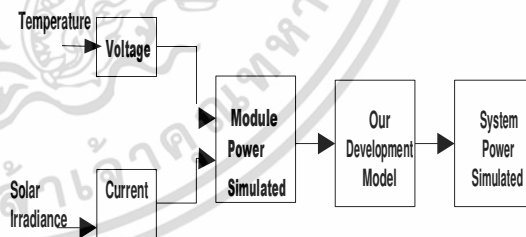


Fig.1 Structure of PV power output simulation

B. Accuracy of proposed model

The RMSE (Root Mean Square Error) Used in the calculation to increase the accuracy of the model which proposed by the previous researchers.[9]

III. SIMULATION RESULTS

The simulation results demonstrate the PV Power Output comparison of the measured value of Module. The actual power output and Simulation Results of 3 model simulation of the actual power output.

A. 1 Diode 5 Parameter (1D5P) model with measurement

The results of simulation by Single diode five parameters (1D5P) Model and the Power Output. The actual measurements found that the graphs of the two values are closed to the error of 14.40% by intersecting lines that solar irradiance at 350 (w/m²). The PV Power Output 3824.309 kW makes a point of interest in tuning error less as shown in Fig.2.

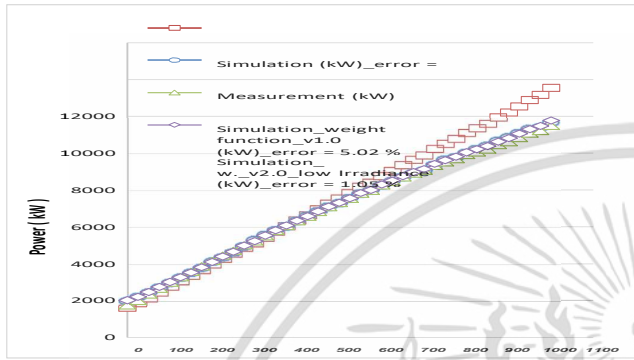


Fig.2 Comparison of model to measured data in each solar irradiance

B. simulation irradiance 0-350 (w/m²)

The results of the test in Article 1 Diode 5 Parameter (1D5P) model with measurement when the intersection of the lines, so test simulation irradiance 0-350 (w/m²). The results showed that the two graph lines are error of 14.40%. The value of the PV Power Output from simulation. It is less than a line graph of the actual measurement. As shown in Fig.3.

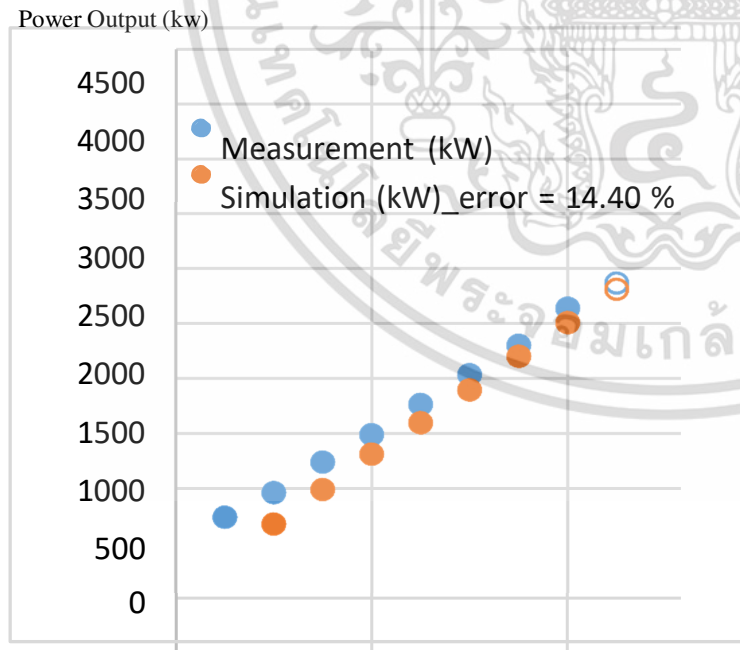


Fig.3 Comparison of model to measured data in solar irradiance 0-350(w/m²)

C. simulation irradiance 350 -1000 (w/m²)

The results of the test simulation irradiance 350-1000 (w/m²) shows that the two graph lines have an error of 14.40%. The value of the PV Power Output from the actual measurements .It is less than a line graph from the simulation .As shown in Fig.4.

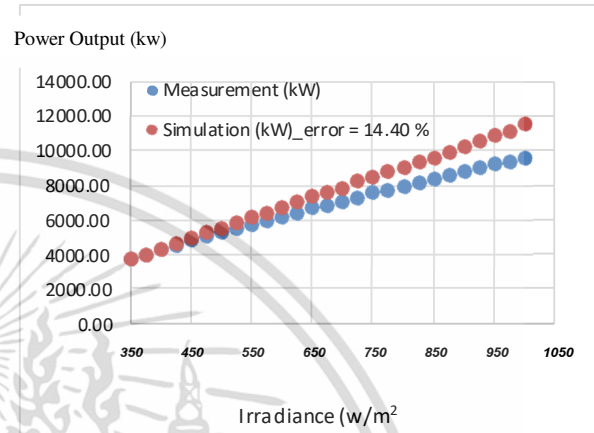


Fig.4 Comparison of the model to measured data in solar irradiance 350-1000(w/m²)

D. simulation irradiance 0 -1000 (w/m²) of 3 model

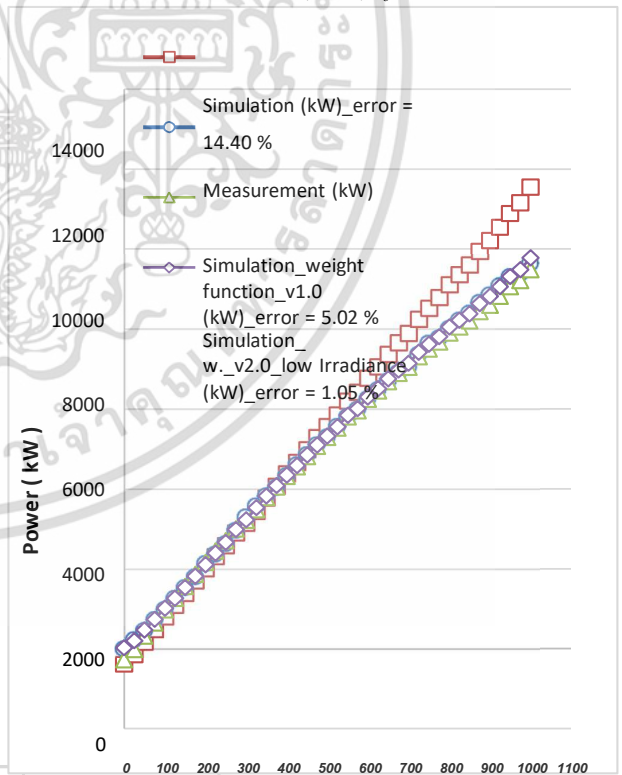


Fig.5 Comparison of the model to measured data in solar irradiance 0-1000(w/m²) of 3 model.

Testing of the three models. In comparison, the three models can be seen that models that has developed with precision. An error has less values close to the real measurements. The results show that the error models that is developed third error 1.05%.

TABLE I

Comparison of the PV Power Output actually measured 3 Model with Solar Irradiance .

Irradiance (w/m ²)	PV power out put (kWh)			
	Measured	Simulation 1D5P	weight function model	Resolve Function Model
1000	9642.10	11550.50	9485.50	9784.50
800	8010.75	9107.80	7896.00	8049.60
600	6249.39	6778.61	6239.21	6294.61
400	4332.95	4382.30	4305.70	4338.90
350	3824.31	3773.13	3776.11	3819.01
100	987.86	808.72	970.32	1010.64
50	460.52	174.35	316.68	465.62

IV. CONCLUSIONS

Develop model used to test the PV Power Output. The must improve model have a even more accurate. The article presents the results of simulation of 3 model which is the simulation model, of a Weight Function Model and Development of a model. The results show that Development of a model error of 1.05%. So The precision of this model can be used to test PV systems in the next step.

REFERENCES

- [1] Messenger, R., Ventre, J., 2000. "Photovoltaic System Engineering," CRC Press, Boca Raton, pp. 11-12 and 41-51
- [2] A. Chatterjee, A. Keyhani, and D. Kapoor, 2011 "Identification of Photovoltaic Source Models," Energy Conversion, IEEE Transaction, vol.PP, pp. 1-7.
- [3] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, and E. R. Filho, 2009 "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays," Power Electronics Conference, pp. 1244-1254.
- [4] J. Yuncong, J. A. A. Qahouq, and M. Orabi, 2011 "Matlab/Pspice hybrid simulation modeling of solar PV cell/module," Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Twenty-Sixth Annual IEEE, pp.1244-1250.
- [5] X. Weidong, W. G. Dunford, and A. Capel, 2004 "A novel modeling method for photovoltaic cells," Power Electronics Specialists Conference, Vol. 3, pp. 1950-1956.
- [6] J. A. Gow and C. D. Manning, 1999 "Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies," Electronic Power Application, IEEE Proceeding, vol. 146, pp. 193-200.

- [7] Z. Salam, K. Ishaque, and H. Taheri, 2010 "An improved two-diode photovoltaic (PV) model for PV system," Power Electronics, Device and Energy Systems (PEDES) & 2010 Power India, 2010 Joint International Conference, pp.1-5.
- [8] S. Kittisontirak, A. Bupi, P. Chinnavornrungrsee, K. Sriprapha, P. Thajchayapong, and W. Titiroongruang, "An Improved PV Output Forecasting Model by Using Weight Function: A Case Study in Cambodia," International Journal of Photoenergy, Volume 2016 (2016)
- [9] T. Chai and R. R. Draxler, "Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature," Geoscientific Model Development, volume 7, 2014, pp.1247-1250.

The New Simulation Model for Estimating PV Power Output

Phasapon Manosukritkul^b, Songkiate Kittisontirak^a, Sasiwimon Songtra^a, Kobsak Sriprapha^a
and Wisut Titiroongruang^b

^aNational Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Pathum Thani, Thailand.

^bFaculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.
Email: kmphasap@hotmail.com

Abstract—This paper proposed the new simulation model for estimate PV Power Output of power plant in Thailand. Our development model were used the solar irradiance and module temperature as input of model. The model has develop by using one year measured data of focus area and verified by comparison with measured data. The results shown high accuracy and error about 1.11 %.

Keywords— PV System, PV Power Output , Model

I. INTRODUCTION

Simulation models of the PV Power Output has been studied prevalent such as 1D3P, 1D4P, 1D5P and 2D5P [1-7]. The accuracy of model were improved by increasing the number of parameters where increase the complex of model as shown in Fig.1

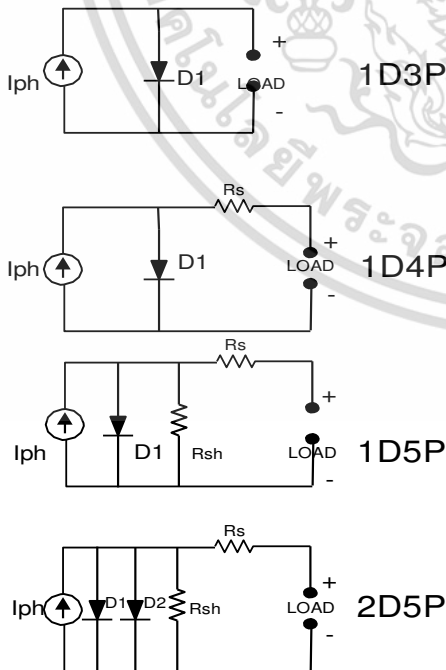


Fig.1 PV equivalent circuit (1D3P, 1D4P, 1D5P and 2D5P)

In this study we develop the new model that high accuracy. Our model develop by MATLAB SIMULINK software and

use data of PV power plant in THAILAND for verified the model.

II. PROCEDURE OF PROPOSED MODEL

A. Development of a model

By the development new models to split the monitoring of the program into two parts. . The first part will review the Irradiance 0-350 (w / m^2). The second part will be checked during the Irradiance 350-1000 (w / m^2).shown in figure 2.

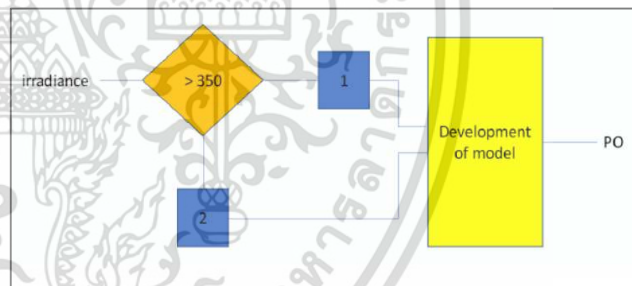


Fig.2 Development of a model

B. Accuracy of proposed model

For to increase the precision and accuracy has bringing the RMSE (Error Root Mean Square) used to calculate the accuracy of the model proposed by previous researchers [8].

III. SIMULATION RESULTS

The result of the model has been developed to be used in comparison with the results from the measured.

A. Results of power output as measured each month.

The graph of the power output of solar power plants in the period of one year. In January, the power output is equal to 209.12 MWh and the power output will drop to 203.34 MWh in February which is a month rain. Then in July have power output is the most 212.49MWh. The power output at average of 209.15 MWh are shown in figure 3.

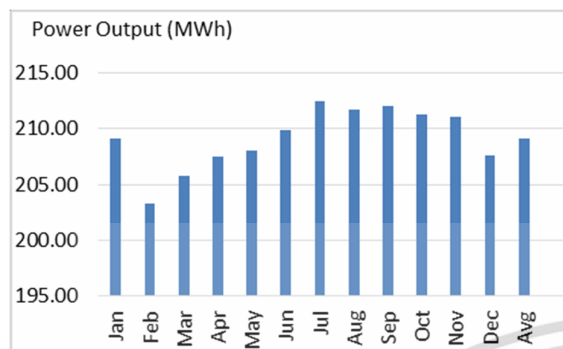


Fig.3 Power output as measured

B. Final Yield (kWh / kWp).

(YF) capability to supply power output to the Load efficiency each day. During the months of January to the Final Yield 17.5 kWh / kWp. In February, have Final Yield 16.57 kWh / kWp, which is the lowest possible. This, the Final Yield is the highest in the month of July have 17.32 kWh / kWp, as shown in Fig.4.

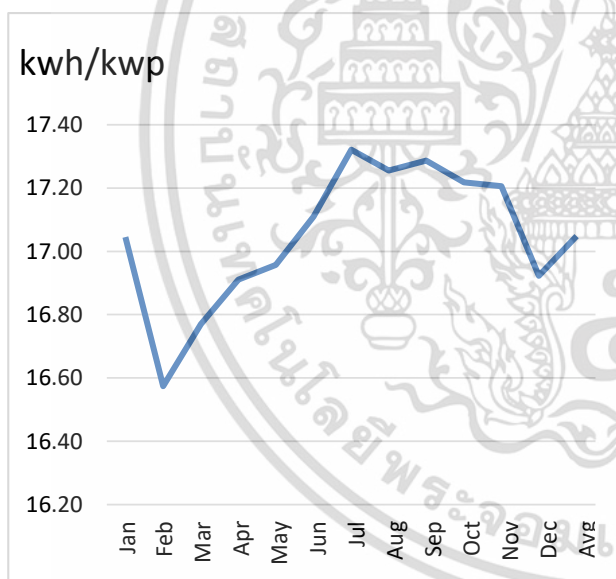


Fig.4 Final Yield

C. Comparison of PV power output

The graph in Figure 5 shows that the value of Measured and model development. During the recording of the first year. In the period from January to December. The result is accurate. The average for the 209.15 MW, as well as the value of the development model and 209.50 MW to the value of the Measured.

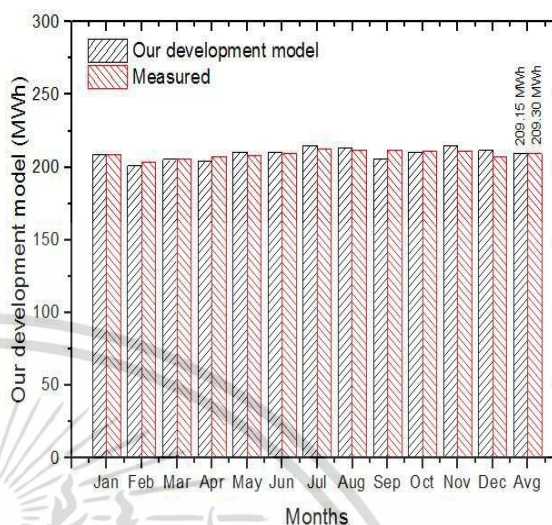


Fig.5 Comparison of model to measured data and Development of a model

D. Comparison for the error simulation of the value that has measured.

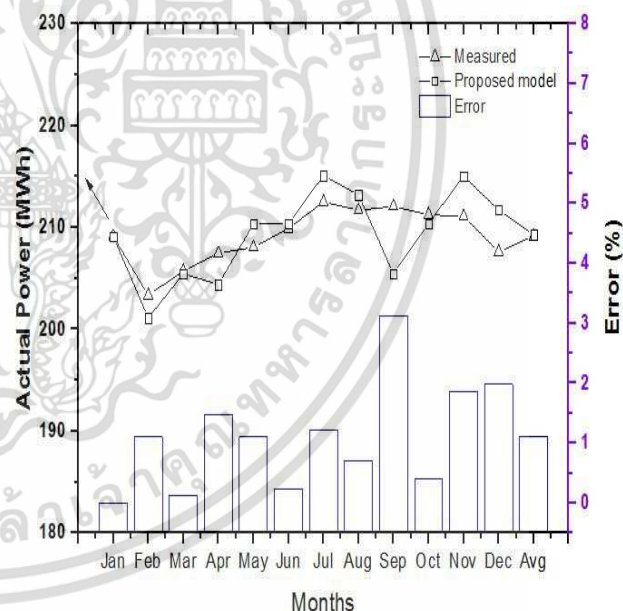


Fig.6 Comparison error simulation of the value that Measured

The graph compares the actual measurement with the simulation results. According to the graph it showed an error the Minimum error can be seen in January which has a 0.005%. The results of this trial will be extremely useful for the agencies to assess the production and installation of solar power plants. As shown in Fig.6.

TABLE I

Comparison error simulation of the value that Measurement

Month	Real MW	Sim MW	Error
Jan	209.13	209.12	0.005
Feb	203.35	201.11	1.103
Mar	205.74	205.46	0.135
Apr	207.46	204.40	1.475
May	208.04	210.35	1.109
Jun	209.90	210.39	0.234
Jul	212.50	215.09	1.222
Aug	211.68	213.18	0.708
Sep	212.07	205.43	3.132
Oct	211.24	210.39	0.402
Nov	211.09	215.01	1.859
Dec	207.60	211.71	1.979
Avg	209.15	209.30	1.114

IV. CONCLUSIONS

The value of the simulation using Development of a model is very precise and accurate. The display can be used to evaluate the production of electric power plants each season. for one year, It has a minimum average error of 1.114%.

REFERENCES

- [1] A. Chatterjee, A. Keyhani, and D. Kapoor, 2011 "Identification of Photovoltaic Source Models," *Energy Conversion, IEEE Transaction*, vol.PP, pp. 1-7.
- [2] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, and E. R. Filho, 2009 "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays," *Power Electronics Conference*, pp. 1244-1254.
- [3] J. Yuncong, J. A. A. Qahouq, and M. Orabi, 2011 "Matlab/Pspice hybrid simulation modeling of solar PV cell/module," *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Twenty-Sixth Annual IEEE*, pp.1244-1250.
- [4] X. Weidong, W. G. Dunford, and A. Capel, 2004 "A novel modeling method for photovoltaic cells," *Power Electronics Specialists Conference, Vol. 3*, pp. 1950-1956.
- [5] J. A. Gow and C. D. Manning, 1999 "Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies," *Electronic Power Application, IEEE Proceeding*, vol. 146, pp. 193-200.
- [6] Z. Salam, K. Ishaque, and H. Taheri, 2010 "An improved two-diode photovoltaic (PV) model for PV system," *Power Electronics, Device and Energy Systems (PEDES) & 2010 Power India, 2010 Joint International Conference*, pp.1-5.
- [7] S. Kittisontirak, A. Bupi, P. Chinnavornrungrsee, K. Sriprapha, P. Thajchayapong, and W. Titiroongruang, "An Improved PV Output Forecasting Model by Using Weight Function: A Case Study in Cambodia," *International Journal of Photoenergy*, Volume 2016 (2016)
- [8] T. Chai and R. R. Draxler, "Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? - Arguments against avoiding RMSE in the literature," *Geoscientific Model Development*, volume 7, 2014, pp.1247-1250.

A Novel Power Output Model for Photovoltaic System

Songkiate Kittisontirak^b, Phasapon Manosukritkul^c, Promphak Dawan^b, Perawut Chinnavornrungrsee^a, Aswin Hongsingthong^a, Narin Atiwongsangthong^b, Kobsak Sriprapha^a and Wisut Titiroongruang^b

^aNational Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Pathum Thani, Thailand.

^bFaculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

^cFaculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, THAILAND

Email: songkiate.kittisontirak@nectec.or.th

Abstract—This paper proposed the novel concept model for forecasting the PV power output. The model was used two meteorology to input model which are solar irradiance and module temperature. This model was improve the accuracy of model from simplified model is 1D5P by using the weight function. The proposed model was verified by comparison with measured data. The results showed that the model has high accuracy. The RMSE ranges from 0.02 to 0.07 and average RMSE is 0.04.

Keywords—PV, Weight function, RMSE

I. INTRODUCTION

Renewable energy reserves energy which is very important in the future. Because it is not a harmful product and clean energy. However, it has major limitation of the instability of the energy produced by changing with the solar radiation. The energy storage can be improve the stability of PV system until low solar irradiance. Now it well know that the storage is still expensive so we should be get the most out of it. Energy management system (EMS) is compatible with the energy storage that can be used to improve efficiency and stability of the PV system. The once part of EMS is PV forecasting model. Many researchers has studied the PV model. The single-diode equivalent circuits (1D) are used commonly to study the model. One diode four parameters (1D4P) [1-3] is the first model for studied. Lather that this model were developed to one diode five parameters (1D5P) for better curve-fitting and accuracy. These models consist is Diode saturation current (I_0), photo current (I_{ph}), diode factor (n), Series resistance (R_s) and Shunt resistance (R_{sh}). [4-5]

The PV power plant in Thailand were used in this studied. Type of PV modules is crystalline Si solar cells. The module is 245 Wp/module.

This paper proposed a novel concept model which used the 1D5P model for developed. The model were used to develop in proposed model which is very simplified and uncomplicated. The error of 1D5P is about 10 %. That model were improved the accuracy by using the weight function. Weight function is a novel technique to improved accuracy of PV forecasting model. It was found that the model has

higher accuracy [6]. The proposed model has verified by comparing with measured data.

I. MATHEMATICAL MODEL

A. 1 Diode 5 Parameter (1D5P) model

The 1D5P model were used in this studied was consist is I_0 , I_{ph} , n , R_s and R_{sh} . It is used to calculate PV system power output. As shown in Fig.1.

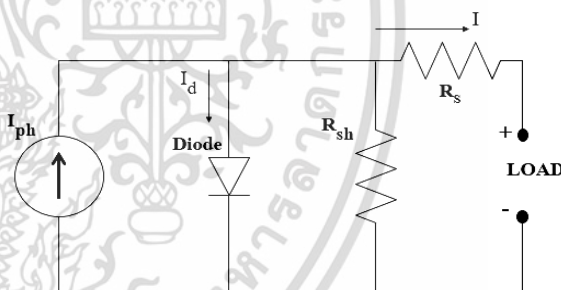


Fig.1 PV equivalent circuit (1D5P)

Fig.2 shown PV equivalent circuit (1D5P) is initial models in this study. All parameters were effect to the performance of the PV system and were used to calculate in the model and the ideal factor is chosen in Table 1 according to technology of the PV.

TABLE II

The ideal factor is dependence on PV technology [7]

List	Data
Si-mono	1
Si-poly	1
a-Si:H	1
a-Si:H tandem	3
a-Si:H Tripple	5
CdTe	1

B. Weight function model

The weight function is new technique for improving accuracy of PV forecasting model which use in this study. This model was developed by using real data of focus area. One year data of that area were used to calculate in the model.

C. Performance of proposed model

The RMSE (Root Mean Square Error) technique is used to calculate in this study. This equation is commonly used widely for indicate the accreted of model [8].

II. SIMULATION RESULTS

The simulation results shown the daily power output comparison with measured data in case of sunny day and cloudy day show that the proposed model are accurate in all weather conditions.

A. Daily simulation

1) In the case of sunny day

The results shown that the power output curve was matching well with measured data. The comparison of simulated and measured data shown as Fig.3.

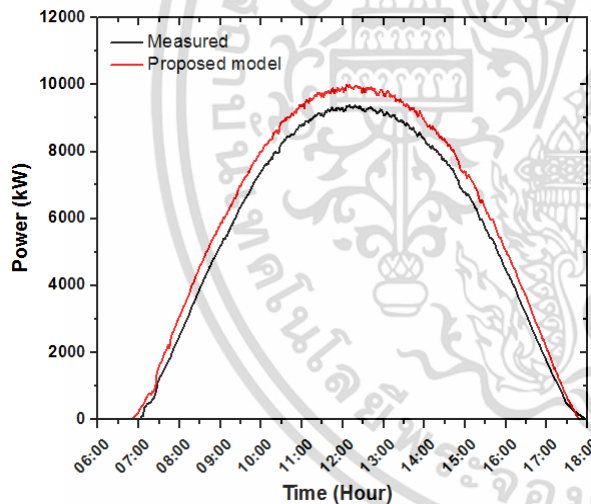


Fig.3 Simulation result compared with measured data (sunny day)

Fig.3 shown comparison of actual power output and simulated result. It was found that simulation results are very high accuracy and were changing according to solar irradiance. Actual PV power output is 64.07 MWh and simulated power output is 69.98 MWh. The RMSE value is about 0.08.

2) In case of cloudy day

The comparison of simulated result and measured data shown as Fig.4.

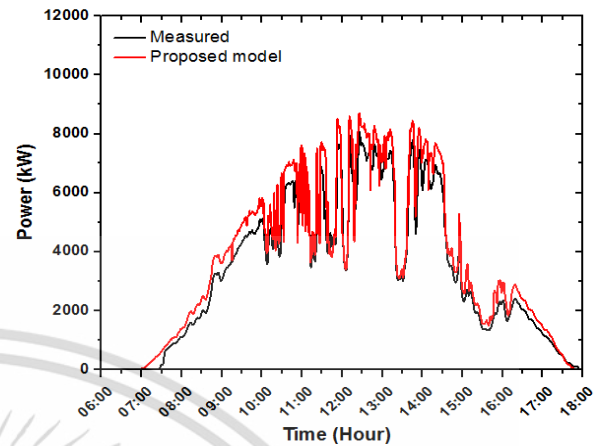


Fig.4 Simulation result compared with measured data (cloudy day)

In case of cloudy day, many fluctuations have occurred due to the solar irradiance and it can be effect to the PV power output. Due to that, it can be show that our model is accreted because the power curve of the proposed model was matching well with actual curve. From the results shown that PV power output was changing according to solar irradiance. Actual PV power output is 39.25 MWh and simulated power output is 43.94 MWh. The RMSE value is about 0.10.

B. Comparison of simulated and measured data

Fig.5 shown the comparison of simulated result with actual energy production of system in each months.

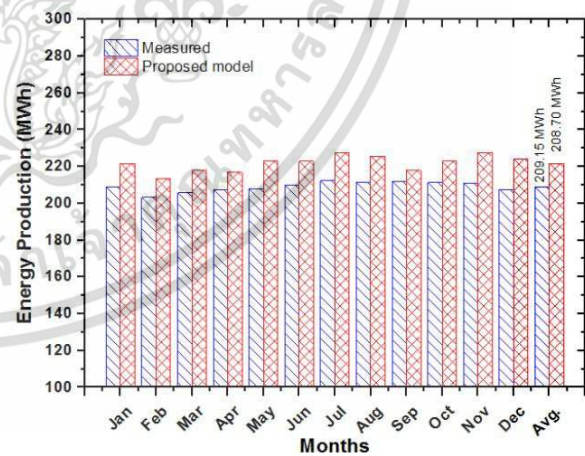


Fig.5 Comparison of PV power output in each months

TABLE I
Comparisons of proposed model with measured data

Months	PV power out put (MWh)		RMSE
	Measured	Proposed	
Jan	209.13	208.51	0.05
Feb	203.35	200.51	0.07
Mar	205.74	204.85	0.06
Apr	207.46	203.80	0.06
May	208.04	209.75	0.05
Jun	209.90	209.79	0.03
Jul	212.50	214.49	0.03
Aug	211.68	212.58	0.02
Sep	212.07	204.82	0.05
Oct	211.24	209.79	0.03
Nov	211.09	214.41	0.05
Dec	207.60	211.11	0.04
Avg.	209.15	208.70	0.04

The average annual energy production of system is about 209.15 MWh and simulated results is about 208.70 MWh as shown in Table I. The RMSE ranges from 0.02 in august to 0.07 in February. Average RMSE is 0.04.

III. CONCLUSIONS

This paper proposed the new concept PV forecasting model. The model is used meteorology data such as solar irradiance and module temperature for calculation. Model was verified by comparing with the measured data. It was found that the proposed model obtained high accuracy. The RMSE ranges from 0.02 to 0.07 and average RMSE is 0.04

REFERENCES

- [1] R. Chenni, M. Makhlof, T. Kerbache and A. Bouzid, "A detailed modeling method for photovoltaic cells," *Energy*, volume 32, 2007, pp.1724–1730.
- [2] SB. Dongue, D. Njomo, JG. Tamba and L. Ebengai, "Modeling of electrical response of illuminated crystalline photovoltaic modules using four- and five-parameter models," *Int J Emerg Technol Adv Eng* volume 2, 2012, pp.612–619.
- [3] RL. Chakrasali, VR. Sheelavant and HN. Nagaraja, "Network approach to modeling and simulation of solar photovoltaic cell," *Renew Sustain Energy Rev*, volume 21, 2013, pp.84–88.
- [4] G. Ciulla, V. Lo Brano, V. Di Dio, G. Cipriani, "A comparison of different one-diode models for the representation of I–V characteristic of a PV cell," *Renew Sustain Energy Rev*, volume 32, 2014, pp.684–696.
- [5] A. Chouder, S. Silvestre, N. Sadaoui, L. Rahmani, "Modeling and simulation of a grid connected PV system based on the evaluation of

main PV module parameters," *Simul Model Pract Theory*, volume 20, 2012, pp.46–58.

- [6] S. Kittisontirak, A. Bupi, P. Chinnavomrungsee, K. Sriprapha, P. Thajchayapong, and W. Titiroongruang, "An Improved PV Output Forecasting Model by Using Weight Function: A Case Study in Cambodia," *International Journal of Photoenergy*, Volume 2016 (2016)
- [7] Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu, and Yi-Jie Su, Member, IAENG, 2008 "Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK," *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science WCECS*, San Francisco, USA
- [8] T. Chai and R. R. Draxler, "Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature," *Geoscientific Model Development*, volume 7, 2014, pp.1247-1250.

Comparison of PV Estimation Model with Measured PV Power Output.

Songkiate Kittisontirak^b, Phasapon Manosukritkul^c, Amornrat Limmanee^a, Nopphadol Sitthiphol^a,
Surasak Niemcharoen^b, Kobsak Sriprapha^a and Wisut Titiroongruang^b

^aNational Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Pathum Thani, Thailand.

^bFaculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

^cFaculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, THAILAND
Email: songkiate.kittisontirak@nectec.or.th

Abstract—This paper describes a comparison results of proposed model with measured of PV power output from power plant in Cambodia. The model was implemented on MATLAB/Simulink software by using meteorology parameters for simulation. The parameters which affected to PV power output as irradiance and module temperature were used for simulation in this model. Weight function model were used to improve accuracy of single diode five parameters (1D5P). The parameter was used to comparison is PV power output. It was found that the model has high accuracy and closest to the measured data.

Keywords— PV, Solar irradiance, Module temperature

I. INTRODUCTION

Cambodia has high solar energy potential area, the average solar radiations are 5.4 kWh/m²/day, which are good conditions. As shown in Fig.1. The ambient temperature and the module temperature are in the range 23-37 °C and 25-70 °C, respectively, as normally seen in the ASEAN area.

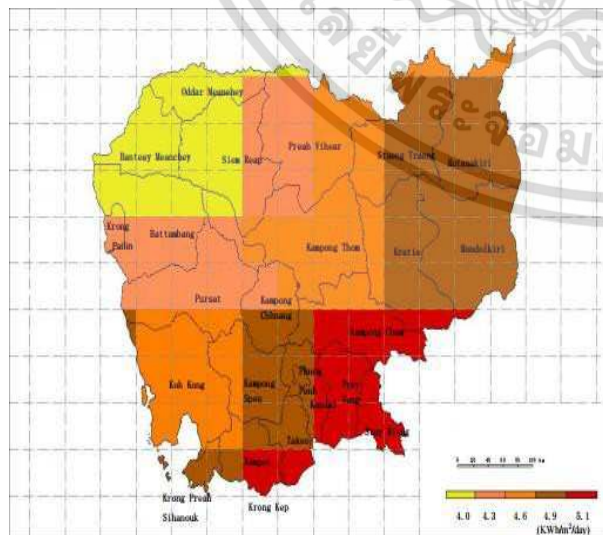


Fig.1 Solar Insolation Map for Cambodia [1]

PV subsystem installed in Kampong Thom Province, Cambodia that has 28 kWp were used in this study [2]. Used technology type is multi crystalline Si solar cells. The system consist 112 modules, each module is 250 Wp/module Shown in Fig.2.



Fig.2 PV system installed in Kampong Thom Province, Cambodia

PV forecasting models are widely too studied. Almost will be used as a simplified model such as single diode four parameters (1D4P), single diode five parameters (1D5P), two diodes and three diodes [3-7]. The accuracy of model were improved along with the complexity of the model. The weight function model were used to improve the accuracy of 1D5P model due to it is simplified model and not complexity. But it has high accuracy.

In this paper we described the simulation resulted from our developed model. It verified by comparing with actual PV power output in Cambodia country. The parameters were used to verify model is PV power output.

II. SYSTEM DESCRIPTION

The system is installed in Kampong Thom Province, Cambodia (12°53'04.4" north latitude and 105°04'05.4" east longitude). It is full monitoring systems to assess the systems data for use in this studied. All parameters are recorded every 5 minutes. The subsystem consist of 112 modules, each module has 250 Wp/module as shown in Fig.3.

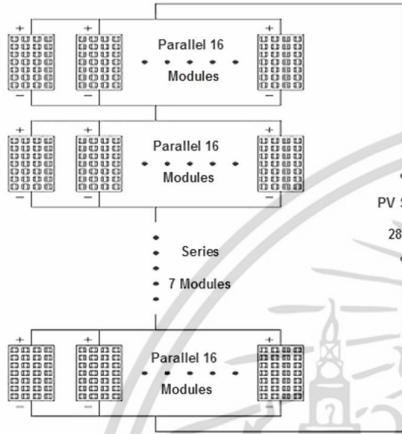


Fig.3 Schematic diagram of PV system

III. MATHEMATICAL MODEL

A. 1 Diode 5 Parameter (1D5P) model with Weight function model

The single diode five parameters (1D5P), simplified model were used to calculate PV power output. Lather that use the Weight function to improve accuracy of the model and developed by one year measured data of that area. From the studies, it helps to improve the accuracy.

B. Procedure of proposed model

The proposed model is use two actual meteorology parameters those are solar irradiance and module temperature to calculate the system power output. Lather that the model are improve the accuracy by using weight function. Weight function are develop by using one year data of focus area. Finally the PV system power output were simulated. As shown in Fig.4.

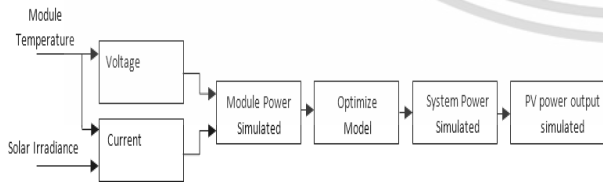


Fig.4 Structure of PV power output simulation

C. Accuracy of proposed model

The RMSE (Root Mean Square Error) were used to calculate the accuracy of proposed model [8].

IV.

SIMULATION RESULTS

The simulation results shown the comparison of PV power output simulated with actual power output.

A. Accuracy of model in each solar irradiance

It is well known that the PV power output are varied with solar irradiance. Due to solar irradiance are input of proposed model. We'll studied the effect of solar irradiance to accuracy of proposed model as shown in Fig.5.

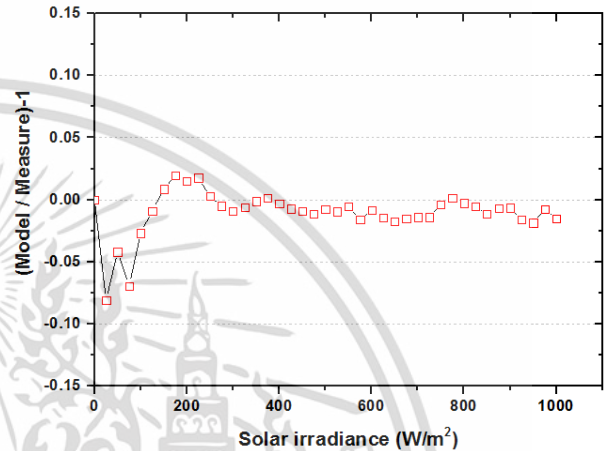


Fig.5 Comparison of model to measured data in each solar irradiance

From the results, It was found that in range of low solar irradiance (<350 W/m^2) the accuracy are fluctuate in range of -0.08 to 0.19. In the other range (>350 W/m^2) the accuracy quite stable in range of -0.01 to 0.00. It due to the proposed model were developed on 1D5P model which there is an error in the low irradiance is high.

B. Comparison of PV power output

To verified the model by comparing simulation results with measurement data and PVWATTS model. One year data of the system in Cambodia were used in this studied. As shown in Fig.6.

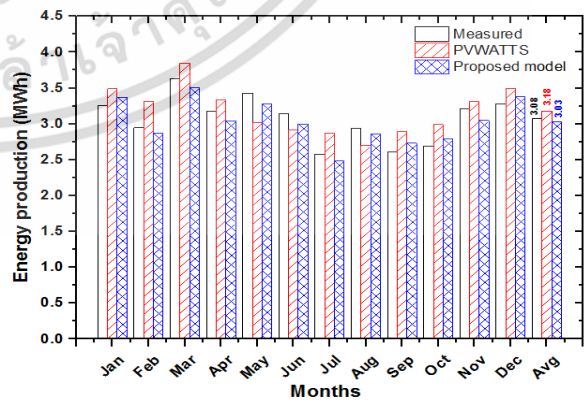


Fig.6 Comparison of proposed models to measured data and PVWATTS

The actual PV power output from the system is the lowest in July that has a value of 2.58 MWh and highest in March which is 3.63 MWh. The average annual energy production is 3.08 MWh.

From the above results, it was shown that the annual energy production of PV system is 3.08 MWh, the simulation results from PVWATTS model shown is 3.18 MWh and the proposed model shown is 3.03 MWh, respectively.

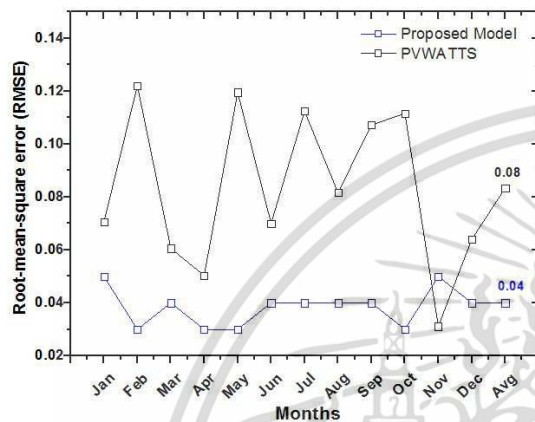


Fig.7 RMSE of proposed model and PVWATTS

The proposed model were evaluated by using RMSE technique as shown in Fig.7. From the results shown that, the RMSE values of PVWATTS model range from 0.03 to 0.12 and average RMSE is 0.08 and the RMSE values of proposed model ranges from 0.03 to 0.05 and average RMSE is 0.04.

The proposed model shown low values of RMSE. The low value of the RMSE indicates that the RMSE achieved very high accuracy.

V. CONCLUSIONS

This paper describes comparison simulated results of proposed model to measured data and PVWATTS model, case studied in Cambodia. It was found that the proposed model has high accuracy that has an average RMSE of 0.04.

REFERENCES

- [1] <http://eosweb.larc.nasa.gov>
- [2] S. Kittisontirak, P. Chinnavornrungeee, S. Songtra, K. Chumpolrat, A. Hongsingthong, J. Sritharathikhun, K. Sriprapha, P. Thajchayapong, and W. Titiroongruang, "A 126 kWp PV-Diesel Generator Hybrid System in Kampong Chheuteal high school, Kampong Thom province, Kingdom of Cambodia," The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), 2014
- [3] A. Chatterjee, A. Keyhani, and D. Kapoor, 2011 "Identification of Photovoltaic Source Models," Energy Conversion, IEEE Transaction, vol. PP, pp. 1-7.
- [4] J. A. Gow and C. D. Manning, 1999 "Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies," Electronic Power Application, IEEE Proceeding, vol. 146, pp. 193-200.
- [5] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, and E. R. Filho, 2009 "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays," Power Electronics Conference, pp. 1244-1254.
- [6] Z. Salam, K. Ishaque, and H. Taheri, 2010 "An improved two-diode photovoltaic (PV) model for PV system," Power Electronics, Device and

Energy Systems (PEDES) & 2010 Power India, 2010 Joint International Conference, pp.1-5.

- [7] J. Yuncong, J. A. A. Qahouq, and M. Orabi, 2011 "Matlab/Pspice hybrid simulation modeling of solar PV cell/module," Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Twenty-Sixth Annual IEEE, pp.1244-1250.
- [8] T. Chai and R. R. Draxler, "Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? - Arguments against avoiding RMSE in the literature," Geoscientific Model Development, volume 7, 2014, pp.1247-1250.

**The 6th World Conference on
Photovoltaic Energy Conversion**



PROGRAM

Joint Conference of

PVSEC-24
30th Anniversary
The 24th International Photovoltaic Science and Engineering Conference

41st IEEE PVSC
The 41st IEEE Photovoltaic Specialists Conference

30th EU PVSEC
The 30th European Photovoltaic Solar Energy Conference

Kyoto International Conference Center,
Kyoto, Japan

November 23-27, 2014

WCPEC-6 Organizing Committee

Co-organized by

The Japan Society of Applied Physics
Research Institute for Applied Science
The European Commission
IEEE Electron Devices Society

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Two Years Demonstration results of Two Large a-Si Thin Film PV Power Plants at Different Locations

P. Manosukritkul^{1,4}, T. Aiamtha², A. Hongsingthong³, P. Chinnavornrungsee³, S. Songtra³
T. Krajangsang³, J. Sritharathikhun³, K. Sriprapha³, and W. Titiroongruang¹

¹ Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok, THAILAND

² Bangkok Solar Power Co., Ltd, THAILAND

³ Solar Energy Technology Laboratory, National Electronics and Computer Technology Center, THAILAND

⁴ Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, THAILAND

ABSTRACT

Evaluated some special operation conditions of the PV power plants, the performance ratio (PR) will be used in this demonstration. The analysis is exercised within 2-year time. Furthermore, the impact of some extreme environmental in the southern and central of Thailand will be analyzed and discussed. In this work the operation results of two large a-Si thin film PV power plants are analyzed by technical criterions. To analyze the efficiency of energy production of the PV power plant in selected operation conditions, the database of monitoring systems were utilized. The first investigated a-Si thin film PV power plant with 1.948 MWp power is installed in Prajauabkirikan province, Thailand. The BSP a-Si thin film modules is constructed to be fixed and tilted to south with an inclination angle of 14° degrees. This module is applied with Leonic central inverter systems with a maximum power output of 250 kW, ambient and module temperature measurement systems. The second a-Si thin film PV power plant with capacity of 2.225 MWp is located in Lopburi province, Thailand. Finally, the technical data of both PV power plants are used to confirm the actual reliability of the output power.

1. INTRODUCTION

Generating electricity with photovoltaic cells (PVs) is widely used as an alternate source of clean energy to praise the stability of the power system. Photovoltaic cell has been used for 30 years in most of the entire countries those consume huge amount of electricity. In this experiment, a study of environmental factors, crucial affect with operating system, is proposed.

The analysis of PV system output characteristics will be organized in two different locations Fig.1 (Prajauabkirikan province) 1.948 MWp a-Si thin film PV power plants, and 2.225 MWp a-Si thin film PV power plants installed in central part

of the annual productivity of the located environment Thailand (Lopburi province Fig. 2).

The output characteristics of those PV plants are analyzed to evaluate the performance of the annual productivity of the located environment.



Fig. 1. 1.948 MWp a-Si thin film PV power plants installed in south part of Thailand (Prajauabkirikan province).



Fig. 2. 2.225 MWp a-Si thin film PV power plants installed in central part of Thailand (Lopburi province)

2. Reference Yield

Comparing Yr (Reference Yield) of two different places with different climate conditions, the experimental results have been acquired for 2 years. The result shown that an average Yr of two

places is identical, 4.92 Kwh /kWp referring to Fig 3

According to reference Yield curves in Fig. 3, solar radiation will vary according to season of the year. For example, from February to May, with clear weather, the Reference Yield at Prajubkirikun and Lopburi are 6 Kwh/kWp and 5.5 Kwh/kWp, respectively. However, these values will be changed to 4 Kwh/kWp and 4.5 Kwh/kWp in rainy season. The Reference Yield in Prajubkirikun will be drastically decreased due to heavy rain in the southern of Thailand. In the winter, November to January, these values will rise again according to Reference Yield shown in Fig. 3.

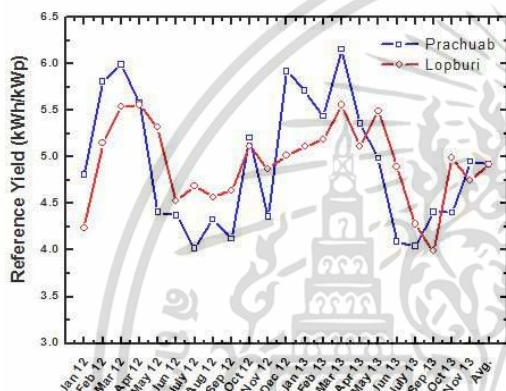


Fig.3 Reference Yield

3. Final Yield

In an aspect of Final Yield (Yf), according to Fig. 4., the average of Final Yield in Lopburi province is greater than that in Prajubkirikun, 4.15 kWh/kWp and 3.14 kWh/kWp respectively.

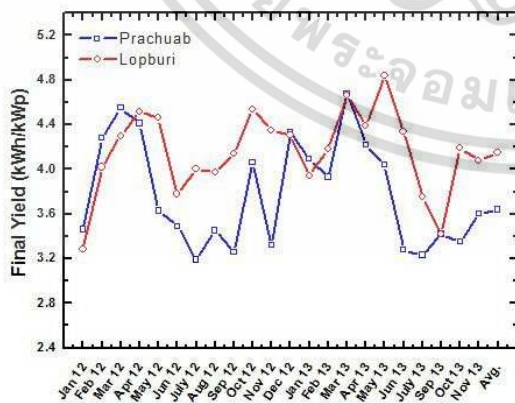


Fig.4 Final Yield

In an aspect of Final Yield (Yf), according to Fig. 4., the average of Final Yield in Lopburi province is greater than that in Prajubkirikun, 4.15 kWh/kWp and 3.14 kWh/kWp respectively.

From December to March, the Final Yield of these two locations are equal; nevertheless, these figures will be changed from April to November. To illustrate this, those values are 4Kwh/kWp in Lopburi, and 3.2Kwh/kWp in Prajubkirikun.

4. Performance Ratio (%)

According to Performance ratio, on 2-year duration, the average Performance ratio of Lopburi is greater than that in Prajubkirikun. These values are 84.37% and 74.04% as shown in Fig. 5.

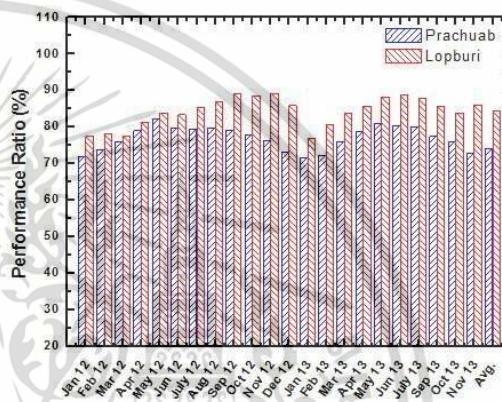


Figure 5. Performance Ratio (%)

5. Conclusion

This research studies the parameters of electricity generation from PV in two location, southern and central of Thailand with in two years. Concerning Yr, Yr will be varied with clear sky condition that will be change according to season of year. In summer, the Yr of the southern is grater than that of in central. Meanwhile, in rainy season, this value of central is greater in southern.

The Performance Ratio (%) in Lopburi is greater than Prajubkirikun due to differences in climate, humidity and temperature.

REFERENCES

[1] R.H.B. Exell and Saricali,1976, “ The Availa bility of Solar Energy in Thailand”, A.I.T. Bangkok,85 p.

[2] Matthew Buresch,Photovoltaics System Energy :design and installation,McGrawhill Book Compa- ny , 1983

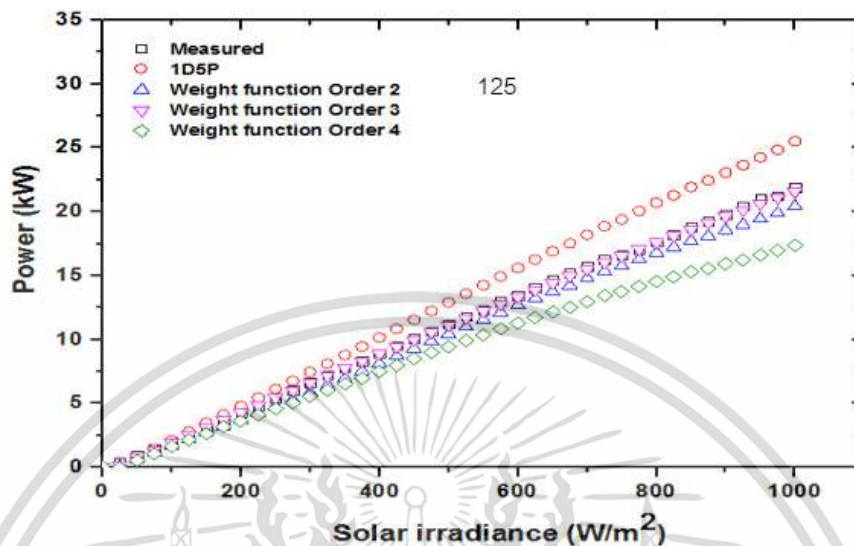
[3]S.R.Wenham,M.A.Green,M.E.Watt Applied Photovoltaics,Centre for Photovoltaic Devices And System, UNSW

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่รวมทำวิจัยต่อเนื่อง

1. ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์ “แบบจำลองการคาดการณ์กำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยตัวแปรถ่วงน้ำหนัก” วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2560212-214.2017.





รูปที่ 4.3 – แบบจำลอง Weight parameter ด้วยสมการโพลีโนเมียลออเดอร์ต่างๆ

รูปที่ 4.3 แสดงผลการคาดการณ์กำลังไฟฟ้าจากแบบจำลอง Weight parameter ด้วยสมการโพลีโนเมียล ออเดอร์ต่างๆ พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลอง 1D5P มีค่าประมาณ 0.130 และเมื่อทำการปรับปรุงความแม่นยำด้วย Weight parameter ออเดอร์ที่ 2 และ 3 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมีค่า 0.073 และ 0.040 ตามลำดับ โดยจะพบว่าผลการจำลองค่ากำลังไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมาก เมื่อทำการปรับค่าออเดอร์เป็นออเดอร์ที่ 4 จะพบว่าแนวโน้มของกราฟเบี่ยงเบนออกจากค่าจริงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE คือ 0.178

ตารางที่ 4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง 1D5P ที่ออเดอร์ต่างๆ

Models	RMSE
1D5P	0.130
Weight parameter Order 2	0.073
Weight parameter Order 3	0.040
Weight parameter Order 4	0.178

จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อทดลองปรับปรุงค่าความแม่นยำของแบบจำลองด้วย Weight parameter ออเดอร์ที่ 2, 3 และ 4 พบว่าที่ออเดอร์ที่ 3 จะให้ความแม่นยำสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับออเดอร์อื่นๆ อีกทั้งยังมีความซับซ้อนของสมการที่น้อยกว่า

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย ภาสภณ มโนสุกฤตกุล
 วัน เดือน ปีเกิด 13 กรกฎาคม 2517
 ที่อยู่ 149/142 หมู่ที่11 ตำบลบางหมาก
 อำเภอเมืองชุมพร จังหวัดชุมพร 86000

ประวัติการศึกษา 2540 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์
 มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
 2548 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.) การพัฒนาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์
 2.) การออกแบบและประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย
 พ.ศ.2549-2551 ตำแหน่งผู้ช่วยวิจัย
 ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
 พ.ศ.2554-ปัจจุบัน ตำแหน่งอาจารย์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร
 เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร